

STROJNIŠKI VESTNIK 1

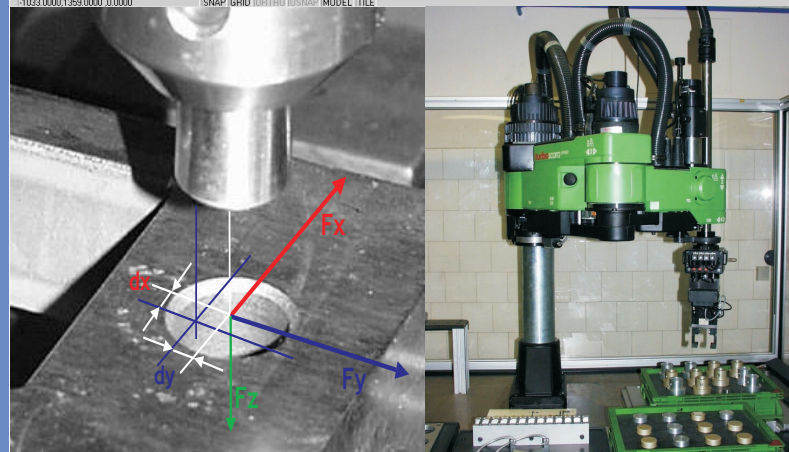
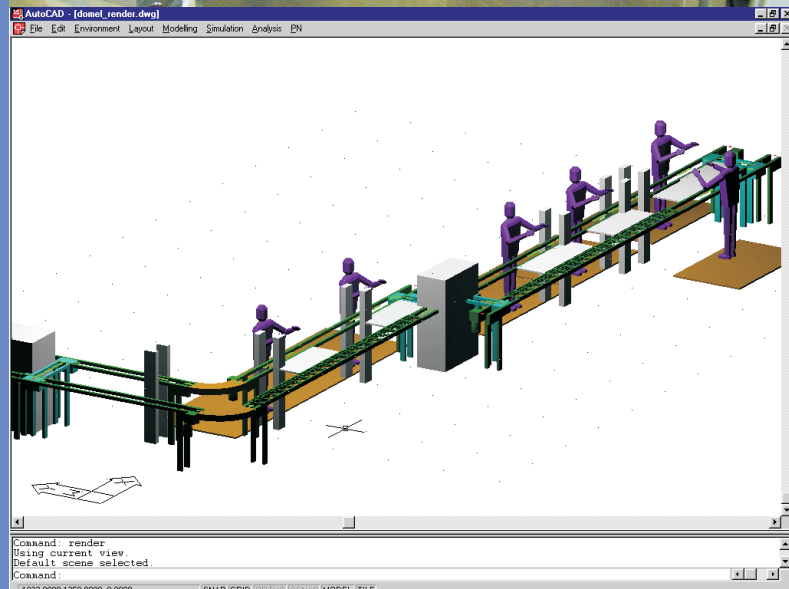
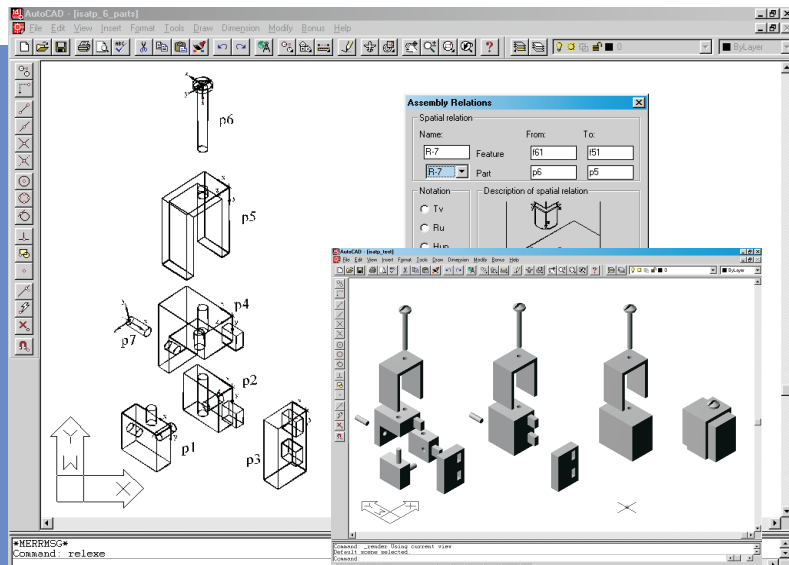
JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING

strani - pages 1 - 74

ISSN 0039-2480 . Stroj V . STJVAX

cena 800 SIT

1. Določitev zaporedja montažnih operacij s hevrističnim sistemom HAP
The HAP Heuristic System for Assembly-Operation Sequence Planning
2. Računalniško upravljanje z obdelovalnimi orodji v orodjarni, podprto s simulacijo
Simulation-Aided Management of Cutting Tools in a Tool-Making Company
3. Načrtovanje izdelovalnih sistemov, podprto s simulacijo
Simulation-Aided Planning of Manufacturing Systems
4. Nekaj novih algoritmov za računalniško podprto načrtovanje montaže
Some New Algorithms for Computer Aided Assembly Planning
5. Robotiziran montažni sistem kot sodelujoča večdelna organizacija
A Study of a Robotic Assembly System as a Collaborative Multi-Agent Organization



Vsebina

Contents

Strojniški vestnik - Journal of Mechanical Engineering
letnik - volume 49, (2003), številka - number 1

Uvodnik

Alujevič, A.: 49. letnik Strojniškega vestnika

2

Noe, D.: Računalniško podprto načrtovanje
montažnega procesa

3

Razprave

Zorc, S., Noe, D.: Določitev zaporedja montažnih
operacij s heurističnim sistemom HAP

5

Debevec, M., Perme, T., Noe, D.: Računalniško
upravljanje z obdelovalnimi orodji v orodjarni,
podprto s simulacijo

16

Perme, T.: Načrtovanje izdelovalnih sistemov,
podprto s simulacijo

28

Kunica, Z., Vranješ, B., Hrman, M.: Nekaj novih
algoritmov za računalniško podprto
načrtovanje montaže

41

Jerbić, B., Vranješ, B.: Robotiziran montažni sistem
kot sodelujoča večdelna organizacija

52

63

Poročila

68

Strokovna literatura

71

Osebne vesti

72

Pisma uredništvu

73

Navodila avtorjem

Editorial

Alujevič, A.: 49th Volume of Journal of Mechanical
Engineering

Noe, D.: Computer-Aided Planning of the Assembly
Process

Papers

Zorc, S., Noe, D.: The HAP Heuristic System for
Assembly-Operation Sequence Planning

Debevec, M., Perme, T., Noe, D.: Simulation-Aided
Management of Cutting Tools in a Tool-
Making Company

Perme, T.: Simulation-Aided Planning of
Manufacturing Systems

Kunica, Z., Vranješ, B., Hrman, M.: Some New
Algorithms for Computer Aided Assembly
Planning

Jerbić, B., Vranješ, B.: A Study of a Robotic
Assembly System as a Collaborative Multi-
Agent Organization

Reports

Professional Literature

Personal Events

Letters to the Editorial Board

Instructions for Authors

Uvodnik

Editorial

49. letnik Strojniškega vestnika

Z majhno zamudo je pred nami prva številka 49. letnika Strojniškega vestnika. Naslednje leto bo jubilejno "L", saj se bomo pripravljali na srečanje z Abrahamom. Strojniški vestnik je namreč začel izhajati marca 1955. Upamo lahko le, da nas črni oblaki denarnih težav do takrat ne bodo zadušili.

Sredstva Ministrstva za šolstvo, znanost in šport so nam v preteklem letu pokrila približno polovico potreb, kolikor znesejo zunanji stroški tiskarne in lektorata. Preostale notranje stroške na Fakulteti za strojništvo v Ljubljani le delno pokrivamo z naročninami in oglasi, vendar je ta "odeja" vsako leto prekratka.

Strojniški vestnik ima sedaj razširjen uredniški odbor in mednarodni svetovalni odbor (glej notranjo stran ovitka).

Odslej bomo imeli tudi rubriko "Pisma uredništvu", v kateri bi želeli tudi odmeve na objavljene prispevke v enoletnem obdobju.

V letošnjem letniku načrtujemo dvanajst števil, med katerimi jih bo šest tematskih konstrukterstvo, hidrotehnika, avtomobilizem IAT, računalništvo DMMI). Prestalo bomo izpolnili z mešanim gradivom. Člankov nam ne primanjkuje, tudi iz tujine prihajajo, predvsem iz vzhodnih držav. Pri domačih avtorjih naletimo včasih na problem, ali je prispevek prva (izvirna) objava, ali pa gre za ponatis že drugje objavljenih besedil istih avtorjev. Naši recenzenti so praviloma profesorji obeh naših fakultet, kar v večini primerov uspeva. Drugo recenzijo poiščemo v tujini, če gre za objavo izvirnega znanstvenega članka (1.01). Razvid lanskoletnih

recenzentov smo objavili v 12. številki preteklega letnika. Dogaja se kar pogosto, kadar kakšen prispevek ocenimo kot strokovni, da vzplamti pri avtorjih, ki prečiščena besedila enostavno odnesejo in v brezhibni angleščini objavijo v tujini. Morda bomo prisiljeni tako nastale stroške zaračunati. Imamo tudi primere, ko je bil članek objavljen v Strojniškem vestniku, naslednje leto (brez navedbe) s skoraj enakim besedilom in slikovnim gradivom pa v tujini – obe reviji pa sta prejeli "copyright" pravice v pisni obliki.

Na koncu naj omenim še zavzemanje za lepšo uporabo slovenskih izrazov. V decembrskem Informatorju ZSIS je izpod peresa g. B. Uratariča izšel vzpodbuden prispevek "Ohranimo slovenska tehnična besedila brez nepotrebnih tujk", s katerim se skoraj v celoti strinjam in ga bomo ponatisnili že v tej številki. Pri Strojniškem vestniku smo se vsi dosedanja uredniki trudili s slovenskimi izrazi. Celo našega akademika prof.dr.Janeza Peklenika nam je uspelo prepričati, da ni prav "nacionalna ekonomija", zakaj bi potem težili s "fretažo". Poglejte v novi Veliki slovar tujk, kaj je domače. Pred več ko 40 leti nas je prof. Albert Struna učil o torni obrabi in mazanju. Tudi besedo "kontinuum" lahko razdelimo na trdnine in tekočine, pri čemer pa slednje nimajo togosti in podajnosti. Že pesnik je zapisal ... "ga kolne kmet molitve bravši". Če ste mi zamerili, mi pač odmerite (kazen).

Glavni in odgovorni urednik
prof.dr. Andro Alujevič

Računalniško podprto načrtovanje montažnega procesa Computer Aided Planning of the Assembly Process

Načrtovanje montažnega procesa je ključna dejavnost pri razvoju novih in tudi pri prenovi sedanjih montažnih sistemov. V preteklosti smo bili priča ogromnim naporom, ki so bili vloženi v sistemizacijo procesa načrtovanja montaže, v zbiranje in sistemizacijo znanja, potrebnega pri načrtovanju, kakor tudi razvoju orodij za podporo načrtovalcem montažnih sistemov. Pomembni koraki so bili narejeni tudi pri sistemizaciji in optimiranju procesa montaže, uvajanju metod umetne inteligence, pri iskanju optimalnih procesov, razvoju programskih orodij za podporo pri izbiranju komponent montažnih sistemov, pri izdelavi zasnove montažnih sistemov, uvajanju metod simulacije pri ocenjevanju predloženih različic in razvoju virtualne montaže kot metode in orodja za zmanjševanje investicijskega tveganja. Kratki časi pri uvajanju montaže novih izdelkov ob hkratnih zahtevah po zmanjševanju stroškov na vseh ravneh silijo proizvajalce in uporabnike montažne opreme k vedno večji racionalizaciji pri načrtovanju ter uvajanju "optimalnih" montažnih sistemov. Ker so montažni sistemi dragi in je pri njih stopnja tveganja izredno velika, so vnaprejšnje ocenitve delovanja montažnih sistemov, simulacije in virtualne montaže, zaželeno in potrebne. Pomembna prednost računalniško podprtega načrtovanja montažnih sistemov je prav možnost kakovostnega ocenjevanja variantnih predlogov montažnih sistemov in na ta način podprta optimizacija.

Znanstvene ustanove, univerze in raziskovalni inštituti, še posebej tisti s področja umetne inteligence in uporabe znanja razvijajo računalniške modele, ki bodo v prihodnosti privedli do uporabnih programskih rešitev za avtomatizacijo pridobivanja potrebnih podatkov za načrtovanje procesa montaže iz modela izdelka. Na tej podlagi se razvijajo ekspertni sistemi za iskanje optimalnih zaporedij montažnih opravil, razvijajo se metode simulacije, virtualne montaže, z znanjem podprto konstruiranje izdelkov in podobno.

Montažno usmerjeno konstruiranje izdelkov je dandanes ena najintenzivnejših dejavnosti, pri kateri uporabljamo veliko število različnih orodij za podporo ocenjevanja novo nastajajočega izdelka. Namen montažno usmerjenega konstruiranja izdelkov je povezovanje razvoja izdelka, izdelave in odločitvenih kriterijev pri razvoju montažnega procesa. Do danes je bilo doseženo mnogo pri razvoju primernosti izdelkov za avtomatizirano montažo oziroma upoštevanju možnosti avtomatizacije montaže že pri razvoju izdelkov, pri generiranju montažnih opravil iz samega modela izdelka in pri

Determining the assembly process is the key activity in the development or re-engineering of an assembly system. In the past, enormous efforts were invested in a systematisation of the assembly-planning process, the collection and systematisation of the knowledge needed for decision making in the planning process, and in the development tools to support experts in the planning process. Important steps have also been made in the systematisation and optimisation of the assembly process itself, involving artificial intelligence methods in searching for the optimum assembly process, the development of tools for assembly systems, the selection of components, the layout in variant designing, and the development of the virtual assembly process as a method and a tool for investment-risk reduction. The short development period for new products and modern demands for the reduction of all costs have forced both the producer and the user of assembly equipment to rationalize the assembly-system planning process and involve "optimal" assembly systems. Because of the high costs of assembly systems and the high degree of risk, an estimation of the working behaviour of an assembly system in advance, using simulations and a virtual assembly process, are not only desired, they are also necessary. The important advantage of computer-aided assembly-system planning is the possibility of a quality estimation of the proposed variants, and in this way offering support to the optimisation process.

Scientific institutions, universities and development centres, especially those that are involved in artificial intelligence and knowledge processing have developed computer-aided models that must, in the future, provide us with the useful tools for automated data that are needed for the planning process, gathered directly from product data, i.e. models. For this reason, expert systems that search for the optimum assembly sequences, simulation methods and virtual assembly have to be developed, and product development has to be supported with knowledge of assembly, production, etc.

Assembly-oriented product design is today an activity that uses a large number of different tools for an estimation of the generated new product. The aim of assembly-oriented product design is the connection of new-product development with production, i.e. assembly and decisions criteria in assembly-process decisions. We are faced today with a number of solutions in product design for automated assembly, in selecting the assembly operation from product data, and in assembly-operation sequencing determination as a basis for assembly-systems

določanju zaporedja montažnih opravil kot temelja za načrtovanje montažnih sistemov. Vsekakor je to področje osnova tako imenovanega sprotnega inženirstva in bo v prihodnosti zaposlovalo veliko število strokovnjakov.

V tej številki Strojniškega vestnika prvič namenjamo več prostora raziskovalnemu in razvojnemu delu na področju načrtovanja montaže, ki je v zadnjem desetletju intenzivno potekalo v Laboratoriju za strego, montažo in pnevmatiko na Fakulteti za strojništvo Univerze v Ljubljani in na Fakulteti za strojništvo in ladjedelništvo Univerze v Zagrebu. Prikazani prispevki so le del dejavnosti obeh raziskovalnih skupin. Raziskovalno delo je bilo podprto s sredstvi pristojnih ministrstev Republike Hrvaške in Republike Slovenije. Določene raziskave so bile financirane tudi s sredstvi Republike Avstrije.

prof.dr. Dragica Noe

planning. These questions are the basis for so-called simultaneous engineering, and in the future more and more experts will be involved in searching for the right solutions.

In this issue of the Journal of Mechanical Engineering, for the first time more space is given over to research and scientific work in the field of assembly planning, which has been an important area of research in the past ten years in the Laboratory for Handling, Assembly and Pneumatics at the Faculty of Mechanical Engineering, University of Ljubljana, as well as at the Faculty of Mechanical and Naval Engineering, University of Zagreb. The published papers are the results of both research groups. The research ministries in Slovenia and Croatia supported the research work, and the Austrian government also supported some of the projects.

Prof.Dr. Dragica Noe

Določitev zaporedja montažnih operacij s hevrističnim sistemom HAP

The HAP Heuristic System for Assembly-Operation Sequence Planning

Samo Zorc - Dragica Noe

Del sistema za računalniško podprto načrtovanja montaže je tudi opredelitev zaporedja montažnih opravil. Osnova za računalniško podprto določitev zaporedja montažnih opravil je izdelek in povezave med njegovimi sestavnimi deli. Ker so prostorske povezave med sestavnimi deli izdelka neposredno povezane z geometrijo gibanja sestavnih delov pri sestavljanju, mora imeti zapis zaporedja montažnih opravil osnovo prav v opisu prostorskih povezav med sestavnimi deli. Prostor vseh možnih zaporedij montažnih opravil je predstavljen z grafom AND/OR. Za preiskovanje grafa pri iskanju najboljšega zaporedja, glede na postavljene kriterije, je uporabljen hevristični algoritem AO. Zaporedje montažnih opravil je ocenjevano z geometrično sestavljenostjo, stabilnostjo in modularnostjo. Za obvladovanje zapletenosti je bil razvit in uporabljen učinkovit algoritem za nastanek in preiskovanje problemskega prostora. Praktični primeri kažejo primernost sistema za načrtovanje dejanskih izdelkov.*

© 2003 Strojniški vestnik. Vse pravice pridržane.

(Ključne besede: planiranje montaže, zaporedja montaže, grafi AND-OR, algoritmi hevristični)

The assembly-operation sequence-determination process is a part of the computer-aided assembly-planning system. Computer-aided assembly-sequence planning decisions are based on the product-assembly description and the relations between parts. The space relations between product parts are directly related to the movement geometry during the assembly process, and so for the assembly sequence determination a description of the space relation between the product parts can be used. The space of all possible assembly sequences is represented by an AND/OR graph. The graph is searched for the best sequence using a variant of the AO heuristic algorithm. Assembly sequences are evaluated with respect to geometry feasibility, stability and modularity. To cope with the flexibility, efficient algorithms for generating and searching the problem space were developed and used. Empirical evaluations show the system can deal with real-world assemblies.*

© 2003 Journal of Mechanical Engineering. All rights reserved.

(Keywords: assembly planning, assembly sequence planning, AND-OR graphs, heuristic algorithms)

0 UVOD

Računalniška podpora je pri načrtovanju postopka montaže in montažnih sistemov vse bolj pomembna. To še posebej velja za razvoj sočasnega inženirstva, kjer bi želeli že v začetni fazi načrtovanja izdelka imeti čim več in čim bolj natančno oceno stroškov, ki jih bo povzročila montaža, in časa, ki bo potreben za izdelavo izdelkov. Sam postopek določitve montažnih opravil in njihovega zaporedja je tako vmesni člen med modeliranjem izdelka (konstrukcijo) in razvojem montažnega sistema.

Problemi, ki se pri razvoju orodij za podporo pri načrtovanju montaže pojavljajo so interdisciplinarni, saj se dotikajo umetne inteligence (načrtovanje, modeliranje,

0 INTRODUCTION

The use of computer-aided assembly-planning systems is becoming more and more important. This is particularly true of concurrent engineering, where the planner, in the early product-planning phase, requires more information about costs and assembly cycle times in the assembly process. The assembly operation and the assembly-operation sequence-determination process are the link between product modeling (design) and assembly system development.

The problems that occur during at the tools' development for the support of the assembly process and the assembly system planning are mostly interdisciplinary. They are connected with artificial

preiskovanje), analitične geometrije in linearne algebre (trodimenzionalno modeliranje predmetov), strojništva (konstruiranje in modeliranje izdelkov, montažne tehnologije, montažni sistemi), računalništva (računalniška podpora pri posameznih korakih načrtovanja).

Pri razvoju sistema načrtovanja zaporedja montažnih opravil je treba uvodoma definirati pojem montažnega opravila, poiskati način predstavitve sestavljenca oziroma izdelka, način predstavitve zaporedja montažnih opravil, izdelati model iskanja optimalnega montažnega zaporedja, definicija kriterijev optimalnosti in njihovega ocenjevanja ter obvladati zapletenosti preiskovanja ([3] in [15]). Razvoj sistema za izdelavo načrta montaže, to je zapisa montažnih opravil in določitve njihovega zaporedja (Heuristic Assembly Planner - HAP) ([1] do [3]), ki bo predstavljen v prispevku, upošteva dognanja o definiciji problema načrtovanja [12] in definicijo prostorskih povezav med sestavnimi deli izdelka na temelju teorije grup ([5] in [10]). Opis izdelka s prostorskimi povezavami je v nadaljevanju osnova za opis montažnih opravil. Za predstavitev zaporedja montažnih opravil so bile pomembne zamisli, ki sta jih predstavila Homen de Mello in Sanderson in analizirala različne znane predstavitve, kot so usmerjeni graf, graf AND/OR in druge [14]. Pokazala sta, da so predstavitve enakovredne po zmožnosti predstaviti vsa zaporedja in v pravilnosti predstavitev. Avtorja sta v svojem delu uporabila geometrični opis kot dodatno informacijo k simbolnemu zapisu sestava in povezav med sestavnimi deli pri preverjanju geometrične sklopljivosti. HAP pa uporablja geometrično informacijo kot osnovo za opis montažnega opravila. Specifična uporaba geometričnega opisa je omogočila, da veliko zaporedij montažnih opravil, zaradi neskladnosti sestavnih delov ni narejenih. Tako je mogoče hitreje iskati rešitve tudi za zelo zapletene sestave oziroma izdelke. HAP uporablja lasten algoritem za preiskovanje drevesa stanj na bazi AO* (MREC izvedba, ki sloni na ideji algoritma preiskovanja), izvedba iskanja opravil pa na zamisli vzvratnega načrtovanja, vendar z upoštevanjem kriterija geometrijske sestavljenosti in kriterija stabilnosti.

1 PREDSTAVITEV SESTAVLJENCA - IZDELKA

Predstavitev sestavljenca – izdelka je vhodni podatek v sistem načrtovanja montažnega postopka in mora vsebovati predstavitev sestavnih delov in njihovih geometrijskih in topoloških povezav. Pri iskanju montažnega zaporedja natančni opisi oblike sestavnih delov niso potrebni. Treba je le zagotoviti tisto informacijo, ki se nanaša na izbrane kriterije preiskovanja. Za iskanje zaporedja montažnih opravil so pomembne povezave med elementi, kot so smer, način in

intelligence (planning, modeling, searching), analytical geometry and linear algebra (3D product modeling), mechanical engineering (product design and modeling, assembly technology, assembly systems), computer science (computer support in particular planning steps).

The aim of an assembly-operation sequence-planning system is to find the definition of an assembly operation, the representation of the product assembly, the representation of the assembly-operation sequence as well as the assembly operations, in order to develop the search algorithm for the optimal assembly sequence plan, to find the definition for evaluating functions and to master the complexity of the planning process ([3] and [15]). In the development of an assembly-planning system, the assembly operation and operation sequence (Heuristic Assembly Planner - HAP) ([1] to [3]), described in this article, consider the definition of planning knowledge [12], and represent the problem of the space relations' definition of the part in the product, based on group theory ([5] and [10]). The representation of an assembly with the space relation is further used for the assembly-operation description. The relevant ideas, presented by Homen de Mello and Sanderson, were important for the assembly-operation sequence presentation [14]. Different known representations, like the directed graph, the AND/OR graph and others, have been analyzed. Authors found that all presentations were equal in terms of capability and accuracy of presentation. In addition, the authors used a geometrical description as additional information to symbolically describe the product and the part in the product in the geometrical feasibility searching process. In contrast, the assembly-operation description in the HAP system will be based on geometric information. Such a specific use of the geometrical description allows us to manage the searching problem. Many of the assembly-operation sequences were not generated because the product was not feasible. The searching process can also be managed faster for complex assemblies, e.g. products. The HAP system, as the searching algorithm, is based on AO* (MREC variant, based on a memory-sensitive recursive searching algorithm). The searching process is based on the "backward planning" idea, in terms of the geometrical feasibility and stability criteria.

1 PRODUCT – ASSEMBLY PRESENTATION

The assembly (product) representation is the input into the assembly-planning process. As such, it must include all the data about the assembly that is needed for planning, like the presentation of product parts and their topological and geometrical relations. We can assume that the exact description of the product and the product parts' geometry and form were not necessary for the planning process. Only the information connected with selecting the evaluation criteria are important, like the spatial relationship between the

zmožnost sestavljanja, ki sestavljenec in njegovo sestavljanje pravzaprav določajo.

Prostorska povezava je definirana kot skupek dovoljenih relativnih položajev telesa v odnosu do drugega telesa in dejansko pomeni vrsto giba, ki je potreben, da dva dela med seboj sestavimo, zato je uporabna za definicijo geometrije montažnega opravila. Ker ima prostorska povezava natančno matematično definicijo ([7], [9] in [10]), je primerna za računanje. Za popis sestavljenecv so privzete osnovne prostorske povezave (preglednica 1).

features of different parts and the direction of part movement during assembling and the assembling ability.

The spatial relationship is defined by a set of allowable relative positions of one body with reference to the other, and actually represents a type of move to put two of the parts together. In this way is the definition useful for a geometrical description of the assembly operation. The spatial relationship has an exact mathematical definition and is therefore useful for subsequent computation ([7], [9] and [10]). For a description of the assemblies the basic spatial relationship has been introduced (Table 1).

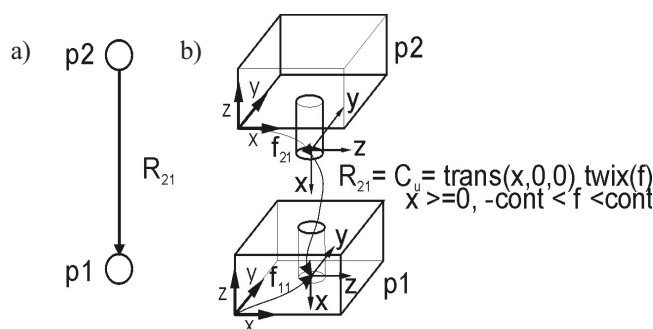
Preglednica 1. Opis osnovnih prostorskih povezav [7]

Table 1. Classification of subgroups in the group of relationships [7]

Stopnje svobode Dimension d.o.f.	Oznaka Notation	Omejitve Constraints	Oblika gibanja Lower pair
1	T_v R_u $H_{u,p}$	$\text{trans}(x,0,0)$ $\text{Twix}(\psi)$ $\text{trans}(x,0,0) \text{ Twix}(px)$	prizmatična / prismatic rotacijska / revolution vijačna / screw
2	T_p C_u	$\text{trans}(0,y,z)$ $\text{trans}(x,0,0) \text{ Twix}(\psi)$	cilindrična / cylindrical
3	T G_p S_o $Y_{v,p}$	$\text{trans}(x,y,z)$ $\text{trans}(0,y,z) \text{ Twix}(\psi)$ $\text{Twix}(\phi) \text{ Twiz}(\phi) \text{ Twix}(\psi)$ $\text{trans}(x,y,z) \text{ Twix}(px)$	ploskovna / plane sferična / spherical
4	X_v	$\text{trans}(x,y,z) \text{ Twix}(\psi)$	

Osnovna prostorska povezava je matematično definirana na podlagi teorije grup. Izkaže se, da sestavlja množica vseh preslikav, ki ponazarjajo premike trdnih delov, grupo za množenje. Vsak premik (D) lahko predstavimo v obliki $D = \text{trans}(\mathbf{v}) * \text{Rot}(\mathbf{u}, \phi)$, kjer je $\text{trans}(\mathbf{v})$ premočrten premik vzdolž vektorja $\mathbf{v} \in \mathbf{R}^3$ in $\text{Rot}(\mathbf{u}, \phi)$ vrtenje okrog vektorja $\mathbf{u}$ s kotom ϕ (preglednica 1). Vse druge povezave je torej mogoče zapisati z osnovnimi povezavami ter tistimi, ki jih dobimo z opraviлом prereza in sestavljanja.

The spatial relationship is mathematically defined using group theory. It is well proven, that the number of illustrations of rigid body movements consists of a multiplication group. Each basic spatial relationship constitutes the subgroup of a group of all the displacements represented by $D = \text{trans}(\mathbf{v}) * \text{Rot}(\mathbf{u}, \phi)$, where $\text{trans}(\mathbf{v})$ is a translation along vector $\mathbf{v} \in \mathbf{R}^3$ and $\text{Rot}(\mathbf{u}, \phi)$ is a rotation around the vector $\mathbf{u}$, with the angle ϕ (Table 1). Other relationships can be derived from the basic one by using the intersection and composition.



Sl. 1. Opredelitev povezave med sestavnimi deloma p_1 in p_2 [3]

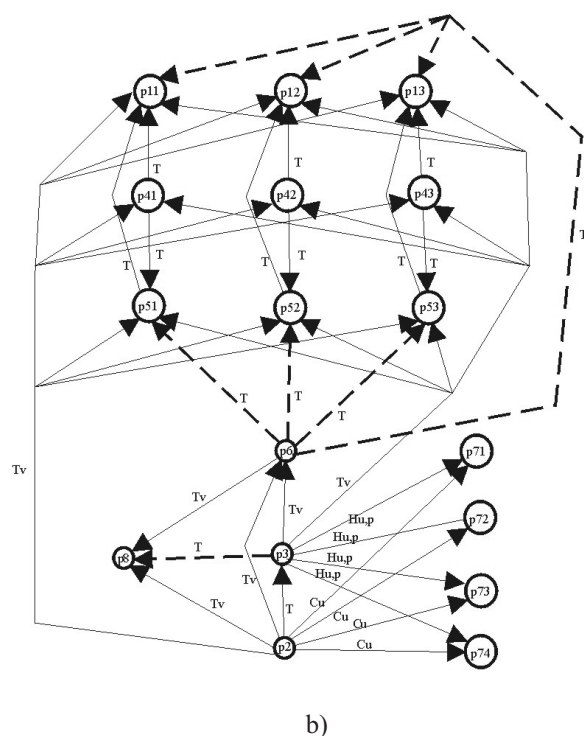
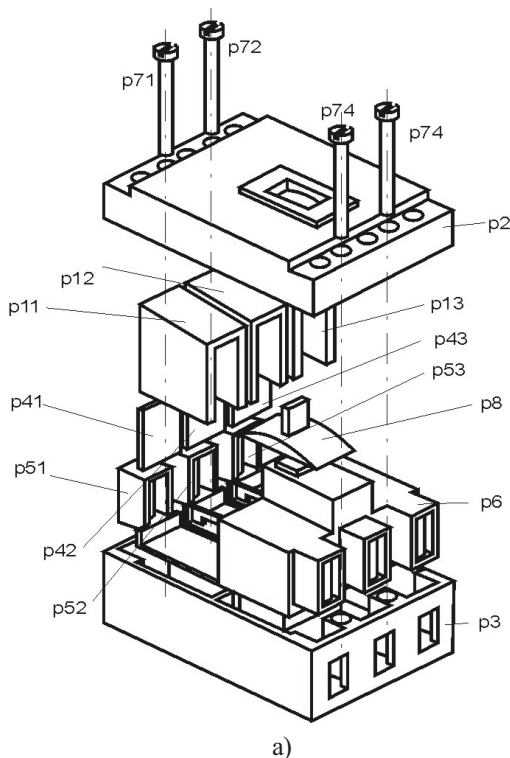
f_{ij} - položaj značilnosti nasproti koordinatnemu sistemu, R_{ij} - prostorska relacija med dvema sestavnima deloma.

Fig. 1. Definition of the relationship between parts p_1 and p_2 [3]

f_{ij} - location of the feature relative to the local coordinate frame, R_{ij} - spatial relationship between parts.

Za natančen opis montažnega giba je treba definirati domeno spremenljivk prostorske povezave. S slike 2 lahko povzamemo, da mora biti spremenljivka x v povezavi R_{21} večja ali enaka nič ($x \geq 0$), če naj povezava pomeni možen montažni premik (del p_2 ne moremo sestaviti od spodaj navzgor).

Sestav - izdelek (sl. 2b, 3a) je tako opisan z grafom (sl. 2a, 3b), kjer so vozlišča telesa (sestavni deli) in povezave povezave med njimi. Možni sta dve vrsti povezav. Prva vrsta so tiste povezave med sestavnimi deli, ki so v stiku (Cu med sestavnima deloma p_2 in p_{74} , sl. 2), in druge so povezave med sestavnimi deli, ki niso v stiku in definirajo celotno gibanje sestavnega dela (na primer T med sestavnima deloma p_2 in p_3).



Sl. 2. Testni izdelek in graf povezav - izdelek je za testiranje modela povzet po literaturi [3] in [7]
Fig. 2. Test product and relationship graph – Example product is taken for testing from reference [3] and [7]

Ker so prostorske povezave podane za značilnosti na sestavnih delih, lahko med sestavnimi deli obstaja več povezav in posamezen sestavni del je lahko v povezavi z več sestavnimi deli v izdelku. Z iskanjem prereзов in sestavljanjem je mogoče najti le eno povezavo med danim sestavnim delom in ostankom. Ta povezava je potem gib, ki je potreben za sestavljanje danega sestavnega dela z ostankom. Če tako dobljena povezava obstaja, je sestavni del sestavljen, drugače ni sestavljen.

Iskanje zaporedja vključuje preverjanje sestavljenosti (v HAP-u geom. sestavljenost in

To correctly specify the assembly move, the domain of the spatial relationship variables also has to be defined. From Figure 1 we can conclude that the variable x in the relationship R_{21} has to be greater than or equal to 0 ($x \geq 0$), if the relationship is supposed to present a feasible assembly move (part p_2 cannot be assembled from below).

The assembly (Fig. 2a and 3a) can be described by a graph (Fig. 2b in 3b), where the nodes are bodies (product parts) and the arcs are the relationships between them. There are two types of relationship. The first one is the relationship between the parts, which constrains the local movement of a given part (the relationship defined between parts in contact (Cu between parts p_2 and p_{74} , Fig. 2b)) and the second one is the relationship between parts, which constrains the global movement of a given part (the relationship defined between parts that are not in contact (for example T between parts p_2 and p_3)).

Since spatial relationships are initially defined between features of two parts, there can exist more than one relationship between two parts. In addition, one part can be related to many other parts in the product. By the use of intersection and composition it is possible to derive only one relationship between a given part and the rest. When such a derived relationship exists, the assembly of the part is feasible, otherwise it is not.

Searching for assembly-operation sequences involves testing the feasibility (in HAP, geometrical feasibility and stability) and evaluating the feasible

stabilnost) ter preverjanje optimalnosti glede na optimizacijske kriterije (v HAP-u samo modularnost – vzporednost je morda lahko narobe razumljena kot sočasnost sestavljanja več glavnih delov hkrati, modularnost pa pomeni, da se posamezni deli lahko neodvisno sestavijo – vzporedno). Oboje poteka v okviru hevrističnega iskanja skozi graf AND/OR [6], kjer sočasno ustvarimo možne rešitve in jih hkrati tudi preiskujemo, oziroma iščemo optimalno rešitev. Na vsakem koraku se sprva poišče sestavljive možnosti za dani podsklop (v smislu vzvratnega načrtovanja), ki se jih potem po metodi hevrističnega iskanja oceni z optimizacijskimi kriteriji, da dobimo najboljšo možnost. Iskanje se potem s to najboljšo možnostjo nadaljuje naprej.

Iskanje zaporedja obsega preverjanje sestavljivosti in stabilnosti ter preverjanje optimalnosti glede na kriterij vzporednosti. Oboje poteka v okviru hevrističnega iskanja skozi graf AND/OR [6], kjer sočasno ustvarimo možne rešitve in jih hkrati tudi preiskujemo, oz. iščemo optimalno. Na vsakem koraku se sprva poišče sestavljive možnosti za dani podsklop (v smislu vzvratnega načrtovanja), ki se jih potem po metodi hevrističnega iskanja oceni z optimizacijskimi kriteriji, da dobimo najboljšo varianto. Iskanje se potem s to najboljšo možnost nadaljuje [4]. Osnova za testiranje geometrične sestavljivosti so informacije o prostorskih povezavah in testiranje sestoji iz testiranja vrste gibanja, obstoja lokalne ali celotne poti. Testiranje za obstoj lokalne poti pomeni testiranje spremenljivk in povezav, ki so povezane (na primer, dela p_6 ni mogoče sestaviti, če sta dela p_3 in p_{51} že sestavljena - sestav $[p_3, p_{51}]$ ni sestavljen s p_6 v smislu obstoja lokalne poti (sl. 2)). Stabilnost je treba preveriti za vsak podsestav (ostanek). Ker so v HAP-u sestavni deli obravnavani kot prosto lebdeči predmeti, je stabilnost definirana kot povezanost grafa, ki predstavlja dani podsklop.

Modularnost (optimizacijski kriterij) se upošteva tam, kjer se ocenjuje kakovost razstavljencev oziroma išče optimalno zaporedje sestavljanja. Potek razstavljanja oziroma sestavljanja je boljši, če je mogoče izdelek čim bolj enakomerno razstaviti. V resnici je ocena modularnosti (oz. vzporednosti) narejena na osnovi entropije in ima poseben obrazec [4]. Glede na število razstavitev pa smo se že na začetku omejili na dve, torej dani sklop vedno sestavimo natanko iz dveh podsklopov. Modularnost pomaga pri tem, da loči med linearnimi zaporedji (vedno samo dodajamo en osnovni del) in bolj modularnimi, pri katerih poskušamo ločeno sestavljati podsklope in jih potem sestaviti v naslednji sklop [4].

2 PREISKOVANJE IN KRITERIJI OCENJEVANJA

Geometrijska sestavljivost pove, ali je mogoče določen predmet geometrijsko sestaviti z drugim

sequences, and finding the optimal one according to the optimization criteria. (Only modularity in HAP – parallelism is probably understood as simultaneously assembled parts, the meaning of modularity is that some parts can be, in time and place, independently assembled). Both searching and evaluating are parts of the heuristic search through the AND/OR graph. [6], where simultaneously possible solutions are generated, and at the same time are estimated for an optimal solution. In each step, first all the possible (feasible) assembling ways for a given subgroup (in the backward-planning sense), and in the next step, with a heuristic search, are evaluated with the optimisation's criterion, to get the best variant. The search process proceeds with the best variant [4].

Finally, we can conclude that searching process consists of feasibility and stability testing, and evaluating the optimality according to the modularity criterion. Both happen in the process of a heuristic search through the AND/OR graph [6], where all possible solutions are simultaneously generated and evaluated, i.e. searching for the optimal one. Testing the geometrical feasibility is based on information represented by the spatial relationship. It consists of testing the type of motion, the existence of a local path and the existence of a global path. Testing for the existence of a local path means testing all the variables in the relationships involved (for example, from the perspective of whether the part p_6 can be assembled with parts p_3 and p_{51} , Figure 2 a, if both are assembled before, subgroup $[p_3, p_{51}]$ is not feasible with respect to the local path existence (Fig. 2)). The stability is checked for each subassembly (rest). In the HAP system, parts are regarded as free-flying object in space, and with this approach stability is defined as the connectedness of the graph representing the given subassembly.

Modularity (as an optimizations criterion) is considered, where the quality of the decomposition is evaluated in terms of the optimal assembly sequencing we are looking for. The disassembly, or assembly, process is of higher quality if the product can be disassembled in more subassemblies. In fact, the modularity estimation (parallelism) is based on the entropy, and can be expressed with a formula [4]. Based on the number of the decomposition, the limitation on two subassemblies was taken into account. In fact each subassembly can be put together from two parts, or a part and a subassembly, or two subassemblies can be assembled. Modularity helps us to separate the simple linear sequences from the complex one, where the product is composed from the subassemblies in a parallel position and subassemblies on more levels [4].

2 SEARCHING AND EVALUATING CRITERIONS

A feasibility criterion is used to evaluate, in the generation phase, to find if the given object is

predmetom. Pri tem je predmet lahko sestavni del ali podsestav izdelka. Osnova za testiranje geometrijske sestavljenosti so informacije, ki jih pridobimo z opisom izdelka s prostorskimi povezavami in temelji na vrsti montažnega giba, obstoja lokalne poti in obstoja celotne poti.

