

Od senzorja do prave odločitve

Stanko STRMČNIK, Đani JURIČIĆ, Bojan MUSIZZA, Janko PETROVČIČ

Izvleček: Mehanizem vodenja je lasten vsem ciljno usmerjenim sistemom, pa naj bodo to živi organizmi, tehnični sistemi ali pa sociološki in družbenoekonomski sistemi. Kvaliteta vodenja je zelo odvisna od tega, kar vemo o sistemu, ki ga vodimo, in njegovi okolici. Zato seveda potrebujemo ustrezne senzore in pa postopke, kako od senzorjev priti do prave informacije, ki je potrebna za odločitev. V delu predstavljamo sistemski pogled na vodenje in informacije ter podajamo nekatere principe pridobivanja informacij in znanja iz podatkov. S pomočjo konkretnih primerov bomo prikazali reševanje dveh problemov. Prvi se nanaša na ekstrakcijo informacije, ki v signalu obstaja, vendar je zakrita, drugi pa na sintezo informacije z uporabo dodatnega apriornega znanja. V prvem primeru gre za nadzor kvalitete v proizvodnji elektromotorjev, v drugem pa za problematiko merjenja globine anestezije med operacijo.

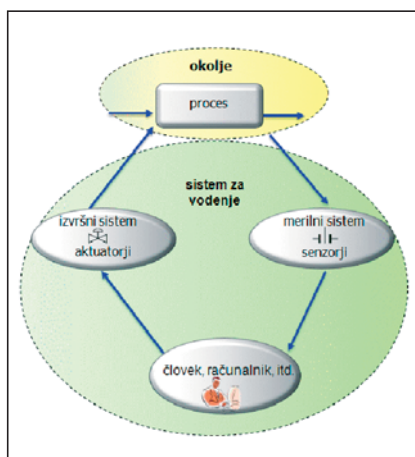
Ključne besede: senzori, podatki, informacija, vodenje, nadzor kvalitete, ugotavljanje globine anestezije,

1 Uvod

Vodenje (obvladovanje, upravljanje) je eden od ključnih univerzalnih mehanizmov v naravi in družbi. Vsak sistem, ki je ciljno usmerjen, pa naj bo to živi organizem, tehnični sistem ali pa sociološki oziroma družbenoekonomski sistem, mora imeti neko obliko vodenja. Dober mehanizem vodenja mu omogoča, da v procesu naravne selekcije (v borbi za hrano, prostor, ugodno okolje, na trgu, ...) preživi. S stališča systemske teorije večkrat rečemo, da je vodenje imantna lastnost dinamičnih sistemov, ki zagotavlja njihovo integriteto. Preprosteje povedano: vodenje zagotavlja, da sistem opravlja svoje poslanstvo, da torej dela to, kar je njegov namen.

Pravega vodenja pa ni brez senzorjev in aktuatorjev. Kvaliteta in uspešnost vodenja sta namreč po eni strani bistveno odvisni od tega, kar vemo o sistemu, ki ga vodimo, in njegovi

okolici, po drugi strani pa od načina izvajanja ukrepov, za katere smo se odločili. V našem delu se bomo omejili na del, ki je povezan s senzorji, in skušali pokazati, da je od senzorjev do prave odločitve še zelo dolga pot.



Slika 1. Univerzalna struktura sistema za vodenje na fizičnem nivoju

V drugem poglavju bomo na kratko podali sistemski pogled na vodenje in informacije, nato bomo v tretjem poglavju nakazali pot od podatkov do informacij za odločanje. Četrto poglavje bomo posvetili primeru nadzora kvalitete v proizvodnji elektromotorjev, peto pa ugotavljanju globine anestezije med operacijo. Sledil bo kratek zaključek.

2 Sistemski pogled na vodenje in informacijo

Pojma vodenja in informacije sta tesno povezana, zato se postavlja vprašanje ali je mogoče povezavo med njima obdelati na bolj konceptualni ravni, oziroma ali je mogoč nek celostni ali sistemski pogled na problematiko. Pokaže se, da je to do neke mere mogoče narediti. V nadaljevanju si bomo ogledali na kakšen način.