Da bi lahko predmet sestavili, je treba poiskati prerez vseh povezav - gibov, s čimer določimo celotni gib, potreben za sestavitev predmeta. Če ta prerez obstaja, pomeni, da obstaja gib, s katerim lahko realiziramo vse povezave. Če prerez ne obstaja, pomeni, da predmet ni sestavljen z drugim [3].

Testiranje obstoja lokalne poti pomeni testiranje območja vseh spremenljivk v povezavi. Območja so v splošnem definirana glede na položaj značilnosti f_{ij} . In so v splošnem koraki oblike $[0, \text{cont}]$, kar pomeni, da je vrednost spremenljivke lahko na razdalji od 0 do neskončno. Ker vrednost spremenljivke določa razdaljo med dvema deloma, je treba zagotoviti, da je vsaj eno območje neskončen trak na realni osi. Območja so definirana glede na položaj značilnosti f_{ij} . Z vidika p_2 lahko območje za značilnost f_{21} za povezavo R_{21} ponazarja gib v osi x na koraku 0 do neskončno $x \rightarrow 0$, oziroma $x = [0, \text{cont}]$, $y = 0$ in $z = 0$. Pomeni tudi, da je mogoče del p_2 sestaviti le od zgoraj (sl. 1).

Obstoj celotne poti se z opisom povezave ne more rešiti. Avtorji so za reševanje tega problema definirali "navidezne stike" [5]. Navidezni stiki se definirajo med predmeti, ki sicer niso v stiku se pa celotno omejujejo. Tak postopek je uporabljen tudi v sistemu HAP. Navidezni stiki se zapišejo pri opisu izdelka in se testirajo kakor preostale povezave.

Stabilnost, kot eden izmed kriterijev pri iskanju najboljšega zaporedja, je definirana kot povezanost sestavnih delov, ki sestavljajo podsestav ali izdelek. To pomeni, da mora biti graf, ki predstavlja sestavljenec - izdelek, v različnih fazah sestavljanja povezan. To zagotavlja, da je podsestav enovit predmet in ga je mogoče prenašati, sestavljati naprej, testirati in drugo.

V ocenjevanje primernosti zaporedja montažnih opravil je uveden tudi pojem "modularnost" oziroma "vzporednost". Cilj tega kriterija je dobiti tista zaporedja, pri katerih poteka čim več montažnih opravil vzporedno. Za zapletene izdelke in možnosti istega izdelka je razvejana struktura montaže mnogo primernejša od verižne. Izdelek je tako razdeljen na module, ki jih je mogoče sestavljati časovno in prostorsko ločeno, nekatere podsklope oziroma module pa vgraditi v različne možnosti. Verižna struktura montaže je značilna le za izdelke z malo sestavnimi deli in je primernejša za montažo v posameznih robotiziranih montažnih celicah in preprostih verižnih montažnih avtomatih.

Za ocenitev kriterija vzporednosti je treba poiskati tako funkcijo, ki bo ocenila tisto strukturo

capable of assembling with the other one. The object could be a product part or a subassembly. Testing the geometrical feasibility is based on information represented by the spatial relationships, and is based on testing the type of motion, the existence of a local path and the existence of a global path.

When an object has to be assembled with an other object, the intersection of all relations has to be establish of all relationships in order that the whole move for an object-necessary move for assembling an object is determined. If the intersection exists, the move for all relations' accomplishment exists. If the intersection does not exist, the object is not feasible for the other one [3].

Testing the local path existence means testing the domains of all the variables in the relationship involved. Domains are defined in common with respect to the features position f_{ij} . And is an interval in form $[0, \text{cont}]$, which means that the value of what is available is in the interval from 0 to infinity. Because the variable value defines the distance between two parts, we have to ensure that at least one domain is an infinitive band on real axes. From the p_2 point of view the domain for the feature f_{21} and for the relation R_{21} expresses the move in the x axes in the interval 0 to infinite $x \rightarrow 0$, respectively $x = [0, \text{cont}]$, $y = 0$ in $z = 0$. This means the part p_2 can be assembled only above (Fig. 1).

The global path's existence can be determined, but with a feature relationship cannot be solved. Authors defined for solving this problem introduced the »virtual relationship«. [5]. The virtual relationship can be defined between objects, which are connected respectively in touch, but limited to each other in a global way. This approach is also involved in the HAP system. The virtual relationship is written in the product-description phase, and is tested as other relations.

Stability, as a decision criterion in searching the best solution, is defined as the connection of parts that consist of the product assembly. This means that the graph representing the given subassembly in a particular assembly phases has to be connected. With this definition, the subassembly as a uniform object can be transported, tested, stored, as well assembled further.

The meaning "modularity" is involved for evaluating the assembly-operation sequences. The function of this criterion is to get those sequences involving more simultaneously executed assembly operations. For a complex product and a product in variants is the process with parallel executed operations and the so-called branched structure, which is better than the line structure. The product consists of modules, which can be assembled separately according to time and place. The simple line structure is acceptable for a product with a small number of parts and is dedicated for assembling in robotized cells and a simple, rigid assembly machine.

For an estimation of the modularity criterion the formula for evaluating the assembly process structure

montaže oziroma tisto zaporedje, kjer so sestavni deli pri montaži bolj enakomerno porazdeljeni v podsestavih. Funkcija, ki ustreza tem zahtevam, je definirana z enačbo:

$$P(D) = \frac{1}{-\sum_{i=1}^k (n_i / n) \ln(n_i / n)} = (\text{entropija})^{-1} \quad (1),$$

kjer so: D – razstavitev sestavljenca, k – število elementov (podsestavljencev) razstavitve in n – število elementov v povezanem podsestavljencu, n_i – število vseh elementov danega sestavljenca. Vrednost $P(D)$ je najmanjša, ko je število sestavnih delov v podsestavu enako $n_i = n/d$ (kjer je d največje dovoljeno število podsestavov v razstavitvi) in je enako $P(D) = 1/\ln(d)$. Ta vrednost je nato uporabljena za definicijo heuristične določitve za dani sestavljenec - izdelek, ki je definirana z:

$$HP = \left(\frac{n-1}{d-1} \right) \cdot \left(\frac{1}{\ln(d)} \right) \quad (2),$$

kjer sta: A – sestavljenec - izdelek, in n – število sestavnih delov v izdelku. Prvi del enačbe pomeni najmanjše število razstavitev za dani izdelek. Drugi del enačbe najmanjšo ceno za posamezno dekompozicijo. Zmnožek obeh delov daje oceno najmanjše cene, za sestavljanje danega izdelka z upoštevanjem vzporednosti. Ker je ta ocena vedno manjša ali enaka dejanski ceni, je pogoj, da algoritem AO* najde optimum, izpolnjen [3].

3 PREDSTAVITEV MONTAŽNIH OPRAVIL IN NJIHOVEGA ZAPOREDJA

Poznanih je več algoritmov za predstavitev vseh montažnih opravil ([4] in [14]). V sistemu HAP pa je bil za opis vseh možnih montažnih opravil (torej problemskega prostora) uporabljen graf AND/OR, ki omogoča izrecno predstavitev vzporednosti in jasno predstavitev iskanja najboljšega zaporedja s strategijo vzvratnega iskanja ([3] in [4]).

Graf AND/OR je sestavljen iz povezanih vozlišč OR in AND. Vozlišča OR pomenijo sestavljenec - izdelek, podsestav ali sestavne dele, vozlišča AND pa montažno opravilo. Ker je montažno opravilo definirano kot sestavljanje podsestavov oziroma sestavnih delov in podsestavov, je torej definirano kot seznam podsestavov in sestavnih delov, ki jih je treba združiti.

Iz celovitega nabora mogočih montažnih opravil je naloga HAP-a, da poišče tisto zaporedje montažnih opravil, ki bo mogoče in ki ga bo mogoče izvesti v ustreznem času ter po primerni ceni. Preiskovanje grafa in iskanje zaporedij mora tako upoštevati izbrane kriterije *sestavljalivosti* in za možne inačice še *optimizacijske* kriterije.

has to be used. The goal is to find the assembly-operation sequence and assembly structure where the parts in the assembly process are in equal shares and are distributed in the subassemblies. The formula is defined as follows:

In equation (1) D is the the decomposition of the product, k is the number of the element (subassemblies) decomposition, and n is the number of elements in the connected subassembly, n_i is the number of all the elements of the given part. The value $P(D)$ is a minimum when the number of parts in a subassembly is equal, $n_i = n/d$, (where d is the maximum allowed number of subassemblies in the decomposition), and is equal to $P(D) = 1/\ln(d)$. This value is used for a definition of the heuristic estimate for a given assembly part, which is defined as:

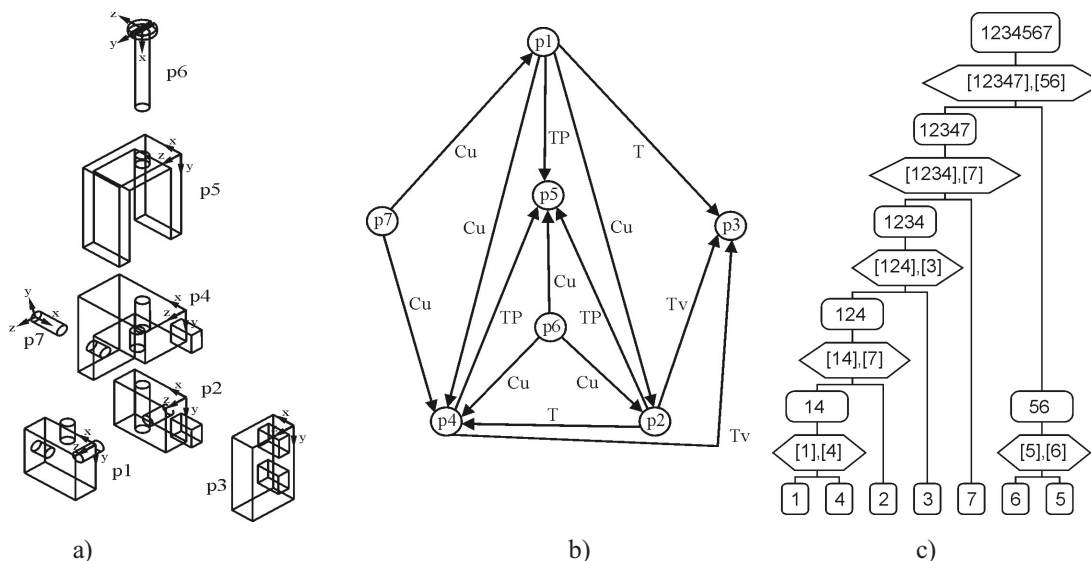
where A is the assembly product, and n is the number of parts in the assembly. The first part of the function represents the minimum number of decompositions for a given assembly. The second part represents the minimum price to be paid for a particular decomposition. The product of both parts gives an estimate of the minimum price to be paid for a given assembly with respect to the parallelism. As the estimate is always lower then or equal to the real price, the condition for the AO* algorithm to find the optimum is satisfied [3].

3 ASSEMBLY OPERATIONS AND THEIR SEQUENCE REPRESENTATION

Several algorithms are known for representing assembly operations ([4] and [14]). In the HAP system for all the assembly operations an AND/OR graph was used (with respect to the problem space). The AND/OR graph seems to be the most suitable for showing parallel actions in an assembly process and represents the backward-search strategy more clearly ([3] and [4]).

An AND/OR graph consists of interconnected OR and AND nodes. OR nodes represented assemblies, subassemblies or parts, AND nodes represent the assembly operation. In the current implementation the assembly operation is defined as putting subassemblies together, the parts and subassemblies, and it is represented by a list of parts and subassemblies, which have to be put together in the given step.

The goal of the HAP system is, from the whole list of possible assembly operations, to select the possible executed assembly-operation sequences, which can be executed in a suitable time period and at a convenient price. The graph search and the sequence determination have to consider the selected criterion of *feasibility* and for possible alternatives the *optimisation* criteria.



Sl. 3. Ponazoritev izdelka s sedmimi sestavnimi deli, a - razstavljen izdelek, b - graf prostorskih povezav med sestavnimi deli, c - graf AND/OR ob upoštevanju kriterija sestavljenosti

Fig. 3. An assembly consists of seven parts, a - the drawing model, b - relationship graph of assembled parts, c - AND/OR graph showing the feasibility criterion

3.1 Iskanje zaporedja montažnih opravil

Iskanje zaporedja montažnih opravil sestavlja dva logična koraka, ustvarjanje vseh možnih (smiselni) zaporedij in med njimi iskanje najboljšega zaporedja. V smislu predstavitve vseh možnih montažnih zaporedij (oz. problemskega prostora) to pomeni ustvarjanje in potem preiskovanje grafa AND/OR pri čemer HAP sledi zamisli t.i. vzvratnega sestavljanja [12], kjer poteka iskanje tako, da iščemo zaporedje montažnih opravil od zadnje k prvi – torej od sestavljenega sklopa do osnovnih delov (sl. 3). Pri tem HAP uporablja dve vrsti kriterijev. Sestavljenostni kriteriji zagotavljajo sestavljenost danega montažnega zaporedja, optimizacijski pa ocenjujejo njeno optimalnost. V okviru prvih HAP uporablja geometrijsko sestavljenost in stabilnost, v okviru drugih pa modularnost (čim bolj enakomerno sestavljanje prek podskelekov). Rešitev, ki jo HAP torej najde, je sestavljivo montažno zaporedje, ki je najbolj modularno. Sam sistem tudi omogoča nadaljnjo dodajanje tako enih kakor tudi drugih kriterijev.

Ker je celotno iskanje algoritmično zapleteno, HAP uporablja različne zamisli, ki mu omogočajo, da je njegova uporaba vseeno učinkovita ([4] in [6]). Prva zamisel je ta, da je preiskovanje v HAP-u izvedeno na način, ki sloni na znanem heurističnem algoritmu AO*, kjer oba koraka potekata sočasno, oz. postopek ustvarjanja in preiskovanja grafa AND/OR poteka hkrati - v skladu s heurističnim preiskovanjem. Pri tem načinu del grafa, ki ni zanimiv za preiskovanje (ker postopek preiskovanja kaže, da tam ni rešitve), ne ustvarimo, kar bistveno prispeva k učinkovitosti celotnega sistema. Druga izmed zamisli, ki najbolj bistveno pripomore k učinkovitosti HAP-a, pa je način ustvarjanja vozlišč

3.1 Search for the assembly-operation sequence

The search for assembly-operation sequence consists of two logical steps: the generation of all possible (feasible) sequences, and the search for the best one. In the sense of representing all possible assembly operations (i.e. the whole problem space) that means generating and then searching the AND/OR graph. In the searching process the HAP follows the so-called concept of backward planning [12], where the assembly-operations sequence planning starts with an assembled product and then goes back to the parts (Figure 3). Two criteria are used in HAP: the feasibility criterion enables the feasibility of the result assembly sequence and the optimization criterion evaluated if the solution is optimal. In HAP the geometrical feasibility and the stability are used for the first, and for modularity the second criteria (to get assembly process through subassemblies) the result of the searching with HAP is the most modular feasible assembly-operation sequence. The system allows further adding of certain criteria.

Because the search process is a complex algorithmic process, HAP involves some ideas to enable the effective use of the searching system ([4] and [6]). First, the search for the best sequence is done using the known best-first heuristic algorithm AO*, where both steps, the generating process and the searching AND/OR graph, are executed simultaneously in terms of the heuristic search. In this way the part of the graph, not interesting for search (the searching process shows us there is no solution) is not generated. Because of this the system is more effective. Another idea, which supports the

AND, oz. možnih razstavitev danega sklopa. Namreč, v danem koraku iskanja alternativ za sestavljanje danega sklopa (npr. [1234567] sl. 3), ne ustvari vseh vozlišč AND temveč samo tista, ki so dejansko sestavljiva (glede na uporabljene sestavljivostne kriterije).

Poglavitna zamisel je ta, da ustvarjanje ne poteka po znanem postopku poskusi in popravi (kjer se v osnovi ustvarjajo vse razstavitve, ki se potem testirajo glede na sestavljivost, in tako izločijo nesestavljive), temveč tako, da se uporabi kriterije sestavljivosti (na temelju podatkov, podanih v predstavitvi sestavljenca) že pri samem ustvarjanju, tako da že pri prvem koraku dobimo sestavljive inačice ([4] in [6]). S tem potem ni treba ustvariti in tudi ne preverjati velike večine razstavitev, ki v večini primerov sploh niso sestavljive. Testiranje HAP-a je pokazalo, da lahko uporabljene rešitve omogočajo uporabo sistema na dejanskih primerih.

4 UPORABA IN TESTIRANJE

Za preverjanje osnovnih teoretičnih spoznanj in za ekperimentiranje je HAP napisan v PROLOG-u, uporabljen je operacijski sistem OS/2 [6]. Za testiranje

HAP effectiveness much more, is the way of generating the AND nodes (possible decompositions of a given subassembly). Namely, in a given step of searching the alternative for assembling of a given subassembly (e.g. [1234567] Figure 3), the HAP does not generate all AND nodes, only those which are really feasible (according to the feasibility criteria).

The basic idea is that the generating process does not run in the known trial-and-error method (where all decompositions are generated and then tested according to the feasibility, and selecting these not feasible). The searching process in HAP uses the feasibility criteria (based on information given with the product presentations) already in the generating process, which gives us only feasible alternatives ([4] and [6]). So the numbers of not-feasible decompositions are never generated.

4 IMPLEMENTATION AND TESTING

The experimental assembly planner is written in PROLOG on the OS/2 operating system. [6]. For testing, artificial products and products from real

```

Začetek /Start:      čas / time (19,14,54,0)
Konec/End:          čas / time (19,37,29,59)

Št. vseh OR vozlišč / Num. of all OR nodes: 343
Št. razvitih OR vozlišč / Num. of expended OR nodes: 204

definirani posestavljenci/imposed subassemblies:
ps ([p11, p12, p13, p2, p3, p41, p42, p43, p51, p52, p53, p6, p71, p72, p73, p74, p8], [])

[vp1, vp10, vp11, vp12, vp13, vp14, vp15, vp16, vp17, vp2, vp3, vp4, vp5, vp6, vp7, vp8, vp9] -NDEF-
[vp1, vp10, vp11, vp12, vp14, vp15, vp16, vp17, vp2, vp3, vp4, vp5, vp6, vp7, vp8, vp9] -Hup-
[vp1, vp10, vp11, vp12, vp15, vp16, vp17, vp2, vp3, vp4, vp5, vp6, vp7, vp8, vp9] -Hup-
[vp1, vp10, vp11, vp12, vp15, vp17, vp2, vp3, vp4, vp5, vp6, vp7, vp8, vp9] -Hup-
[vp1, vp10, vp11, vp12, vp17, vp2, vp3, vp4, vp5, vp6, vp7, vp8, vp9] -Hup-
[vp1, vp12, vp17, vp2, vp3, vp4, vp6, vp9] -Tv-
[vp1, vp12, vp17, vp2, vp3, vp4, vp6] -Tv-
[vp1, vp2, vp3, vp4, vp6] -Tv-
[vp2, vp3, vp4] -Tv-
[vp3, vp4] -Tv-
[vp4]_ [p2] -Tv-
[vp3]_ [p13] -Tv-
[vp2]_ [p12] -Tv-
[vp1, vp6] -Tv-
[vp1]_ [p11] -T-
[vp6]_ [p41] -T-
[vp12, vp17] -Tv-
[vp17]_ [p8] -Tv-
[vp12]_ [p6] -Tv-
[vp9]_ [p51] -Tv-
[vp10, vp11, vp5, vp7, vp8] -Tv-
[vp11, vp5, vp8] -Tv-
[vp5]_ [p3] -Tv-
[vp11, vp8] -Tv-
[vp8]_ [p43] -T-
[vp11]_ [p53] -T-
[vp10, vp7] -Tv-
[vp7]_ [p42] -T-
[vp10]_ [p52] -T-
[vp15]_ [p73] -Hup-
[vp16]_ [p74] -Hup-
[vp14]_ [p72] -Hup-
[vp13]_ [p71] -Hup

```

Sl. 4. Zapis rezultata računanja HAP za primer na sliki 3
Fig. 4. Computing results of HAP for product shown on Figure 3

so upoštevani teoretični in dejanski izdelki ([3] in [4]). Rezultat testiranja je zapis optimalnega zaporedja montažnih opravil in definicija gibov, ki so potrebni za sestavljanje. V zapisu je podan tudi čas računanja in število vseh vozlišč OR in razvitih OR (sl. 4).

Sestavljanje gre od desne proti levi – torej od listov h koreninam drevesa. Sestavijo se vedno deli z enakim odmikom. Pri obeh je tudi podan gib oziroma prostorska povezava - PR, s katero ju sestavimo. Začnemo s p_2 in p_{13} (T_v PR), potem jima dodamo p_{12} (T_v). Neodvisno od tega prej sestavimo p_{11} in p_{41} (T) in potem to sestavimo skupaj s prejšnjim sklopom $[p_2, p_{12}, p_{13}]$ (T_v) itn. HAP tudi omogoča, da uporabnik določi posamezne podsklope, prek katerih želi, da sestavljanje poteka (na primer za podsklope, ki jih potem uporablja kot rezervne dele). V zgornjem primeru na sliki 4 tak podsklop ni bil definiran.

5 SKLEP

Računalniško podprto načrtovanje zaporedja montažnih opravil bo ključnega pomena pri vzporednem inženirstvu, kjer je treba že v fazi načrtovanja izdelka napovedati postopek in stroške montaže. Številne raziskave v zadnjem desetletju so pokazale nekaj smeri za mogoč razvoj uporabnih modelov avtomatičnega načrtovanja montažnega postopka in montažnih sistemov. Podan model HAP je eden izmed postopkov, ki prispeva k razjasnitvi nekaterih postopkov pri računalniškem načrtovanju montaže. Značilnost postopka v modelu HAP je v uporabi geometrije sestavljanja v obliki prostorskih povezav, ki so znane konstrukterjem že pri oblikovanju izdelkov. S to informacijo se v modelu izognemo zapleteni numerični analizi lokalne in celotne poti, ki sta potrebni za testiranje geometrijske sestavljivosti montažnega zaporedja. V modelu je uporabljen lasten algoritem za preiskovanje drevesa stanj na bazi AO*, ki že v fazi ustvarjanja razstavitve upošteva geometrijsko obliko sestavljenca. Testiranje na dejanskih primerih je pokazalo, da je algoritem kljub zapletenosti uporaben na dejanskih problemih.

Za nadaljnji razvoj modelov računalniškega načrtovanja zaporedja montažnih opravil bodo pri konstruiranju pomembni modeli, ki bodo omogočali avtomatični zapis montažnih opravil neposredno iz modela RPN izdelka z zapisom potrebnih informacij. Za določitev optimalnih zaporedij montažnih opravil pa je treba dodati še dodatne kriterije, ki naj bi povečali uresničljivost in pomembnost rešitev. Taki kriteriji bi lahko bili težnost, smeri sestavljanja, drugačni podsestavi in drugi. Za opis nekaterih kriterijev bo mogoče uporabiti prav natančno geometrično informacijo, ki je bila predstavljena v sistemu HAP.

Raziskovalno delo sta podprli Ministrstvi za znanost Slovenije in Avstrije.

production were introduced ([3] and [4]). The results, the optimal assembly sequence is written in Figure 4. The report also includes the computing time and the number of all possible OR nodes as well as the imposed OR nodes.

Assembling goes from the left to the right – from the leaves to the roots of the tree. The parts with equal distance are assembled. In both examples is the move assembled with the spatial relationship – PR. We started with p_2 and p_{13} (T_v PR), then we added p_{12} (T_v). Separately, we assembled p_{11} and p_{41} (T), and then we assemble together with earlier subassembly $[p_2, p_{12}, p_{13}]$ (T_v), etc, HAP also allows the user to determine subassemblies in advance (for example, the subassemblies used for spare parts). In the case in Figure 4 we do not have such subassemblies.

5 CONCLUSIONS

Computer-aided planning of an assembly sequence will have a key role in simultaneous engineering when the process and the costs of assembly have to be determined in the product development phase. Numerous research activities in past decades have shown some directions for the development of useful automated assembly process and systems-planning models. The discussed model, HAP, is only one approach for the elucidation of different processes in computer-aided planning systems. The main characteristics of the HAP model are the use of the geometry of assembling in the form of a spatial relationship, which is also known to the designer in the product-modeling phase. This information helps us to avoid complex numerical analysis of the local and global path needed for testing the geometrical feasibility assembly in assembly-operations sequence planning. Testing the HAP on real products or assemblies showed us that the search algorithm, in spite of exponential complexity, is useful for real problems. In the HAP system the original algorithm for searching the status tree based on AO* was used. The model considers in the decomposition phase the geometry of the assembly.

For the further development of computer-aided assembly-operations planning models it is important to enable an automatic description of the assembly operation from the CAD product model and the needed information in the design phase. To make it more realistic and relevant some additional criteria like gravity and variant subassemblies have to be involved. For a description, some criteria, the exact geometric information, presented in the system HAP, can be used.

Research work was supported by Ministries of science of Slovenia and Austria.

6 LITERATURA

6 REFERENCES

- [1] Zorc, S., D. Noe, I. Kononenko (1998) Efficient derivation of the optimal assembly sequence from product description. *Cybern. syst.*, vol. 29, no. 2, 159-179.
- [2] Zorc, S., D. Noe (1997) Assembly planning using spatial relationships. *Manuf. Syst. (Aachen)*, let. 26, št. 1, 39-43.
- [3] Zorc, S. (1997) Računalniško podprto načrtovanje zaporedja montažnih operacij, Magistrsko delo, Fakulteta za računalništvo in informatiko, Univerza v Ljubljani 1997.
- [4] Delchambre, A. (1992), Computer-aided Assembly planning, *Chapman&Hall*, London 1992.
- [5] Homem de Mello, L.S., L. Sukhan (1991) Computer-aided mechanical assembly planning, *Kluwer Academic Publisher*, Massachusetts.
- [6] Bratko, I. (1990) Prolog programming for artificial intelligence (2nd edition), *Addison-Wesley*.
- [7] Thomas, F., C. Torras (1988) A group theoretic approach to the computation of symbolic part relations, *IEEE Journal of Robotic and Automation*, Vol. 4, No. 6, 622-634.
- [8] Santochi, M. and G. Dini (1995), Technical Report: STC A framework for the evaluation and selection of assembly plans, *Annals of the CIRP*, vol. 4(2), 651-658.
- [9] Celaya, E., C. Torras (1990) Finding Object Configuration that Satisfy Spatial Relationships, *Proc. ECAI*, Stockholm 1990, 141-146.
- [10] Thomas, F., C. Torras, A group theoretical approach to the computation of three-dimensional structures via connectivity graphs, *Annals of the CIRP*, vol. 38(1), 25-28.
- [11] Thomas, F., X.F. Zha, Y.E.S. Lim, S.C. Fok (1998) Integrated intelligent design and assembly planning: a survey, *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, 14:50-64.
- [12] Lee S. (1991) Backward assembly planning with DFA analysis, Homen de Mello L.S., S. Lee: *Computer-Aided Mechanical Assembly Planning*, *Kluwer Academic Publisher*, Massachusetts 1991.
- [13] Zha, X.F., Y.E.S. Lim, S.C. Fok, S.C. (1998) Integrated knowledge-based assembly sequence planning, *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, 14:50-64.
- [14] Homem de Mello, L.S., A.C. Sanderson (1991) Representations for assembly sequences, L.S. Homem de Mello, Sukhan Lee (ed) *Computer-aided mechanical assembly planning*, *Kluwer Academic Publisher*, Massachusetts 1991.
- [15] Kunica, Z., B. Vranješ (1999) Towards automatic generation of plans for automatic assembly, *International Journal of Production Research*, Vol. 37, 1817-1836.

Naslov avtorjev: mag. Samo Zorc
 prof.dr. Dragica Noe
 Fakulteta za strojništvo
 Univerza v Ljubljani
 Aškerčeva 6
 1000 Ljubljana
 dragica.noe@fs.uni-lj.si

Authors' Address: Mag. Samo Zorc
 Prof.Dr. Dragica Noe
 Faculty of Mechanical Eng.
 University of Ljubljana
 Aškerčeva 6
 1000 Ljubljana, Slovenia
 dragica.noe@fs.uni-lj.si

Prejeto:
 Received: 14.1.2003

Sprejeto:
 Accepted: 29.5.2003

Odprt za diskusijo: 1 leto
 Open for discussion: 1 year

Računalniško upravljanje z obdelovalnimi orodji v orodjarni, podprto s simulacijo

Simulation-Aided Management of Cutting Tools in a Tool-Making Company

Mihael Debevec - Tomaž Perme - Dragica Noe

V proizvodnih stroških orodjarn pomenijo rezalna orodja, poleg samih obdelovalnih centrov, največji delež stroškov. Po večini slabo urejeno skladiščenje ter slab pregled stanja rezalnih orodij se kaže v premajhni zasedenosti obdelovalnih centrov ter v relativno velikih stroških za rezalna orodja. Z dobro organiziranim in računalniško podprtim upravljanjem obdelovalnih orodij je mogoče te stroške zmanjšati, vendar to še vedno ni dovolj za učinkovito načrtovanje proizvodnje. Zato je namen tega prispevka osvetliti to področje, prikazati koncept računalniškega upravljanja z obdelovalnimi orodji, podprtega s simulacijo (RUOS) in predstaviti glavne značilnosti sistema RUOS, ki je plod raziskovalno-razvojnega dela laboratorija LASIM v sodelovanju s slovensko orodjarno.

© 2003 Strojniški vestnik. Vse pravice pridržane.

(Ključne besede: sistem upravljalni, baze podatkov, proizvodnja, simuliranje, mreže Petri)

With the exception of machining centres, cutting tools are the most expensive items in the production costs of a tool-making company. Unorganised warehousing and poor monitoring of the condition of the cutting tools are still typical of such companies, and this results in the underuse of machining centres and high costs for the cutting tools. By using well-organized and computerized tool management of the cutting tools it is possible to reduce costs, but for the efficient planning of production this is still not enough. In this article we introduce the concept of Simulation-Aided Tool Management (SATM) and the main features of the SATM system, which was developed in cooperation with a tool-making company.

© 2003 Journal of Mechanical Engineering. All rights reserved.

(Keywords: management systems, database, production, simulations, Petri nets)

0 UVOD

Večina orodjarn, ki izdelujejo orodja za preoblikovanje pločevine in brizganje plastike, ima posamezno proizvodnjo, za izdelavo pa uporabljajo najsodobnejše obdelovalne tehnologije in stroje. Tako se pojavlja vprašanje, kako povezati na eni strani popolnoma posebne proizvodne metode, na drugi strani pa velike stroške proizvodnje tako, da bo proizvodnja čimbolj donosna. Odgovor na to je zagotovo tudi dobro upravljanje s proizvodnimi sredstvi, med katerimi imajo obdelovalna orodja pomembno vlogo, saj so poleg samih obdelovalnih strojev tudi največji strošek.

O obdelovalnih orodjih in upravljanju z njimi je bilo že veliko govora, narejenih že veliko raziskav in razvitih že veliko sistemov. Obravnavani so bili tako z organizacijskega ([1] in [2]) kakor s tehnološkega vidika ([3] in [4]), na trgu pa se dobijo tržno dostopni programi za upravljanje z orodji, na primer CoroTAS, TDMeasy, ZOLLER Toolmanager

0 INTRODUCTION

Most tool-making companies still have individual methods for producing tools for sheet-metal forming and injection moulding, but for their machining they use the most up-to-date technologies and machines. The question is how to bring together the totally individual methods of production and the high costs of such an industry in such a way that the business is profitable. The solution is an appropriate production-management system in which the machining tools play a very important role, since they represent – after machining centres – the most expensive item in the production costs.

There has already been much discussion about the management of cutting tools, a lot of investigations have been made in this area, and a lot of systems have already been developed. The systems were treated from the organizational ([1] and [2]) as well as from the technological point of view ([3] and [4]), and there are many programmes for tool management already available on

in drugi [5]. Vendar so redke orodjarne, ki so tak sistem uvedle in ga učinkovito uporabljajo v praksi, in to kljub temu, da se v orodjarnah zavedajo, da so stroški za obdelovalna orodja preveliki in da so stroji zaradi neustrezne logistike orodij slabše izkoriščeni.

Razlogov za tako stanje je več, glavni pa se kažejo v tem, da so orodjarne tipično posebna proizvodnja s svojimi posebnimi zahtevami in da kupljeni sistemi za upravljanje z orodji ne rešujejo organizacijskih problemov, saj so bolj ali manj namenjeni le upravljanju s podatki o orodjih. Tudi na splošno informacijske tehnologije same ne morejo reševati organizacijskih problemov, lahko pa dobro organiziran sistem podprejo, da je še bolj učinkovit. Pomemben razlog pa je tudi cena komercialno dostopnih sistemov in dejstvo, da ga je treba prilagoditi potrebam posameznih orodjarn in povezati z njihovo znano informacijsko tehnologijo.

Da bi osvetlili ta vprašanja predvsem z organizacijskega, se pravi logističnega vidika, in da bi postavili ogrodje sistema za upravljanje z obdelovalnimi orodji, ki bi bil prilagojen potrebam orodjarn, ter ga uvedli v prakso, je nastal projekt Računalniško upravljanje z obdelovalnimi orodji (RUO) [6]. Rezultati tega projekta so bili podlaga za koncept računalniškega upravljanja z obdelovalnimi orodji s podporo simulacije (RUOS), katerega namen v praksi je zmanjšanje stroškov za nakup in vzdrževanje obdelovalnih orodij, povečanje izkoriščenosti obdelovalnih strojev ter s tem povečanje dejanske zmogljivosti orodjarne ob ohranjenih enakih preostalih obratovalnih stroških ter povečanje zanesljivosti izpolnjevanja naročil.

1 KONCEPT RUOS

Koncept RUOS je osredotočen predvsem na upravljanje z obdelovalnimi orodji v oddelku z računalniško krmiljenimi centri (RK) obdelovalnimi centri, saj je tam izredno pomembno, da so obdelovalna orodja pripravljena v pravem trenutku in da so s tem stroji čimbolj izkoriščeni, se pravi, da čim več časa delajo in ne čakajo na obdelovance ali orodja.

Glede na to, da se vpenjanju ali prevpenjanju obdelovancev na stroju skoraj ne moremo izogniti, pa so lahko orodja že prej pripravljena in shranjena v zalogovniku orodij na samem stroju ali pa v vmesnem skladišču poleg njega. Da bi ugotovili, kako poteka delo, povezano z obdelovalnimi orodji, kakšno je stanje orodne logistike in katere so informacije, povezane z njimi, je bila narejena analiza, katere rezultati so bili podlaga za določitev želenega načina dela.

the market: for example, CoroTAS, TDMeasy and ZOLLER Tollmanager [5]. Still, it is hard to find a tool-making company that has introduced a tool-management system into its production in spite of an awareness that the costs of cutting tools are too high, and the machining centres are not used as they could be because of inappropriate tool logistics.

There are several reasons for this situation, but the main one is that tool shops tend to be based on individual forms of production that have particular demands. This means that the purchased tool-management system does not solve the organizational problems because these systems are designed only for the management of cutting-tools data. In general, information technologies cannot solve organizational problems; however, they can support a well-organized system in becoming more efficient. An important reason for this also lies in the price of commercially available systems – which is not negligible – and the fact that such a system has first to be adapted to the requirements of a particular production and integrated within existing information technologies.

The aim of the project called Computerized Tool Management (CTM) [6] is to help answer some of the questions of organizational, i.e. the logistical, point of view of cutting tools, and to develop the framework of an advanced tool-management system. This system should be adaptable to the needs of tool shops and should be initiated in practice. The results of the CTM project were used as a base for the new concept called Simulation-Aided Tool Management (SATM). The practical aim of SATM is to reduce the purchasing and maintenance costs of cutting tools, to increase the efficiency of machining centres with other fixed production costs (and with that, also the actual capacity of the tool-making company) and to increase the reliability with which orders are accomplished.

1 THE CONCEPT OF SATM

The concept of SATM is focused on tool management for CNC machining centres, because in these facilities it is very important that the cutting tools are prepared for machining at the right time, and that the machining centres are used as much as possible, e.g. the cutting tools work most of the time and do not wait on the work-piece or cutting tools.

If clamping or re-clamping of the work-piece on machining centres is unavoidable, the cutting tools can be prepared beforehand and stored on the machining centre or in the buffer nearby. To find out the present course of the work and the state of the tool logistics as well as the information connected with them, an analysis was made, the results of which were a basis for the definition of the desired mode of work.

1.1 Želeni način dela

Na podlagi pogovorov s tehnologi, programerji, operaterji ter vodji proizvodnje in delavnice v orodjarni se je izoblikovalo želeno stanje, ki se da povzeti v naslednjih točkah:

- Tehnolog in programer programov števiskega krmiljenja (ŠK) izbirata orodja iz sedanje zaloge orodij, pri čemer so jima na voljo potrebni tehnološki podatki, parametri obdelav iz katalogov, parametri obdelav, ki so bili nastavljeni med samo obdelavo, in stanje, mesto nahajanja in razpoložljivost posameznega orodja.
- Izbrana orodja naj bi rezervirali, kar pomeni, da bi za vsak izdelek določili potrebno količino orodij in, če jih ne bi bilo dovolj, bi jih lahko pravočasno naročili.
- Poleg števila porabljenih orodij za vsak izdelek naj bi shranjevali tudi podatke o obdelovalnih parametrih, ki so bili predpisani, in njihove morebitne spremembe med samo obdelavo.
- Iskanje orodij v kartoteki ali pa v seznamu sedanjih orodij naj poteka tako po njihovih glavnih značilnostih kakor tudi po oznaki orodja in kataloški številki proizvajalca. Za boljši prikaz naj bodo seznam opremljeni s slikami posameznega orodja.
- Orodja, ki se ne uporabljajo, naj bodo shranjena na enem mestu, in sicer v osrednjem skladišču orodij (npr. v regalnem skladišču), ki ga upravlja en operater. Operaterji na strojih si jih lahko tudi sami izposojajo, s tem da se sproti zapisuje izdajanje in skladiščenje orodij.
- Orodja, ki so določena za uporabo v določenem dnevu, se prej pripravijo, kar lahko naredi operater skladišča. Če pride do obrabe ali loma orodja med obdelavo, lahko to stori tudi operater stroja, če je operater skladišča prezaposlen ali odsoten.
- Vsi podatki o lastnostih nastavljenega orodja se zapišejo in vnesejo v krmilnik obdelovalnega stroja, ko se določeno orodje uporabi, ali pa ob polnjenju zalogovnika za orodja.

Naštete so le najpomembnejše značilnosti zelenega dela z orodji, ki so bile osnova za snovanje sistema za računalniško upravljanje z obdelovalnimi orodji v orodjarni (RUOS).

1.2 Koncept RUOS

RUOS je sistem, s katerim načrtujemo, krmilimo in nadzorujemo tok obdelovalnih orodij in njihove informacije v orodjarni.

Aktivnosti, ki jih sistem pokriva, so naslednje:

- izbira rezalnih orodij in rezalnih razmer,
- nakup in skladiščenje sestavljenih orodij ali njihovih delov,
- montaža in nastavljanje orodij,

1.1 Desired mode of work

On the basis of many discussions with technologists, programmers, operators and workshop chiefs, the desired conditions were obtained and are listed below:

- The technologist and the NC programmer choose the cutting tools from the existing tool store and they have to have at their disposal the required technological data, the machining parameters from catalogues, the machining parameters which were set during machining and the condition, the location and the availability of an individual cutting tool.
- The selected cutting tools should be reserved beforehand, which means that the required quantity of each cutting tool should be anticipated and if not enough of them are available in the workshop then they can be ordered in time.
- In addition to the number of cutting tools used for each product the machining-parameters' data that was prescribed should also be stored as well as their eventual changes during machining.
- Searching for cutting tools in the card index or in the list of existing tools should be based on their characteristics as well as on the cutting-tool designation and the producer's catalogue number. For a better review, lists should be equipped with images of individual cutting tools.
- Cutting tools that are not in use should be stored at a single location, at the central cutting-tool warehouse (in an automatic shelf warehouse), managed by a single operator. Operators at machining centres can lend cutting tools, but they must note down every time a tool is removed or returned to storage.
- Cutting tools that are required for use on a particular day are given a preliminary preparation, and this is the warehouse operator's duty. If the tool wears out or breaks during machining each machine operator can do the preparation if the warehouse operator is busy or absent.
- All data about a particular cutting tool's attributes are written down and entered in the controller of the machining centre when a defined cutting tool is in use or at a cutting tool's magazine filling.

Only the most significant requirements that contribute to the planning of the system for Simulation-Aided Tool Management (SATM) are included.

1.2 Concept SATM

SATM is a system for planning, controlling and monitoring a cutting tool's flow as well as the information flow in a tool-making company.

The system covers activities like:

- tool and machining-condition selection,
- purchasing and warehousing of the cutting tools and their parts,
- assembly and presetting of cutting tools

- transport orodij na obdelovalne stroje,
- posodabljanje podatkov o obrabljenosti in stanju orodij,
- čiščenje, demontaža in pregled orodij in njihovih sestavnih delov,
- vzdrževanje razalnih orodij in njihovih sestavnih delov,
- ponovno skladiščenje orodij ali njihovih delov.

Ker je ta krog uporabe zelo dinamičen, je zanj potrebna računalniška podpora, saj lahko le z njeno uporabo spremljamo dejansko stanje in razpoložljivost posameznega orodja ali delov v orodjarni, kar je za načrtovanje proizvodnje in sprejemanje naročil bistveno.

Sistem je zasnovan na splošnem modelu sistema za upravljanje z orodji [5] in obsega bazo podatkov orodnih kart, delov orodij in sestavljenih orodij. Dodatni uporabniški programi skrbijo za uporabniško primeren vnos in iskanje podatkov v bazi, za načrtovanje in krmiljenje poti in terminov orodij v orodjarni ter za nadzor stanja orodij. Sistem je načrtovan sicer za določeno orodjarno, vendar pa je odprt in prilagodljiv katerikoli orodjarni.

V konceptu so bile opredeljene, pri razvoju pa so bile vodilne pomembne značilnosti sistema RUOS, te so:

- Odprtost, ki omogoča preprosto prilagoditev ali razširitev sistema posebnim zahtevam posameznih orodjarn.
- Modularnost, ki omogoča preprosto sestavo želenega sistema (aplikacije za vodenje razvoja orodij in rezalnih razmer, za nadzor obrabe orodij in za napovedovanje razpoložljivosti so posebni moduli, ki se lahko poljubno dodajo osnovnemu modulu).
- Uporabniška primernost (uporabniški vmesnik), ki ji je posvečena posebna pozornost, saj je od enostavnosti uporabe (na primer vnašanja in iskanja podatkov) odvisna uspešnost uvajanja sistema v prakso (človeški dejavnik).
- Avtomatsko vnašanje podatkov, kjer je to le mogoče. Tako porabi operater na stroju, pri nastavljanju ali montaži orodij in tudi pri skladiščenju kar najmanj časa za vnašanje ali iskanje podatkov.
- Sprotni in točni podatki o stanju in mestu orodij v orodjarni, ki se uporabljajo pri načrtovanju proizvodnje in načrtovanju tehnologije (programiranje ŠK).
- Integracija nadzora obrabe orodij v sistemu za upravljanje z orodji, saj je to podatek, ki poleg kraja in razpoložljivosti najbolje popiše stanje posameznega orodja v sistemu.
- Sistem za napovedovanje uporabe orodij, ki temelji na tehniki simuliranja diskretnih sistemov, saj lahko le z njo na podlagi predvidenega proizvodnega načrta in znanih postopkov obdelave dovolj natančno določimo, kakšno bo stanje sistema v prihodnje.

- transport of the cutting tools at machining centres,
- updating of information about cutting-tool usage and condition,
- cleaning, disassembly and inspection of cutting tools and their parts,
- maintenance of cutting tools and their parts,
- resume warehousing of cutting tools or their parts.

Because this life-cycle is very dynamic, computer support is required. Only with a computer-based system can the actual condition and availability of a particular cutting tool, or its parts, in a tool shop be obtained online. This is essential for production planning and the receiving of orders.

The system is designed on a common model of a system for tool management [5], and includes a tool card database, parts of tools and assembled tools. Additional user programs take care of user-type entering and searching data in the database, for planning and course control and tool terms in a tool shop and for monitoring the cutting tool's condition. The system has been planned for a specific tool-making company, but it is still open and adaptable to any tool-making company.

The essential characteristics that were considered and followed during the design of the SATM's system are:

- Openness, which enables simple adaptation or system widening to the specific demands of separate tool-making companies.
- Modularity, which enables the simple composition of a desired condition (applications for the history of the cutting tools' management and machining conditions, monitoring of the cutting tools' wear and modules for predicting availability, which can be easily connected by an elementary module).
- User friendliness (human-machine interface), to which special attention is paid because the efficiency of the SATM system depends on the simplicity of its use (for example, data entering and searching).
- Automatic data entry, whenever possible, so that the operator at the machining centre uses the minimum time during presetting or assembly or during warehousing for the entering or searching of data.
- Continuous and correct data about the cutting tool's condition and its place in the tool shop, both of which are used for production planning and technology planning (NC programming).
- Integration of tool-wear monitoring into the system for tool management. This is the information, which in addition to location and availability, best describes the condition of a particular cutting tool in the system.
- System for predicting a cutting tool's usage, which is based on the simulation technique of discrete systems. Only with this can we, on the basis of the expected production plan and the known machining procedure, define sufficiently accurately what will be the condition of the system in the future.

- Vodenje "razvoja" uporabe, obrabe in uporabljenih rezalnih razmer je potrebno tako za kasnejšo analizo toka orodij kakor tudi za analizo in izbiro orodij in rezalnih pogojev.

1.3 Zgradba sistema RUOS

Na podlagi želenih lastnosti sistema RUOS je bil razvit osnovni koncept njegove zgradbe, ki temelji na tehniki baz podatkov in simulacije in jo sestavljata dva modula, in sicer:

- osnovni modul, ki obsega podatkovno bazo vseh elementov rezalnih orodij, prav tako pa tudi sestavljenih orodij v orodjarni,
- modul za napovedovanje razpoložljivosti rezalnih orodij.

1.3.1 Osnovni modul

Osnovni modul je dejansko podatkovna baza, ki vključuje vse tehnične podatke, trenutni kraj in trenutno stanje posameznega rezalnega orodja v orodjarni. Modul je urejen tako, da ima vsako posamezno orodje enoznačno določeno prepoznavno številko. Sestavljena orodja so prepoznavna pod prepoznavno številko držala orodja, vsak na novo vnesen del v sistem pa dobi novo še ne uporabljeno prepoznavno številko. Deli, ki so izrabljeni in so zato izločeni iz sistema, "odnesejo" prepoznavno številko (PŠ) s seboj, tako da le-ta ne more biti uporabljena za označitev novih delov.

Podatki o različnih elementih orodij, na primer držala, adapterji, svedri, frezala, so shranjeni v različnih preglednicah z namenom, da je struktura podatkov zmanjšana na najmanjšo mero. Poleg teh preglednic je v sistemu ustvarjena preglednica vseh elementov v sistemu, v kateri so shranjeni podatki o PŠ, tipu, stanju ter lokaciji posameznega elementa.

Forme in poizvedbe so v osnovnem modulu izoblikovane na uporabniško primeren in učinkovit način. To je mogoče izvesti z uporabniškim vmesnikom, ki vključuje uporabo črtne kode ter posebnih nosil PŠ za vse sestavne dele orodij.

Pomemben del osnovnega modula je tudi preglednica vseh sprememb. V tej preglednici se zapisujejo vse spremembe pomembnih značilnosti za vsak sestavni del ali element. Tako je mogoče z uporabo te preglednice pridobiti stanje poljubnega rezalnega orodja v poljubnem trenutku preteklosti. Prav tako ta preglednica zagotavlja podatke o vodenju popolnega razvoja za vsak posamezen element in je pomembna kot vir podatkov za kasnejše analize.

1.3.2 Modul napovedovanja razpoložljivosti

Modul napovedovanja porabe orodij temelji na zamisli, ki pravi, če je mogoče iz preglednice

- Managing the "history" of usage, wearing out and the applied machining conditions are needed for later analysis of the cutting tool's flow as well as for analysis and selection of the cutting-tools and the machining conditions.

1.3 Developed tools of SATM

Based on the desired characteristics of the SBTM system, a conceptual solution has been proposed that is based upon a database and a simulation technique. It consists of two modules:

- a basic module that includes a database of all tool elements and parts as well as the assembled tools in the workshop,
- a module for predicting the cutting tools' availability.

1.3.1 Basic module

The basic module is actually a database with all the data relating to the technical specification, the location and the temporary condition of the cutting tools in the workshop. It is organised in such a way that each part of the tools has a unique identification (ID) number. The assembled tools take over the identification number of the tool holder and each new part of the tools gets a new identification number. The parts that are worn out and removed from the system take the ID number with them, so it cannot be used for any new parts.

The data of different types of parts, such as tool holders, adapters, drills or milling borers, for example, are recorded in different tables, so the data structure is reduced to a minimum. Besides these tables, there is also a table of all the elements in the system, where the ID, type of element, condition and location of the element are recorded.

The forms and queries of the basic module are organised in a user-friendly way. With the implementation of barcode readers and special ID holders for all the parts or elements, the human-machine interface is as efficient as possible.

The important part of the basic module is the table of all the changes. In this table all the changes to any significant characteristics of every part or element in the database are recorded. In this way, from any state of the database, previous states can be restored. In fact for each element the whole history is recorded and can be implemented for analysis.

1.3.2 Predicting module

The predicting module is based on the idea that if any previous state of the tools in the system

sprememb dobiti podatke o stanju sistema za poljuben čas v preteklosti, je mogoče za znano preglednico sprememb dobiti tudi stanje v prihodnosti. Iz tega stanja pa je mogoče napovedati razpoložljivost rezalnih orodij v prihodnosti.

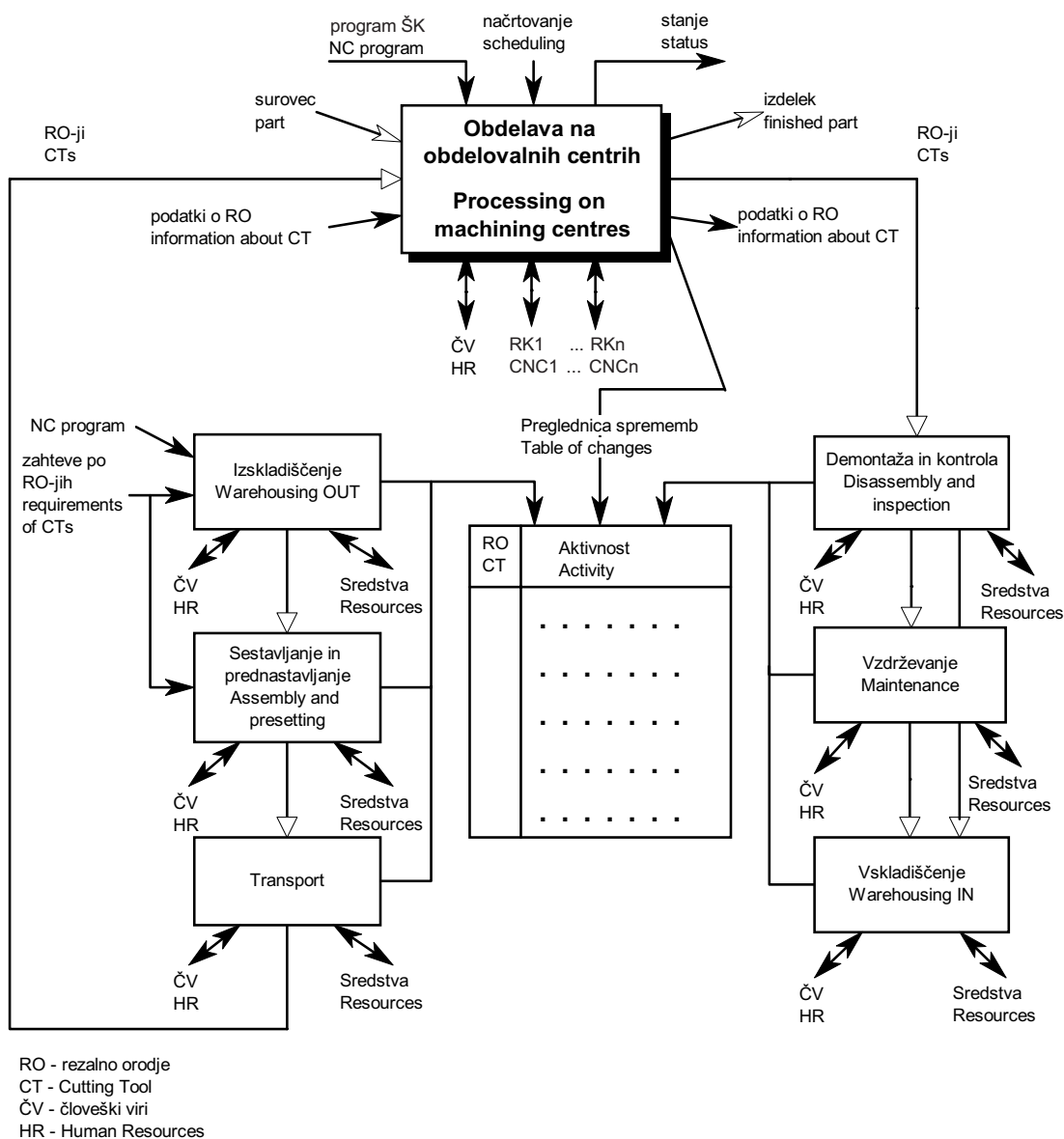
Toda vprašanje je, kako dejansko dobiti preglednico sprememb vnaprej. Ena od možnosti je z uporabo simulacije, saj je na podlagi poznane proizvodnega načrta, terminskega načrta, programov ŠK ter obdelovalnih parametrov mogoče "dejansko" proizvodnjo simulirati. Tako je mogoče dobiti podatke o razpoložljivosti in stanju rezalnih orodij za določeno časovno obdobje vnaprej.

S simulacijo proizvodnje lahko tako dobimo podatke o potrebnih rezalnih orodjih. Če vsebuje simulacijski model toka elementov v orodjarni tudi tok rezalnih orodij, potem so aktivnosti, ki so potrebne za podporo tega toka, neposredno povezane s

can be obtained using the table of changes, then any future state can also be obtained if the recorded changes are known. From this the availability of tools during a particular period in the future can be predicted.

However, there is the question of how the table of changes can be obtained in advance. One approach is to implement a simulation technique. If the production plan, scheduling, NC programmes and operating parameters are known, "real" production can be simulated in advance. So the future state of the system can be obtained for the period of time when we want to know the availability and condition of the cutting tools.

So the simulated production can be a generator of requirements for the cutting tools. If the simulation model of the part flow on the shop floor is extended with cutting-tools flow, then the activities



Sl. 1. Aktivnosti, ki podpirajo tok rezalnih orodij in preglednica sprememb
Fig. 1. Activities supporting the cutting-tools flow and the table of changes

spremembo podatkov v podatkovni bazi orodij. Ta postopek je dejansko način za ustvarjanje preglednice sprememb (sl. 1), s tem da mora biti v tem primeru simulacijski model povezan ali pa integriran s podatkovno bazo.

2 SIMULACIJA NA PODLAGI RAZŠIRJENIH PETRIJEVIH MREŽ

Na trgu je dandanes mogoče dobiti več simulacijskih programov in jezikov, ki pa niso praktični za preprosto uporabo, niti jih ni mogoče preprosto integrirati v sistem podatkovnih baz, kar sta zahtevi koncepta RUOS. Zato je bilo treba razviti poseben modul, s katerim lahko uporabnik transparentno izvaja simulacijo. Jedro tega modula je teorija Petrijevih mrež, saj so le-te na splošno zelo primerno orodje za modeliranje in simulacijo diskretnih sistemov in so tudi zelo dobro matematično podprte.

2.1 Petrijeve mreže

Od njihovega nastanka leta 1967 so osnovno teorijo Petrijevih mrež nenehno razvijali in razširjali z namenom, da bi lahko z njimi čim bolj popisali in analizirali strukturo in obnašanje diskretnih sistemov ([7] in [8]). Prednost Petrijevih mrež se pokaže predvsem pri modeliranju, saj je to preprosto in močno orodje, ki ima tudi matematično podlago in s katerim lahko razumljivo opišemo strukturo opazovanega sistema. Šibkejša stran pa je analiza dinamičnega obnašanja opazovanega sistema, saj analitične rešitve v praktičnih primerih hitro pridejo do svojih meja.

Tako ostane za analiziranje dinamičnega obnašanja diskretnega sistema tehnika diskretne simulacije praktično najbolj sprejemljiva. Sicer je simulacija na podlagi modela aktivnosti (Petrijeve mreže) v praksi najmanj uporabljana, saj naj bi bila počasnejša od simulacije na podlagi modela dogodkov in procesov, je pa za uporabo, pri kateri se med samo simulacijo poleg parametrov spreminja tudi model in pri kateri je potrebno sodelovanje drugih programov ali pa uporabnika, bolj primerna [9].

V bistvu je Petrijeva mreža (PM) usmerjen, obtežen, dvostranski graf z dvema tipoma vozlišč, in sicer z mesti in prehodi (teoretične osnove razširjenih Petrijevih mrež so podane v [10]), v pričujoči uporabi pa lahko mesta uporabimo kot stanje sistema, prehode pa kot aktivnosti, ki vodijo iz enega stanja v drugo. Mesta na vhodu v aktivnost lahko razumemo kot pogoje in mesta na izhodu iz aktivnosti kot posledico izvajanja te aktivnosti. Iz take opredelitve že lahko intuitivno sklepamo, da obstaja formalna povezava med preglednico sprememb, ki je jedro sistema RUOS, in načinom modeliranja s Petrijevimi mrežami.

needed to support this flow are directly connected with the changing of information in the tool database. In this way the table of changes can also be obtained (Fig. 1). For this, however, the simulation has to be connected or integrated with the tool database.

2 SIMULATION BASED ON EXTENDED PETRINET

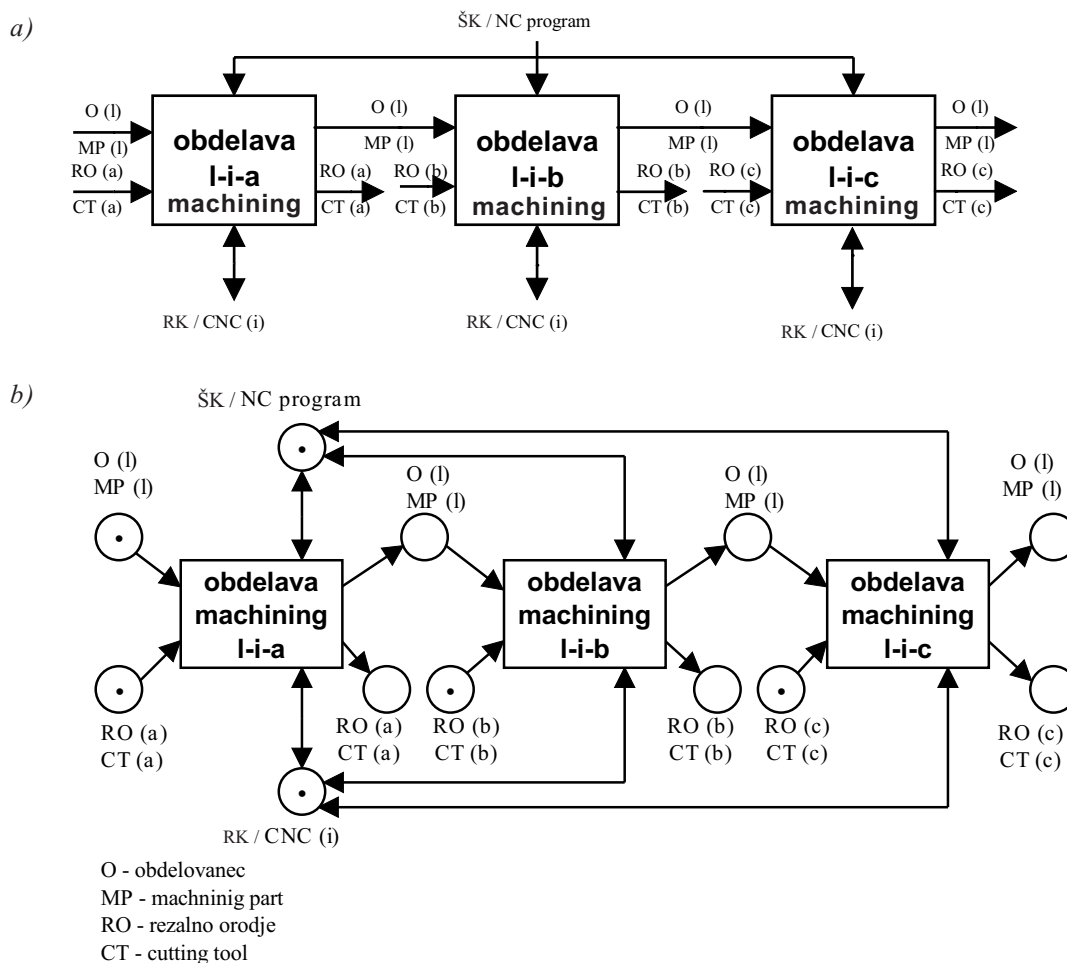
There are many simulation programmes and languages available on the market, but they cannot be so easily integrated into the database system as the SATM concept. For this reason a special module has to be developed that enables a transparent execution of the simulation. The core of this module is the Petri nets' theory, which is a very convenient tool for modelling and simulating discrete systems because it is mathematically well supported.

2.1 Petri nets

The basic theory of Petri nets was developed in 1967, and since then it has been constantly developed and enhanced with the aim of using it to describe and analyse the structure and behaviour of discrete systems as well as possible ([7] and [8]). The advantage of using Petri nets is their modelling ability, they are easy to use and are powerful tools that make it possible to describe an observed system's structure. Their weak point is an ability to analyse the dynamic behaviour of an observed system because of the limitation of analytical solutions for practical cases.

The discrete simulation technique is, in practice the most appropriate way to obtain the dynamic behaviour of a discrete system. In practice, the simulation on the basis of the activity model (Petri nets) is not often used because it would be slower than event- or process-based simulations. But in cases when the parameters and model are changing during the simulation process and the interaction of other programmes or users is needed, the activity-based simulation is more convenient [9].

In the basic theory, the Petri net (PN) is a directed, weighted, bipartite graph consisting of two types of nodes, called places and transitions (the theoretical basis of extended Petri nets can be found in [10]). In the present case, places represent the state of the system and transitions represent activities that lead from one state to another. Input places of particular activity can be understood as conditions, and output places of activity as consequences of activity execution. From this definition we can infer intuitively on a formal connection between the table of changes, that is the core of the SATM system, and the modelling method with Petri nets.



Sl. 2. Primer dela obdelave na RK stroju, predstavljen z modelom aktivnosti (a) in modelom Petrijevih mrež (b)
Fig. 2. An example of CNC machining, represented by (a) activity model and (b) Petri nets' model

2.2 PM in preglednica sprememb

Preglednica sprememb je dejansko zaporedje aktivnosti v delavnici, ki so povezane s sestavljenimi orodji ali njihovimi elementi. Če pogledamo na primer obdelavo na RK obdelovalnem centru RK(i) z določenim orodjem(j), potem lahko diagram aktivnosti (generični diagram aktivnosti GDA) prevedemo po analogiji GDA-PM [9] v graf Petrijeve mreže (sl. 2) v razširjeni inačici, pri kateri so uporabljeni žetoni objektnega tipa z atributi, ki se med aktivnostjo lahko spremenijo. V preglednico sprememb se zapišejo samo aktivnosti in posledice (stanja na izhodu iz aktivnosti). Za primer modela na sliki 2 je preglednica sprememb prikazana na sliki 3.

Izvajanje modela Petrijeve mreže oziroma simulacija poteka tako, da se v določenem trenutku izvede tisti prehod t_i , ki je takrat omogočen, s tem pa se spremeni stanje M_k v M_{k+1} , kar lahko zapišemo z enačbo stanja kot:

$$M_k = M_{k-1} + C^T u_k \quad (1),$$

2.2 PN and table of changes

The table of changes is actually a sequence of activities in a workshop that are related to cutting tools or their parts. For example, the activity diagram (generic activity diagram GAM) for a process on a CNC machining centre CNC(i) with a particular cutting tool (j) can be translated, on the basis of an analogy between GAM and PN [9], into an extended Petri nets' graph, where an object type of tokens with attributes are implemented and can be modified during activity execution. The table of changes contains records of particular activity, and the changes related to the cutting tools (output places of an the activity). The table in Figure 3 is, for example, a table of changes for the model in Figure 2.

The execution of the Petri nets' model, e.g. a simulation, is carried out by firing the enabled transitions. In a single moment only a transition t_i , which is enabled, fires, and so changes the state M_k to a new state M_{k+1} , which can be written using the state equation as:

aktivnost activity	PŠ orodja cutting tool ID	atribut 1 attribut 1	atribut 2 attribut 2	...	atribut n attribut n
...	...	...	...	...	...
obdelava () cutting process ()	orodje j cutting tool j	preostala doba trajanja orodja residual life span of cutting tool	parametri obdelave cutting process parameters	...	mesto v zalogniku place in tool storage
obdelava () cutting process ()	orodje j cutting tool j	preostala doba trajanja orodja residual life span of cutting tool	parametri obdelave cutting process parameters	...	mesto v zalogniku place in tool storage
obdelava () cutting process ()	orodje j cutting tool j	preostala doba trajanja orodja residual life span of cutting tool	parametri obdelave cutting process parameters	...	mesto v zalogniku place in tool storage
...	...	...	...	...	...

Sl. 3. Preglednica sprememb

Fig. 3. Table of changes

kjer sta C dogodkovna matrika in u_k vektor proženja, v katerem so vsi elementi nič razen na i -tem mestu je 1, kar pove, da se je v k -tem proženju izvedel prehod t_i .

Proženje prehodov se ponavlja, dokler se izvajanje modela ne ustavi. Celoten potek simulacije lahko zapišemo tudi kot zaporedje prehodov:

where C is the incidence matrix and u_k is the firing (or control) vector with all the elements equal to zero, except for the element on the i^{th} place, which is equal to 1. This represents to execution of the transition t_i at k -firing.

The firing of enabled transitions is repeated until the execution of the model is interrupted or there are no more enabled transitions. The total simulation course can also be written as a firing sequence:

$$\{u_1, u_2, \dots, u_d\} \quad (2),$$

ki pripeljejo sistem iz začetnega M_0 v končno stanje M_d , samo izvajanje pa zapišemo z enačbo stanja kot:

that brings the observed system from the initial state M_0 to the final state M_d . This can be written using the state equation as:

$$M_d = M_0 + C^T \sum_{k=1}^d u_k \quad (3).$$

Preglednico sprememb za celoten model lahko zapišemo kot zaporedje elementov:

The table of changes for the entire system can be written as a sequence of components:

$$\{\{u_1, M_1\}, \{u_2, M_2\} \dots \{u_d, M_d\}\} \quad (4),$$

kjer nam pove u_k , kateri prehod oziroma katera aktivnost se je izvedla v določenem trenutku, M_k pa stanje po tem izvajanju. Seveda bi bil tak zapis preobsežen in tudi nepotreben, saj nas zanimajo samo aktivnosti, ki povzročijo spremembo stanja na mestih, ki so povezana z orodji oziroma njihovimi elementi (RO(i) na sliki 2). Zato tvorimo podmnožico množice vsem prehodov:

where u_k represents a transition (activity) that has been executed in the instance k , and M_k represents the conditions (state) after that execution. This type of record is too extensive and unnecessary for the table of changes because the table only has important activities that cause changes to the places that are related to cutting tools or their elements (CT(i) on Figure 2). So a subset of all the transitions is determined as:

$$T_{RO} \subseteq \{t_1, t_2, \dots, t_n\} \quad (5),$$

kjer velja za vsak t , da je vsaj eno vhodno ali izhodno mesto iz P_{RO} oziroma iz podmnožice množic vseh mest:

where for each t it holds that at least one input or output place is from P_{RO} , i.e. from a subset of all the places:

$$P_{RO} \subseteq \{p_1, p_2, \dots, p_m\} \quad (6),$$

kjer velja za vsak p , da so v njem lahko objektni žetoni, ki pomenijo orodja ali njihove elemente.

Nadalje lahko opredelimo $\{v_1, v_2, \dots, v_l\}$ kot zaporedje, ki ga sestavljajo samo tisti elementi zaporedja $\{u_1, u_2, \dots, u_d\}$, katerih prehodi t so iz množice T_{RO} .

V preglednici sprememb stanja orodij tudi ne potrebujemo stanja celotnega sistema M_k , temveč samo stanje izhodnega mesta $p \in P_{RO}$ prehoda t , ki se je izvedlo v proženju k , kar zapišemo z r_k .

Iz tega lahko zapišemo preglednico sprememb stanja orodij kot zaporedje elementov:

$$\{\{v_1, r_1\}, \{v_2, r_2\} \dots \{v_l, r_l\}\} \quad (7).$$

Ker imajo vsa mesta $p \in P_{RO}$ kapaciteto 1, kar pomeni, da je lahko v določenem trenutku v takem mestu samo en objektni žeton, je stanje izhodnega mesta r_k opredeljeno kar z žetonom oziroma z atributi tega žetona, ki dejansko pomenijo stanje določenega orodja ali elementa orodja.

2.3 Izvajanje simulacije

Opisana povezava modela Petrijeve mreže in preglednice sprememb je formalna in tudi matematična osnova za razvoj simulacijskega sistema, s katerim lahko zgradimo model in izvajamo simulacijo, pri čemer se ustvari tudi preglednica sprememb.

Jedro sistema je simulacijski programom PN_EXE [9], ki izvaja na teoriji razširjenih Petrijevih mrež osnovan model opazovanega sistema. Za simulacijo delavnice in toka orodij je bil PN_EXE razširjen z objektnimi žetoni in z možnostjo generiranja preglednice sprememb.

3 PRIMERI IN UGOTOVITVE

Preizkus delovanja postavljenega koncepta je bil izveden na preprostem primeru iz prakse, ki obsega regalno skladišče orodij in delo operaterja, ki jemlje in vrača orodja v skladišče. Tak preprost primer je bil uporabljen predvsem zato, ker so bili na voljo dejanski podatki o stanju orodij v regalnem skladišču in preglednica sprememb za obdobje treh mesecev, ki jo je v dejanski orodjarni izpolnil za omenjeno obdobje operater sedanjega regalnega skladišča.

Za preizkus sta bila izdelana baza podatkov obdelovalnih orodij (kot sistem RUO) in simulacija delovanja opisanega primera (kot modul za napovedovanje razpoložljivosti obdelovalnih orodij). Za bazo podatkov je bil uporabljen MS Access, aplikacija pa je bila napisana s programskim jezikom Visual Basic.

Preizkus je bil sestavljen iz ažuriranja baze podatkov obdelovalnih orodij na podlagi prejšnjega

which only places, with object-type tokens that represent cutting tools or their elements can be part of.

A further sequence $\{v_1, v_2, \dots, v_l\}$ can be defined, which contains only elements from the sequence $\{u_1, u_2, \dots, u_d\}$, whose transitions t are from the set T_{RO} .

In the table of changes of the cutting tools' state, there is no need for a record of the entire system state M_k , but only the state r_k , which describes the condition of the output place $p \in P_{RO}$ of transition t that has been executed in the firing instance k .

So the table of changes can be determined as a sequence of elements:

The capacity of all the places from P_{RO} is 1, so in a particular place $p \in P_{RO}$, only one object's token can be present at a time. From that the output place condition r_k is determined with a token or attributes that actually represent the condition of a particular cutting tool or its elements.

2.3 Executing the simulation

The described relationship between the Petri-net model and the table of changes is a formal and also a mathematical basis of the developed simulation system, which is used for model generation and simulation execution, where the table of changes is also obtained.

The core of the system is the simulation programme PN_EXE [9] that executes the simulation model of the observed system based on extended Petri nets' theory. For the workshop and cutting-tools flow simulation the PN_EXE has been extended with object tokens, which represent cutting tools, and have the ability to generate the table of changes.

3 EXAMPLES AND DISCUSSION

The SATM concept was tested on a simple practical example that includes a cutting-tools warehouse and an operator that takes cutting tools from and back to the warehouse. This simple example was used as a test bed because we had the actual data about cutting tools in the warehouse as well as the table of changes for a period of three months, which was completed by the operator of the warehouse.

For a test, a database of cutting tools (as a CTM system) and the simulation model of the described example (as a module for forecasting the availability of cutting tools) were completed. For the database management system we used MS Access, and the application program were written in the Visual Basic program language.

The test was conducted by updating the database of the cutting tools on the basis of the previ-

stanja ter dejanske preglednice sprememb in nastajanja preglednice sprememb s simulacijo dela operaterja. Glavne rezultate preizkusa in izkušnje, pridobljene pri razvoju sistema RUOS in pri praktični uporabi baze podatkov obdelovalnih orodij v orodjarni (RUO), lahko strnemo v naslednje ugotovitve:

- Baza podatkov obdelovalnih orodij se je pravilno ažurirala, saj so bili podatki o obdelovalnih orodjih v bazi enaki dejanskemu stanju orodij v sistemu. To dokazuje uporabnost izdelanega algoritma.
- Tudi na temelju simulacije nastala preglednica sprememb je bila enaka dejanski preglednici sprememb, kar potrjuje pravilnost simulacijskega programa glede na postavljeno matematično formulacijo in potrjuje veljavnost modela glede na dejanski opazovani sistem.
- Za industrijsko uporabo bo potrebno razviti koncept in algoritme uporabiti na primernejšem informacijskem sistemu kakor je MS Access, tako da ga bo moč integrirati z veljavnimi informacijskimi tehnologijami posamezne orodjarne in tako uporabiti že znane podatke in tudi drugim uporabam omogočiti dostop do podatkov o obdelovalnih orodjih.
- Sistem RUOS bo glede na izkušnje s sistemom RUO za regalnno skladišče v praksi za uporabnika uspešen le z učinkovitim vmesnikom, saj bo deloval pravilno le, če bo zagotovljeno dosledno vnašanje in ažuriranje podatkov.

4 SKLEPI

Koncept računalniškega upravljanja z obdelovalnimi orodji je nastal na podlagi potreb in zelenega načina dela v orodjarnah. Kljub njihovi enostavnosti in razumljivosti je orodjarna oziroma njen proizvodni del tako zapleten sistem, da je težko preprosto razviti in vpeljati tak informacijski sistem, ki bi izpolnil vse potrebe in želje. Kljub temu pa rezultati dosedanjega dela pri razvoju sistema RUOS kažejo, da bo mogoče postavljen koncept tudi uresničiti.

Seveda pa bo treba imeti za uvajanje sistema RUOS v orodjarne poleg znanja in izkušenj tudi zaupanje potencialnih uporabnikov, da bo njegova uvedba v orodjarnah res reševala problematiko orodne logistike. Zato je treba hkrati z izdelavo industrijske različice sistema RUOS razviti tudi sistem, s katerim se bo lahko prikazalo, da obstaja v orodjarnah veliko pomanjkljivosti, za katere niti ne vejo, ker nimajo o tem ustreznih podatkov, in ki jih je z uvedbo sistema RUOS mogoče odpraviti.

ous state and the actual table of changes, and by generating the table of changes with the simulation of the operator's work. The results of the test and the experience gained by developing the SATM system and by practical use of the cutting tools' database in the tool-shop (CTM) can be summarised as follows:

- The database of cutting tools was updated correctly since the data of the cutting tools in the database were the same as the actual state of the cutting tools in the warehouse. This proves the applicability of the elaborated algorithm.
- The table of changes generated with the simulation was identical to the actual table of changes, which confirms the simulation program regularity regarding the set of the mathematical formulation and confirms the model validity regarding the actual observed system.
- For an industrial application it will be necessary to apply the developed concept and algorithms on a more suitable information platform than MS Access, so that it will be possible to integrate the SATM system within the existing information technologies of a particular tool-shop. In this way the SATM can use the necessary data from other applications and give other applications access to the cutting-tools data.
- According to our experiences with the SATM it will only be successful in practice if there is an efficient user interface. In other words, the SATM system will operate properly only if consistent recording and updating of the cutting-tools data is ensured.

4 CONCLUSIONS

The concept of computerized tool management was developed on the basis of requirements and the requested way of working in tool shops. In spite of its simplicity and comprehensibility, the tool shop, or its production part, is a very complex system. An informational system that would satisfy all the needs and requests is hard to develop and introduce. In spite of this the results of the SATM system development indicate the possibility of realizing the planned concept.

In order to introduce the SATM system in tool shops it will certainly be necessary to make potential users of the SATM system believe will help it them to solve problems of cutting-tool logistics. In parallel with the development of an industrial version of SATM it is necessary to develop a system that will point out the existence of deficiencies in tool shops, which are unknown because of the unsuitable data and which could be easily suppressed by initiating the SATM system.

5 LITERATURA

5 REFERENCES

- [1] Butala, P. (1991) Sistem orodij za modularno računalniško integrirane obdelovalne sisteme. *Doktorska disertacija*, Fakulteta za strojništvo, Univerza v Ljubljani, Ljubljana.
- [2] Miller, G. (1995) Total tool management: cracking the cost spiral, *Machinery and Production Engineering*, 153, 3898, UK, 20-21.
- [3] Muršec, B. F. Čuš, J. Balič (2000) Organization of tool supply and determination of cutting conditions. *Journal of Materials Processing Technology* Vol. 100, Issues 1-3, Amsterdam, 241-249.
- [4] Maropoulos, P. G. (1996) Integrated tool life prediction and management for an intelligent tool selection system. *Journal of Materials Processing Technology* Vol. 61, Issues 1-2, Amsterdam, 225-230.
- [5] Debevec, M. (2000) Logistika obdelovalnih orodij v orodjarni. *Diplomska naloga*, Fakulteta za strojništvo, Univerza v Ljubljani, Ljubljana.
- [6] Noe, D., T. Perme, M. Debevec (2002) Računalniško upravljanje orodij RUO-1. *Končno poročilo: RR faza projekta*, Fakulteta za strojništvo, Univerza v Ljubljani, Ljubljana.
- [7] Murata, T. (1989) Petri nets: properties, analysis and applications. *Proceedings of the IEEE*, Vol. 77, No. 4, 541-580.
- [8] Peterson, L. J. (1981) Petri net theory and modelling of systems. *Prentice-Hall International*, Englewood Cliffs, ZDA.
- [9] Perme T. (1999) Ein neues Simulationskonzept zur rechnergestützten Planung von Montagesystemen. Dissertation, *Technische Universität Wien*.
- [10] Perme, T. (2003) Načrtovanje izdelovalnih sistemov, podprto s simulacijo. *Strojniški vestnik*, 49(2003)1, str. 28-49, Ljubljana

Naslov avtorjev: Mihael Debevec

dr. Tomaž Perme
prof.dr. Dragica Noe
Fakulteta za strojništvo
Univerza v Ljubljani
Aškerčeva 6
1000 Ljubljana
miha.debevec@fs.uni-lj.si
tomaz.perme@fs.uni-lj.si
dragica.noe@fs.uni-lj.si

Authors' Address: Mihael Debevec

Dr. Tomaž Perme
Prof.Dr. Dragica Noe
Faculty of Mechanical Eng.
University of Ljubljana
Aškerčeva 6
1000 Ljubljana, Slovenia
miha.debevec@fs.uni-lj.si
tomaz.perme@fs.uni-lj.si
dragica.noe@fs.uni-lj.si

Prejeto: 22.1.2003
Received:

Sprejeto: 29.5.2003
Accepted:

Odprt za diskusijo: 1 leto
Open for discussion: 1 year

Načrtovanje izdelovalnih sistemov, podprto s simulacijo

Simulation-Aided Planning of Manufacturing Systems

Tomaž Perme

Naraščajoča zapletenost sodobnih proizvodnih sistemov zahteva računalniško podprta orodja, s katerimi bo lahko načrtovalec bolje izkoristil svoje znanje, izkušnje, ustvarjalnost in intuicijo. Pomemben del teh orodij je simulacija, saj je le z njo mogoče pridobiti "dejanske" lastnosti izdelovalnih in montažnih sistemov že v fazi njihovega načrtovanja. Glavni del tega prispevka opisuje razvoj simulacijskega paketa (LASIMCO) za računalniško podprto načrtovanje izdelovalnih in montažnih sistemov, prikazana pa je tudi uporaba tega orodja na dejanskem primeru.

© 2003 Strojniški vestnik. Vse pravice pridržane.