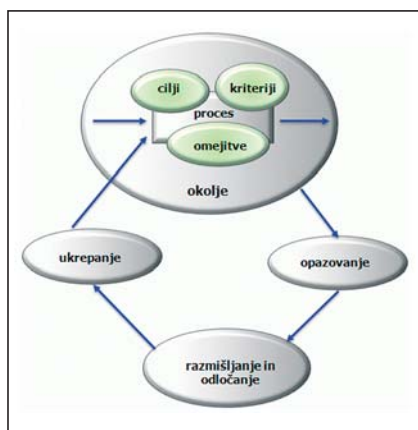
2.1 Predstavitve univerzalnega mehanizma vodenja

Vodenje je proces, s katerim vplivamo na delovanje (obnašanje) sistema z namenom, da dosežemo nek cilj. Shematsko ga lahko predstavimo s splošno povratnozančno shemo, ki prikazuje povezave med posameznimi fizičnimi elementi, ki sodelujejo v procesu vodenja (slika 1).

Vidimo, da gre za povratnozančni mehanizem, v katerem igrajo ključno vlogo senzori in aktuatorji.

Če postavimo zadeve nekoliko bolj konceptualno in se vprašamo, katere aktivnosti sestavljajo proces vodenja, potem dobimo shemo, ki jo vidimo na sliki 2.

Prof. dr. Stanko Strmčnik, univ. dipl. inž., prof. dr. Đani Juričić, univ. dipl. inž., dr. Bojan Musizza, univ. dipl. inž., dr. Janko Petrovčič, univ. dipl. inž., Institut Jožef Stefan, 1000 Ljubljana



Slika 2. Univerzalna struktura vodenja na konceptualnem nivoju

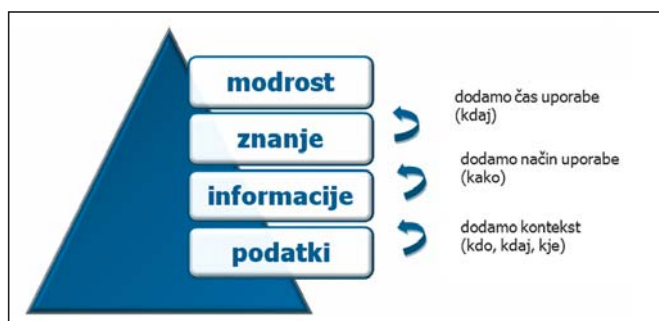
Očitno je, da je vodenje aktivnost, sestavljena iz opazovanja procesa in njegovega okolja, razmišljanja in odločanja o primernih ukrepih ter izvrševanja teh ukrepov [1].

Da lahko to uspešno delamo, moramo poznati proces, ki ga vodimo, trenutno stanje njegovih vhodov in izhodov in pa seveda cilje vodenja ter kriterije in omejitve, ki bodo ključno vplivali na uspešnost vodenja.