(Ključne besede: sistemi proizvodni, planiranje računalniško podprto, proizvodnja navidezna, mreže Petri)

The increasing complexity of modern manufacturing systems calls for computer-aided planning tools, which can help planners better use their knowledge, experience, creativity and intuition. Only by means of a simulation, which is a significant part of these tools, can the "real" properties of a manufacturing or assembly system be obtained during the planning phase. The main parts of this paper describe the development of a simulation package (LASIMCO) for the computer-aided planning of manufacturing and assembly systems, as well as the use of this tool in a case study.

© 2003 Journal of Mechanical Engineering. All rights reserved.

(Keywords: manufacturing systems, computer-aided planning, virtual manufacturing, Petri nets)

0 UVOD

Računalniško integrirana proizvodnja (RIP - CIM) brez ljudi je samo domišljija, prav tako pa tudi sistem za načrtovanje, ki bi načrtal izdelovalni sistem na podlagi podanih zahtev brez človeške sodelave. Kratica RIP pa ima tudi bolj dejanski pomen, kakor je na primer stalno izboljševanje izdelave. V tem pomenu je treba razmišljati tudi pri razvoju in re-inženiringu izdelovalnih in tudi montažnih sistemov.

Tako je pri načrtovanju proizvodnih sistemov v splošnem treba posebno pozornost posvetiti dvema stvarima: stalnemu izpopolnjevanju samih proizvodnih sistemov in orodjem, ki so v pomoč načrtovalcem, da lahko pri svojem delu izkoristijo vse svoje znanje, izkušnje, ustvarjalnost in intuicijo.

Tu seveda ni nobenega navodila za razvoj takih orodij, saj ima namreč vsak preizkus svoje dobre

0 INTRODUCTION

Computer-integrated manufacturing (CIM) without the need for workers and operators is a mere fiction, so too is a planning system that could design a manufacturing system on the basis of predefined requirements without only human interaction. But the abbreviation CIM can also have a more realistic meaning, like the continuous improvement of manufacturing; and in this sense the design and re-design of manufacturing as well as assembly systems need to be considered.

There are, therefore, two main points to focus on: the continuous improvement of manufacturing systems and the planning of tools to assist planners in using all their knowledge, experience, creativity and intuition to accomplish the first objective as successfully as possible.

There is no recipe for the development of such tools. Each attempt has its own potential and

in slabe strani. Namen tega prispevka je predstaviti razvoj orodja, ki je zasnovano na zamisli navidezne izdelave in simulacije. Le ta temelji na razširjenih Petrijevih mrežah, ki omogočajo upoštevanje tako logičnih kakor tudi nekaj fizičnih lastnosti pri proučevanju načrtovanega sistema [1].

1 NAVIDEZNA IZDELAVA IN SIMULACIJA

Zamisel navidezne izdelave (NI), ki sta jo prva vpeljala Iwata in Onosato [2], rabi kot zapoved in osnovni okvir za razvoj orodij za načrtovanje izdelovalnih sistemov. Namen zamisli NI je integracija znanih modelov proizvodnje, tehnik analiziranja in oblik predstavitve v povezan, skladen in razumljiv sistem na način, ki omogoča, da se lahko preizkusijo in preverijo nove tehnike in metode načrtovanja in krmiljenja proizvodnje brez uporabe in motenj dejanskega proizvodnega sistema (DPS).

Da bi to lahko dosegli, je potrebno imeti napredno znanje o proizvodnji in uporabiti napredne računske tehnike. Interdisciplinarnost je že sama po sebi vsebovana v razvoju NI, ki mora biti prilagodljiv in odprt za simuliranje različnih vrst proizvodnih sistemov na način, ki omogoča izpopolnjevanje tako dejanskega kakor tudi navideznega proizvodnega sistema.

Beseda "navidezen" pomeni v bistvu to, da se aktivnosti v informacijskih in izdelovalnih procesih izvedejo v računalniku in z njim, pri čemer so sredstva in material objekti, ki so predstavljeni z informacijami. Glede na zamisel NI je lahko proizvodni sistem dejanski ali pa navidezen, predstavimo ga lahko v naslednji obliki (sl. 1) kot: dejanski fizični podsistem (DFP), dejanski informacijski podsistem (DIP), navidezni fizični podsistem (NFP) in navidezni informacijski podsistem (NIS).

Iz teh štirih osnovnih razlag izdelovalnega sistema se lahko sestavijo kombinacije, ki imajo praktični pomen v dejanskem okolju. Kombinacija NFP-DIP je na primer pomembna za postavitev navideznega izdelovalnega okolja (NIO). NFP-DIP dejansko pomeni navidezni izdelovalni sistem (fizično), kjer se izdeluje navidezni izdelek v računalniku na podlagi dejanskih informacij.

Pomemben del NI sta simulacija in prikaz rezultatov. Vernost navidezne izdelave je zelo odvisna od natančnosti rezultatov simulacije in privzetju dejanskosti njihove predstavitve. Rezultati simulacije morajo biti natančni in generirani v dejanskem času – načrtovalec mora najti ravnovesje med temi pogoji ob upoštevanju danih računalniških zmogljivosti. Problem je enak pri navidezni resničnosti (NR), ki jo lahko uporabimo tu kot obliko predstavitve. Privzetje dejanskosti pri uporabi NR je povezano z zmožnostjo opreme (računalnik, naglavni prikazovalnik,

drawbacks. The aim of this paper is to describe one such attempt, which is based on the concept of virtual manufacturing and a simulation using extended Petri nets, in such a way that the logical as well as some of the physical properties of the investigated system can be considered [1].

1 VIRTUAL MANUFACTURING AND SIMULATION

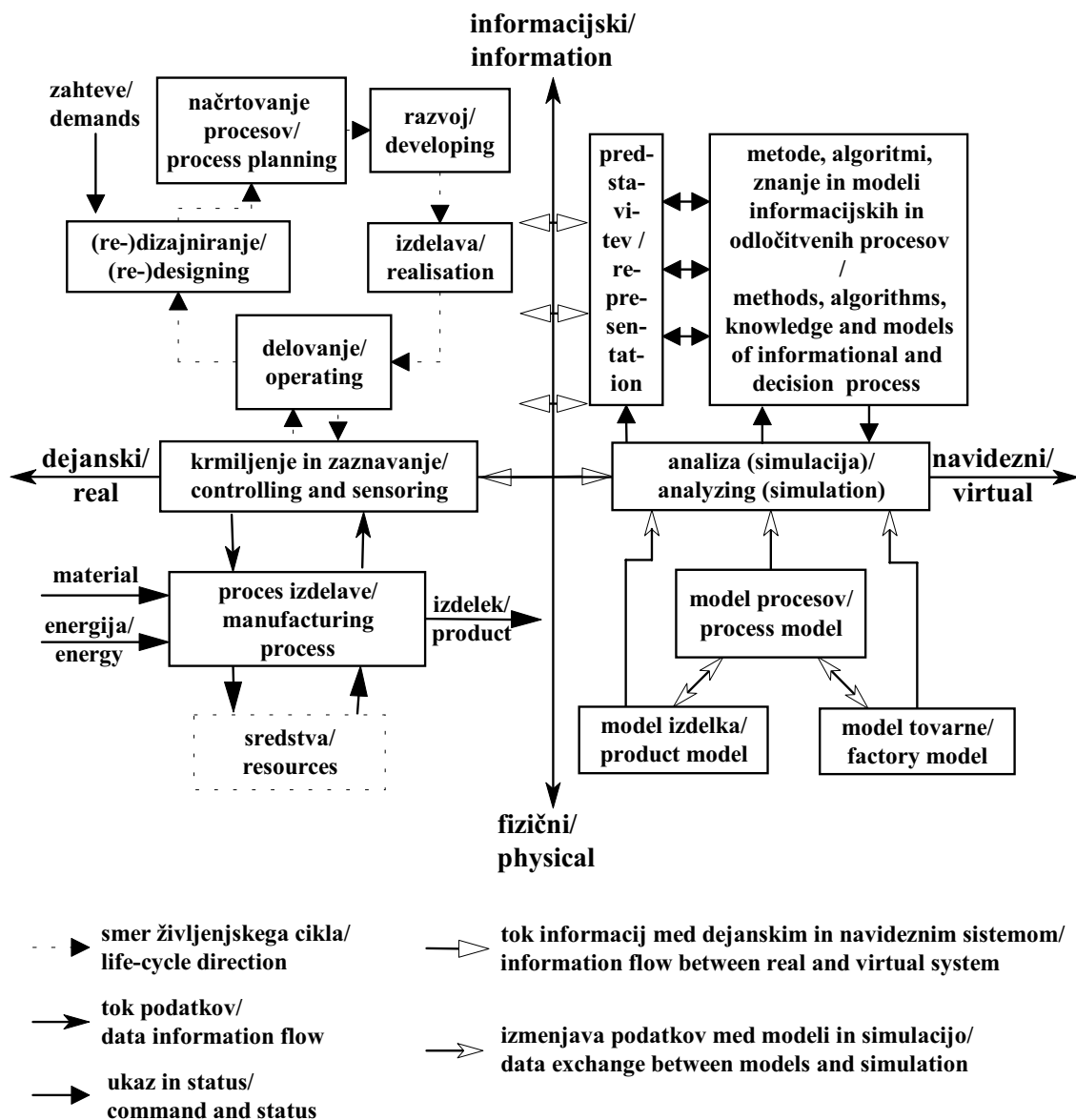
The concept of Virtual Manufacturing (VM), which was introduced by Iwata and Onosato [2], can serve as an imperative and as the basic framework for the development of planning tools for manufacturing systems. The purpose of a VM system is to integrate the existing manufacturing models, analytical techniques and presentation forms into a coherent system in such a way that new planning and control methods and techniques can be tested and verified without disturbing the real manufacturing system (RMS).

In order to achieve this, advanced knowledge of manufacturing is needed and advanced computational techniques have to be applied. Interdisciplinarity is inherent in the development of VM systems, which must be flexible and open enough to simulate different types of manufacturing systems in a way that enables the continuous improvement of real as well as virtual manufacturing processes.

The term "virtual" means that the activities within the information and manufacturing process are accomplished by and within a computer, and the resources and material are the objects described and represented by the information. According to the VM concept, the manufacturing system can be either real or virtual and can be presented in the form of a real physical subsystem (RPS), a real information subsystem (RIS), a virtual physical subsystem (VPS) and a virtual information subsystem (VIS) (Fig. 1).

From these four basic interpretations of manufacturing systems, combinations can be set up that have a practical significance in a real environment. The combination of a VPS and an RIS is sensible for establishing a virtual manufacturing environment (VME). In effect, VPS-RIS means a virtual manufacturing system (physically) where a virtual product is manufactured by a computer on the basis of real information.

Important elements of VM include the simulation and presentation of the results. The "reality" of the VM system is closely connected with the accuracy of the simulation results and the assumption of reality in the presentation. The results of the simulation must be accurate and generated in real time; the designer must find a balance between these conditions within the given computational capacity. The problem is the same in virtual reality (VR), which can be used as a form of presentation. The assumption of reality in the use of VR is connected to the capability of the equipment (computer, head-



Sl. 1. Fizični in navidezni deli informacijskih in izdelovalnih procesov [3]
Fig. 1. Physical and virtual parts of the information and manufacturing processes [3]

podatkovne rokavice in drugi vmesniki) za uglasitev uporabnika z navideznim okoljem.

Od možnih kombinacij se lahko postavi okolje za navidezno izdelavo, ki ga sestavljajo trije osnovni modeli dejanskega izdelovalnega sistema, in sicer model izdelka, model procesov in model tovarne. Ti modeli se lahko analizirajo s simulacijo, rezultati pa predstavijo v obliki, ki se približuje dejanskosti.

2 RAZŠIRJENE PETRIJEVE MREŽE IN NJIHOVA IZVEDBA

Dejanski izdelovalni ali montažni sistem (DIS) se lahko opazuje kot odprto množico osnovnih aktivnosti, ki se izvajajo posamično in ki potrebujejo za to določena sredstva, za katera se potegujejo, ter informacije, ki jih krmilijo. Te aktivnosti so potrebne za pretvorbo materiala z uporabo energije v končni

mounted display, data glove and other interface devices) to attune the user to the virtual environment.

From the various possible combinations, a VME can be set up containing three basic models of real manufacturing systems (RMS): the product, the process, and the factory model. These models can be analysed by simulation and the results can be presented in a form approaching reality.

2 EXTENDED PETRI NETS AND IMPLEMENTATION

The real manufacturing or assembly system (RPS) can be regarded as a bug of separately executed basic activities, which require certain resources that they compete for and information they are controlled by. These activities are needed to transform material, using energy, into the final product. The resources

izdelek. Sredstva, ki omogočajo procese izdelave in montaže, vključujejo opremo, to so na primer obdelovalni stroji, orodja, transportne in strežne naprave, roboti, vpenjalni pripomočki in drugo, ter ljudi, ki delajo in upravljajo s to opremo.

Za modele procesov in tovarne, ki morajo opisati izvajanje osnovnih aktivnosti in sredstva, ki so za to potrebna, so na podlagi analogije in zahtev generičnega modela aktivnosti (GAM)[4] in njegovega matematičnega opisa[5], predlagane razširjene Petrijeve mreže (RPM).

2.1 Razširjene Petrijeve mreže

Petrijeve mreže so bile razvite v doktorski disertaciji, v kateri je Carl Adam Petri posebno pozornost posvetil opisu vzročnih zvez med dogodki [6]. Različni raziskovalci so glede na svoje zanimanje in uporabo na različne načine opredelili mnogo teoretičnih konceptov Petrijevih mrež. Formalna opredelitev Petrijevih mrež [7] z omejeno kapaciteto (mreža stanj/prehodov) [8] in razširjena s prioriteta in časom je podana kot $C=(P,T,F,K,W,M,R,Z)$ kjer:

$P = \{p_1, p_2, \dots, p_m\}$ je končna množica mest,
 $T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$ je končna množica prehodov,
 $P \cap T = \emptyset$ in $P \cup T \neq \emptyset$
 $F \subseteq (P \times T) \cup (T \times P)$ je množica povezav,
 $K: P \rightarrow \{1, 2, 3, \dots\}$ vsakemu mestu opredeli kapaciteto,
 $W: F \rightarrow \{\dots, -3, -2, -1, 1, 2, 3, \dots\}$ je utežna funkcija,
 $M_0: P \rightarrow \{1, 2, 3, \dots\}$ je začetna označitev mest,
 $R: T \rightarrow \{0, 1, 2, \dots, 9\}$ vsakemu prehodu opredeli prioriteta in
 $Z: T \rightarrow \{0, 1, 2, 3, \dots\}$ vsakemu prehodu opredeli čas.

Petrijeve mreže so dejansko usmerjen, utežen, dvostranski graf, ki ga sestavljajo dve vrsti vozlišč, imenovana mesta in prehodi. Grafično se mesta prikazujejo z krogi, prehodi pa s črto oziroma s pravokotnikom. Mesta se povezujejo s prehodi in prehodi z mesti. Teža teh povezav je pozitivno celo število, kjer pomeni povezava med dvema vozliščema s težo k dejansko k povezav med tema dvema vozliščema. Vsako mesto ima opredeljeno tudi kapaciteto $K(p)$, ki pomeni največje število žetonov, ki so lahko v mestu p naenkrat. Označitev pripiše vsakemu mestu nenegativno celo število in je označena z M . M je stolpcični vektor reda $m \times 1$, kjer m pomeni število vseh mest. Če je ne negativno celo število l pripisano mestu p , potem je mesto p označeno z l žetoni. Grafično so žetoni prikazani s pikami ali s številko.

Pravilo, ki pove, kdaj je neki prehod omogočen in se lahko izvede, je pravilo izvajanja in se opiše za RPM takole:

$\bullet p := \{t \mid (t, p) \in F\}$ je množica vhodnih prehodov mesta p ,
 $p \bullet := \{t \mid (p, t) \in F\}$ je množica izhodnih prehodov mesta p ,
 $\bullet t := \{p \mid (p, t) \in F\}$ je množica vhodnih mest prehoda t in
 $t \bullet := \{p \mid (t, p) \in F\}$ je množica izhodnih mest prehoda t .

supporting the manufacturing process are composed of equipment, such as machine tools, tools, transport and handling devices, robots, auxiliary devices, etc., and people who operate and work with the equipment.

For the process and factory model, which have to model the execution of the basic activities and resources needed for these executions, Extended Petri Nets (EPNs) have been proposed following an analogy and the requirements of the Generic Activity Model (GAM) [4] and its mathematical description [5].

2.1 Extended Petri Nets

Petri nets have been developed in the doctoral thesis of Carl Adam Petri, which described the causal relationships between events [6]. Many of the fundamental concepts of Petri nets were defined by different researchers with different motivations in different ways. A formal definition of a Petri net [7] with a finite capacity (place/transition net) [8] and extended with priority and time is given by as an 8-tuple, $C=(P, T, F, K, W, M_0, R, Z)$ where:

$P = \{p_1, p_2, \dots, p_m\}$ is a finite set of places,
 $T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$ is a finite set of transitions,
 $P \cap T = \emptyset$ and $P \cup T \neq \emptyset$
 $F \subseteq (P \times T) \cup (T \times P)$ is a set of arcs,
 $K: P \rightarrow \{1, 2, 3, \dots\}$ defines the capacity for each place,
 $W: F \rightarrow \{\dots, -3, -2, -1, 1, 2, 3, \dots\}$ is a weight function,
 $M_0: P \rightarrow \{1, 2, 3, \dots\}$ is the initial marking,
 $R: T \rightarrow \{0, 1, 2, \dots, 9\}$ defines the priority for each transition,
 $Z: T \rightarrow \{0, 1, 2, 3, \dots\}$ defines the time for each transition.

The Petri net is a directed, weighted, bipartite graph consisting of two types of nodes, called places and transitions. In a graphical representation the places are represented by circles and the transitions by bars or rectangles. Places are connected with transitions, and transitions with places. The weight of the arcs is a positive integer, where a k -weighted arc means k parallel arcs. Each place p has an associate capacity $K(p)$, which determines the maximum number of tokens that p can hold at any time. A marking assigns to each state a nonnegative integer, and is denoted by M . M is an $m \times 1$ column vector, where m is the number of places. If a nonnegative integer l is assigned to place p , the place p is marked with l tokens. In a graphical representation the tokens are represented by dots or a number.

The rule for transition enabling and firing is an execution rule, which can be described for an EPN in the following direction.

$\bullet p := \{t \mid (t, p) \in F\}$ is the set of input transitions of place p ,
 $p \bullet := \{t \mid (p, t) \in F\}$ is the set of output transitions of place p ,
 $\bullet t := \{p \mid (p, t) \in F\}$ is the set of input places of transition t ,
 $t \bullet := \{p \mid (t, p) \in F\}$ the set of output places of transition t .

Prehod t je omogočen pri določeni označitvi M , če velja:

A transition t is enabled under marking M if:

$$\forall p \in \bullet t: \begin{cases} M(p) \geq W(p, t) & \forall W(p, t) \geq 0 \\ M(p) < |W(p, t)| & \forall W(p, t) < 0 \end{cases} \quad (1)$$

$$\forall p \in t \bullet: \begin{cases} M(p) \leq K(p) - W(t, p) & \forall W(t, p) \geq 0 \\ M(p) > |W(t, p)| & \forall W(t, p) < 0 \end{cases} \quad (2).$$

Enačba (1) pomeni, da označitev vsakega vhodnega mesta prehoda t ne sme biti manjša, oziroma mora biti večja od $w(p, t)$, če $w(p, t)$ ni negativen, oziroma če je negativen. Enačba (2) pomeni, da število žetonov v vsakem izhodnem mestu p od t po izvedbi prehoda t ne sme preseči, oziroma mora biti večje od njegove kapacitete $K(p)$, če $w(p, t)$ ni negativen, oziroma če je negativen. $w(p, t)$ je utež povezave mesta p s prehodom t in $w(t, p)$ utež povezave prehoda t z mestom p .

Podmnožica prehodov $T' \subseteq T$ je omogočena pri M , če je $\forall t \in T'$ omogočen pri označitvi M .

Če je prehod omogočen, se lahko izvede ali pa tudi ne. To je odvisno od konfliktnih situacij in medsebojnega izključevanja prehodov. Prehod se lahko izvede, če je izpolnjen pogoj:

Equation (1) means that the marking of each input place should not be smaller, or have to be smaller, than $w(p, t)$ if $w(p, t)$ is not negative or it is negative, respectively. Equation (2) means that the number of tokens in each output place p of t cannot exceed or have to exceed its capacity $K(p)$ after the firing of t when $w(p, t)$ is not negative or it is negative respectively. $w(p, t)$ is the weight of the arc from place p to transition t and $w(t, p)$ is the weight of the arc from transition t to place p .

A sub-set of transitions $T' \subseteq T$ is enabled under M , when $\forall t \in T'$ is enabled under M .

If a transition is enabled, it may or may not fire. That depends on conflict situations and the mutual exclusion of enabled transitions. The transition may fire if:

$$\forall p \in \bullet t_i: p \cap T' = \{t_i\} \text{ in/and } \forall p \in t_i \bullet: p \cap T' = \{t_i\} \text{ ali/or} \quad (3)$$

$$\forall t \in T' \cap ** \text{ in/and } \forall t \in T' \cap **, t \neq t_i: R(t_i) > R(t) \quad (4).$$

Pogoj (3) pomeni, da t_i ni v konfliktni situaciji oziroma nima skupnih vhodnih in izhodnih mest z nobenim prehodom, ki bi bil hkrati omogočen. Pravilo (4) pa pravi, če obstajata dva prehoda, ki sta hkrati omogočena in imata vsaj eno skupno vhodno oziroma izhodno mesto, potem se izvede najprej tisti prehod, ki ima večjo prioriteto $R(t)$.

Omogočen prehod se lahko izvede na dva načina, kar je odvisno od časa trajanja prehoda. Prehod s časom trajanja nič ($z(t) = 0$) se izvede takoj v celoti:

Condition (3) means that t_i is not in a conflict situation, i.e. it has no common input or output places with any in the same time-enabled transition and (4) means that if two transitions are enabled and have some common input or output places, just the transition with the greater priority $R(t)$ can fire.

An enabled transition can fire in two ways, depending on the duration of the transition. Zero-time transitions ($z(t) = 0$) fire all at once:

$$M'(p) = \begin{cases} M(p) - W(p, t) & \forall p \in \bullet t \setminus t \bullet \\ M(p) + W(t, p) & \forall p \in t \bullet \setminus \bullet t \\ M(p) - W(p, t) + W(t, p) & \forall p \in t \bullet \cap \bullet t \\ M(p) & \text{sicer / else.} \end{cases} \quad (5).$$

Izvajanje omogočenega prehoda t poteka tako, da se vzame $w(p, t)$ žetonov iz vsakega vhodnega mesta p prehoda t , in da $w(t, p)$ žetonov vsakemu izhodnemu mestu p prehoda t .

Prehodi, ki imajo določen čas trajanja ($z(t) > 0$), se izvedejo v dveh korakih: najprej se izvedejo delno nato pa še do konca. Delno izvajanje prehoda t_i :

The firing of an enabled transition removes $w(p, t)$ tokens from each input place p of transition t , and adds $w(t, p)$ tokens to each output place p of transition t .

Nonzero-time transitions ($z(t) > 0$) fire in two steps: first they fire partially and then they fire to the end. Partial firing of transition t_i

$$M'(p) = \begin{cases} M(p) - W(p, t_i) & \forall p \in \bullet t_i \\ M(p) & \text{sicer / else.} \end{cases} \quad (6)$$

$$T' = T \cup \{t_i, z_i\} \quad (7).$$

pomeni jemanje $w(p, t)$ žetonov iz vhodnih mest prehoda t_i in dodajanje novega elementa (t_p, z_i) v T , kjer je T množica delno izvedenih prehodov $\{(t_p, d_1) (t_p, d_2) \dots (t_p, d_n)\}$ z elementi (t_k, d_k) , $t_k \in T$ in $d_k \in \{1, 2, 3, \dots\}$, kjer je t_k delno izveden prehod in d_k njen preostali čas do izvajanja do konca.

Izvajanje do konca prehoda t_k se zgodi, ko je preostali čas nič ($d_k=0$) in če je za t_k izpolnjen pogoj (2). Dejansko se izvedejo do konca prehodi z najmanjšim preostalim časom:

$$\forall (t, d) \in T \mid t_k \neq t : d_k \leq d \quad (8).$$

Izvajanje do konca za to omogočenega (2) prehoda t_i pri M :

$$M'(p) = \begin{cases} M(p) + W(t_i, p) & \forall p \in t_i \bullet \\ M(p) & \text{icer / else.} \end{cases} \quad (9)$$

kjer je:

where

$$t_i = t_k \mid (t_k, d_k) \in T \quad (10).$$

$$T' = T \setminus \{(t_k, d_k)\} \quad (11)$$

$$(t, d)' = (t, d - d_k) \text{ za for } \forall (t, d) \in T' \quad (12)$$

kjer velja za t da $\forall p \in \bullet t: M(p) < |W(p, t)|$ če je $W(p, t) < 0$

where for t it holds that $\forall p \in \bullet t: M(p) < |W(p, t)|$ falls $W(p, t) < 0$

Izvajanje do konca prehoda t_i pomeni dodajanje $w(t_p, p)$ žetonov vsakemu izhodnemu mestu p prehoda t_i (9), odvzem elementa (t_k, d_k) iz T (11) in odštevanje d_k od d vsem elementom v T , za katere je izpolnjen pogoj (12). Pogoj (12) pravi, če določen prehod t ni omogočen glede na drugo vrstico pogoja (2), potem se preostali čas d delno izvedenega prehoda t ne more zmanjšati za čas d_k .

Firing to the end of transition t_i means adding $w(t_p, p)$ tokens to each output place p of transition t_i (9), taking an element (t_k, d_k) from T (11) and subtracting d_k from d of all elements in T , which t fulfils conditions (12). The condition (12) says that if a transition t is not enabled by the second line of condition (2) then the remaining time d of the partially firing transition t cannot be decreased for the smallest remaining time d_k .

Petrijeve mreže so razširjene s objekti kot posebne vrste žetoni ter s atributivnimi in objektnimi mesti takole:

Petri nets are also extended with objects as a special type of tokens and attributive and object places in the following way:

$A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ je množica atributov,
 $O = \{o_1, o_2, \dots, o_n\}$ je množica objektov,
 $E: O \rightarrow A^n$ vsakemu objektu opredeljuje lastnosti,
 $P_a \subseteq P$ je podmnožica atributivnih mest,
 $P_o \subseteq P$ je podmnožica objektnih mest,
 $P_a \cap P_o = \emptyset$
 $O_s: O \rightarrow P_p \cup T$ vsakemu objektu opredeljuje natančno eno objektno mesto oziroma prehod,
 $L: P_p \rightarrow N^{12}$ vsakemu objektnemu mestu opredeljuje položaj,
 $E_a: S_a \rightarrow A$ vsakemu atributivnemu mestu opredeljuje atribut.

$A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$...set of attributes.
 $O = \{o_1, o_2, \dots, o_n\}$...set of objects
 $E: O \rightarrow A^n$ defines a characteristic for each object
 $P_a \subseteq P$...subset of attribute places
 $P_o \subseteq P$... subset of object places
 $P_a \cap P_o = \emptyset$
 $O_s: O \rightarrow P_p \cup T$ define for each object one object place or transition
 $L: P_p \rightarrow N^{12}$ define a position for each object place
 $E_a: S_a \rightarrow A$ define an attribute on an attributive place

Prehod ima lahko največ eno objektno vhodno mesto in eno objektno izhodno mesto:

A transition may have a maximum of one object place as an input and one as an output place:

$$\forall t \in T: t \bullet \cap P_i = \{\emptyset\} \vee \{p\} \wedge \bullet t \cap P_i = \{\emptyset\} \vee \{p\} \quad (13).$$

Prehod z vhodnim ali izhodnim objektnim mestom je omogočen po definicijah (2), (3) in če velja:

A transition with object places is enabled by the definition (2), (3) and when:

$$\forall p \in t \bullet \cap P_a \wedge \exists i \in \{1, 2, \dots, n\}: E_a(p) = pr_i(t) \quad (14),$$

kjer

where

$$pr_i: A^n \rightarrow A; (a_1, a_2, \dots, a_n) \rightarrow a_i$$

Pogoj (14) pomeni, da ima posamezen objekt vse attribute, ki jih imajo vhodna atributivna mesta prehoda t .

Prehod, ki je omogočen, se izvede ter spremeni M v M' po definicijah (5) ali (6) in (9), pri čemer se spremenijo tudi atributi objekta e_i :

Condition (14) means that a particular object has, all by the attributive places of transition t , determined attributes.

The transition, which is enabled to fire under M to M' as in definitions (5) or (6) and (9), changes the attributes e_i of the object:

$$\forall p \in t \cup Pa: E'(p) = E(p) \cup Ea(p) \quad (15)$$

$$\forall p \in t \bullet \cup Pa: E'(p) = E(p) \setminus Ea(p) \quad (16).$$

Dinamično obnašanje Petrijevih mrež – se pravi izvajanje prehodov – se lahko napiše tudi z enačbami v algebrski obliki. Jedro te metode je incidenčna matrika, ki je ustrezna standardni obliki predstavitev in omogoča, da se definicije izrazijo v vektorski in matrični obliki. Incidenčna matrika $C = [c_{ij}]$ je matrika velikosti $n \times m$ z elementi:

The dynamic behaviour of Petri nets – i.e. the firing of transitions – can also be described by some algebraic equations. The core of its method is an incidence matrix, which is equivalent to the standard representation form and allows the definition to be recast in vector and matrix terms. The incidence matrix $C = [c_{ij}]$ is an $n \times m$ matrix of integers given by:

$$c_{ij} = c_{ij}^+ - c_{ij}^- \quad (17),$$

kjer sta c_{ij}^+ teža povezave $w(t_i, p_j)$ prehoda t_i z mestom p_j in c_{ij}^- teža povezave $w(p_j, t_i)$ mesta p_j s prehodom t_i . Incidenčna matrika C se lahko zapiše tudi kot seštevek dveh matrik:

where c_{ij}^+ is the weight of the arc $w(t_i, p_j)$ from the transition t_i to the output place p_j and c_{ij}^- is the weight of the arc $w(p_j, t_i)$ from the input place p_j to the transition t_i . In the same way the incidence matrix C can be written as:

$$C = C^+ - C^-, \quad (18),$$

kjer sta C^+ matrika vseh vhodnih mest v prehode in C^- matrika vseh izhodnih mest iz prehodov.

Izvajanje omogočenega prehoda t_i se lahko napiše sedaj v matrični obliki:

where C^+ is the matrix of all the input arcs from places to transitions and C^- is a matrix of all the output arcs from transitions to places.

The firing of the enabled transition t_i can be written in a matrix equation as:

$$M' = M + C^{+T} u(t_i) - C^{-T} u(t_i) = M + C^T u(t_i) \quad (19),$$

kjer je $u(t_i)$ vektor z vsemi elementi 0, razen na i -tem mestu, kjer je 1.

Vseeno pa je v večini primerov matrična enačba uporabna samo za posebne podskupine Petrijevih mrež oziroma za posebne primere, saj je analitično reševanje enačb omejeno z nedoločenostjo, ki je lastna modelom Petrijevih mrež, in delno tudi s tem, da morajo biti rešitve ne negativna cela števila. Tako je za zapletene sisteme, ki se jih da popisati s hkratnimi, diskretnimi dogodki in ki jih je moč modelirati z RPM, tehnika simuliranja še vedno edina možnost, da se dobijo stvarne rezultate v primernem času.

where $u(t_i)$ means a vector with all the elements equal to 0, except on i -th place, which is equal to 1.

However, in many cases the matrix equation is applicable only to special subclasses of Petri nets, or special situations, because the solvability of the equations is somehow limited by the nondeterministic nature inherent in the Petri-net model and partly because the solutions have to be found as non-negative integers. So, for the complex concurrent discrete event-driven systems, which can be modelled by the EPN class of Petri nets, a simulation technique is still considered as the only prospect for obtaining objective results in a reasonable time.

2.2 Izvedba

Izdelana teorija razširjenih Petrijevih mrež je bila jedro za razvoj simulacijskega paketa LASIMCO. Sestavljata ga programa PN_EDIT in PN_EXE, ki sta napisana v programskem jeziku AutoLISP in ArXDS, ter sta integrirana v program za konstruiranje AutoCAD 14.

Program PN_EDIT uporablja grafični in tekstovni vmesnik programa AutoCAD za vnos na RPM utemeljenega modela. Mesta in prehodi (v obliki blokov programa AutoCAD) se lahko postavijo na ustrezna mesta v prostoru tridimenzijskega modela in se povežejo s črtami. Določeni parametri modela RPM, na primer kapacitete, prioritete, časi, atributi, žetoni in druge, se vnesejo za posamezen element RPM prek vhodnih oblik in se dodajo ustreznemu bloku oziroma črti. Razdalja med objektnimi mesti se izračuna avtomatsko iz njihovih položajev. Tudi objekti, kot posebna oblika žetonov, so bloki in se lahko vstavijo v ustrezna objektna mesta.

Tako se izdela model RPM z vsemi parametri, ki so potrebni za simulacijo, in se shrani v isto datoteko kakor trodimenzijski model, se pravi v datoteko DWG programa AutoCAD. Tako shranjen model in parametri se lahko kadarkoli spreminjajo – tudi med izvajanjem simulacije.

Simulacija se izvaja s simulacijskim programom PN_EXE, utemeljenem kot simulator diskretnih dogodkov. Le ta simulira na RPM temelječ model opazovanega sistema tako, da izvaja omogočene prehode. Tako imenovani izvajalni algoritem (sl. 2) se odvija v dveh zankah:

- V notranji zanki, kjer se aktivirajo vsi omogočeni prehodi s časom nič, tisti z različnim časom od nič pa se izvedejo le delno. To poteka toliko časa, dokler niso izvedeni vsi omogočeni prehodi.
- V zunanji zanki, kjer se vsi delno izvedeni prehodi z najmanjšim preostalim časom izvedejo do konca. Za ta čas se poveča tudi čas simulacije. Simulacija se nadaljuje v notranji zanki toliko časa, dokler ni več omogočenih in delno izvedenih prehodov, ali pa simulacijski čas doseže končni čas.

Simulacija se lahko izvaja po korakih ali pa zvezno ter z animacijo in brez nje. Simulacija lahko teče v seriji ali pa tolikokrat, da je rezultat simulacije v 95-odstotni meji zaupanja. Za izbrana mesta in prehode se med simulacijo izračunava statistika, rezultati pa se lahko shranijo tudi v datoteko za nadaljnje statistične obdelave.

3 PRIMER

Simulacijski paket LASIMCO je bil uporabljen pri načrtovanju proge za preoblikovanje pločevine ([10] do [12]). Proga sestoji iz treh preoblikovalnih strojev in strežnega sistema. Za strego sta bila predlagana dva sistema: prvi s štirimi manipulatorji

2.2 Implementation

The elaborated theory of the extended Petri net was a core for the development of the LASIMCO simulation package. It consists of the PN_EDIT and PN_EXE programs, which are written in AutoLISP and ArXDS and integrated into a CAD system, AutoCAD 14.

The PN_EDIT program uses a graphical and textual interface of the AutoCAD system for the input of an EPN-based model. The places and transitions (in the form of AutoCAD blocks) can be put in the desired positions in a 3D model space and connected by poly-lines. Some parameters of the EPN model, such as capacity, priority, time, attributes, number of tokens and others can be added to a particular EPN element through input forms and attached to an appropriate block or poly-line. The length between the object places is calculated automatically from their positions. The objects (a special type of token) are also blocks and can be inserted into the appropriate object places.

In this way, an EPN model with all the parameters needed for a simulation is stored in the same file as the 3D model, i.e. in an AutoCAD drawing file. The model or the parameters can be changed any time before, or even during, the simulation.

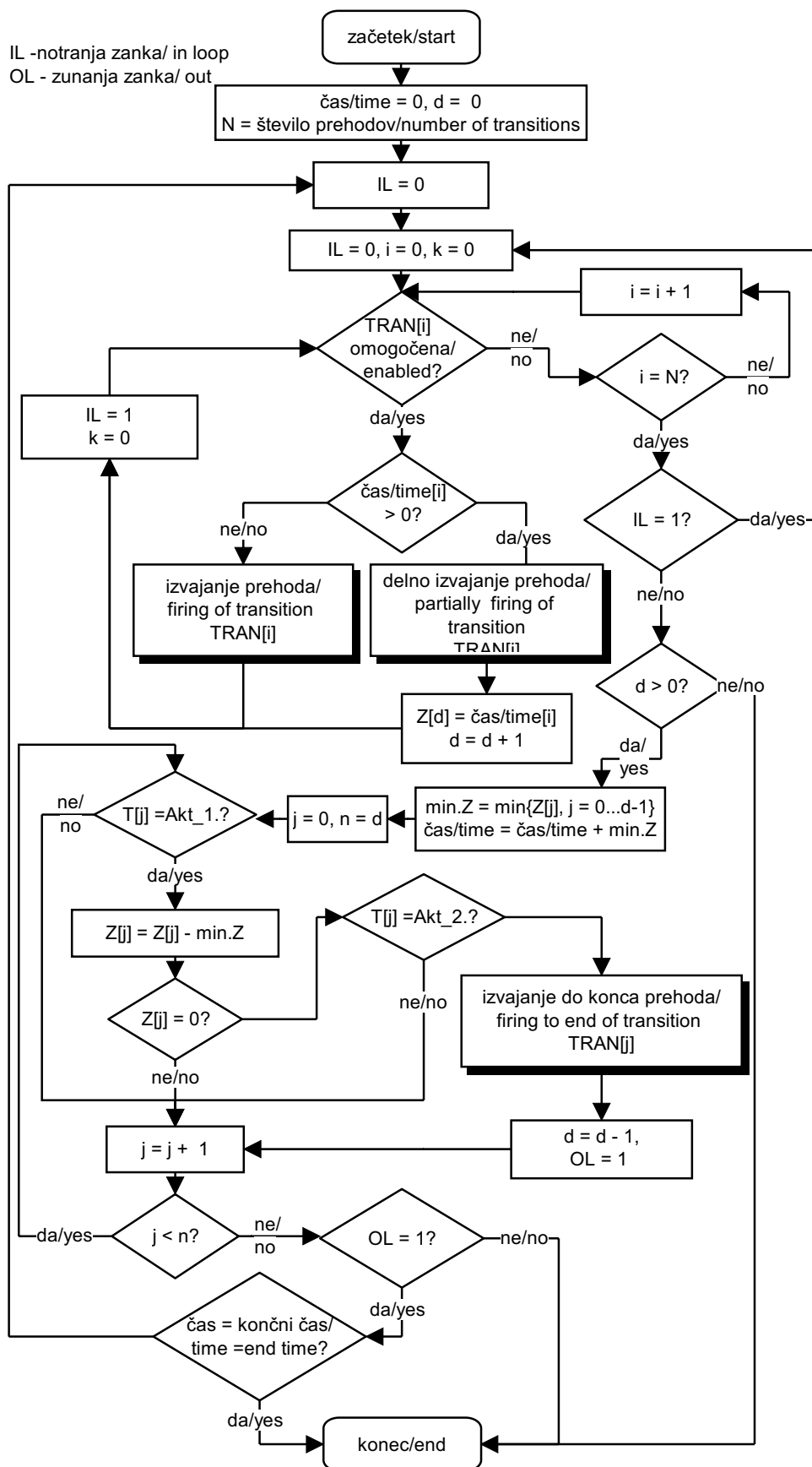
The simulation is executed by the PN_EXE simulation program. It is a discrete event-based simulator that executes the EPN-based model of the analysed system by firing the enabled transitions. The so-called playing algorithm (Fig. 2) is applied in two loops:

- The inner loop, where all the enabled transitions with zero time fire, and those with non-zero time fire only partially, until there are no more enabled transitions.
- The outer loop, where all the partially fired transitions with the least remaining time fire to the end. The simulation time increases by that time. The simulation proceeds with the inner loop, until there are no more enabled and partially fired transitions, or the simulation time reaches the end time.

The simulation can be executed in steps, or smoothly, with or without animation. The simulation can run in batches or as many times as is necessary for the result to pass the 95% confidence test. For the selected places and transitions, the statistics are calculated during the simulation and the results are stored in a file for further statistical processing.

3 EXAMPLE

The LASIMCO simulation package was used for planning a sheet-iron forming line. The line consists of three forming machines and a handling system. There were two alternatives proposed for the handling system: the first one with four



Sl. 2. Izvajalni algoritem za simuliranje modela razširjenih Petrijevih mrež [1]
Fig. 2. The playing algorithm for the execution of the extended Petri net model [1]

(sl. 4 a) in drugi s šestimi manipulatorji in dvema tekočima trakovima (sl. 4 b). Prednost drugega sistema je v tem, da lahko stroji za preoblikovanje delujejo tudi samostojno, vendar pa je investicija nekoliko večja. Predpostavljeno je bilo, da bo z drugim sistemom proizvodnja večja, ker naj bi bili časi manipulacije krajši, in s tem naj bi se investicija tudi poplačala.

Nadalje je bila pozornost usmerjena tudi na vpliv napak na zastoje in s tem učinkovitost proge. Napake so bile razvrščene na tiste, ki se pojavijo na strojih med preoblikovanjem in napake, ki nastanejo pri stregi. Na tej stopnji načrtovanja so bili analizirani in upoštevani v modelu samo tisti zastoji, ki se pojavijo dovolj pogosto in so posledica napak v procesu preoblikovanja. To je bilo generirano tudi zato, da se prikaže možnost modeliranja z RPM.

LASIMCO je bil uporabljen za modeliranje in simulacijo obeh alternativ oziroma za ugotavljanje njihove dejanske zmogljivosti. Dodatno je bila generirana tudi 3D animacija proge, ki se razvija, predvsem za namene načrtovanja in tudi kot obvezno predstavitevno možnost za prikaz rešitve naročniku.

3.1 Modeliranje

Programa AutoCAD in PN_EDIT sta bila uporabljena za modeliranje, ki je bilo izvedeno v treh korakih [13]. Najprej so bili z ukazi za izdelavo trdnih teles programa AutoCAD izdelani 3D modeli materiala in vseh sredstev (stroji, manipulatorji, prijemala, tekoči trak). Vsi gibajoči se deli sredstev so bili modelirani kot objekti v modelu, deli sredstev, ki so stalno na istem mestu, pa so bili postavljeni v prostor tako, da so tvorili prostorsko ogrodje modela.

Modeliranje z RPM je bilo izvedeno v drugem koraku. Objektna mesta in časovni prehodi so bili vstavljeni v 3D prostor na svoja mesta in povezani med seboj tako, da so bili s tem modelirani posamezni gibi in transformacije objektov, ki dejansko pomenijo strežne in preoblikovalne procese. Z vstavitvijo normalnih mest in prehodov ter s pravilno izvedeno povezavo med njimi je bilo modelirano tudi zaporedje gibov in procesov. Potrebni podatki o časih, hitrostih, prioritetah, atributih ali pogojih so bili dodeljeni vsakemu posameznemu prehodu, mestu oziroma povezavi, s čimer je bilo modeliranje končano (sl. 3).

Tretji korak je bil identifikacija modela. Žetoni in objekti (objektni žetoni) z opredeljenimi atributi so bili vstavljeni v normalna ali atributivna mesta oziroma objektna mesta. S tem je bila izdelana tudi prostorska predstavitev (3D) modela (sl. 4 a in b).

Model preoblikovalne proge s štirimi manipulatorji (alternativa A1) je obsegal 241 mest, 163 prehodov, 583 povezav in 40 objektov, prog a

manipulators (Figure 6) and the second one with six manipulators and two conveyors (Figure 7). The advantage of the second one is that machines can also work on a stand-alone setting, but the required investment is greater. It was also assumed that production could be increased because of the possible shorter handling times, which would help repay the investment.

The next consideration was the impact of possible failures on production. Failures were classified as those occurring in machines during the forming processes and those caused by the handling system. Only failures which occur frequently and are caused by the forming processes have been investigated and were considered in the model at this stage. This was done largely to demonstrate the modelling ability of the EPN.

The LASIMCO was used for the modelling and the simulation of alternatives, and so gathering data on their actual capacity. In addition, the 3D animation of the developed line should be prepared for planning purposes and as an inevitable presentation possibility of the alternative developed for customers.

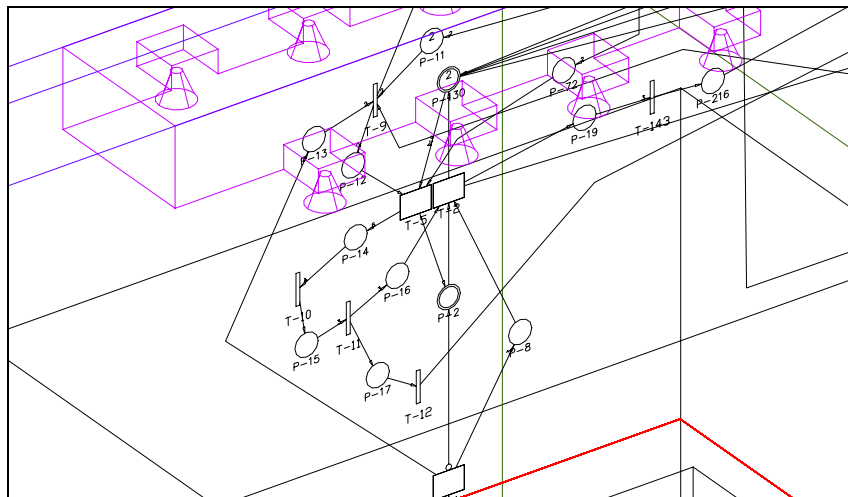
3.1 Modelling

The AutoCAD and PN_EDIT programs were used for modelling, which was accomplished in three steps. In the first step, 3D models of all resources (machines, manipulators, grippers, conveyors) and all materials were generated using AutoCAD solids. All the moving parts of the resources were modelled separately as objects in the model. The unmoving objects were placed into the space to build the 3D frame of the model.

Modelling with the EPN was carried out in the second step. The object places and time transitions were inserted into the 3D space in their positions and connected in such a manner that the particular movements and transformations of the objects representing the handling and forming processes could be modelled. With the insertion of the normal places and transitions and the making of appropriate connections, the sequence of the movements and processes was added to the model. Data such as time, velocity, priority, attribute and condition were assigned to each individual transition, place or connection, and the model was thus completed (Fig. 3).

The third step was the initialisation of the model. The tokens and objects (object tokens) with defined attributes were put into the normal or attributive places and the object places, respectively. The 3D representation of the model was thus completed as well (Fig. 4a and b)

The model of the line with four manipulators (alternative A1) contains 241 places, 163 transitions, 583 connections and 40 objects and the one with six



Sl. 3. Del modela RPM
Fig. 3. A part of the EPN model

šestimi manipulatorji in dvema tekočima trakovima (alternativa A2) pa 267 mest, 179 prehodov, 643 povezav in 44 objektov. Oba modela sta dokaj velika za sistema, ki nista tako zelo zapletena, toda to je posledica upoštevanja dobesedno vseh gibov in medsebojnih odnosov elementov sistema.

3.2 Simulacija

Za eksperimentiranje z modelom je bil uporabljen program PN_EXE. Obe alternativni sta bili simulirani pri dveh pogojih preoblikovanja: (I) z normalno hitrostjo preoblikovanja in 0,25 odstotnim izmetom ter (II) z 20-odstotno povečano hitrostjo preoblikovanja in izmetom 0,5 odstotka.

Ker ima vsak časovni prehod, s katerimi so popisani različni gibi in procesi, svojo nastavitev hitrosti oziroma trajanja, so za pojasnitev rezultatov prikazane samo njihove povprečne vrednosti. Tako je srednja hitrost manipulatorjev in tekočih trakov 0,6 m/s in normalno trajanje preoblikovalnih procesov prvega, drugega in tretjega stroja 12,6, 12,2 oziroma 6 s.

Pri izvajanju simulacije je bil upoštevan tudi čas "ogrevanja", vsak preizkus pa se je ponavljal toliko časa, da so bili rezultati v 95 odstotnem območju zaupanja. Rezultati so prikazani v preglednici 1.

manipulators and two conveyors (alternative A2) has 267 places, 179 transitions, 643 connections and 44 objects. These two models are quite large for systems of lower complexity, but this is because every each movement and interrelation between the elements of the system was considered.

3.2 Simulation

The PN_EXE program was used for experimentation with the model. Two alternatives of the system were simulated, with two different forming conditions: (I) with a normal forming velocity and 0.25% low-quality products, and (II) with velocity increased by 20% resulting in an increase in the amount of low-quality products to 0.5%.

Since each time transition that models different movements and processes has its own settings for velocity and duration, only the mean values are reported here for an illustration of the simulation results. The mean velocity of the manipulators and the conveyor is 0.6 m/s, and the normal durations of the forming process for the first, second and third machines are 12.6, 12.2 and 6 s, respectively.

The warm-up period was considered as well, and each experiment was run until the result was within the 95% confidence interval. The results are shown in Table 1.

Preglednica 1. Takt preoblikovalne proge (rezultati simulacije)
Table 1. Frequency of the forming line (results of simulation)

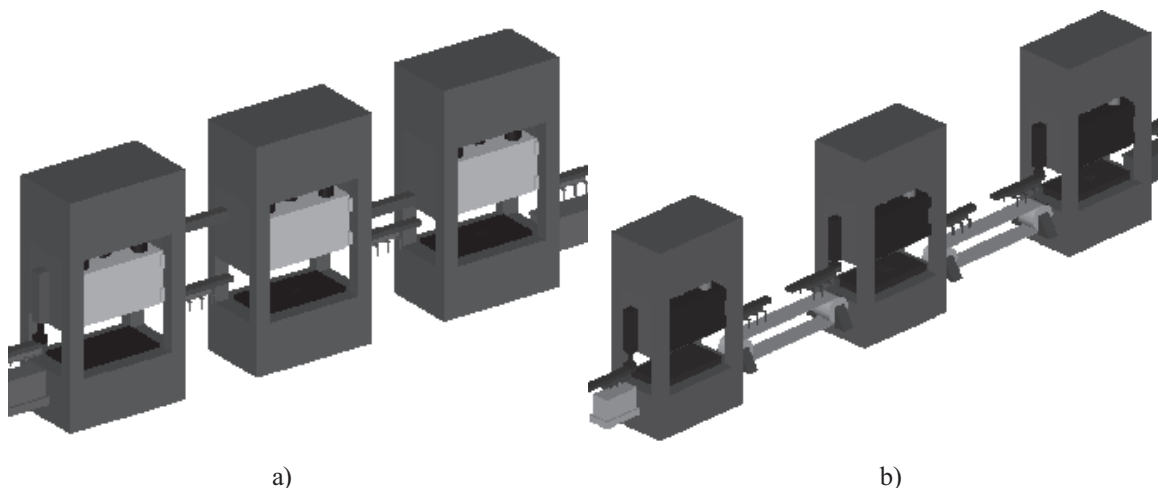
	Model A1	Model A2
pogoj I / condition I	40,0 s	37,8 s
pogoj II / condition II	38,5 s	36,3 s

3.3. Rezultati in komentarji

Ob upoštevanju rezultatov simulacije in stroškov komponent je bil izračunan strošek preoblikovanja za en izdelek, in je bil namenjen kot osnova za primerjavo obeh alternativ. Kalkulacija je pokazala, da je kljub 4-odstotnim večjim stroškom alternative A2 v primerjavi z A1, strošek izdelave na en izdelek manjši, saj je produktivnost alternative A2 večja od A1 za 5.8 %. Tako je alternativa A2 boljša rešitev od A1.

3.3 Results and comments

Taking into account the simulation results and the costs of the components, the costs of a single part were calculated in order to compare the different variants of the forming line. The calculation showed that although the investment for alternative A2 is 4% greater than that required for alternative A1, the costs of the finished product are lower because production is 5.8% greater. Therefore, alternative A2 is a better solution than A1.



Sl. 4. Preoblikovalna proga s štirimi manipulatorji (a) in proga s šestimi manipulatorji ter dvema tekočima trakovima (b)

Fig. 4. A forming line (a) with six manipulators and two conveyors and (b) with four manipulators

Modeliranje je bilo časovno zelo zamudno opravilo in je zahtevalo od načrtovalca temeljito poznavanje modeliranja in simulacije z RPM. Da bo simulacijski paket bolj uporabniško prijazen, ga bo treba dopolniti z avtomatsko izdelavo simulacijskega modela iz načrta prostorske postavitve preoblikovalne proge, kakor je to generirano za načrtovanje montažnih prog in sistemov s programom LASIMCO, kjer načrtovalec brez predznanja o modeliranju in simulaciji lahko izvaja eksperimente z modelom in tako dobi podatke o »dejanskih« lastnostih načrtovanega sistema na »navidezni« način že v fazi načrtovanja.

Zmogljivosti sistema AutoCAD niso dovolj za "stvarno" grafično predstavitev navidezne izdelave. Načrtovalec lahko opazuje med simulacijo samo animacijo žičnega grafičnega modela, ki pa je za načrtovanje zadostna. Stvarna prostorska animacija, ki je že nujno potrebna oblika predstavitve še zlasti v fazi razpisov in pridobivanja naročil, pa se lahko prikazuje samo po končani simulaciji.

The modelling was a very time-consuming task and it required a thorough knowledge from the planner of the modelling and the simulation with EPN. To make the simulation package more userfriendly, it will be extended with an automatic generation of the simulation model from the layout of the forming line in the same way as the LASIMCO planning of assembly systems was carried out [4], so that planners without any previous experience in simulations will be able to perform experiments with the simulation model and obtain the "real" properties of a planned system in a "virtual" way, already during the planning phase.

For a "realistic" graphical presentation of "virtual" manufacturing, the capabilities of AutoCAD systems are not sufficient. Planners can now observe, online, only the wire-frame graphic animation, which is reasonable enough for planning purposes. A realistic 3D animation can be generated offline and used as an indispensable presentation form, especially in the tender-preparation phase.

4 SKLEP

Razširitve Petrijevih mrež so bile razvite in že tudi uporabljene za načrtovanje montažnih sistemov ([4])

4 CONCLUSION

Extensions of Petri nets have been developed and used in the planning of assembly systems ([4])

in [11]). V prispevku je zgoščeno predstavljen koncept navidezne izdelave, izpeljane so razširitve Petrijevih mrež in prikazana je njihova uporaba. Na primeru je bilo pokazano, da se jih lahko splošno uporabi tudi pri načrtovanju izdelovalnih sistemov, kot na primer preoblikovalnih prog. Ta primer še enkrat demonstrira prednosti integracije modeliranja in simulacije v okolju računalniško podprtega načrtovanja [15]. Sistem je še daleč od želja in potreb načrtovanja, zato bo potrebno v smislu stalnega izpopolnjevanje še nadalje razvijati RPM v povezavi s prostorsko (3D) grafiko in simulacijo, tako da ga bo mogoče uporabiti tudi v drugih fazah življenjskega cikla izdelovalnih sistemov.

and [11]). This paper briefly describes the concept of "virtual" manufacturing, the derived extensions of PN's and the implementation of the EPN. It was shown in an example that they can also be used in planning other manufacturing systems, e.g. forming lines. This implementation shows once more the benefits of the integration of modelling and simulation into the CAD environment [12]. This is still far from the desired and required planning system, but in the sense of continuous improvement, EPN, together with 3D graphics and simulation, will need to be further developed in order to also provide support for other phases of the manufacturing system's life-cycle.

5 LITERATURA

5 REFERENCES

- [1] Perme, T. (1999) Ein neues Simulationskonzept zur rechnergestützten Planung von Montagesystemen, Dissertation, Technische Universität Wien.
- [2] Onosato, M., K. Iwata (1993) Development of a virtual manufacturing system by integrating product models and factory models. *Annals of the CIRP* 1, 475-478.
- [3] Perme, T., N. Dragica (1996) A "Low-cost" solution of virtual manufacturing systems. V: *Preprints of the 13th world congress International Federation of Automatic Control*, San Francisco, USA, 30th June - 5th July 1996.
- [4] Perme, T., D. Noe, P. Kopacek (1999) Modelling and simulation of assembly systems in CAD-environment using extended Petri nets. *Ventil* 4, Ljubljana, 208-213.
- [5] Perme, T., D. Noe (2002) Erweiterte Petrinetze zur intelligenten Planung von Produktionssystemen. *Int. J. autom. Austria*, 2, 111-124.
- [7] Peterson L. J. (1981) Petri net theory and modeling of systems. *Prentice-Hall International*.
- [8] Murata, T., (1989) Petri nets: properties, analysis and applications, *Proceedings of the IEEE*, 4, 541-580.
- [9] Reisig, W. (1991) Petrinetze; Eine Einführung, *Springer-Verlag*.
- [10] Burnik, A. (1999) Simulation of handling in forming line. Diploma Thesis (in Slovene), Ljubljana.
- [11] Perme, T., D. Ogrin, D. Noe (2001) Načrtovanje montaže in uporaba simulacije = Assembly planning and the use of simulation. *Ventil* 1, Ljubljana, 23-30.
- [12] Kopacek P., G. Kronreif, T. Perme (1999) Simulation within CAD-environment. V: Brandimarte, Paolo (ur.), Villa, Agostino (ur.). Modeling manufacturing systems : from aggregate planning to real-time control. *Springer*, Berlin.

Naslov avtorja: Dr. Tomaž Perme
Fakulteta za strojništvo
Univerza v Ljubljani
Aškerčeva 6
1000 Ljubljana

Author's Address: Dr. Tomaž Perme
Faculty of Mechanical Eng.
University of Ljubljana
Aškerčeva 6
1000 Ljubljana, Slovenia

Prejeto:
Received: 17.1.2003

Sprejeto:
Accepted: 29.5.2003

Odprt za diskusijo: 1 leto
Open for discussion: 1 year

Nekaj novih algoritmov za računalniško podprto načrtovanje montaže

Some New Algorithms for Computer Aided Assembly Planning

Zoran Kunica - Božo Vranješ - Miljenko Hrman

Prispevek opisuje nekaj izboljšanih in na novo uporabljenih algoritmov ustvarjanja načrta avtomatizirane montaže (UNAM - GPAS) za računalniško načrtovane sisteme. Algoritmi se nanašajo na določitev montažnih korakov in poti, strukturiranje prostora (lay-out) za montažo na enem mestu oziroma na mizi, sestavljenost izdelkov, obravnavajo pa tudi identične sestavne dele v izdelku. Primer prikazuje montažo mehanskega izdelka, ki je najprej računalniško modeliran (RPN - CAD). Definirani so elementi načrtovanja, na primer zaporedje montažnih opravil, montažni gibi in položaji posameznih delov nesestavljenega izdelka, kar je osnova za konstruiranje montažnih naprav in izvedbo montaže.

© 2003 Strojniški vestnik. Vse pravice pridržane.

(Ključne besede: montaža, avtomatizacija montaže, planiranje montaže, CAD-CAE-CAM)

This paper depicts some of the improved and newly implemented algorithms of the computer aided design (CAD)-based system for the plan generation of automatic assembly (GPAS), relating to definitions of assembly sequence and paths, space structuring (layout) of the assembly process for bench assembly, product orientation, connectivity, and treatment of identical parts in a product. In the approach, the parts of which are presented in the paper, the mechanical product to be assembled is, initially, a CAD-modelled assembled product. After this, the planning elements, such as the assembly sequence, the assembly paths and the parts' positions of the disassembled product are defined, providing the basis for assembly-device design and assembly execution.

© 2003 Journal of Mechanical Engineering. All rights reserved.

(Keywords: assembly, assembly automation, assembly planning, CAD-CAE-CAM)

0 UVOD

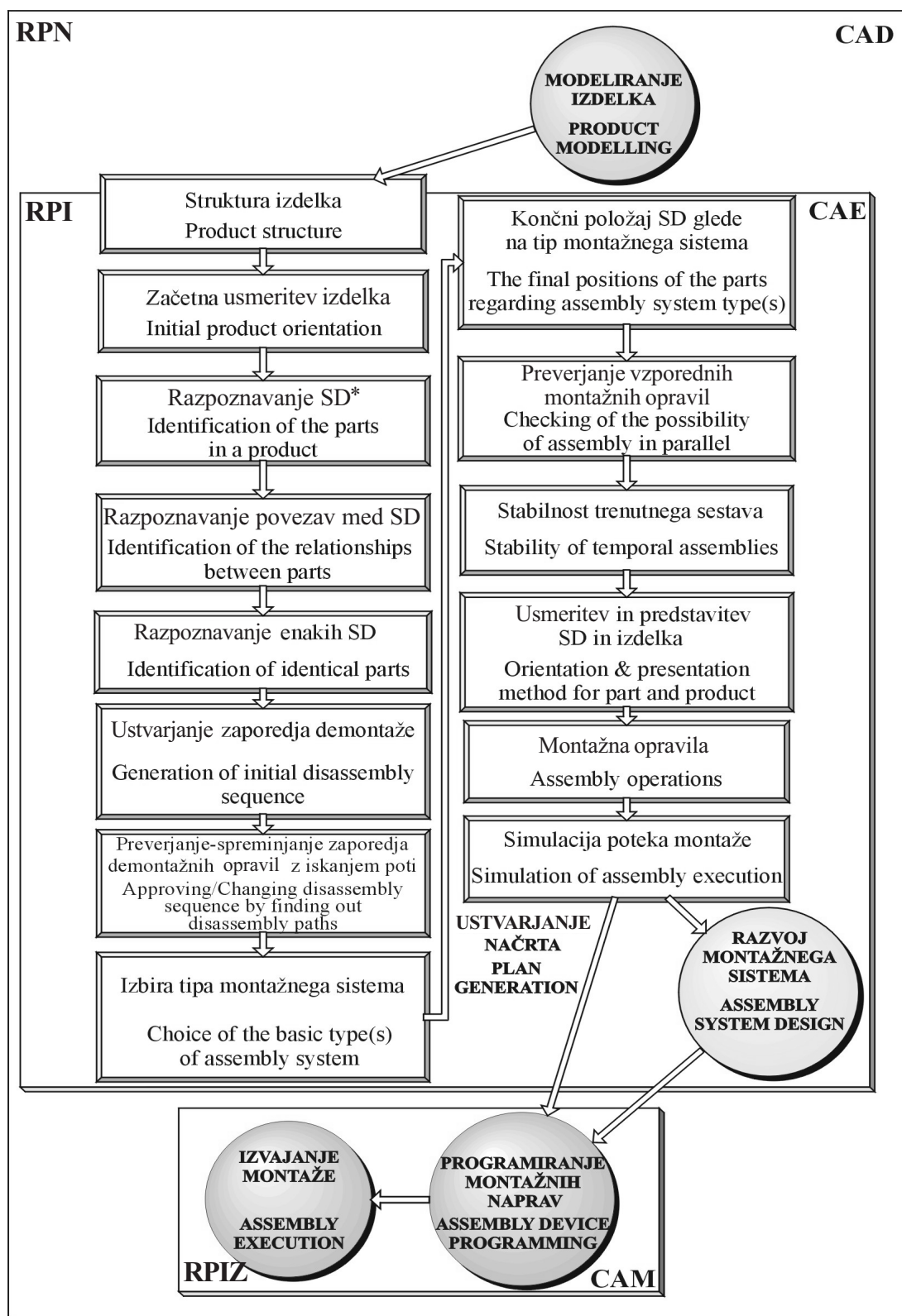
Sedanjim RPN/RPIZ sistemom še vedno manjkajo ustrezne komponente RPI-ja, ki bi omogočale bolj učinkovito načrtovanje montaže v smislu povezave razvoja izdelka, razvoja montažnega sistema, programiranja montažne naprave in izvajanja montaže. Problem se nanaša na zapletenost in nepopolnost metodologij načrtovanja in na pomanjkanje algoritmov v posameznih fazah načrtovanja ([1] do [6] in [13]).

Prispevek predstavlja nekaj izboljšanih in nanovo uporabljenih algoritmov za RPN sistem za ustvarjanje načrta avtomatizirane montaže UNAM (sl. 1) ([7] do [9]), namenjenih za definiranje korakov montaže, strukturiranje prostora (lay-out) montažnega postopka za montažo na enem mestu, najugodnejšo usmeritev izdelka, povezljivost in obravnavo identičnih sestavnih delov v izdelku.

0 INTRODUCTION

Current CAD/CAM systems are still missing the appropriate CAE component that would allow more efficient assembly planning in an effort to integrate product design, assembly system design, assembly device programming and assembly execution. The problem is related both to the complexity and to the incompleteness of the planning methodology and to the lack of algorithmised planning elements ([1] to [6] and [13]).

This paper presents some of the improved and newly implemented algorithms of the CAD-based system for the plan generation of automatic assembly – GPAS (Fig. 1), ([7] to [9]), dedicated to: assembly sequence defining, space structuring (layout) of the assembly process for bench assembly, the most convenient product orientation, connectivity, treatment of the identical parts in a product.



Sl. 1. Elementi načrtovanja in postopka v sistemu UNAM
Fig. 1. The elements of a plan and the generation procedure in the system GPAS

1 DOLOČITEV (DE)MONTAŽNEGA ZAPOREDJA

Temelj za določitev (de)montažnega zaporedja je sestavljen izdelek, zato se večina prikazanih elementov in postopkov nanaša na demontažo. Razlog za to je prvič, da izdelek obstaja v obliki RPN kot rezultat razvojne faze, in drugič, sestavljeni izdelek daje več informacij za planiranje kakor razstavljeni. Glede na drugi razlog montaža in demontaža nista nujno obrnljivi [10]. Če pa vzamemo za začetek ustvarjanja sestavljeni izdelek namesto razstavljenega, sta montaža in demontaža obrnljivi.

(De)montaža je definirana v dveh korakih, prvi korak obsega začetni demontažni korak z upoštevanjem "mehkih" pogojev [5] in drugi korak obsega simulacijo demontaže (definiranje poti), kjer je začetni korak potrjen ali spremenjen (da zadovolji "ostrejšje" pogoje [5]).

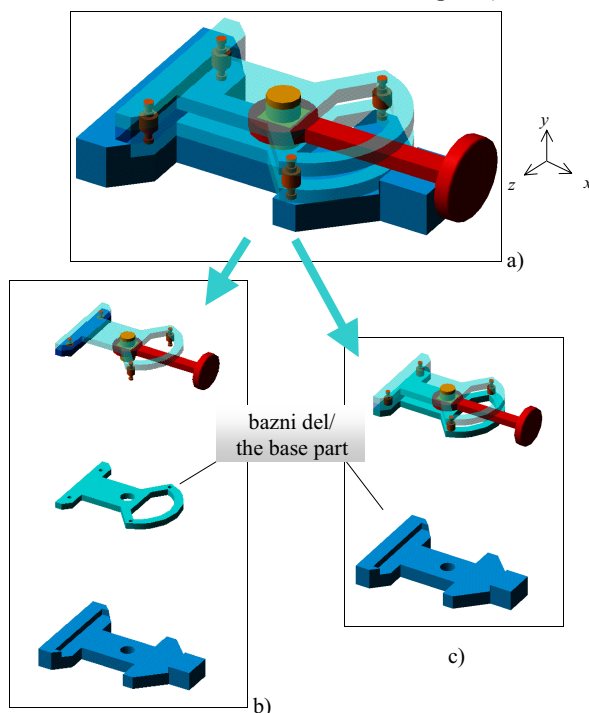
Namesto kriterija: razdalja težišča sestavnega dela od težišča izdelka, uporabimo za definiranje prvega demontažnega koraka **kombinacijo treh kriterijev**: razdaljo težišča sestavnega dela od težišča izdelka, velikost komponente y težišča sestavnega dela in prostornino (maso) sestavnega dela. Kombinacija treh kriterijev daje boljše rešitve za demontažne korake in poti kakor tudi za bolj zanesljivo izbiro osnovnega sestavnega dela izdelka (to je prvi sestavni del, ki naj bo zmontiran v montažnem postopku (sl. 2), kjer je x-z vodoravna ravnina).

1 (DIS)ASSEMBLY SEQUENCE GENERATION

(Dis)assembly sequence generation is based on the assembled product, so that most of the elements and procedures that will be shown are related to disassembly. The reasons are: 1. a product really exists in CAD form as a result of the design stage, 2. an assembled product offers more planning information than a disassembled one. Regarding the latter, assembly and disassembly are not necessary reversible [10]. However, having taken an assembled product instead of a disassembled one at the beginning of the generation, disassembly and assembly become reversible.

The (dis)assembly sequence is defined in two steps: 1. initial disassembly sequence generation using 'soft' constraints [5], 2. disassembly simulation (path defining) in which the initial disassembly sequence is approved or changed (in order to satisfy 'hard' constraints [5]).

For the initial disassembly sequence defining, instead of the criterion (constraint) distance of the part's centre of gravity from the product's centre of gravity, a **combination of three criteria** is used: the distance of the part's centre of gravity from the product's centre of gravity, the value of the y component of the part's centre of gravity, the part's volume (mass). The combination of the criteria leads to better solutions of the disassembly sequence and paths as well as to a more reliable choice of the base (main) part in the product (the first part to be assembled in an assembly process) – Fig. 2 (xz is a horizontal plane).



Sl. 2. a) Spremenjen Cranfieldov sestav, b) demontaža z uporabo predhodnega algoritma, c) demontaža z uporabo izboljšanega algoritma – pravilne demontažne poti in osnovni sestavni del

Fig. 2. a) The product – modified Cranfield assembly, b) Disassembly using previous algorithm, c) Disassembly using improved algorithm – proper disassembly paths and the base part

Če je težišče sestavnega dela na večji oddaljenosti od težišča izdelka, je ta sestavni del primernejši za zgodnejšo demontažo. Sestavni deli so urejeni od največje oddaljenosti (utežni indeks $w_d = 1$) do najmanjše ($w_d = n$, n – število sestavnih delov v izdelku).

Če je komponenta težišča y sestavnega dela - SD manjša, je ta SD primernejši kandidat za kasnejšo demontažo. SD so urejeni od največje do najmanjše vrednosti osi y . Zadnja dva sestavna dela v seznamu (sestavna dela z najmanjšima vrednostima y) imata $w_y = n-1$ in $w_y = n$. Za preostale sestavne dele je $w_y = 0$.

Če je prostornina sestavnega dela večja, je to boljši kandidat za kasnejšo demontažo. Sestavni deli so urejeni od najmanjše do največje prostornine. Največji sestavni del ima $w_v = n-1$, naslednji manjši ima $w_v = n-2$, za vse druge je $w_v = 0$. Uporabljeno heuristiko je mogoče izboljšati, če upoštevamo porazdelitev prostornin sestavnih delov, to dovede do podrobnejših vrednosti za w_v .

Za vse sestavne dele, utežne indekse, seštejemo in sestavimo novo listo z urejanjem – dobimo zaporedje za demontažo. Če ima sestavni del manjšo vsoto utežnih indeksov, je primernejši za zgodnejšo demontažo.

Ustvarjanje zaporedja demontaže vsebuje še dodatni 'mehki' pogoj – **stikanje**. Čeprav tega ni mogoče vzeti kot splošno pravilo, predpostavimo, da v vsaki stopnji demontaže velja, da se sestavni deli, ki bodo razstavljeni, neposredno ali posredno dotikajo. Kandidat za demontažo ne izpolnjuje tega pogoja, če obstaja najmanj še en sestavni del v sestavi, ki se dotika samo sestavnega dela, ki naj bo demontiran, in noben drugi. Preverjanje pogoja stikanja je vedno pred določitvijo demontažne poti za določeni sestavni del. Če za ta sestavni del pogoj stikanja ni izpolnjen, se zaporedje demontaže spremeni. Stikanje je mogoče preveriti za izdelek (sl. 3).

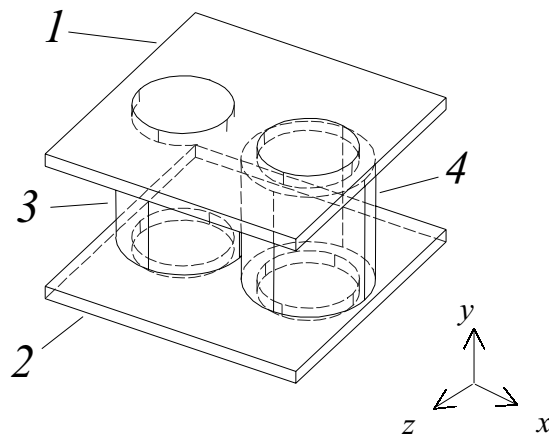
If the part's centre of gravity is at a greater distance from the product's centre of gravity, it is a better candidate to be disassembled earlier. The parts are sorted from the largest distance (weight $w_d = 1$), to the smallest distance ($w_d = n$, n – the number of parts in a product).

If the y component of the part's centre of gravity is lower, it is a better candidate to be disassembled later. The parts are sorted from the largest to the smallest y value. The two last parts on the list (the parts with the smallest y values) have $w_y = n-1$ and $w_y = n$. For the other parts $w_y = 0$.

If the volume of a part's is larger, it is a better candidate to be disassembled later. The parts are sorted from the smallest to the largest volume. The largest part has $w_v = n-1$, the first smaller part $w_v = n-2$, while the rest of the parts have $w_v = 0$. The applied heuristics can be improved by taking into account the distribution of parts volumes, which leads to refined values of w_v .

For all the parts the weights regarding the criteria are summarised, and the new list, the disassembly sequence, is made by sorting. If a part has a lower sum of weights, it is a better candidate for earlier disassembly.

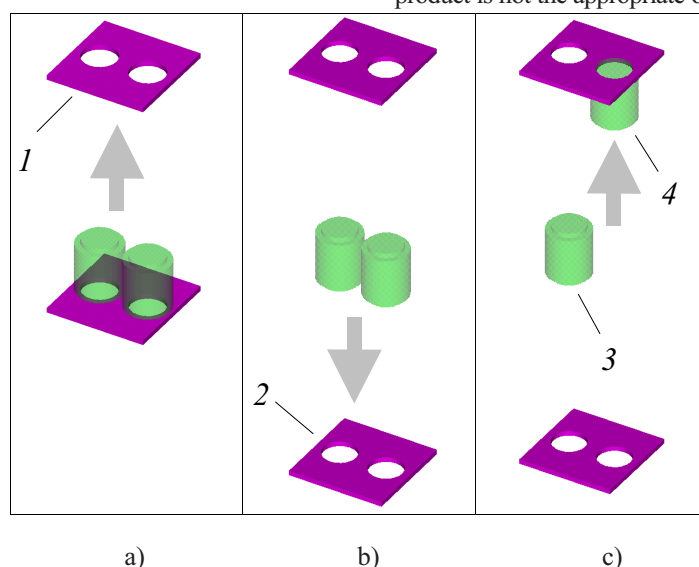
The disassembly sequence generation contains an additional 'soft' constraint called **connectivity**. Although it cannot be taken as a general rule, it is assumed that at every stage of the disassembly process, all the parts that will be disassembled are in a relationship with each other either directly or indirectly. A candidate part for the disassembly does not satisfy a connectivity check if there is at least one other part in the assembly that is in a relationship with just the part that is going to be disassembled and distanced from all the other parts (in the assembly). The connectivity check for each part in the disassembly sequence list precedes the estimation of the initial disassembly paths for that part. If the part fails the connectivity test, the disassembly sequence will be changed. The connectivity check is shown on the product in Fig. 3.



Sl. 3. Izdelek za preverjanje kriterija stikanja
Fig. 3. A product for connectivity check

Slika 4 prikazuje demontažo brez preverjanja stikanja. Najprej je demontiran del 1. Po demontaži dela 2 (sl. 4b) preostaneta dela 3 in 4, ki sta identična, se ne dotikata, imata isto usmeritev in njuna položaja sta simetrična glede na preostale sestavne dele v izdelku. Zato bi vsak od njiju prišel v poštrev za demontažo. Po demontaži dela 4 vidimo da preostali del (del 3) ni primeren za bazni sestavni del.

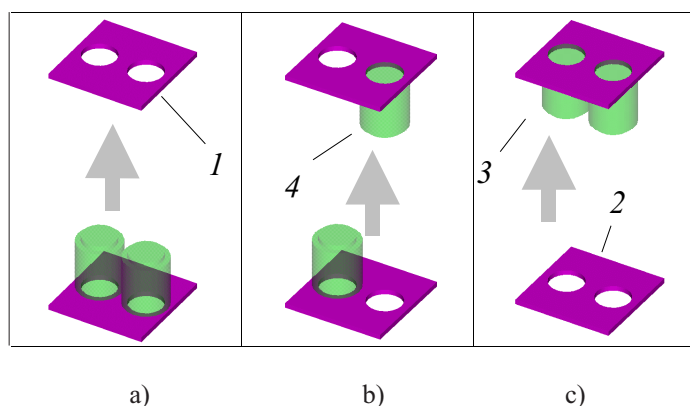
Fig. 4 shows disassembly without the connectivity check. In Fig. 4-a, part 1 is disassembled. After the disassembly of part 2 (Fig. 4-b), the rest of the parts are distanced (parts 3 and 4). Parts 3 and 4 are identical, they have the same orientation, and their positions are symmetrical with regard to the other parts in the product. Thus, each of them can be taken as the next part, or candidate for disassembly. After the disassembly of part 4 (Fig. 4-c), it can be seen that the main part in the product is not the appropriate one (part 3).



Sl. 4. Demontaža brez preverjanja kriterija stikanja (3 - osnovni sestavni del)
Fig. 4. Disassembly without connectivity check (3 - the base part)

Na sliki 5-a bi po prvotnem zaporedju demontaže moral biti demontiran sestavni del 2, toda ta ne izpolnjuje kriterija stikanja, zato pride kot naslednji v poštrev del 4. Ta izpolnjuje kriterij stikanja in je demontiran (sl. 5-b). Slika 5 kaže demontažo dela 3 in del 2 preostane kot osnovni del, kar je najboljša rešitev.

Fig. 5-a, regarding the initial disassembly sequence, part 2 should be disassembled. But part 2 does not satisfy the connectivity check, and the disassembly sequence is changed, so part 4 will be considered. Part 4 satisfies the connectivity test and it is removed from the assembly (Fig. 5-b). Fig. 5-c shows the disassembly of part 3 and the positions of the parts immediately after the disassembly: part 2 is the main part in the product, which is the best solution.



Sl. 5. Demontaža z upoštevanjem kriterija stikanja (2 - osnovni sestavni del)
Fig. 5. Disassembly with connectivity check (2 - the base part)

Nadaljnje izboljšanje ustvarjanja zaporedja demontaže je izbira dolžine **začetnega premika (poti)** demontaže (iskanje demontažnih poti) [7]. Namesto stalne vrednosti premika $t = 1 \text{ mm}$, je najmanjši pomik izračunan z upoštevanjem prostornine sestavnega dela:

$$t_{\min} = \frac{R}{100} = \frac{2,2}{100} \cdot \sqrt[3]{\frac{6 \cdot \text{vol}}{\pi}} \quad (1),$$

kjer pomenita:

R – polmer vplivne krogle, v mm

vol – prostornina izdelka, v mm^3 .

Vplivna krogla okoli izdelka je prostor, v katerem je treba preverjati vpliv med sestavnimi deli. Središče krogle je v težišču izdelka. Sestavni del je uspešno demontiran, če njegovo težišče pride zunaj vplivne krogle.

Četrto izboljšanje ustvarjanja zaporedja demontaže je uvedba **dinamičnega nadzora razdalj** sestavnih delov med demontažo. Tako odpadejo nepotrebna preverjanja vpliva, kar skrajša čas načrtovanja. Stopnje algoritma so (sl. 6):

1. Sestavni del se premakne za $t_{\min}$
2. Če se razdalje med težiščem sestavnega dela, ki je demontiran, in vsemi drugimi sestavnimi deli povečajo, pojdi na stopnjo 10.
3. Če se razdalje manjšajo, obstaja nevarnost ovire in sestavni del, ki ga demontiramo, pomaknemo do najbližje ovire.
4. Del zopet premaknemo za $t_{\min}$.
5. Če ni oviranja, se demontaža nadaljuje, dokler se razdalje ne povečajo, potem pojdi na stopnjo 10.
6. Če pride do oviranja, se del pomakne v začetno pozicijo.
7. Če je to zadnja smer, pojdi na stopnjo 9.
8. Pojdi na stopnjo 1 (poskusi novo začetno smer).
9. Zaporedje demontaže se spremeni in naslednji sestavni del v zaporedju bo demontiran.
10. Smer demontaže je najdena in sestavni del bo premaknjen zunaj vplivne krogle.

2 USMERITEV IZDELKA

Običajno je izdelek “logično” postavljen v modelnem prostoru RPN-ja. “Logično” pomeni, da konstrukter po navdihu postavi izdelek glede na to, kaj je zgoraj (os $+y$) in kaj je spodaj glede na (še neznano) opremo, ki je namenjena za pravilno usmeritev izdelka.