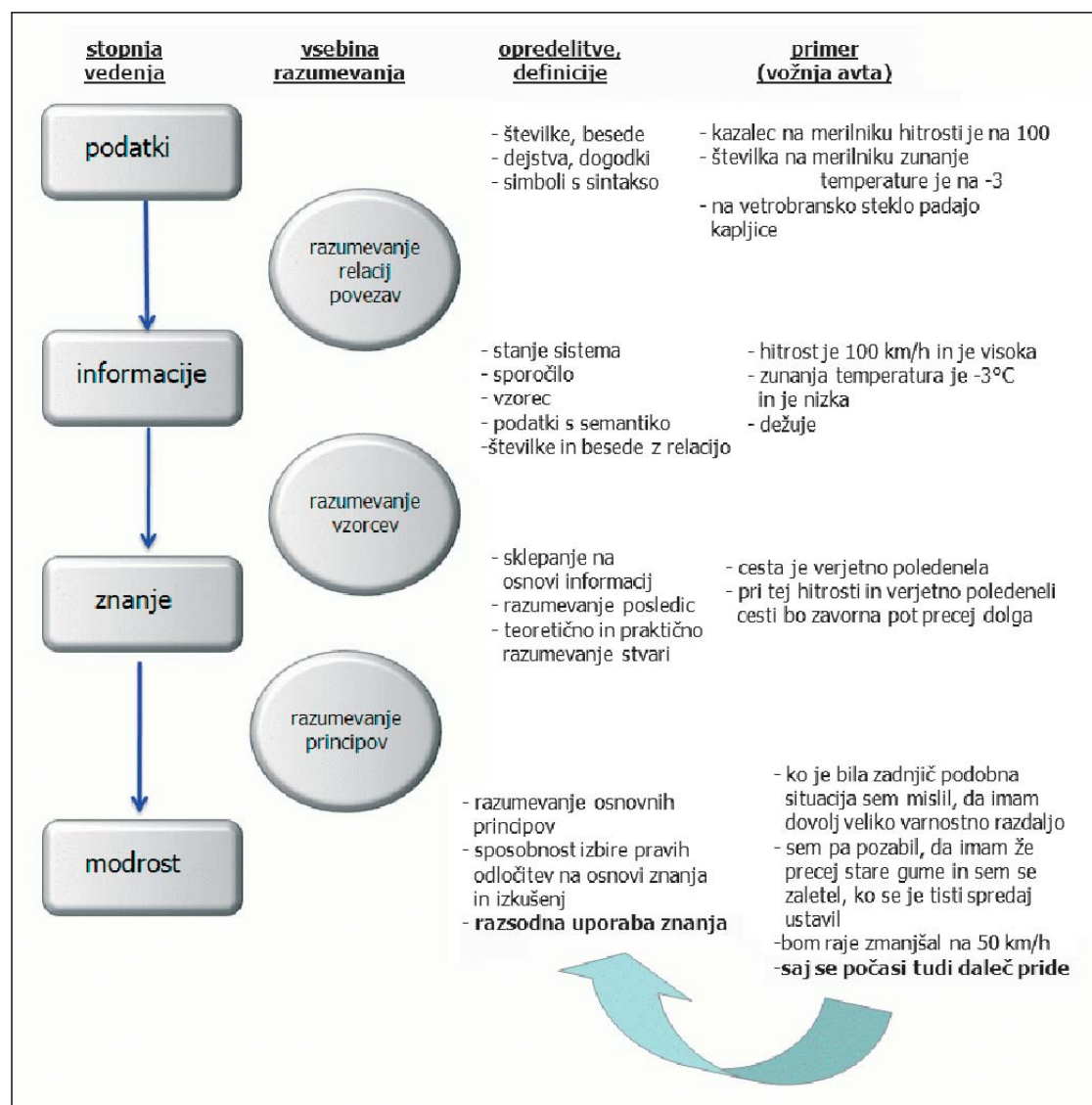
Potrebujemo torej različne podatke, številne informacije in precej znanja. Relevantno vprašanje je, ali je mogoče med podatki, informacijami in znanjem vzpostaviti neko podobno univerzalno relacijo kot pri vodenju, ki bi nam pomagala pri obvladovanju problematike.

2.2 Piramida informacij/znanja

Kratek vpogled na področje informacijskih znanosti in znanosti o upravljanju znanja pokaže, da obstaja nek univerzalni model. Znan je pod imenom model DIKW (DIKW = Data Information Knowledge Wisdom) ali piramida informacij/znanja [2] (glej sliko 3). Gre za način strukturiranja



Slika 3. Piramida informacij/znanja



Slika 4. Podrobnejša razlaga piramide informacij/znanja

posameznih elementov v hierarhično celoto in opredelitev relacije med njimi.

Obstajajo številne različne interpretacije piramide in predvsem različna mnenja, kje so meje med posameznimi nivoji [2], [3], [4]. Nekoliko podrobnejša razlaga je podana na sliki 4.