Načrt montaže naj predlaga najprimernejšo usmeritev izdelka (sl. 7). Najprimernejša usmeritev izdelka je določena z analizo demontažnih smeri:

The next improvement in the disassembly-sequence generation procedure is made regarding the value of the **initial translations (paths)** of the part (searching of the disassembly paths) [7]. Instead of a constant value of the translation $t = 1 \text{ mm}$, the minimum translation is now calculated taking into account the volumes of the parts:

where:

R is the radius of the interference sphere in mm

vol is the product's volume in mm^3 .

The interference sphere around the product is the critical space for interference checking among the parts. The sphere has its centre in the product's centre of gravity. The part is successfully disassembled when its centre of gravity passes across the sphere boundary.

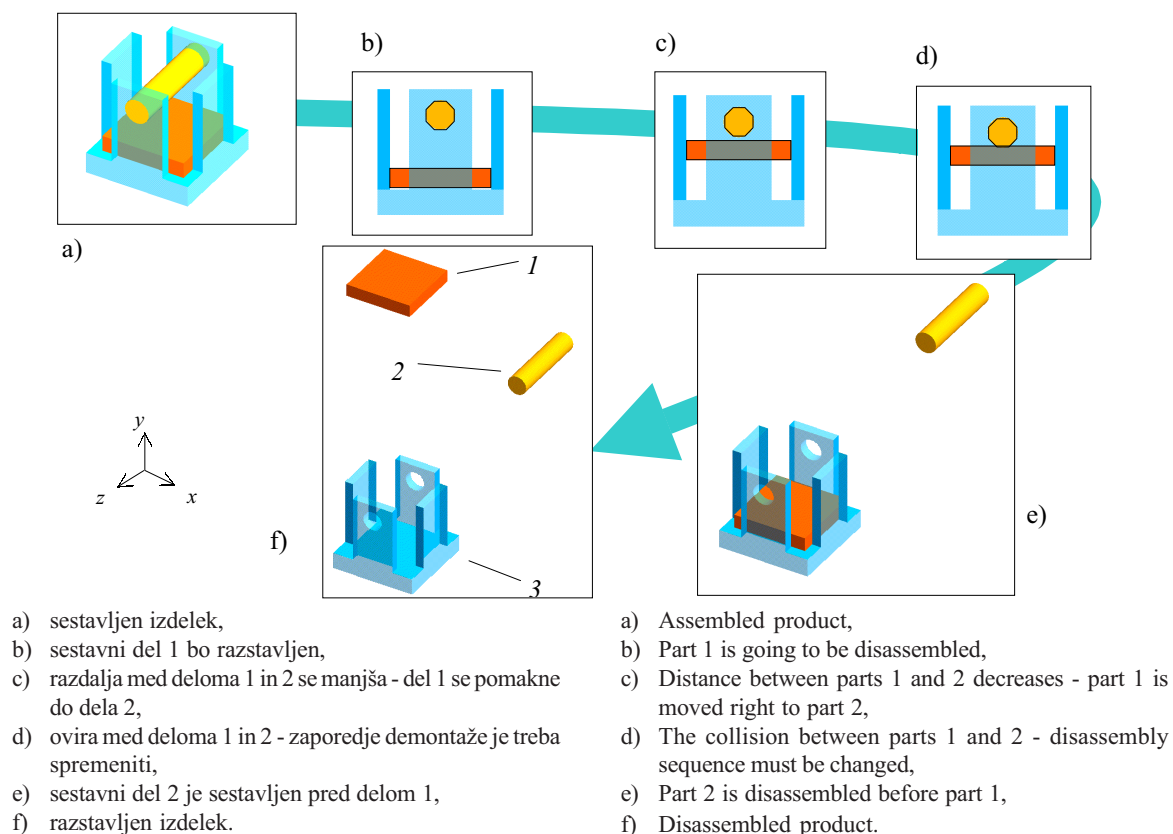
The fourth improvement in disassembly-sequence generation is the involvement of the **dynamic control of distances** among the parts during disassembly. In this way, unnecessary interference checks are avoided, which reduces the plan's generation time. The steps in the algorithm are (Fig. 6):

1. The part is translated using the value of $t_{\min}$.
2. If the distances between the centre of gravity of the part being disassembled and the centres of gravity of all the other, not yet disassembled, parts increase, go to the step 10.
3. If distances decrease, the potential obstacle exists, and the part being disassembled is moved to the closest obstacle.
4. The part being disassembled is moved by the value of $t_{\min}$ (again).
5. If there are no collisions, disassembly continues until the distances increase, and then go to step 10.
6. If the collision is detected, the part will be moved in its starting position.
7. If it is the last initial disassembly path, go to step 9.
8. Go to the step 1 (New initial disassembly path will be examined.).
9. The current disassembly sequence will be changed, and the next part from the disassembly-sequence list will be taken to be disassembled.
10. The disassembly path is found, and the part is translated out of the interference sphere.

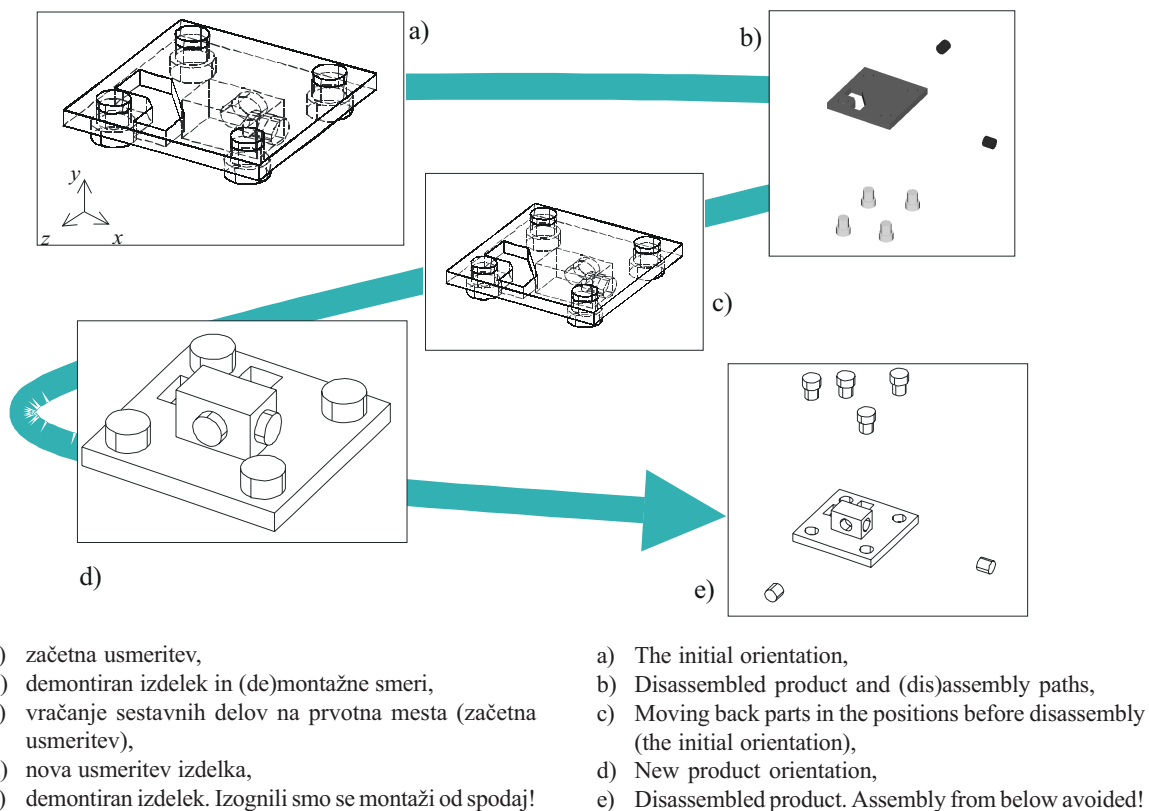
2 ORIENTATION OF A PRODUCT

Usually, a product is “logically” situated in its CAD model space. “Logically” means that a designer often intuitively places the product with regard to what is up ($+y$ axis) and what is down, and with respect to the (not yet known) equipment that would serve to keep the product in this orientation.

The assembly plan should propose the most convenient product orientation (Fig. 7). The most convenient product orientation comes from the analysis



Sl. 6. Dinamični nadzor razdalj med sestavnimi deli med demontažo
Fig. 6. Dynamic control of distances among parts during disassembly



Sl. 7. Iskanje najprimernejše usmeritve izdelka
Fig. 7. Finding the most convenient orientation for a product

vsebuje naj največje mogoče število smeri od spodaj navzgor in najmanjše število smeri v nasprotni smeri. Glede na zunanji koordinatni sistem RPN je mogočih šest osnovnih usmeritev izdelka. Vektorje demontažnih smeri razstavimo na komponente in jih primerjamo z osnovnimi usmeritvami izdelka. Število demontažnih smeri daje najprimernejšo usmeritev izdelka, ki ga po potrebi zavrtimo. Pričakujemo, da se osi koordinatnega sistema izdelka ujemajo z osmi zunanjega koordinatnega sistema.

3 RAZPORED ZA ENOPOSTAJNI MONTAŽNI PROCES

Strukturiranje prostora je določanje končne lege sestavnih delov po demontaži in nasprotno pred montažo. To je določanje razporeda za bodoči montažni sistem. "Od različnih vidikov razvoja za avtomatizacijo, je posvečeno presenetljivo malo pozornosti razporeditvi sestavnih delov v njihovih zalogovnikih"[11].

Celotna pot montaže tako obsega:

- gibanje sestavnega dela iz lege pred demontažo na položaj takoj po demontaži in
- gibanje sestavnega dela iz lege po demontaži do položaja v zmontiranem izdelku (omenjena pot se določi med demontažo).

Strukturiranje prostora je odvisno od vrste montaže: enopostajna, vrtljiva miza in montažna proga. Vrsta montaže se določi pred začetkom načrtovanja na podlagi zahtevane zmogljivosti, števila variant izdelka, investicijske zmožnosti [12]. Prav tako lahko vpliva na izbiro sistema število sestavnih delov njihovega položaja v izdelku in (de)montažne poti.

Da bi dosegli enosmerne (celotne) montažne poti, se sestavni deli, ki imajo nepokončne poti, gibljejo po demontažnih poteh. V prvotnem algoritmu je **razdalja pomika sestavnega dela** definirana z njegovo lego v seznamu demontažnih zaporedij: če je sestavni del na kasnejšem mestu v montažnem zaporedju, bo postavljen dlje od "rastočega" izdelka. Ta zahteva lahko v nekaterih primerih povzroči nepotrebno velike razdalje med sestavnimi deli. Da bi obšli to težavo, definira izboljšani algoritem pomik t_D , mm, in najmanjše razdalje med že postavljenimi sestavnimi deli d_{min} , mm:

$$t_D = d_{min} = l, l \cdot R \quad (2).$$

Lego za **sestavne dele z nepokončnimi demontažnimi potmi** se določijo iterativno. Tako so razdalje med sestavnimi deli bolj zanesljive. (sl. 8).

of disassembly paths: it should have the maximum possible number of the bottom-up disassembly paths, and the minimum number of paths from the opposite direction. There are six basic product orientations defined regarding the CAD global coordinate system. The vectors of the disassembly paths are divided into their components, and are compared with basic product orientations. Counting of the disassembly directions will suggest the most convenient orientation, and the product will be rotated, if necessary. In the present implementation, it is expected that the axes of the product's coordinate system are properly aligned with the axes of the global coordinate system.

3 LAYOUT OF THE ASSEMBLY PROCESS FOR BENCH ASSEMBLY

Space structuring is a determination of the final positions of parts after disassembly, and, vice-versa, before assembly. It is a layout design of the future assembly system. "Of the various aspects of design that have been considered for automation, the layout of components within their container has received surprisingly little attention" [11].

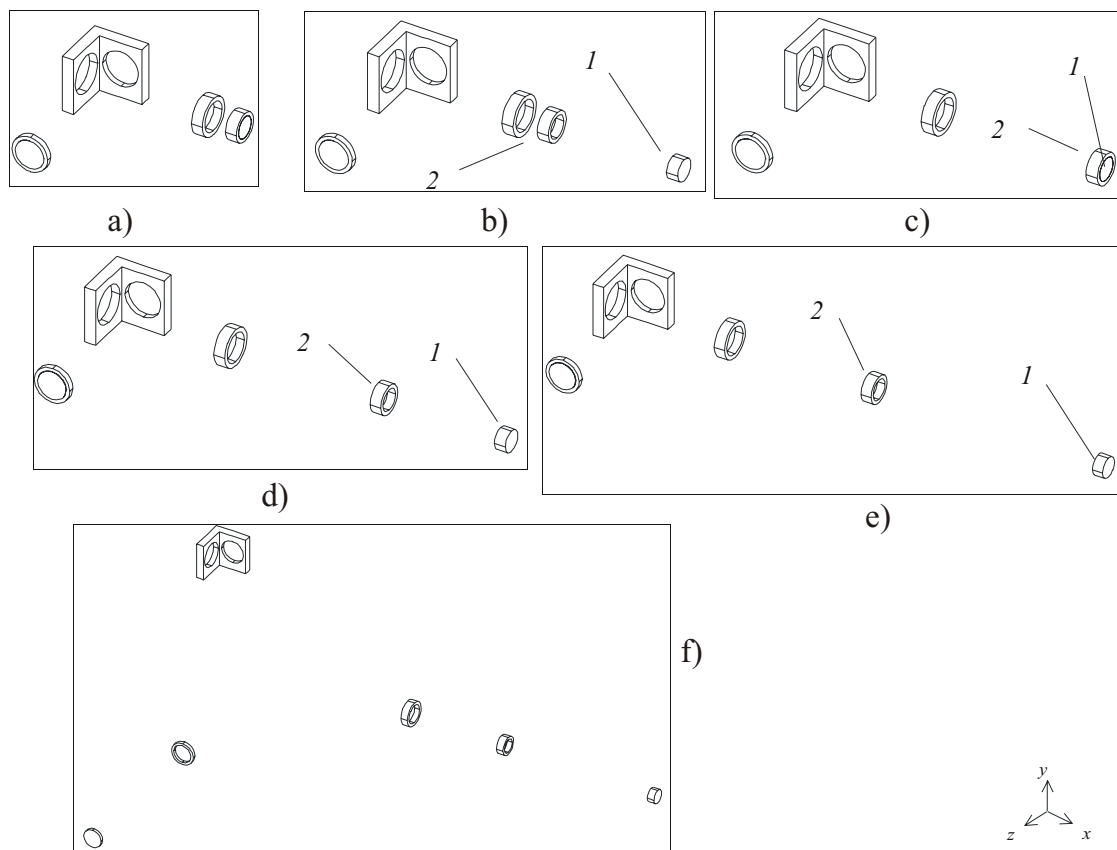
So, the complete assembly path of a part comprises:

- a motion from the part position before assembly to the position immediately after disassembly,
- a motion from the part position immediately after disassembly to the part position required in the product (the path is determined during disassembly).

Space structuring depends on types of assembly system: workbench, rotary-table, and line. The type of the assembly system may be determined at the beginning of the planning, on the basis of production volumes, the number of product variants, the investment potential etc. [12]. However, the type of the assembly system may come from the number of parts, the parts' positions in a product and (dis)assembly paths.

In order to achieve a one-directional (complete) assembly path, the parts that have non-vertical paths are translated (moved) using their disassembly paths. In the original algorithm, the **value of the part translation** is defined by its position in the disassembly sequence list: as the part is later in an assembly sequence, it will be positioned farther from the "growing" product. This premise in some cases may lead to unnecessary large distances among parts. To avoid this situation, the improved algorithm defines the translation t_D , mm, and the minimum distance between already positioned parts d_{min} , mm:

The position of each **part with a non-vertical disassembly path** is determined iteratively. In this way, the distances among the parts are more reliable (Fig. 8).



- a) Lege sestavnih delov takoj po demontaži.
 b) Postavljen je del 1. Umaknjen je stran od drugih sestavnih delov.
 c) Postavljen je del 2. Je preblizu delu 1.
 d) Del 1 je ponovno postavljen (pomika se vzdolž demontažne poti), saj je v listi demontažnih zaporedij pred delom 2.
 e) Pomikanje dela 1 se nadaljuje tako dolgo, da je razdalja med delom 1 in preostalimi dovolj velika.
 f) Vsi sestavni deli so na končnih legah (pred montažo).

- a) Part positions immediately after disassembly.
 b) Part 1 is positioned. It is distanced from the other parts of the product.
 c) Part 2 is positioned. It is too close to part 1.
 d) Part 1 is positioned again (moved along its disassembly path) since it is prior to part 2 in the disassembly-sequence list.
 e) The translation of part 1 continues until the distances between part 1 and the other parts are not large enough.
 f) All parts of the product are in their final positions (the positions before assembly).

Sl. 8. Pozicioniranje sestavnih delov pri izdelku, pri katerem imajo vsi sestavni deli nepokončne (de)montažne poti

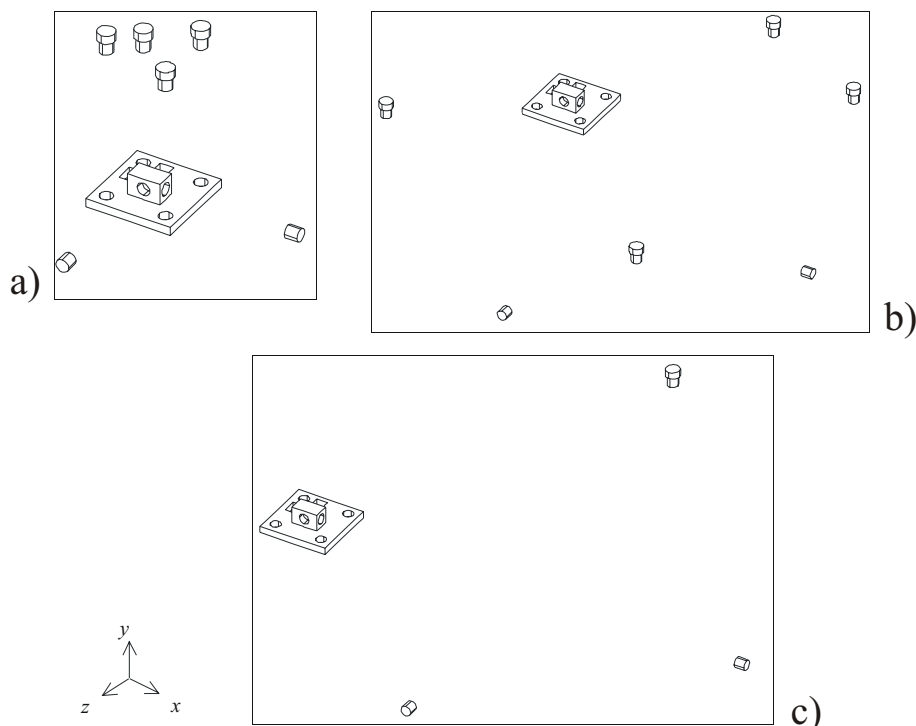
Fig. 8. The positioning of the parts in the product in which all the parts have non-vertical (dis)assembly paths

Naslednja izboljšava je pri **sestavnih delih s pokončnimi demontažnimi potmi**. Namesto da bi postavili vsak sestavni del posebej, algoritem najprej izračuna najboljše lege (z uporabo optimizacijskega kriterija največjih razdalj med sestavnimi deli), in šele nato izvede pomike sestavnih delov[9].

Če vsebuje izdelek več sestavnih delov z enako prostornino in površino, se ti sestavni deli štejejo za identične (sl. 9-a). **Identični sestavni deli** so razvrščeni, pri tem upoštevamo primere, ko imajo ti deli tudi iste demontažne smeri. Identični sestavni deli z istimi demontažnimi potmi so postavljeni na skupno lego (sl. 9-c), to omogoča prihranek na prostoru in opremi.

The next improvement is made with regard to the **parts with the vertical disassembly paths**. Instead of the positioning of each part with vertical (dis)assembly paths one by one, the algorithm now first calculates the best positions (with the use of the maximum-distance-between-parts optimisation criterion), and just after that makes the translations of the parts. [9]

If a product has several parts that have the same volume and surface area, these parts are considered as identical (Fig. 9-a). The **identical parts** are grouped together, taking into account whether they have the same disassembly directions. Identical parts with the same disassembly directions are positioned at a unique location (Fig. 9-c), which enables equipment and space savings.



Sl. 9. Lege sestavnih delov: a) po demontaži izdelka, b) pred montažo – po prvotnem algoritmu, c) pred montažo – po izboljšanem algoritmu

Fig. 9. The positions of the parts: a) after product's disassembly, b) before assembly - original algorithm, c) before assembly - improved algorithm

4 SKLEPI IN NADALJNJE DELO

Z vidika načrtovanja montaže je vsak izdelek, ki ga je treba zmontirati, mehanizem, ki ga je treba določiti v postopku načrtovanja. Ta mehanizem je na začetku zamisel – montažni načrt, ki bo kasneje preoblikovan v resnično montažno napravo in opremo. Tako je montažni načrt ključni element prizadevanja po integriranju razvoja izdelka, razvoju montažnega sistema (če montažni sistem še ne obstaja) in/ali programiranje montažne naprave in montaže (če montažni sistem že obstaja). Obstoj izdelka v sistemu RPN omogoča definiranje elementov in postopkov za ustvarjanje načrta za avtomatsko montažo. Tako je bil razvit podprt sistem RPN za ustvarjanje načrta za avtomatsko montažo. V tem prispevku so prikazani izboljšani in na novo uporabljeni algoritmi za sistem ustvarjanja načrta montaže. Ti algoritmi se nanašajo na: definiranje zaporedja montaže, strukturiranje prostora za montažni postopek pri enopostajni montaži, usmeritev izdelka, stikanje in obravnavo identičnih sestavnih delov v izdelku.

Nadaljnje delo bo usmerjeno v izboljšanje postopkov (avtomatskih in iterativnih), obravnavo načrtovanih variant in njihovo vrednotenje, razvoju montažnih naprav in avtomatsko programiranje in delovanje.

4 CONCLUSIONS AND FURTHER WORK

From the assembly-planning point of view, each product that is to be assembled is a mechanism – one that should be recognised during the planning stage. This mechanism is at first an abstraction – an assembly plan, that will later on be transformed into real assembly devices and equipment. In this way, the assembly plan is a key element in the effort to integrate the product design, assembly-system design (if the assembly system does not exist yet) and/or the assembly-device programming and the assembly execution (if the assembly system exists). A product's existence in a CAD system allows a definition of the elements and procedures aimed at an automatic plan generation. Regarding the former, a CAD-based system for plan generation of an automatic assembly has been developed. In this paper, improved and newly implemented algorithms of the plan-generation system are depicted. These algorithms are related to the following: assembly-sequence defining, space structuring (layout) of the assembly process for bench assembly, product orientation, connectivity, and the treatment of identical parts in a product.

Further work will cover the improvement of the generation procedure (automatic and interactive modes), the consideration of plan variants and their validation, assembly device design, automatic programming and execution.

5 LITERATURA

5 REFERENCES

- [1] Gottschlich, S., C. Ramos, D. Lyons (1994) Assembly and task planning: a taxonomy, *IEEE Robotics & Automation Magazine*, Vol. 1, 4-12.
- [2] Santochi, M. et al. (1995) STC 'A' Cooperative work on assembly-planning software systems, *Annals of the CIRP*, Vol. 44, 651-658.
- [3] Kim, G.J., S. Lee, G. A. Bekey (1996) Interleaving assembly planning and design, *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, Vol. 12, 246-251.
- [4] Jones, R.E., R. H. Wilson, T. L. Calton (1998) On constraints in assembly planning, *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, Vol. 14, No. 6, 849-863.
- [5] Ye, N., D. A. Urzi (1996) Heuristic rules and strategies of assembly planning: experiment and implications in the design of assembly decision support system, *International Journal of Production Research*, Vol. 34, 2211-2228.
- [6] Fujimoto, H., M. F. Sebaaly (2000) A new sequence evolution approach to assembly planning, *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, Vol. 122, No. 1, 198-205.
- [7] Kunica, Z., B. Vranješ (1999) Towards automatic generation of plans for automatic assembly, *International Journal of Production Research*, Vol. 37, 1817-1836.
- [8] Kunica, Z., M. Hrman, B. Vranješ (1999) Algorithmisation of assembly stability check at automatic assembly plan generation, *Proceedings of 10th International DAAAM Symposium "Intelligent Manufacturing & Automation: Past-Present-Future"*, ISBN 3-901509-10-0, Vienna, 281-282.
- [9] Hrman, M., Z. Kunica, B. Vranješ (1999) Positions of parts with vertical (dis)assembly paths at automatic assembly system planning, *Proceedings of 10th International DAAAM Symposium "Intelligent Manufacturing & Automation: Past-Present-Future"*, ISBN 3-901509-10-0, Vienna, 199-200.
- [10] Homem de Mello, L.S., A. C. Sanderson (1990) And/or graph representation of assembly plans, *IEEE Transactions on robotics and automation*, Vol. 6, 188-199.
- [11] Cagan, J., D. Degentesh, S. Yin (1998) A simulated annealing-based algorithm using hierarchical models for general three-dimensional component layout, *Computer-Aided Design*, Vol. 30, No. 10, 781-790.
- [12] Boothroyd, G., P. Dewhurst (1991) Product design for assembly, *Boothroyd Dewhurst Inc.*, Wakefield.
- [13] Zorc, S., D. Noe (1998) Efficient derivation of the optimal assembly sequence from product description, *Cybernetics and Systems: International Journal*, 29, 159-179.

Naslov avtorjev: doc.dr. Zoran Kunica
 prof.dr. Božo Vranješ
 Miljenko Hrman
 Faculty of Mechanical Engineering
 and Naval Architecture
 Univerza v Zagrebu
 Ivana Lučića 5
 HR-10000 Zagreb, Hrvatska
 zoran.kunica@fsb.hr
 bozo.vranjes@fsb.hr
 miljenko.hrman@fsb.hr

Authors' Address: Doc.Dr. Zoran Kunica
 Prof.Dr. Božo Vranješ
 Miljenko Hrman
 Faculty of Mechanical Eng. and
 Naval Architecture
 University of Zagreb
 Ivana Lučića 5
 HR-10000 Zagreb, Croatia
 zoran.kunica@fsb.hr
 bozo.vranjes@fsb.hr
 miljenko.hrman@fsb.hr

Prejeto: 15.3.2001
 Received:

Sprejeto: 29.5.2003
 Accepted:

Odprt za diskusijo: 1 leto
 Open for discussion: 1 year

Robotiziran montažni sistem kot sodelujoča večdelna organizacija

A Study of a Robotic Assembly System as a Collaborative Multi-Agent Organization

Jerbić Bojan - Vranješ Božo

Prispevek obravnava načrtovanje večglavega robotiziranega montažnega sistema. Vsak sistem, ki ga je mogoče razstaviti na komponente, lahko obravnavamo kot družbo členov. Takšna zgradba omogoča oblikovanje sodelujočega sistema, ki omogoča nastanek socialne inteligence. Socialno obnašanje je najvišja oblika inteligence, ki omogoča reševanje zelo zapletenih problemov, avtonomno ustvarjanje novih postopkov in učinkovito prilagajanje novim zahtevam. Obravnavani večdelni model temelji na procesnih enotah, ki vsebujejo opremo za prepoznavanje, strategije za reševanje problemov in zmožnost učenja. Sistem ima tako zmožnosti: zaznavanja, prepoznavanja, reševanja problemov, učenja in komunikacije. Uporabljena je okrepljena metoda učenja za vrednotenje delovanja robota in za ustvarjanje novega ali izboljšanje sedanjega znanja. Tako pridobljen vzorec delovanja je spravljen kot izkušnja, ki jo je mogoče uporabiti za reševanje podobnih prihodnjih problemov. Za prepoznavanje podobnosti problemov je uporabljena prilagodljiva mehka senčena (PSMM) nevronska mreža.

© 2003 Strojniški vestnik. Vse pravice pridržane.

(Ključne besede: montaža robotizirana, sistemi večdelni, člen neodvisni, metode učenja, mreže nevronske)

This paper looks at designing a robotic assembly system as a multi-agent system. Any multi-device system, or any system whose performance is naturally decomposable, can be interpreted as a corporation of agents. Such a scheme comprises the ability to create a collaborative system that can provide the achieving of the social intelligence. Social behavior is the highest form of intelligence, which is able to solve very complex problems, autonomously create new procedures and efficiently adapt to new tasks. The presented multi-agent model is based on processing units that include recognition networks, problem-solving strategies and learning engines. It integrates perception, recognition, problem-solving, learning and communication capabilities. The reinforcement learning method is used here to evaluate the robot's behavior and to induce new, or improve the existing, knowledge. The acquired action (task) plan is stored as experience, which can be used in solving similar problems in the future. To recognize problem similarities we applied the Adaptive Fuzzy Shadowed (AFS) neural network.

© 2003 Journal of Mechanical Engineering. All rights reserved.

(Keywords: robotic assembly, multiagent systems, autonomous agent, learning methods, neural networks)

0 UVOD

Sedanji robotizirani montažni sistemi, tudi če so opremljeni z umetnim vidom in drugimi sistemi zaznavanja, so zelo občutljivi za spremembe izdelka ali postopka. Tudi majhne spremembe v geometrijski obliki izdelka povzročijo občutne spremembe montažnega postopka, zamenjavo geometrijske oblike orodij ali strukture delovnega okolja. Kljub digitalni določenosti avtomatskih sistemov povzroči deterministični kaos nepredvidljiva stanja. Običajno se postopek ustavi, ali pa pride do napačne montaže. Zato je razvoj avtonomnega delovanja robotov ključen za avtomatizacijo montažnega postopka. Od

0 INTRODUCTION

Real robotic assembly systems, even those equipped with vision and other perception systems, are still very sensitive to product or process changes. Even small changes in product geometry can imply considerable modifications to the assembly process, an alteration to the tool's geometry or the structure of the working environment. At the same time, in spite of the digital determinism of automatic systems, deterministic chaos produces unpredictable conditions. It usually stops the process or results in defect assemblies. As a result, the development of autonomous robot behavior is a key approach in assembly-system automation. The planning of intelligent robot behavior can be seen as a kind of

inteligentnega robota pričakujemo, da se bo obnašal podobno kakor človek, če bo soočen z nepoznanim problemom. Kot prvo se pojavi vprašanje, kako je mogoče zgraditi bazo znanja o nečem, kar je nepoznano, in kako naučiti robota, da bo reševal nepoznane probleme? Edini logični odgovor je: *Robota je treba naučiti, da se bo sam učil.*

1 ROBOTI Z NEODVISNIM OBNAŠANJEM

Neodvisni robot pomeni delovno napravo z določenimi gibalnimi zmožnostmi (premikanje in/ali gibanje), z uporabo ustvarjalnega sistema načrtovanja, ki se odziva na spremenljivo okolje v dejanskem času. Podana definicija opisuje inteligentnega dejavnika z modelom reagiranja, ki temelji na sklopu verjeti - hoteti - nameravati. Običajno ga imenujemo "softbot", robot, temelječ na obnašanju ali bitje z zmožnostjo odločanja, "razumno" bitje. V smislu avtomatske montaže, mora neodvisni dejavnik izkazovati metode prilagajanja in načrtovanja kot odgovor na nedoločeno dinamiko delovnega okolja.

Zapletenost intelektualnih mehanizmov kaže, da je želja razviti model umetne inteligence obsojena na neuspeh in razočaranje. Čar inteligence temelji na dolgotrajnem učnem postopku. Naše ustvarjalno vodilo je prevladujoče predvsem v domeni učenja [3]. Kaže, da so modeli učenja bolj pregledni in lažje razumljivi, ker jih je mogoče opazovati, v nasprotju s skritimi možganskimi aktivnostmi [2]. Zato je dosti bolj uspešno ustvariti učeči se sistem, ki je sam zmožen razviti pripadajoče intelektualne mehanizme. Sistem te vrste je mogoče učiti ali izuriti, namesto da bi ga programirali. Učenje za izboljšanje zmožnosti in mehka logika so preverjene metode v inteligentni robotiki [7]. Najboljši rezultati so doseženi na področju mobilnih robotov zaradi enostavnosti dvodimenzionalnih problemskih paradig [1]. V tridimenzionalnem svetu so problemi bolj zapleteni, kakor pri montažnem procesu, ki vključuje prepoznavanje tridimenzionalnega okolja in odločanje (krmiljenje) pri najmanj treh prostostnih stopnjah.

2 MONTAŽNI SISTEM KOT VEČDELNI ROBOTIZIRANI SISTEM

Zapletenost avtomatskega montažnega sistema je vsebovana že v pojmu montaža, ki pomeni gradnjo geometrijskih struktur. Zahteva zelo zahtevne gibalne in zaznavne zmožnosti in tudi določen intelektualni potencial za oblikovanje geometrijske oblike izdelka in karakteristike montažne strukture. Sam robot zadovolji le del teh zahtev. Enoročen in skoraj slep robot potrebuje pomoč dodatnih naprav ali drugih robotov za prenos, usmeritev, izbiro položaja in pritrdjevanje. Vsi skupaj

control system that is expected to endow human-like and autonomous behavior to robots confronted with unknown problems. The questions that arise are as follows: how is it possible to build a knowledge base about something that is not known, and how then to teach a robot to cope with unknown problems? The only logical answer is that *the robot should be taught to learn on its own.*

1 AUTONOMOUS-BEHAVIOR-BASED ROBOTS

An autonomous robot means a working device with a certain motoric capability (motion and/or moving) that implements a generative planning system which interacts with a changing environment in real time. The given definition actually describes an intelligent agent with an embedded dynamic-reaction model based on belief-desire-intention architecture. It is usually called a "softbot", behavior-based robot or a decision-making "rational" being. In terms of automatic assembly, the autonomous agents should provide adaptation and planning methods as the answers to the nondeterministic dynamism of the working environment.

The complexity of the intellectual mechanism suggests that the aim of developing artificial intellectual models could be a fruitless or disappointing task. The magic of intelligence evolves in a long-term learning process. Our genetic legacy is dominant, particularly in the domain of learning [3]. But, it seems that learning models are more obvious, more understandable, since there is a chance to observe them in contrast to hidden, brain activities [2]. Hence, it is much more effective to build a learning system capable of designing the corresponding intellectual mechanism on its own. A system of this kind can be taught or trained, instead of being programmed, and reinforcement learning, neural networks and fuzzy logic are proven methods in intelligent robotics [7]. The most advanced results are achieved in the area of mobile robots, due to the simplicity of 2D-problem paradigms [1]. In the 3D world the problems can be more complicated; for example in the assembly process, which includes the recognition of 3D scenes and decision making (controlling) based on at least three degrees of freedom.

2 AN ASSEMBLY SYSTEM AS A MULTI-AGENT ROBOTIC SYSTEM

The complexity of an automatic assembly system comes from the complexity of the nature of the assembly, which comprises building geometrical structures. It requires very sophisticated motoric and perception capabilities, but also a certain intellectual potential to make conclusions about the geometry of the product and the characteristics of the assembly structure. The robot itself satisfies just a part of these requirements. Single-handed and nearly blind, the robot needs help based on complementary devices, or other robots, for

sestavljajo urejen sistem. Določena sestavina je odgovorna za določeno nalogo in je določeno posebno mehanično bitje, odgovorno preostalim vključenim v montažni sistem. Pri vsakem od njih pričakujemo zmožnost odzivanja na spremembe, da prilagodi svojo geometrijsko obliko ali način delovanja. Če gledamo na montažni sistem tako, ga je mogoče razumeti kot nekakšen "socialni način delovanja" oziroma sistem, sestavljen iz sodelujočih posameznikov (členov). Vsak sistem več naprav oziroma vsak sistem, katerega delovanje je mogoče naravno razstaviti, je večdelni sistem. To pomeni, da lahko tudi en sam robot, krmiljen z več programi ali računalniki, ki drug z drugim sodelujejo, izkazuje zapleteno razumno obnašanje. Socialno obnašanje je najvišja oblika inteligence, ki lahko da mnoge prednosti v večdelnih robotskih sistemih. Te prednosti so:

- izboljšano delovanje sistema z uporabo vzporednosti pri zaznavanju;
- skupno odločanje, utemeljeno na porazdeljenem kriticismu, prispeva h kreativnemu ustvarjanju idej, kako rešiti nov problem;
- zanesljivost, ki je posledica odvečnosti členov in zmanjšanje individualne kompleksnosti

3 MODEL SODELUJOČEGA VEČDELNEGA SISTEMA

Glavna parametra večdelnega sistema sta socialna organiziranost in komunikacija. Socialna organiziranost definira strukturo robotske družbe, ki določa sistemsko hierarhijo, odgovornosti členov in njihove vloge: vodje, sodelavce, nasprotnike, pomočnike, učitelje itn. Socialna organiziranost neposredno vpliva na obnašanje večdelnega sistema. Nekateri roboti bodo sodelovali in pomagali drug drugemu, nekateri bodo iskali druge poti, nekateri bodo skrbeli za varnost členov, nekateri bodo vzpodbujali združevanje ali pa težili k pokrivanju večjih delovnih področij. Razsodna funkcija bo ocenjevala obnašanje vsakega člana in napredek celotnega sistema. Ta pokaže, ali je določeno obnašanje imelo za posledico dobro delovanje in naj se pomni kot pozitivna izkušnja, ali opozori, če je obnašanje povzročilo neželene učinke.

Komuniciranje med členi je osnova členske družbe. Brez možnosti komunikacije členi ne morejo oblikovati družbe. Komunikacijski sistem mora definirati:

- kdaj komunicirati,
- kakšna je vsebina informacije,
- kdo je vključen v komunikacijo,
- kakšen je dosežek komunikacije.

Komunikacija mora biti vzpostavljena na podlagi percepcije, vloge in trenutne pozicije/stanja. Na primer, nekaterim členom ni dovoljeno začeti komunikacije, ker niso voditelji ali odgovorni členi;

transport, orientation, positioning and fixturing. Altogether, they constitute a synchronized system. A particular component is responsible for a particular task, representing certain individual mechanicals being responsible to others combined in the assembly system. Each of them is expected to be able to respond to the change, or adapt their own geometry or course of action. Looking at the assembly system in this way, it can be interpreted as a kind of "social modus operandi" or a system built from collaborative individuals (agents). Any multi-device system or any system whose performance is naturally decomposable is a multi-agent system. This means that even one robot can be controlled by several programs or computers which, collaborating with each other, construct a complex intellectual behavior. Social behavior is the highest form of intelligence, which can provide many advantages in multi-agent robotic systems, such as:

- improved system performance by exploiting the parallelism of sensing and action,
- collective decision-making based on distributed criticism, contributing to the creative construction of ideas for solving new problems,
- reliability, which comes from agent redundancy and the reduction of individual complexity.

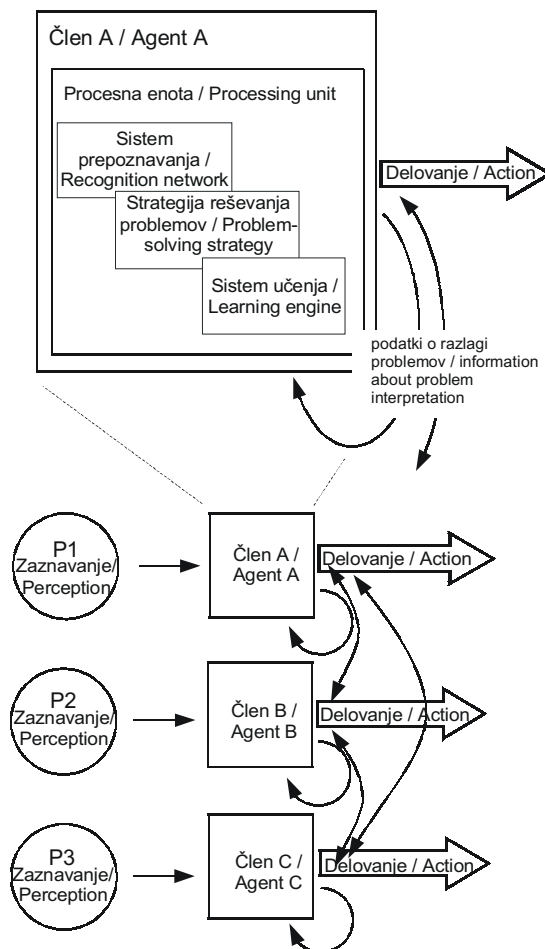
3 MODEL OF A COLLABORATIVE MULTI-AGENT SYSTEM

The main parameters of a multi-agent system are social organization and communication. The social organization defines the structure of a robotic society, which specifies the system hierarchy, the agent responsibilities and the roles – leaders, followers, opponents, helpers, teachers, etc. The social organization has direct effect on the behavior of the multi-agent system. Some of the agents will follow and help each other, some of them will look for other ways, some will take care of agent security, others will suggest congregation or will tend to cover a wider working area. The arbitration function evaluates the behavior of each agent and the progress of the whole system. It shows when some behavior has resulted in good actions, which should be learned as a positive experience, or alerts when bad behavior produces undesired effects.

The communication between agents is the basis of the agent community. Without the ability to communicate, the agents cannot create a community. The communication system must define:

- whether to communicate,
- what is the information content,
- who are the members in communication,
- what is the range of communication.

The communication should be established on the basis of perception, role and current position/state. For example, some of the agents may not be allowed to initiate communication because they are not



Sl. 1. Model sodelujočega večdelnega sistema
Fig. 1. The model of a collaborative multi-agent system

nekateri členi so lahko zunaj komunikacijskega dosega, to pomeni da jim njihovo stanje ali položaj ne daje možnosti, da bi uspešno sodelovali pri reševanju dejanskega problema. Mnogostranost komunikacijskih pravil in njihovih kombinacij daje možnost ustvarjanja zelo zapletenega in ustvarjalnega socialnega obnašanja, kar ima za posledico zelo robusten stroj za reševanje problemov.

Slika 1 prikazuje model sodelujočega večdelnega sistema. Vsak člen ima procesno enoto, ki zajema sistem prepoznavanja, strategijo reševanja problemov in sistem učenja. Sistem prepoznavanja podobnih problemov, ki jih je mogoče rešiti s sedanjim znanjem, to je znanjem, zbranim iz izkušenj (primeri rešitev predhodnih problemov). Strategija reševanja problemov je vgrajeno preprosto splošno znanje, ki naj omogoča členu, da problem razišče in najde rešitev. To ni napreden in zahteven razumni mehanizem, ampak primitivni postopek preizkušanja: korak po korak dobro - slabo. Naloga sistema učenja je, da izboljša omenjeno preprosto strategijo reševanja problemov, tako da prilagaja znane postopke in/ali vključuje nove korake. Z ugotavljanjem uspešnosti delovanja jih sistem sprejme ali zavrne. Pozitivno delovanje se zapomni in oblikuje novo paradigmo

the leaders or responsible agents; some of the agents might be out of the communication range, i.e. their position or state does not give them a chance to be efficiently used for the solving of the encountered problem. The versatility of the communication rules and their combinations give us the opportunity to create very complex and creative multi-agent social behavior that can roll out the robust problem-solving engine.

The Figure 1 illustrates the model of a collaborative multiagent system. Each agent includes the processing unit, which combines the recognition network, the problem-solving strategy and the learning engine. The recognition engine is assumed to recognize similar problems that can be solved with existing knowledge, acquired on the basis of experience (previous problem-solving cases). The problem-solving strategy is the embedded, simple general knowledge, which should enable the agent to explore the problem and find the solution. This is not a sophisticated and intelligent mechanism, but rather a primitive, step-by-step, true-false procedure. The learning engine's aim is to improve the previously mentioned, simple problem-solving strategy, adapting the existing procedures and/or including new steps. By estimating the success of the actions the engine either accepts or rejects them. The positive actions are

robotovega obnašanja. To bo predstavljalo model bodočega obnašanja člena v prihodnjih podobnih primerih.

Razlaga problemov in sklepi so skupek informacij za nadzor in komunikacijo. Podatki za nadzor so namenjeni za spodbujanje delovanja ali serijo delovanj, ki jih razpoznamo kot obnašanje. Informacija za sodelovanje je izvleček členove razlage problema. Te informacije se pošiljajo in/ali sprejemajo od drugih členov večdelnega sistema ali k njim. Informacija o sodelovanju vzpodbuja ali zavira funkcije, ki zvišujejo ali znižujejo motivacijo člena za določeno delo (pomagaj drugemu členu, vztrajaj pri trenutnem delu, spremeni ali ustavi akcijo itn.).

4 MODEL RAZUMNEGA ČLENA

4.1 Sistem učenja

Sistem robotskega učenja mora zagotoviti zajemanje proceduralnega znanja, aktualna pravila za gibanje in postopke pa tudi učenje opisnega znanja o delovnem okolju in strukturah. Začetna predpostavka je, da robot ne ve ničesar. Je "tabula rasa" in ima le nekaj znanja glede določenih strateških splošnih postopkov za doseganje ciljev (prijeti sestavni del prek ovire, vstaviti neurejen del itn.) in o učnih metodah.

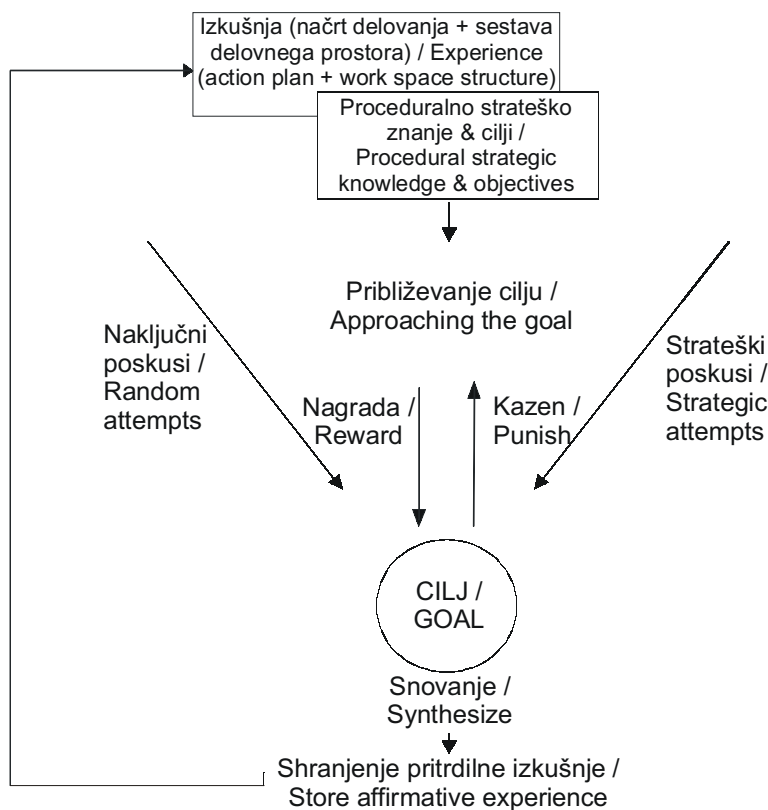
then recorded, and this forms the new paradigm of robot behavior that will represent the model of the agent's behavior in future, similar situations.

The problem's interpretation and conclusions represent the control and collaboration set of information. The control data are used to initiate an action, or the collection of actions, which can be recognized as a behavior. The collaboration information abstracts the agent's problem interpretation. They are transferred and/or received to/from the other members of the multi-agent system. The collaboration information serves as excitatory or inhibitory functions that rise or lower the motivation of the agent to undertake certain action (help another agent, persists in current work, changes or stops the action, etc.).

4 THE MODEL OF THE INTELLIGENT AGENT

4.1 Learning System

The robot learning system should enable the acquisition of procedural knowledge – actually, the moving action rules and procedures – as well as learning descriptive knowledge about the structures of the working environment. The starting assumption is that the robot does not know anything. It is a tabula rasa and has only some knowledge about certain strategic general procedures for attaining objectives – grasp work-piece over the obstacle, insert misaligned part and so on – and about the learning method.



Sl. 2. Zasnova sistema robotskega učenja
Fig. 2. The concept of the robot learning system

Slika 2 ponazarja predlagani sistem načrtovanja. Uporabljen je ojačan sistem učenja ([4] in [5]), ki temelji na strateških in naključnih poskusih. Postopek za ocenjevanje in iskanje napak konvergira k zelenemu cilju tako, da kaznuje napačno delovanje in privzema uspešno. Ko se približa cilju, je treba zasnovati smiselne ukrepe in jih spraviti v spomin kot nekakšno izkušnjo, ki bo pomagala pri reševanju podobnih problemov v prihodnosti. Podobni problemi so tisti, ki so podobni glede na strukturo delovnega okolja. Ker zbrano znanje predstavljajo postopki, ki se nanašajo na ustrezne prostorske strukture, je robot zmožen delovati po postopkih, za katere je izurjen. Tako naj bi opravil nalogo z najmanjšim številom napak.

4.2 Sistem prepoznavanja

Naučeni celotni postopek naj se nanaša na pripadajoč prostorski načrt, ki je zajet s celotnim vizualnim sistemom. Z uporabo celotnega vida je robot zmožen prepoznati spremembe v delovnem prostoru, tako da primerja trenutno sliko z že znanimi paradigmi in se odloči o načinu obnašanja. V primeru podobnih struktur uporabi priučene postopke, v drugih nepoznanih ali bistveno različnih strukturah, mora začeti z iskanjem nove primerne poti.

Struktura delovnega prostora ne more biti zapisana kot simbolno kodiran zapis, ker bi to zahtevalo veliko računalniškega spomina za novo ali podobno situacijo. Za obdelavo tako obširne podatkovne baze bi bil potreben znaten čas. Model nevronske mreže je uspešen način za obdelavo velikega števila vhodov in za njihovo zapomnjanje zgoščeno v obliki sinoptičnih uteži. Za uporabo pri reševanju strukturnih problemov morajo biti nevronske mreže zgrajene tako, da si lahko zapomnijo različne prostorske strukture in prepoznajo podobne. Izraz "podobna situacija" tukaj pomeni situacije, ki jih imamo običajno za podobne, na primer ovire, ki oblikujejo podobna prostorska razmerja, so malo premaknjene ali zasukane, ali pa se malo razlikujejo po obliki. Struktura delovnega prostora je predstavljena v obliki binarne matrike $n \times m$, ki predstavlja vstopni vektor mreže. Ničle pomenijo prazen prostor, enice pa diskretiziran prostor, kjer stoji ovira.

4.2.1 Prilagodljiva senčena mehka mreža (PSMM)

Za razpoznavanje prostorskih struktur po definiciji podobnosti je bila razvita PSM nevronska mreža. Postopek učenja razdeli v tri faze: začetek, učenje in delovanje.

V fazi začetka uporablja postopek iskanja težišča gruč (ITG) v izogib zlivanja različnih strukturnih kategorij, da zagotovi njihovo

Fig. 2. illustrates the proposed concept of the intelligent planning system. It implements the reinforcement learning ([4] and [5]) based on strategic and random attempts. The trial-and-error searching procedure converges on a given goal by punishing a wrong action or rewarding a successful one. After approaching the goal, reasonable actions should be synthesized and recorded as some kind of experience that will help solving similar problems in the future. Similar problems are those that resemble each other with regard to the structure of the work space. Since the gathered knowledge consists of procedures assigned to appropriate space structures, the robot is able to follow the trained procedure, expecting to accomplish the task with a minimum number of faults.

4.2 Recognition system

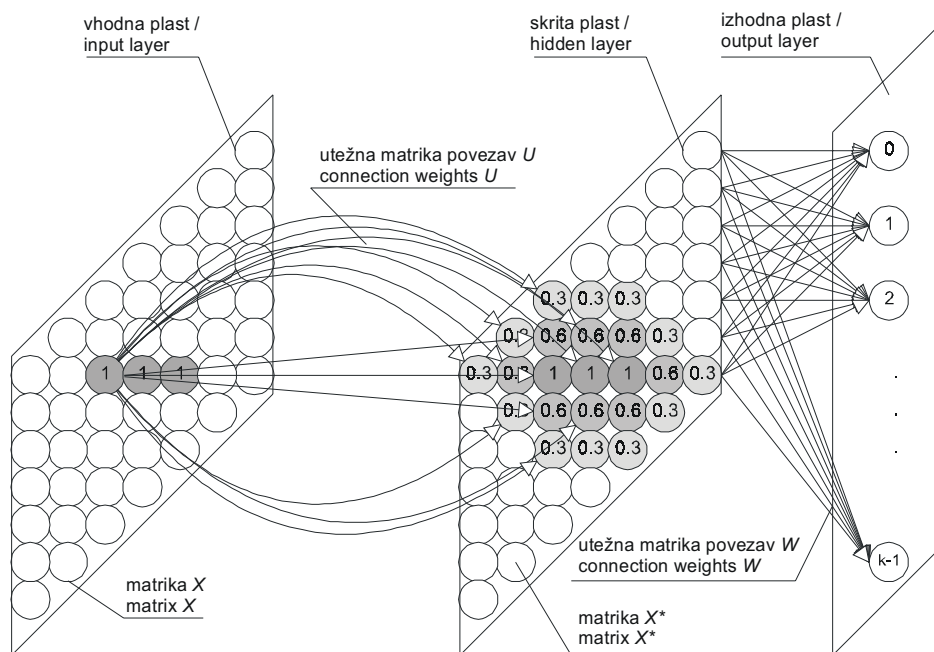
The learned moving procedure should be assigned to a corresponding work-space map acquired by the global vision system. Using the global view the robot is able to recognize changes in the structure of the work space, comparing the current space map with already experienced paradigms, and come to decisions about its behavior. In the cases of similar structures it uses learned procedures, in others, unknown or significantly different structures, it must undertake the searching of a new, appropriate path.

Work-space structure cannot be simply recorded as a symbolically coded description, because this would require a large computer memory for any new or similar situation encountered – and it would take a considerable time to search such a large database. The neural network model offers an efficient way to process a large number of input values and to memorize them, condensed as synaptic weights. Applied to the structural assignment problem, the neural network should be designed to memorize distinct work-space structures and to recognize similar ones. The term "similar situations" here denotes situations that are usually considered similar, i.e. situations where obstacles form similar spatial relations, slightly translated or rotated in any direction, or where they slightly differ in shape. The work-space structure is represented as a $n \times m$ binary matrix, which is assumed to be a network input vector. The zeros represent empty space and units denote the discrete space where the obstacle resides.

4.2.1 Adaptive fuzzy shadowed network

In order to provide recognition of work-space structures, according to the given definition of similarity, the Adaptive Fuzzy Shadowed (AFS) neural network has been designed. It divides the learning process into three phases: initiation, training and working.

In the initiation phase it uses the cluster center seeking approach (CCS) to prevent the blending of



Sl. 3. Struktura adaptivne senčene mehke nevronske mreže
Fig. 3. Adaptive fuzzy shadowed network architecture

uravnoteženo razporejanje in da bi izločil vpliv stopnje predstavitve problema. Algoritem ne sledi popolnoma algoritmu ITG, poznanemu pri [6]. Namesto računanja največje absolutne različnosti (ali najmanjše absolutne podobnosti), računa največjo relativno različnost (najmanjšo relativno podobnost) Sp . Vpliv velikosti ovire v razpoznavo težišča gruče je vključen, tako da upošteva raven ujemanja (število ujemajočih se enic) in velikost ovire (število enic). Vzorec težišča gruče tako predstavlja najbolj značilno strukturo primerkov, ki naj začne mrežo in ne omejuje števila izhodnih nevronov, ki bodo zajeti med učenjem, ki sledi.

Arhitektura mreže temelji na treh plasteh nevronov (sl.3 3). Namen skrite plasti je, da spremeni vhodni vektor X , da omogoči prepoznavanje bitno premaknjene ali zasukane situacije (v katerikoli smeri) kot podobno (vzbudi isti izhodni nevron). To je doseženo z dodajanjem sence okoli obrisa ovire. Intenzivnost sence se zmanjšuje z večanjem razdalje od ovire dva ali več ravni globoko, kakor to določa utežnostna funkcija senčenja (enačba 1) za vhodni vektor skrite plasti X^* .

distinct structure categories, to provide their balanced dissipation and to eliminate the influence of the order of the problem presentation. The algorithm does not completely follow the CCS algorithm known from [6]. Instead of calculating the maximum absolute dissimilarity (or minimum absolute similarity), the maximum relative dissimilarity (or minimum relative similarity) Sp is calculated. The influence of the size of the obstacle on the cluster center identification is thus included, considering the relation between the matching level (the number of matching "1's") and the obstacle size (the number of "1's"). The cluster center patterns actually represent the most distinctive structure samples that must initiate the network, and do not limit the final number of output neurons that will be acquired during the training that follows.

The network architecture is based on three neuron layers (Fig. 3.). The purpose of the hidden layer is to modify the input vector X in order to provide the recognition capability of bit-translated or rotated situations (in any direction) as similar situations (triggering the same output neuron). This is attained by adding shadows around the obstacle's contours. The shadow intensity decreases as the distance from the obstacle increases two or more levels deep as given by the shadowing weight function (Eq. 1) for a hidden-layer input vector X^* :

$$u_{iji^*j^*} = \begin{cases} 1 & \forall (i^* = i \wedge j^* = j) \\ \alpha \cdot \frac{1}{|l_1| + |l_2|} & \begin{matrix} l_1 = |i^* - i| \\ l_2 = |j^* - j| \\ 0 < l_1 + l_2 \leq l_{max} \end{matrix} \end{cases} \quad (1),$$

kjer so:

$u_{iji^*j^*}$ - utežna funkcija med ij vhodnim nevronom in i^*j^* nevronom skrite plasti,
 α - koeficient linearnosti ($0 < \alpha < 1$)

where:

$u_{iji^*j^*}$ is the weight function between the ij input neuron and the i^*j^* hidden-layer neuron,
 α is the linearity coefficient ($0 < \alpha < 1$),

I_{max} - je velikost sence

Funkcija proženja in širjenja $P_{i^*j^*}$ temelji na naslednjem pravilu

I_{max} is the shadow size.

The propagation and activation function $P_{i^*j^*}$ is based on the following rule:

$$P_{i^*j^*} = \max_{ij}(x_{ij}u_{iji^*j^*}) \quad (2)$$

$$x_{i^*j^*}^* = P_{i^*j^*} \quad (3)$$

Tako je vhodna plast spremenjena iz binarnega v analogni vektor, kakor lahko vidimo na sliki 4. Vsak nevron v srednji plasti je povezan z vsakim nevronom v izhodni plasti. Ko je mreža začeta z različnimi strukturnimi primerki, sledi druga faza učenja trening, ki vključuje vse strukturne primerke. Stopnje, uporabljene v mrežnem algoritmu, so:

1. Začetek:
 β ($0 < \beta < 1$) parameter stopnje učenja,
 ρ ($0 < \rho < 1$) koeficient podobnosti,
 $N = 0$ število nevronov v izhodni plasti,
 C_{max} največje število težišč gruč.
2. Beri vse vhodne matrike X , ki jo sestavljajo binarni elementi
3. Najdi matriko z najmanjšo gostoto dn , ki bo prvo težišče gruče:

$$dn = \min_p \left\{ \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{m-1} x_{pij}, p = 0, 1, \dots, (Np-1) \right\} \quad (4)$$

kjer so: Np število vhodnih matrik, x_{pij} - ij element p -te vhodne matrike Xp , n - število vrstic v vhodni matriki, m - število stolpcev v vhodni matriki.

Matrika X_d ($d \in \{0, 1, \dots, (Np-1)\}$) z najmanjšo gostoto dn postane matrika težišča prvega sklada $Y_l = X_d$ ($C = 1$, C je število že znanih težišč).

4. Spremeni vhodne matrike z vključitvijo senc $X \rightarrow X^* = f(U)$, kjer je X vhodna binarna matrika, X^* je senčena analogna matrika.
5. Izračunaj relativno podobnost S_p med znanimi središči in preostalimi matrikami:

$$S_p = \frac{\sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{m-1} \sum_{l=0}^C (x_{pij}^* \cdot y_{lij})}{C \cdot \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{m-1} x_{pij}^*} \quad (5)$$

$$p = 0, 1, \dots, (Np-1); X_p^* \neq Y_l \forall l$$

kjer je S_p podobnost p -te matrike z že znanimi središči, y_{lij} je ij -ti element od središča Y_l l -te matrike.

6. Najdi primerek z najmanjšo relativno podobnostjo S_{min} sedanjih središč:

$$S_{min} = \min_p \{S_p, p = 0, 1, \dots, (Np-1)\} \quad (6)$$

Matrika X_p z najmanjšo relativno podobnostjo s sedanjimi težišči postane novo težišče $Y_C = X_p^*$ in število že znanih težišč postane: $C(t) = C(t-1) + 1$.

Če je $C(t) < C_{max}$ pojdi nazaj na 5, sicer pojdi na 7.

In this way the input layer is transformed from a binary to an analogue vector, as can be seen in Fig. 4. Each neuron in the hidden layer is connected to every neuron in the output layer. After the network is initialized by the distinctive structure samples, the secondary learning-training phase follows, including all of the structure samples. The steps involved in the network algorithm are stated below:

1. Initialization:
 β ($0 < \beta < 1$) the learning rate parameter,
 ρ ($0 < \rho < 1$) the similarity coefficient,
 $N = 0$ the number of neurons in the output layer.
 C_{max} the maximum number of cluster centers.
2. Read all the input matrices X that consist of binary elements.
3. Find the matrix with the minimum density dn that will be the first cluster center:

where Np is the number of input matrices, x_{pij} is the ij element of the p -th input matrix Xp , n is the number of rows in the input matrix, m is the number of columns in the input matrix.

Matrix X_d ($d \in \{0, 1, \dots, (Np-1)\}$), with the minimum density dn becomes the first cluster center matrix $Y_l = X_d$ ($C = 1$, C is the number of already existing centers).

4. Transform the input matrix including the shadows $X \rightarrow X^* = f(U)$, where X is the input binary matrix, X^* is the shadowed analogue matrix.
5. Calculate the relative similarity S_p between the existing centers/center and the rest of the matrices:

where S_p is the similarity of the p -th matrix with already existing centers, y_{lij} is the ij element of the l -th matrix center Y_l

6. Find exemplar with minimum relative similarity S_{min} to existing centers:

The matrix Xp with minimum relative similarity to the existing centers becomes a new center $Y_C = X_p^*$ and the number of already existing centers becomes $C(t) = C(t-1) + 1$.

If $C(t) < C_{max}$ then go back to 5, otherwise go to 7.

7. Začni mrežo z uporabo matrike težišča gruč
 $X = Y_l (l = 0, 1, \dots, C_{max} - 1)$
 Če je $N = 0$ pojdi na 12, sicer pojdi na 9.
8. Uporabi naslednjo vhodno matriko
 $X = X_p (p = 0, 1, \dots, N_p - 1)$.
9. Izračunaj izbirno (podobnost) funkcijo T_k za vsak izhodni nevron:

$$T_k = \frac{\|X^* \wedge W_k\|}{\|X^* \vee W_k\|} \quad (7),$$

$$k = 0, 1, \dots, (N(t) - 1)$$

kjer so: $\wedge$ mehki "in" operator:

$$(a \wedge b) = \min(a, b),$$

$\vee$ mehki "ali" operator

$$(a \vee b) = \max(a, b),$$

where: $\wedge$ is the fuzzy "and" operator:

$$(a \wedge b) = \min(a, b),$$

$\vee$ is the fuzzy "or" operator

$$(a \vee b) = \max(a, b),$$

$$\|X^* \wedge W_k\| = \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{m-1} \min(x_{ij}^*, w_{kij}) \quad (8)$$

$$\|X^* \vee W_k\| = \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{m-1} \max(x_{ij}^*, w_{kij}) \quad (9).$$

10. Izberi primerek nevrona θ , ki se najbolje ujema – nevron v izhodni plasti z največjo vrednostjo izbirne (prožilne) funkcije:

10. Select the best matching exemplar θ – the neuron in the output layer with the largest value of choice (activation) function:

$$T_\theta = \max_k \{T_k\} \quad (10).$$

11. Če je $T_k > \rho$, je zmagoviti nevron θ in pojdi na 13, če ne, nadaljuj z 12.
12. Oblikuj novi izhodni nevron (novi razred) θ , postavi število nevronov v izhodni plasti $N(t) = N(t-1) + 1$.
13. Prenovi mrežo za najbolj ujemajoči se primerek:
- a) Če je nevron vzbujen prvič:

11. If $T_k > \rho$ the winner neuron is θ and go to 13, if not, continue with 12.
12. Create a new output neuron (a new class) θ . Set the number of neurons in the output layer $N(t) = N(t-1) + 1$.
13. Update the network for the best-matching exemplar:
- a) If the neuron is triggered for the first time:

$$W_{\theta}(t) = X^* \quad (11)$$

W je utežna matrika povezav.

W is the connection weight matrix.

- b) Če je nevron že bil vzbujen

- b) If the neuron has already been triggered

$$w_{\theta_j}(t) = w_{\theta_j}(t-1) - \beta \cdot (w_{\theta_j}(t-1) - x_{ij}^*) \quad (12).$$

14. Če so bili uporabljena vsa težišča gruč ($l = C_{max} - 1$), pojdi na 15, sicer na 7
15. Če so bile uporabljene vse vhodne matrike ($p = N_p - 1$) pojdi na 16, sicer na 8.
16. Konec.

14. If all the cluster centers are applied ($l = C_{max} - 1$) go to 15, otherwise go to 7.
15. If all input matrices are applied ($p = N_p - 1$) go to 16, otherwise go to 8.
16. The end.

Če je bil izhodni nevron vzbujen prvič, se mreža prenove za primerek, ki najbolj ustreza, enako kakor v ART1. Če je bil izhodni nevron že prej vzbujen, se mreža prenove podobno kakor algoritmem mehki ART. V mehki mreži ART se lahko uteži povezav samo zmanjšujejo ali ostanejo enake. V algoritmu PSMM pa se lahko uteži povezav padajo ali rastejo sorazmerno z razliko med vrednostmi matrike uteži povezav in spremenjeno vhodno matriko iz vmesne plasti. Parameter hitrosti učenja

If the output neuron is triggered for the first time, the network is updated for the best matching exemplar in the same manner as in ART1. If the output neuron has already been triggered, the network is updated in a similar way to the fuzzy ART algorithm. In the fuzzy ART network the connection weights can only decrease or remain the same. In the AFS algorithm the connection weights are decreased or increased in proportion to the difference between the values in the connection weight matrix and in the modified input matrix from the hidden layer. The

β določa, za koliko se lahko spremenijo uteži povezav v eni stopnji, to je, kako hitro se nevronska mreža uči.

PSMM s senčeno vmesno plastjo je zgrajena za stalno učenje, tudi v delovnem načinu. To je potrebno zaradi predpostavke, da se lahko vedno pojavijo nepredvidene prilike, ki niso bile zajete v fazi učenja. Učenje v delovnem načinu lahko povzroči kreacijo novih izhodnih nevronov (razredov), ali izboljšanje obstoječega znanja mreže.

5 SKLEPI

Razlaga robotskega montažnega sistema kot večdelnega sistema odpira nove poti pri gradnji razumnih in neodvisnih robotskih celic. Ta shema vsebuje zmožnost ustvarjanja sodelujočega sistema, ki lahko privede do doseganja socialne inteligence. Ima več prednosti: sistem UI je zgrajen iz preprostih razumov, ki jih je mogoče uspešno ustvariti, enostavni krmilni programi zagotavljajo robustnost sistema, mnogostranost komunikacijskih pravil daje možnost ustvarjanja zelo zapletenega in ustvarjalnega večdelnega delovnega obnašanja. Prikazan večdelni sistem vsebuje procesno enoto, ki kombinira enoto prepoznavanja, strategijo reševanja problemov in sistem učenja. Vključuje vse glavne pogoje: zaznavanje, prepoznavanje, reševanje problemov, učenje in komunikacijo. Sistem uporablja metodo učenja za iskanje novih rešitev in nevronske mreže za prepoznavanje strukturnih podobnosti v delovnem prostoru. Metoda iskanja omogoča reševanje nepoznanih problemov, z uporabo splošnih in ključnih postopkov, za podobne probleme pa uporablja zbrano znanje. Metoda učenja se uporablja za vrednotenje obnašanja robota in za ustvarjanje novega ali izboljševanje sedanjega znanja. Prilagodljiva senčena nevronska mehka mreža rabi kot robotov vizualni spomin, njena struktura je postavljena tako, da omogoča prepoznavanje zapletenih prostorskih struktur. Predstavljeni večdelni model rabi za osnovo računalniški simulaciji sodelujočega večdelnega sistema, ki bo kasneje testiran na resnični opremi.

learning-rate parameter β determines how much the connection weights are changed in one step, i.e. how fast the neural network learns.

The AFS network with a shadowed hidden layer is designed to learn all the time, even in the working mode. This is needed because the assumption is that unpredictable situations, which were not captured in the training phase, can occur. Learning in the working mode can induce the creation of new output neurons (classes), or the improvement of existing network knowledge.

5 CONCLUSION

The interpretation of a robotic assembly system as a multi-agent system opens a new way of designing intelligent and autonomous robotic cells. Such a scheme comprises the ability to create a collaborative system that can achieve social intelligence. It has several advantages: the AI system is built from simple intellects, which can be efficiently created; simple control programs ensure the robustness of the whole system; the versatility of the communication rules and their combinations give the opportunity to create very complex and creative multi-agent working behavior. The presented multi-agent model comprises the processing unit, which combines the recognition network, the problem-solving strategy and the learning engine. It integrates the main prerequisites: perception, recognition, problem solving, learning and communication. The system employs the reinforcement learning method for acquiring new solutions and a neural network for the recognition of work-space structure similarity. The searching method enables the solving of unknown problems, following general and random procedures, as well as similar problems, using acquired knowledge. The reinforcement learning method is used to evaluate robot behavior and to induce new, or to improve the existing, knowledge. The Adaptive Fuzzy Shadowed neural network is designed to serve as a robot visual memory, and its architecture is realized in order to contribute to the recognition of complex spatial structures. The presented multi-agent model serves as the basis for building a computer simulation of a collaborative multiagent system, which can afterwards be tested on real equipment.

6 LITERATURA 6 REFERENCES

- [1] Bergman, R. (1995) Learning world models in environments with manifest causal structure, Massachusetts Institute of Technology, *AI Technical Report 1513*.
- [2] Canamero, D. (1996) Modeling motivations and emotions as a basis for intelligent behavior, Massachusetts Institute of Technology, *AI memo 1597*.
- [3] Jerbić B., K.Grolinger, and B. Vranješ B. (1999) Autonomous agent based on reinforcement learning and adaptive shadowed network, *Artificial Intelligence in Engineering*, Vol. 13, No. 2, 141-157.

- [4] Koenig, S. and R.G. Simmons (1992) Complexity analysis of real-time reinforcement learning applied to finding shortest paths in deterministic domains, *Technical Report CMU-CS-93-106*, School of Computer Science, Carnegie Mellon University, 1992.
- [5] Mahadevan, S. and J. Connell (1992) Automatic programming of behavior-based robots using reinforcement learning, *Artificial Intelligence*, 55, 311-365.
- [6] Rao, H.A. and P. Gu (1995) A multi-constraint network for the pragmatic design of cellular manufacturing system, *International Journal of Production Research*, 33, n. 4, 1049-1070.
- [7] Sutton, R.S. and A.G. Barto (1998) Reinforcement learning, *A Bradford Book*, ISBN 0-262-19398-1, London.

Naslov avtorjev: prof.dr. Bojan Jerbić
prof.dr. Božo Vranješ
University of Zagreb
Faculty of Mechanical Eng. and
Naval Architecture
I. Lučića 5
10000 Zagreb, Croatia
bojan.jerbic@fsb.hr
bozo.vranjes@fsb.hr

Authors' Address: Prof.Dr. Bojan Jerbić
Prof.Dr. Božo Vranješ
University of Zagreb
Faculty of Mechanical Eng.
and Naval Architecture
I. Lučića 5
10000 Zagreb, Croatia
bojan.jerbic@fsb.hr
bozo.vranjes@fsb.hr

Prejeto: 15.3.2001
Received:

Sprejeto: 29.5.2003
Accepted:

Odprt za diskusijo: 1 leto
Open for discussion: 1 year

Poročila

Reports

Nova tehnična zakonodaja iz EU v Sloveniji - Znak CE postaja tudi v Sloveniji obvezen

Slovenija (že) postopno končuje postopek t.i. harmonizacije tistega dela pravnega reda, ki velja na področju tehničnih izdelkov. Poenotenje predvsem varnostnih in manj tehničnih zahtev za izdelke je eden od ključnih pogojev za nemoten pretok blaga znotraj EU. »Potni list«, ki ga naj bi ga imeli izdelki, za katere so takšne zahteve predpisane, pomeni znak CE – znak skladnosti.

Dne 26.11.2002 se je za Slovenijo in njeno industrijo, trgovino in porabnike na tehničnem področju zgodil pomemben dogodek. Naša država je z EU podpisala t.i. **sporazum PECA**. Dokončno bo za določeno skupino izdelkov (stroji, električna oprema, plinske naprave, področje EMC) stopil v veljavo s **1.5.2003**, za velik del drugih izdelkov pa bo to še pred koncem leta 2003.

PECA pomeni protokol k Pridružitvenemu **sporazumu RS z EU**. PECA (Protocol to the Europe Agreement on Conformity Assessment and Acceptance of Industrial Products) je protokol o ugotavljanju skladnosti izdelkov in sprejemljivosti industrijskih izdelkov glede na enotno predpisane zahteve. Njegov namen je odprava tehničnih ovir pri trgovanju med državami članicami EU in državo kandidatko. Dokončno se s takim sporazumom poenotijo določila vseh tehničnih predpisov glede bistvenih zahtev za izdelke, glede označevanja (tudi z **znakom CE**) in glede izvajanja postopkov skladnosti izdelkov z zahtevami predpisov.

Praktično to pomeni uresničitev **prostega pretoka blaga znotraj notranjega trga EU**, razširjenega s trgov države kandidatke, in to že pred vstopom Slovenije v EU. Slovenija tako postaja sestavni del tega trga in ne bo smela postavljati za tuje izdelke (skladno s predpisi) nikakršnih ovir, pa tudi naši (slovenski) izdelki, ki bodo izdelani v skladu s predpisi, se bodo lahko neovirano prodajali kjerkoli na tem trgu.

Področje predpisovanja zahtev proizvajalcem za široko skupino tehničnih izdelkov je z zakonodajnega vidika v Sloveniji že nekaj časa urejeno. V Evropski uniji takšno predpisovanje zahtev izvajajo s t.i. **direktivami Novega pristopa**, večina njih **je že prevzela slovenska zakonodaja**. Takšen postopek prenosa predpisov iz EU v slovenski pravni red na splošno imenujemo **harmonizacija**. Tako kot na vseh drugih področjih, je tudi na tehničnem področju ta faza vstopanja Slovenije v EU že v velikem delu tako rekoč končana.

To ni pomembno le za izvoznike na trg Evropske zveze, temveč tudi za vse proizvajalce za domači trg. Prav tako pomembno pa je tudi za tiste, katerih dejavnost je trgovina s temi izdelki. Tudi tisti, ki skrbijo za nakup, rekonstruiranje, vzdrževanje npr. delovne opreme, s tem tudi zagotavljanje varnega in zdravega delovnega okolja, morajo to področje dobro poznati.

Nova tehnična zakonodaja v vsebinskem pogledu na samem tehničnem področju pravzaprav ne prinaša posebnih sprememb. Poudarek je na zagotavljanju varnosti in zdravja pri uporabi teh izdelkov. Kot uporabniki bodo pri tem pridobili tudi kupci, nenazadnje tudi potrošniki. Z obveznim znakom CE proizvajalci domačih in uvoženih izdelkov sporočajo vsej javnosti, da so pred dajanjem svojega izdelka na trg v celoti izpolnili vse zahteve, ki so za takšen izdelek predpisane v tehnični zakonodaji.

Vstop Slovenije v Evropsko zvezo bo lahko za nepripravljena podjetja pomenil povečanje konkurenčnega okolja. Tisti, ki ne bodo znali poskrbeti za skladnost svojih izdelkov z zahtevami evropskih predpisov, bodo svoj tržni položaj lahko hitro izgubili. **Za podjetja, ki se bodo pravočasno prilagodila evropskim tehničnim predpisom, bo to pomenilo predvsem izenačenost pogojev na trgu oziroma celo nove poslovne priložnosti.**

Postopek harmonizacije, ki se končuje s podpisovanjem sporazuma PECA v postopnih fazah, prinaša organizacijam v industriji, obrti in trgovini, pa tudi vsem proizvajalcem in uporabnikom tehničnih izdelkov, naslednje spremembe oz. dejstva:

V Sloveniji imamo nove tehnične predpise za celotno področje tehničnih izdelkov. Slovenija je že podpisala sporazum z EU za prosti pretok blaga za prvo (široko) skupino izdelkov (stroji, električna oprema, plinske naprave, področje EMC).

Nekdaj enotni in nepopolni predpisi s področja varstva pri delu so tudi v Sloveniji sedaj razdeljeni na obvezne predpise za varnost izdelkov za proizvajalce in na predpise za varnost in zdravje pri delu, obvezne za delodajalce.

Za zagotavljanje varnih delovnih mest in zmanjšanje tveganja je treba na teh mestih zagotoviti delovna sredstva, opremo, naprave, osebno varovalno opremo, ki bodo v skladu z zahtevami posameznih tehničnih predpisov in to skladnost morajo zagotoviti proizvajalci. Vse te predpise smo že povzeli po evropskih smernicah in je torej naša nova tehnična zakonodaja že v večjem delu usklajena s tisto v Evropski zvezi.

Standardi, ki so nekoč v vsaki državi posebej in včasih različno, predpisovali tehnične zahteve za izdelke, so sedaj za tehnične proizvode znotraj EU usklajeni in harmonizirani v vseh članicah EU, kot standardi EN, niso pa več obvezni. Njihova uporaba ni obvezna (razen pri npr. gradbenih proizvodih), prostovoljna uporaba pa že ustvari domnevo o skladnosti proizvoda z zahtevami iz posameznih predpisov.

Drago in neučinkovito atestiranje – certificiranje pri inštitucijah za tehnične izdelke je zamenjano s podajanjem proizvajalčevih (dobaviteljevih) izjav o skladnosti kot listini o odgovornosti za varnost izdelka.

Slovenski šesterorobi certifikacijski znak se poslavlja, njegova morebitna navzočnost na izdelku bo kmalu pomenila le še sporočilo o zastarelosti tega izdelka.

Znak CE postaja obvezen tudi v Sloveniji. Uvaja se nov postopek zagotavljanja skladnosti izdelkov z zahtevami (novih) tehničnih predpisov. Postopki, ki jih morajo za to izvajati proizvajalci in pri tem vključevati za bolj nevarne izdelke tudi t.i. "Priglašene organe" (le-ti so vsi enotno priglašeni v Bruslju), so predpisani enotno v celotni EU. Vsi rezultati in listine iz teh postopkov se brez omejitev priznavajo v celotni EU. Ti postopki so velikokrat povezani s sistemi vodenja kakovosti po ISO 9001. Certifikati po standardih kakovosti v veliki meri

olajšajo delo proizvajalcem v teh postopkih. Tudi tehnični predpisi dokazujejo, da se varen izdelek lahko razvije in izdela samo v podjetjih, v katerih je za kakovost poskrbljeno v vseh delih poslovnega postopka.

Okvirni pregled in zaporedje postopkov, ki jih morajo proizvajalci izvajati na poti do znaka CE, je naslednji:

- najprej je treba ugotoviti, ali izdelek spada v katero od direktiv novega postopka, ki zahteva znak CE;
- ugotoviti je treba, katere vse so te direktive in katere zahteve v njih je proizvajalec na svojem izdelku dolžan upoštevati pri razvijanju in proizvodnji oz. pred dajanjem na trg;
- izdelati t.i. tehnično mapo kot dokazno gradivo o razvoju in proizvodnji izdelka, definiciji izdelka, njegovi pravilni uporabi, predvsem pa o izvedenih postopkih analize in preprečevanja nevarnosti izdelka za uporabnika;
- izbrati je treba postopke preverjanja skladnosti od priglašanih organov, če je to predpisano;
- izdati Izjavo o skladnosti kot listino o materialni odgovornosti za skladnost z zahtevami iz predpisov, predvsem pa za varnost izdelka;
- na koncu izdelek označiti, mu priložiti predpisane spremne listine in ga označiti z znakom CE.

Janez Dulc
www.janezdulc.com

Ohranimo slovenska tehnična besedila brez nepotrebnih tujk!

Za kaj gre?

Med ostalimi vprašanji ohranjanja slovenskega izrazoslovja, s katerimi se sooča skupina za strojniško izrazoslovje pri ZSITS, so tudi nepotrebne tujke (izposojenke), ki jih iz različnih vzrokov tako ali drugače vse preveč radi uporabljamo v tehničnih besedilih.

Vzrokov za takšno početje je več. Eden izmed njih je tudi ta, da tujke v Slovarju slovenskega knjižnega jezika niso posebej označene, temveč so enako opredeljene in razložene kakor vse druge besede in se vsak njihov uporabnik brez zadržkov lahko sklicuje nanj. Pri tem pozablja, da obstaja tudi Slovar tujk, v katerem lahko zlahka odkrije, kako zanemarjamo besede, s katerimi bi le - te lahko smiselno, nevsiljivo in vsebinsko nadomestili.

Opazili smo tudi, da pogosto zamenjujemo pomen tujk **tehnika** oziroma **tehnologija**. Morda ne bo odveč, da jih še enkrat opredelimo:

- **Tehnika** je dejavnost, ki se ukvarja s konstruiranjem in izdelovanjem strojev, delovnih naprav, je veda o tej dejavnosti; so izdelki te dejavnosti; je strojna in druga oprema, potrebna za opravljanje kakega dela; je urejen, ustaljen način

opravljanja kakega dela (dejavnosti)

- **Tehnologija** pa je veda o pridobivanju surovin, obdelavi in predelavi materiala v izdelke; je skupek postopkov takega pridobivanja od začetka do končnega stanja, je skupek postopkov kakega dela, dejavnosti sploh od začetka do končnega stanja, je skupek postopkov glede na znanje, izkušnjo in pravico uporabe.

Sklep

Pravila prevzemanja tujih besed so ob izidu novega Slovenskega pravopisa jasno opredeljena. Od posameznikove volje, znanja in jezikovne nadarjenosti je odvisno, koliko bo prispeval k nadaljnjemu razvoju slovenskega tehničnega izrazoslovja brez uporabe nepotrebnih tujk.

V skupini za strojniško izrazoslovje smo mnenja, da je treba dejavneje opozarjati na zamenjavo nepotrebnih tujk na vseh ravneh, predvsem pa:

- učence, dijake in študente na višjih ter visokih šolah,
- ustanove in podjetja, ki tako ali drugače pišejo poročila, navodila, javna obvestila itn.,
- in konec koncev tudi posameznike.

Nekaj značilnih primerov:

Tujka	Nadomestna beseda	Tujka	Nadomestna beseda
absorpcija	vpijanje, vsrkavanje	original	izvirnik
adaptacija	prenovitev, prilagajanje	paralelen	vzporeden
aktiven	dejaven, delaven, delujoč	perforacija	preluknjanje, luknjičanje
akumulirati	kopičiti, zbirati	permanenten	trajen, nepretrgan
avtomatičen	samodejen	plan	načrt
baza	osnova	pozicijski	položajen
bipolaren	dvopolen	praktičen	spreten, dejaven
blokada	zavora	primaren	prvoten, prvobiten
centralen	osrednji	procent	odstotek
centriran	usredinjen	produkt	izdelek
cirkulacija	obtok	proporcionalen	sorazmeren
definirati	opredeliti, določiti	racionalen	razumen, preudaren
definitivno	dokončno	radij	polmer
deformirati	preoblikovati	rafiniran	prečiščen
demontirati	razdreti, odstraniti	realen	resničen
deponija	odlagališče	reducirati	zmanjšati, skrčiti
diameter	premer	regenerativen	obnovilen
diferenca	razlika	regulirati	uravnavati, urediti
direkten	neposreden	rekapitulacija	povzetek
dispozicija	razvrstitev	rekonstrukcija	prenovitev
ekcenter	izsrednik	rekuperativen	ločilen
ekspanzija	širjenje	rezerven	nadomesten
elastičen	prožen	rezervoar	zbiralnik
eroziven, erozijski	razjedajoč	riskanten	tvegan, kočljiv
fuga	reža	rotacijski	vrtilen
fuzija	združitev, zlitje	saniran	izboljšan
garancija	jamstvo, poroštvo	segment	odsek
homogenost	istovrstnost, istorodnost	sektor	izsek, območje
horizontalen	vodoraven	separirati	ločevati
indirekten	posreden	sistem	sestav
instalacija	napeljava, namestitev	stabiliziran	uravnovešen, utrjen
intenziven	izrazit	tabela	preglednica
karakterističen	značilen	tastatura	tipkovnica
komplet	celota	tekst	besedilo
konstanta	stalnica	torzija	vzvoj
kontrola	nadzor, pregled	transformacija	sprememba
kontrolor	nadzornik, preglednik	tunel	predor
konverzija	sprememba	varianta	različica
kvalifikacija	usposobljenost, označitev	ventilacija	prezračevanje
kvaliteta	kakovost	ventilator	vetrilnik, prezračevalnik
lokacija	namestitev	vertikalen	navpičen
nivo	raven	vibracije	tresljaji
numeracija	oštevilčenje	vizualen	viden

B. Uratarič

VI. strokovno posvetovanje Slovenskega društva za daljinsko energetiko

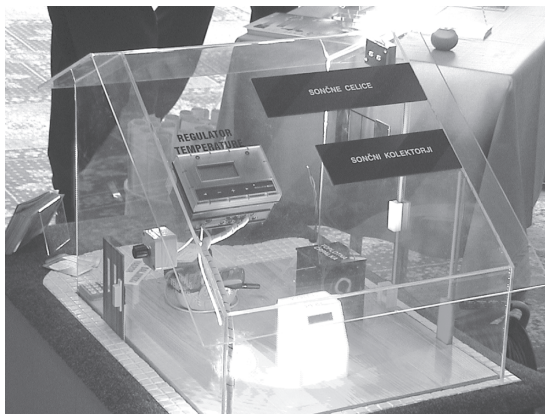
V Portorožu je marca letos potekalo že šesto strokovno srečanje Slovenskega društva za daljinsko energetiko (SDDE) z naslovom "Energetski trg z novimi tržnimi, tehnološkimi in okoljskimi rešitvami". Ob tej priložnosti je društvo praznovalo tudi peto obletnico delovanja.

Na posvetovanju so z izbiro krovne teme želeli opozoriti na vse vidike spremenjenih tržnih razmer na širšem mednarodnem in posledično tudi na slovenskem energetskem trgu. Udeležba na posvetovanju je bila mednarodna, saj je treba pri razvoju oskrbe z energijo, kljub nekaterim specifičnim razmeram v Sloveniji, upoštevati tudi spoznanja iz razvitejših kot tudi iz primerljivih okolij. Predstavljene so bile primerjave, analize in nadaljnje razvojne usmeritve s poudarkom na prednostih, pa tudi možnih negativnih vplivih, ki spremljajo spremembe, zelo koristne za pripravo in prilagajanje podjetij na odprt energetski trg.

Podobno kot v preteklih letih tudi šesto posvetovanje ni zanemarilo optimizacije in razvoja pri uporabi novih tehnologij v daljinskih energetskih sistemih. V povezavi z osrednjo temo so bile predstavljene uporabe novih tehnologij, ki bodo omogočile večjo prilagodljivost in učinkovitost energetskih podjetij ter s tem njihov boljši položaj in obstoj na odprtem energetskem trgu.

Udeleženci posvetovanja se niso omejili zgolj na razmere na trgu in uvajanje novih tehnoloških, okolju prijaznih rešitev, temveč so spremljali tudi uvajanje nove energetske, tržne, tehnološke in okoljske zakonodaje. Prav vpliv slednje je zelo pomemben, ko gre za oblikovanje okvirov delovanja in razvoja dejavnosti slovenskih energetskih podjetij.

Posvetovanje je spremljala razstava energetske opreme, na kateri so razstavljalci predstavili svoje najnovejše tehnološke rešitve.



UGODNE CENE V SKLADIŠČU V NEMČIJI

CNC stružnice

TRAUB TNS 65	Ø 240/220x630 mm, TX 8D, C-osni, R-osni	1989
TRAUB TNS 65 D	Ø 240/220x630 mm, TX 8D, C-osni, R-osni	1989
PITTLER NF 250 E	Ø 260x400 mm, SINUMERIK 6, 12 Pos.	1981
PITTLER Petra 250/2-2	2 spindles, SINUMERIK 3	1982
CANAVESE X 800 4 A	Ø 295x800 mm, SINUMERIK 3, 16 Pos.	1985
MONFORTS RNC 1071	Ø 360x600 mm, SINUMERIK 7 T	1980
VOEST-ALPINE WNC500S Samovrt.	Ø 450x900 mm, C-osni, 2x12 Pos.	1989
VOEST-ALPINE WNC500S Samovrt.	Ø 450x900 mm, C-osni, 2x12 Pos.	1989
VOEST-ALPINE WNC500S Samovrt.	Ø 450x900 mm, C-osni, 2x12 Pos.	1989
HEINEMANN DN 200 TV 12x1250	Ø 615/455x1250 mm, SINUMERIK 3 TE	1991/92
HEYLIGENSTAEDT	HEYNUMAT 20U1000, Ø 460x1000 mm	1979

Vodoravni stroji za izdelavo zobnikov

MIKRON 122.01	Ø 40 mm / modul 1	1961
MIKRON A 21/2	40x40 mm, modul 1	1975
WAHLI W 96	Ø 50 mm / modul 2	1970
WERA Profilator	Ø 110 mm / modul 2,5 / RS-Sistem	1983
MIKRON A 33/2	Ø 110 mm / modul 3, loader	1986
SCHIESS RFW 16 S	Ø 1800 x 3450 mm / modul 20	1975

Stroji za izdelavo zobnikov

CNC REISHAUER RZ 301 S	Ø 330 mm / modul 0,5-6, SPA	1990
CNC REISHAUER RZ 361 S	Ø 360 mm / modul 0,5-6, SPA	1991
CNC REISHAUER RZ 362 A	Ø 360 mm / modul 0,8-7, SPA	1997
CNC REISHAUER RZ 362 A	Ø 360 mm / modul 0,1-7, SPA	1998
REISHAUER RZP	Ø 55-120 mm / modul 3 / +/-40° / Z= 13-80	1986
REISHAUER RZP	Ø 55-120 mm / modul 3 / +/-40° / Z= 13-80	1990
REISHAUER AZA	Ø 330 mm / modul 6 / crowning	1976
REISHAUER AZA	Ø 330 mm / modul 6 / crowning	1977
REISHAUER AZA	Ø 330 mm / modul 6 / crowning	1986
CNC KAPP VAS 385	Ø 310x550/935 mm, Modul 6 / splošen	1983
NILES ZSTZ 315 /1-D	Ø 400 mm / modul 12 / rec. 1983	1974
NILES ZSTZ 630 C 2 P	Ø 630 mm / modul 12 / program	1980
MAAG SD 65	Ø 650 mm / modul 15	1981
NILES ZSTZ 08	Ø 800 mm / modul 14 / program	1984
NILES ZSTZ 08	Ø 800 mm / modul 14, PLC Allen-Bradley	1983
HÖFLER H 1000	Ø 1000 mm / modul 18, gib 420 mm	1976
HÖFLER H 1001-450	Ø 1000 mm / modul 18 / hidrostatik, rec 94	1979/95
HÖFLER H 1253 SUPRA	Ø 1250 mm / modul 25 / hidrostatik / kot nov	1991
HÖFLER H 1250	Ø 1500 mm / modul 20, gib 520 mm	1978
NILES ZSTZ 25	Ø 2500 mm / modul 25, PLC Allen-Bradley	1986
CNC HÖFLER H 2500	Ø 3100 mm / modul 32, stroke 1200 mm	1974/94

1994 prenovljeni + dodelani v 10 osni CNC

TECO Werkzeugmaschinen GmbH & Co.KG,
Tel. +49-2103-3682-0, Faks +49-2103-3682-20/21
e-mail: teco-werkzeugmaschinen@megabit.net,
www.teco-germany.com

Strokovna literatura

Professional Literature

Iz revij

IZDOMAČIH REVIJ

EGES, Energetika, gospodarstvo in ekologija skupaj, Ljubljana

2003, 1

Krajnc, A.: Metode hidravličnega uravnovešanja dvocevne radiatorskega ogrevanja (I. del)

Venko, E.: NI KGH - Nacionalni inštitut za klimatizacijo, gretje in hlajenje

Novak, P.: Pomen industrijske proizvodnje na področju KGH za Slovenijo

Elektrotehniški vestnik, Ljubljana

2002, 5

Kodek, D.M.: Spodnja meja aproksimacijske napake pri celoštevilski polinomski minimax aproksimaciji

Černetič, J.: Človeku in družbi ustrezna avtomatizacija

Jovan, V.: Posebnosti razporejanja proizvodnje v procesni industriji

Klančar, G., Škrjanc, I.: Metoda glavnih komponent pri odkrivanju in izolaciji napak: primer hidravličnega procesa in procesa fermentacije

Les, Ljubljana

2003, 1-2

Gornik Bučar, D., Mrak, T., Tišler, V.: Lesni prah v industriji

Materiali in tehnologije, Ljubljana

2002, 6

Brunčko, M., Anžel, I., Križman, A.: Spremljanje usmerjenega strjevanja evtektične zlitine Pb-Sn

Torkar, M., Breskvar, B.: Preiskave komponent za avtomobilsko industrijo

Kmetič, D., Kurent, V., Matko, L., Dobosiewicz, J., Arzenšek, B., Celin, R.: Revitalizacija zunanjega okrova visokotlačnega dela turbine 125 MW

Organizacija, Maribor, Kranj

2003, 1

Tatković, N.: The computerization of educational institutions and their contribution to quality education

Breceljnik, A., Jereb, E.: Prilagajanje knjižnice Fakultete za organizacijske vede hitremu razvoju informacijske tehnologije

2003, 2

Škraba, A., Kljajić, M.: Entropija v skupinskem odločitvenem procesu podprtem z modeli sistemske dinamike

Vakuumist, Ljubljana

2002, 4

Dolinšek, S.: Tehnologija laserskega sintranja za hitro izdelavo prototipov in orodij

Cvelbar, U., Mozetič, M., Čekada, M.: Teorija rasti kovinskih oksidnih plasti

Varilna tehnika, Ljubljana

2002, 4

Rihar, G., Taučer, M.: Zlepi v zvarnih spojih

Köves, A., Golob, M.: Nadziranje varilnega procesa po načinu MAG s kratkostičnim prehodom materiala na osnovi metod mehke logike

IZ TUJIH REVIJ

CDA - Condizionamento dell'aria Riscaldamento Refrigerazione, Milano

2002, 11

Corcione, M., Fontana, L., Moncada Lo Giudice, G.: Protezione delle superfici artistiche

Vio, M.: Prestazioni sonore dei gruppi frigoriferi

2003, 1

Di bella, A., Fellin, F., Zecchin, R.: Migliorare la qualità dell'aria interna

Engineering, Tallinn

2002, 8/3

Vilba, P., Idnurm, S.: Unstiffened thin-walled girder under uniform loading

2002, 8/4

Santaola, K.: Evaluation of the Gurson-Tvergaard material model by using damage mechanics and thermomechanics

Forum - Technische Mitteilungen Thyssen Krupp, Düsseldorf

2002, 12

Ellmann, S., Löser, F.: Electromechanical leveling system (EML)

Handreck, T.: Analysis of large-diameter antifriction bearings in conjunction with customer-specified companion structures

HLH

Heizung Lüftung/Klima Haustechnik, Düsseldorf

2003, 1

Olesen, B.W.: Sind "Kalte" Fensterflächen heute noch ein Problem?

Stergiaropoulos, K.: Maschinelle Wohnungslüftung vor dem Hintergrund der Energieeinsparverordnung 2002

Böttcher, O.: Einfluss von Temperatur und Feuchte auf die Wahrnehmung von Geruchsstoffen

2003, 2

Lexis, J.: Lüftung durch Impulsantrieb
 Agababov, V.S., Korjagin, A.V., Heymer, J., Loose, P.: Wärmeleistung und Behaglichkeit
 Bühring, a., Voss, K., Schmitz, G.: Kompressionswärmepumpen in Lüftungs-Kompaktgeräten für Solar-Passivhäuser - Teil 1
 Olesen, B.: Sing "Kalte" Fensterflächen heute noch ein Problem?
 Frank, M., Fromm, B., Reindorf, T.: HydNet V1.0 - Programm zur Simulation hydraulischer Netze

IDR, Industrie Diamanten Rundschau, Willich

2003, 1

Klocke, F., Kopner, A.: Perspektiven der Zerspantechnik
 Klink, U., Flores, G.: Honen von Kleinstbohrungen

Klimatizacija, grejanje, hlađenje, Beograd

2002, 4

Đuričković, V.: Kako vrijednovati efikasnost toplotne izolacije hlađenih prostora
 Radošević, M.: Rast kristala leda u sistemima sa ledenom kašom (ice slurry)

Scientific Bulletin, Bucharest

2001, 3

Armeanu, A., Pănuș, V.: Computer aided functional modelling
 Stoicescu, A.P.: On constraints of the braking force distribution coefficients of a tractor-semitrailer

2001, 4

Stoicescu, A.P.: On optimization of the braking force distribution coefficients of a tractor-semitrailer
 Stanciu, V., Brebenel, M.: Use of approximating functions for inverting the thermodynamic function of the gas mass flow
 Martin, O.: Analysis of rolling bearing with inner fillet

Strojarstvo, Zagreb

2002, 1-2

Atagündüz, G.: Omega type solar charge station
 Bogdan, Ž., Šerman, N.: Optimiranje pogonskog režima kogeneracijskog postrojenja po kriteriju troška
 Eckert, E.R.G.: Newton's law of cooling viewed in the light of today's knowledge of heat transfer
 Glović, a., Virag, Z., Živić, M.: Usporedba proračuna križnog izmjenjivača topline analitičkom i numeričkom metodom
 Halasz, B.: Zajednički matematički model rekuperatora, rashladnih tornjeva i evaporativnih kondenzatora

Nove knjige

Springer for Science, AM Ijmuiden

Benenson, W., Harris, J.W., Stocker, H., Lutz H.: Handbook of Physics, ca. 1181 str., 34,95€.
 Phan-Thien, N.: Understanding - Viscoelasticity, ca. 145 str., 29,95 €.
 Albrecht, H.-E., Borys, M., Damaschke, N., Tropea, C.: Laser Doppler and Phase Doppler Measurement Techniques, ca. 738 str., 129,95 €.
 Awrejcewics, J., Krysko, V.A.: Nonclassical Thermoelastic Problems in Nonlinear Dynamics of Shells, ca. 428 str., 79,95 €.
 Barth, T.J., Deconinck, H.: Error Estimation and Adaptive Discretization Methods in Computational Fluid Dynamics, ca. 346 str., 69,95 €.
 Hirschel, E.H.: Numerical Flow Simulation III, ca. 286 str., 163 €.
 Kolev, N.I.: Multiphase Flow Dynamics 1, ca. 699 str., 129 €.
 Kolev, N.I.: Multiphase Flow Dynamics 2, ca. 692 str., 119 €.
 Papon, P., Leblond, J., Meijer, P.H.E.: The Physics of Phase Transitions, ca. 397 str., 69,95 €.
 Rappaz, M., Bellet, M., Deville, M.: Numerical Modeling in Materials Science and Engineering, ca. 799 str., 79,95 €.

Dauxois, T., Ruffo, S., Arimondo, E., Wilkens, M.: Dynamics and Thermodynamics of Systems With Long Range Interactions, ca. 508 str., 89,95 €.
 Greiner, W.: Classical Mechanics, Systems of Particles and Hamiltonian Dynamics, ca. 542 str., 79,95 €.

Edvard Elgar, Cheltenham Glos

Petit, P., Soete, L.: Technology and the Future of European Employment, ca. 576 str., 79,95 GBP.
 Conceição, P., Heitor, M.V., Lundvall, B.-L., Rodrigues, M.J.: Innovation, Competence Building and Social Cohesion in Europe, ca. 280 str., 55 GBP.
 Giroud, A.: Transnational Corporations, Technology and Economic Development, ca. 296 str., 59,95 GBP.
 Miozzo, M., Miles, I.: Internationalization, Technology and Services, ca. 264 str., 65,00 GBP.
 Lembke, J.: Competition for Technological Leadership, ca. 328 str., 65,00 GBP.
 Rooney, D., Hearn, G., Mandeville, T., Joseph, R.: Public Policy and the Knowledge Economy, ca. 192 str., 45,00 GBP.
 Pyle, J.L., Forrant, R.: Globalization, Universities and Issues of Sustainable Human Development, ca. 296 str., 59,95 GBP.

Belfield, c.R., Levin, H.M.: The Economics of Higher Education, ca. 720 str., 155,00 GBP.
Ayres, R.U., Ayres, L.W.: A Handbook of Industrial Ecology, ca. 704 str., 195,00 GBP.
Quaddus, M.A., Siddique, M.A.B.: A Handbook of Sustainable Development Planning, ca. 320 str., 59,95 GBP.

John Wiley & Sons Ltd, Chichester

Kroupa, V.F., Phase Lock Loops & Frequency Synthesis, ca. 384 str., 115,30 €.
Tao, G.: Adaptive Control Design and Analysis, ca. 550 str., 111,80 €.
Marquez, H.J.: Nonlinear Control Systems, ca. 350 str., 11,80 €.
Larmine, J., Dicks, A.: Fuel Cell Systems Explained, ca. 384 str., 123,80 GBP.
Nyce, D.S.: Guide to Linear Positron Sensors, ca. 300 str., 88,20 €.

Wasson, C.S.: Systems Engineering - Concepts, Principles, Processes and Practices
Siemens-Sprachendienst Erlangen: Fachwörterbuch Industrielle Elektrotechnik, Energie- und Automatisierungstechnik / Dictionary of Electrical Engineering, Power Engineering and Automation, Part 2: English-german, ca. 550 str., 66,00 €.
Eicker, U.: Solar Technologies for Buildings, ca. 384 str., 107,30 €.
Collins, J.A., Staab, G.H., Busby, H.R.: Design of Machine Elements and Machines, ca. 880 str., 57,70 €.
Fortescue, P.W., Stark, J.P.W., Swinerd, G.: Spacecraft Systems Engineering, 3rd edition, ca. 696 str., 66,00 €.
Boresi, A.P., Chong, K.P., Saigal, S.: Approximate Solution Methods in Engineering Mechanics, 2nd editon, ca. 288 str., 105, 90 €.

Ocene knjig

**Stefan Hesse, Heinrich Krahn, Dieter Eh:
Betriebsmittel Vorrichtung**

Zal.: Carl Hanser Verlag, München.
Obseg: format 17 × 24 cm, 230 strani.
Cena je € 49,90.

Med izdelavo prehajajo izdelki skozi več proizvodnih postopkov. Pri tem so poleg strojev potrebni tudi ustrezni pripomočki. Med njimi pripomočki za vpenjanje in položajenje pri obdelavi, pripomočki pri montaži, to so montažna gnezda, pripomočki za strežne funkcije vodenja, shranjevanja in podobno. Le s pravilno zasnovo posebnih naprav oziroma pripomočkov, izbiro optimalnih standardnih naprav je mogoče izdelke obdelati, sestaviti, nadzirati v ustrezni kakovosti. Da bi lahko razvijali optimalne in kakovostne izdelovalne pripomočke, je potrebno teoretično in praktično poznavanje funkcij izdelovalnih pripomočkov kot poznavanje že izdelanih primerov različnih naprav v proizvodnji.

Knjiga je namenjena tistim, ki poznajo teorijo, nimajo pa veliko izkušenj s konstruiranjem. Prinaša namreč številne konstrukcijske rešitve za razvoj in izdelavo pripomočkov. Vsi primeri so vzeti iz prakse in njihova uporabnost je preverjena v proizvodnji. Na podlagi prikazanih primerov lahko konstrukter izdela svoje rešitve. V knjigi so uvodoma zapisani osnovni pojmi s področja vpenjanja in vpenjalnih pripomočkov. V nadaljevanju je bogata zbirka elementov, ki jih uporabljamo pri gradnji. Knjigo končuje več ko sto primerov konstrukcij vpenjalnih pripomočkov z opisi. Med njimi so vpenjalni, preoblikovalni, montažni in strežni pripomočki.

Kot zanimivost in uporabna informacija so

zbrani spletni naslovi proizvajalcev standardnih elementov ter tudi posebnih naprav v Nemčiji.

Knjiga je praktičen priročnik in je namenjena tako tehnologom in konstrukterjem v proizvodnji.

D. Noe

Modern English for the Automotive Industry

Zal.: Carl Hanser Verlag, München.
Obseg: format 16 × 23 cm, 363 strani.
Cena je € 24,90.

Učbenik sestavljajo zanimiva, dovolj preprosta in aktualna besedila s področja avtomobilske tehnike. Posegajo tudi na področja gospodarstva in trženja.

Avtor je učbenik namenil predvsem nemško govorečim inženirjem, ki dobro obvladajo angleški jezik; besedila je opremil z nemškimi prevodi zahtevnejših izrazov in s tem poudaril uporabo učbenika predvsem za strokovno izpopolnjevanje in razumevanje jezika stroke v angleškem jeziku.

Za naše razmere je knjiga zanesljivo zanimiva, vendar neuporabna pri vajah angleškega jezika, saj le redki študenti obvladajo angleški in nemški jezik tako dobro, da bi učbenik lahko uporabljali. V pošteb bi prišli samo študenti univerzitetnega študija, kar pa je pri 30 učnih urah nemogoče.

Učbenik je predvsem zanimiv za posamično delo učiteljev jezika in stroke, ki obvladajo angleški in nemški jezik. Angleško-nemški in nemško-angleški slovar na koncu knjige ni tako zanimiv kakor so sprotne razlage pojmov v nemškem jeziku.

A. Kukovec

Osebnosti vesti

Personal Events

Magisteriji, specializacije, diplome

MAGISTERIJI

Na Fakulteti za strojništvo Univerze v Mariboru je dne 9. januarja 2003 **Benjamin Lukan** z uspehom zagovarjal svoje magistrsko delo z naslovom: "Možnost zmanjšanja vsebnosti ozona v zrak zaradi emisij vozil v prometu".

S tem je navedeni kandidat dosegel akademsko stopnjo magistra tehničnih znanosti.

SPECIALIZACIJE

Na Fakulteti za strojništvo Univerze v Mariboru sta z uspehom zagovarjala svoji specialistični deli, in sicer:

dne 10. januarja 2003: **Jurij Krošelj**, z naslovom: "Hlajenje in klimatizacija potniškega vagona - kasnejša vgradnja" in

dne 22. januarja 2003: **Gregor Lapuh**, z naslovom: "Integralno vodenje množične inventivne in inovacijske dejavnosti".

S tem sta navedena kandidata dosegla akademsko stopnjo specialista.

DIPLOMIRANISO

Na Fakulteti za strojništvo Univerze v Mariboru je pridobil naziv univerzitetni diplomirani inženir strojništva:

dne 30. januarja 2003: Uroš ŠKRIPAC.

*

Na Fakulteti za strojništvo Univerze v Ljubljani so pridobili naziv diplomirani inženir strojništva:

dne 16. januarja 2003: Herman BESEDNJAK, Janez REJEC, Dušan ŠMID, Valentin ZIBELNIK, Marjan PINTAR;

dne 17. januarja 2003: Albert BORDON, Boris DERŠEK, Samir FERHATBEGOVIĆ;

dne 20. januarja 2003: Primož BERNARD, Vito KLOPČIČ, Dejan LEBEN, Miro VOGRIČ.

Na Fakulteti za strojništvo Univerze v Mariboru so pridobili naziv diplomirani inženir strojništva:

dne 30. januarja 2003: Robert JAMNIK, Aleš MENHART, Matjaž PINTAR, Igor PUTRLE, Matjaž VERNEKER, Peter VIDMAR.

Pisma uredništvu

Letters to the Editorial Board

Spoštovano uredništvo Strojniškega vestnika!

V sedmi številki Strojniškega vestnika letnik 2002 je prišlo do napake pri navedbi avtorjev članka Rekonstrukcija odvaljnega bata zračne vzmeti, saj je bil naveden le prvi avtor, soavtorji pa niso bili navedeni. Članek je bil prvotno napisan za konferenco IAT 2001. Po konferenci me je kot prvega avtorja uredništvo obvestilo, da lahko članek objavimo v Strojniškem vestniku. Na Strojniški vestnik sem prinesel članek, nisem pa podal podatkov o soavtorjih, ker se le-ti bili pravilno objavljeni v

zborniku IAT-ja in sem sklepal, da so zato znani tudi odgovornim v Strojniškem vestniku. Ker soavtorji pri objavi v Strojniškem vestniku niso bili navedeni, vas prosim, da v eni od naslednjih števil objavite moje pojasnilo in opravičilo sledečim soavtorjem: Nagode Marko, Fajdiga Matija, Božič Matjaž. Poleg tega prosim tudi, da se članek vnese tudi v bibliografijo soavtorjev.

S spoštovanjem!

Tomaž Bešter

Navodila avtorjem

Instructions for Authors

Članki morajo vsebovati:

- naslov, povzetek, besedilo članka in podnaslove slik v slovenskem in angleškem jeziku,
- dvojezične preglednice in slike (diagrami, risbe ali fotografije),
- seznam literature in
- podatke o avtorjih.

Strojniški vestnik izhaja od leta 1992 v dveh jezikih, tj. v slovenščini in angleščini, zato je obvezen prevod v angleščino. Obe besedili morata biti strokovno in jezikovno med seboj usklajeni. Članki naj bodo kratki in naj obsegajo približno 8 tipkanih strani. Izjemoma so strokovni članki, na željo avtorja, lahko tudi samo v slovenščini, vsebovati pa morajo angleški povzetek.

Vsebina članka

Članek naj bo napisan v naslednji obliki:

- Naslov, ki primerno opisuje vsebino članka.
- Povzetek, ki naj bo skrajšana oblika članka in naj ne presega 250 besed. Povzetek mora vsebovati osnove, jedro in cilje raziskave, uporabljeno metodologijo dela, povzetek rezultatov in osnovne sklepe.
- Uvod, v katerem naj bo pregled novejšega stanja in zadostne informacije za razumevanje ter pregled rezultatov dela, predstavljenih v članku.
- Teorija.
- Eksperimentalni del, ki naj vsebuje podatke o postavitvi preskusa in metode, uporabljene pri pridobitvi rezultatov.
- Rezultati, ki naj bodo jasno prikazani, po potrebi v obliki slik in preglednic.
- Razprava, v kateri naj bodo prikazane povezave in posplošitve, uporabljene za pridobitev rezultatov. Prikazana naj bo tudi pomembnost rezultatov in primerjava s poprej objavljenimi deli. (Zaradi narave posameznih raziskav so lahko rezultati in razprava, za jasnost in preprostejše bralčevo razumevanje, združeni v eno poglavje.)
- Sklepi, v katerih naj bo prikazan en ali več sklepov, ki izhajajo iz rezultatov in razprave.
- Literatura, ki mora biti v besedilu oštevilčena zaporedno in označena z oglatimi oklepaji [1] ter na koncu članka zbrana v seznamu literature. Vse opombe naj bodo označene z uporabo dvignjene številke¹.

Oblika članka

Besedilo naj bo pisano na listih formata A4, z dvojnimi presledkom med vrstami in s 3 cm širokim robom, da je dovolj prostora za popravke lektorjev. Najbolje je, da pripravite besedilo v urejevalniku Microsoft Word. Hkrati dostavite odtis članka na papirju, vključno z vsemi slikami in preglednicami ter identično kopijo v elektronski obliki.

Prosimo, da ne uporabljate urejevalnika LaTeX, saj program, s katerim pripravljamo Strojniški vestnik, ne uporablja njegovega formata. V urejevalniku LaTeX oblikujte grafe, preglednice in enačbe in jih stiskajte na kakovostnem laserskem tiskalniku, da jih bomo lahko presneli.

Enačbe naj bodo v besedilu postavljene v ločene vrstice in na desnem robu označene s tekočo številko v okroglih oklepajih

Enote in okrajšave

V besedilu, preglednicah in slikah uporabljajte le standardne označbe in okrajšave SI. Simbole fizikalnih veličin v besedilu pišite poševno (kurzivno), (npr. v , T , n itn.). Simbole enot, ki sestojijo iz črk, pa pokončno (npr. ms^{-1} , K, min, mm itn.).

Vse okrajšave naj bodo, ko se prvič pojavijo, napisane v celoti v slovenskem jeziku, npr. časovno spremenljiva geometrija (CSG).

Papers submitted for publication should comprise:

- Title, Abstract, Main Body of Text and Figure Captions in Slovene and English,
- Bilingual Tables and Figures (graphs, drawings or photographs),
- List of references and
- Information about the authors.

Since 1992, the Journal of Mechanical Engineering has been published bilingually, in Slovenian and English. The two texts must be compatible both in terms of technical content and language. Papers should be as short as possible and should on average comprise 8 typed pages. In exceptional cases, at the request of the authors, speciality papers may be written only in Slovene, but must include an English abstract.

The format of the paper

The paper should be written in the following format:

- A Title, which adequately describes the content of the paper.
- An Abstract, which should be viewed as a miniversion of the paper and should not exceed 250 words. The Abstract should state the principal objectives and the scope of the investigation, the methodology employed, summarize the results and state the principal conclusions.
- An Introduction, which should provide a review of recent literature and sufficient background information to allow the results of the paper to be understood and evaluated.
- A Theory
- An Experimental section, which should provide details of the experimental set-up and the methods used for obtaining the results.
- A Results section, which should clearly and concisely present the data using figures and tables where appropriate.
- A Discussion section, which should describe the relationships and generalisations shown by the results and discuss the significance of the results making comparisons with previously published work. (Because of the nature of some studies it may be appropriate to combine the Results and Discussion sections into a single section to improve the clarity and make it easier for the reader.)
- Conclusions, which should present one or more conclusions that have been drawn from the results and subsequent discussion.
- References, which must be numbered consecutively in the text using square brackets [1] and collected together in a reference list at the end of the paper. Any footnotes should be indicated by the use of a superscript¹.

The layout of the text

Texts should be written in A4 format, with double spacing and margins of 3 cm to provide editors with space to write in their corrections. Microsoft Word for Windows is the preferred format for submission. One hard copy, including all figures, tables and illustrations and an identical electronic version of the manuscript must be submitted simultaneously.

Please do not use a LaTeX text editor, since this is not compatible with the publishing procedure of the Journal of Mechanical Engineering. Graphs, tables and equations in LaTeX may be supplied in good quality hard-copy format, so that they can be copied for inclusion in the Journal.

Equations should be on a separate line in the main body of the text and marked on the right-hand side of the page with numbers in round brackets.

Units and abbreviations

Only standard SI symbols and abbreviations should be used in the text, tables and figures. Symbols for physical quantities in the text should be written in Italics (e.g. v , T , n , etc.). Symbols for units that consist of letters should be in plain text (e.g. ms^{-1} , K, min, mm, etc.).

All abbreviations should be spelt out in full on first appearance, e.g., variable time geometry (VTG).

Slike

Slike morajo biti zaporedno oštevilčene in označene, v besedilu in podnaslovu, kot sl. 1, sl. 2 itn. Posnete naj bodo v kateremkoli od razširjenih formatov, npr. BMP, JPG, GIF. Za pripravo diagramov in risb priporočamo CDR format (CorelDraw), saj so slike v njem vektorske in jih lahko pri končni obdelavi preprosto povečujemo ali pomanjšujemo.

Pri označevanju osi v diagramih, kadar je le mogoče, uporabite označbe veličin (npr. t , v , m itn.), da ni potrebno dvojezično označevanje. V diagramih z več krivuljami, mora biti vsaka krivulja označena. Pomen oznake mora biti pojasnjen v podnapisu slike.

Vse označbe na slikah morajo biti dvojezične.

Za vse slike po fotografskih posnetkih je treba priložiti izvirne fotografije ali kakovostno narejen posnetek. V izjemnih primerih so lahko slike tudi barvne.

Preglednice

Preglednice morajo biti zaporedno oštevilčene in označene, v besedilu in podnaslovu, kot preglednica 1, preglednica 2 itn. V preglednicah ne uporabljajte izpisanih imen veličin, ampak samo ustrezne simbole, da se izognemo dvojezični podvojitvi imen. K fizikalnim veličinam, npr. t (pisano poševno), pripišite enote (pisano pokončno) v novo vrsto brez oklepajev.

Vsi podnaslovi preglednic morajo biti dvojezični.

Seznam literature

Vsa literatura mora biti navedena v seznamu na koncu članka v prikazani obliki po vrsti za revije, zbornike in knjige:

- [1] Tarnig, Y.S., Y.S. Wang (1994) A new adaptive controller for constant turning force. *Int J Adv Manuf Technol* 9(1994) London, pp. 211-216.
- [2] Čuš, F., J. Balič (1996) Rationale Gestaltung der organisatorischen Abläufe im Werkzeugwesen. *Proceedings of International Conference on Computer Integration Manufacturing*, Zakopane, 14.-17. maj 1996.
- [3] Oertli, P.C. (1977) Praktische Wirtschaftskybernetik. *Carl Hanser Verlag*, München.

Podatki o avtorjih

Članku priložite tudi podatke o avtorjih: imena, nazive, popolne poštne naslove, številke telefona in faksa ter naslove elektronske pošte.

Sprejem člankov in avtorske pravice

Uredništvo Strojniškega vestnika si pridržuje pravico do odločanja o sprejemu članka za objavo, strokovno oceno recenzentov in morebitnem predlogu za krajšanje ali izpopolnitev ter terminološke in jezikovne korekture.

Avtor mora predložiti pisno izjavo, da je besedilo njegovo izvirno delo in ni bilo v dani obliki še nikjer objavljeno. Z objavo preidejo avtorske pravice na Strojniški vestnik. Pri morebitnih kasnejših objavah mora biti SV naveden kot vir.

Rokopisi člankov ostanejo v arhivu SV.

Vsa nadaljnja pojasnila daje:

Uredništvo
STROJNIŠKEGA VESTNIKA
p.p. 197/IV
1001 Ljubljana
Telefon: (01) 4771-757
Telefaks: (01) 2518-567
E-mail: strojnistki.vestnik@fs.uni-lj.si

Figures

Figures must be cited in consecutive numerical order in the text and referred to in both the text and the caption as Fig. 1, Fig. 2, etc. Figures may be saved in any common format, e.g. BMP, GIF, JPG. However, the use of CDR format (CorelDraw) is recommended for graphs and line drawings, since vector images can be easily reduced or enlarged during final processing of the paper.

When labelling axes, physical quantities, e.g. t , v , m , etc. should be used whenever possible to minimise the need to label the axes in two languages. Multi-curve graphs should have individual curves marked with a symbol, the meaning of the symbol should be explained in the figure caption.

All figure captions must be bilingual.

Good quality black-and-white photographs or scanned images should be supplied for illustrations. In certain circumstances, colour figures may be considered.

Tables

Tables must be cited in consecutive numerical order in the text and referred to in both the text and the caption as Table 1, Table 2, etc. The use of names for quantities in tables should be avoided if possible: corresponding symbols are preferred to minimise the need to use both Slovenian and English names. In addition to the physical quantity, e.g. t (in Italics), units (normal text), should be added in new line without brackets.

All table captions must be bilingual.

The list of references

References should be collected at the end of the paper in the following styles for journals, proceedings and books, respectively:

- [1] Tarnig, Y.S., Y.S. Wang (1994) A new adaptive controller for constant turning force. *Int J Adv Manuf Technol* 9(1994) London, pp. 211-216.
- [2] Čuš, F., J. Balič (1996) Rationale Gestaltung der organisatorischen Abläufe im Werkzeugwesen. *Proceedings of International Conference on Computer Integration Manufacturing*, Zakopane, 14.-17. maj 1996.
- [3] Oertli, P.C. (1977) Praktische Wirtschaftskybernetik. *Carl Hanser Verlag*, München.

Author information

The following information about the authors should be enclosed with the paper: names, complete postal addresses, telephone and fax numbers and E-mail addresses.

Acceptance of papers and copyright

The Editorial Committee of the Journal of Mechanical Engineering reserves the right to decide whether a paper is acceptable for publication, obtain professional reviews for submitted papers, and if necessary, require changes to the content, length or language.

Authors must also enclose a written statement that the paper is original unpublished work, and not under consideration for publication elsewhere. On publication, copyright for the paper shall pass to the Journal of Mechanical Engineering. The JME must be stated as a source in all later publications.

Papers will be kept in the archives of the JME.

You can obtain further information from:

Editorial Board of the
JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING
P.O.Box 197/IV
1001 Ljubljana, Slovenia
Telephone: +386 (0)1 4771-757
Fax: +386 (0)1 2518-567
E-mail: strojnistki.vestnik@fs.uni-lj.si