Na njej v prvi koloni, ki smo jo poimenovali »stopnja vedenja«, navajamo posamezne elemente piramide, v drugi koloni opredeljujemo, kaj je potrebno razumeti, da iz podatkov pridemo do informacije, iz informacije do znanja in iz znanja

do modrosti. V tretji koloni podajamo različne definicije za podatke, informacije, znanje in modrost, ki jih je mogoče dobiti v literaturi, četrta kolona pa prikazuje primer.

2.3 Relacija med univerzalnim mehanizmom vodenja in modelom DIKW

Če skušamo potegniti relacijo med univerzalnim mehanizmom vodenja in modelom DIKW, potem lahko ugotovimo predvsem naslednje:

Opazovanje ni nič drugega kot pridobivanje podatkov, informacij in znanja (zaporedno – drugo iz drugega, vzporedno – neodvisno drug od drugega).

do primera. Nedvomno pa je res, da za učinkovito in kvalitetno vodenje sistemov (procesov), ki delujejo v dinamičnem okolju (z motnjami) in se morajo odzivati na spremenljive zahteve, *potrebujemo relevantne in pravočasne informacije o stanju sistema in njegove okolice*. Zato je za nas ključno, *kako od podatkov priti do koristne (prave) informacije*; to je tiste, ki je neposredno ali posredno relevantna za odločanje.

3 Od podatkov do informacije za odločanje

Kako hitro in učinkovito od podatkov do prave informacije je vprašanje, s katerim se ukvarjajo različne discipline in področja, kot npr.: obdelava podatkov, obdelava signalov,

razpoznavanje vzorcev, teorija informacij, sistemska teorija, teorija vodenja, umetna inteligenca itd.

Obstaja tudi ogromno različnih postopkov, kot npr.: čiščenje podatkov, časovna analiza, frekvenčna analiza, valčna analiza, strojno uče-

nje, redukcija podatkov, redukcija dimenzij, rudarjenje podatkov, ekstrakcija značilk itd.

Postavlja pa se vprašanje, ali obstaja kakšen univerzalni recept, ki bi nas od podatkov pripeljal do prave informacije.

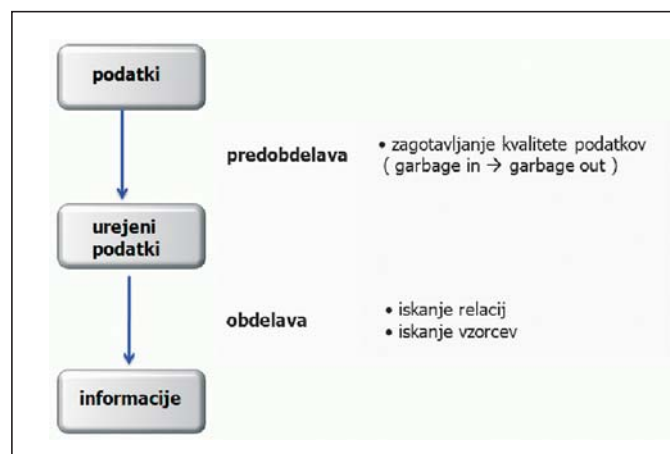
To, na kar se prav gotovo lahko naslonimo, je okvirna struktura pristopa. Ta je sestavljena iz predobdelave in obdelave podatkov (glej sliko 5).

Predobdelava nam zagotavlja, da bomo dobili kvalitetne podatke oziroma da bomo iz množice neurejenih podatkov dobili urejene podatke. Obdelava podatkov pa je iskanje vzorcev in relacij, ki tvorijo informacijo.

Medtem ko je predobdelava dokaj standarden postopek in metode dovolj splošno uporabne [5] (glej sliko 6), je obdelava zelo problematična. Najti je potrebno pravi pristop in pravo kombinacijo metod, da rešimo dani problem. Problematiko bomo ilustrirali na dveh konkretnih primerih.

4 Nadzor kvalitete v proizvodnji elektromotorjev

Končna kontrola izdelkov je pomemben del procesa zagotavljanja kakovosti v proizvodnji. V kontekstu univerzalnega mehanizma voden-

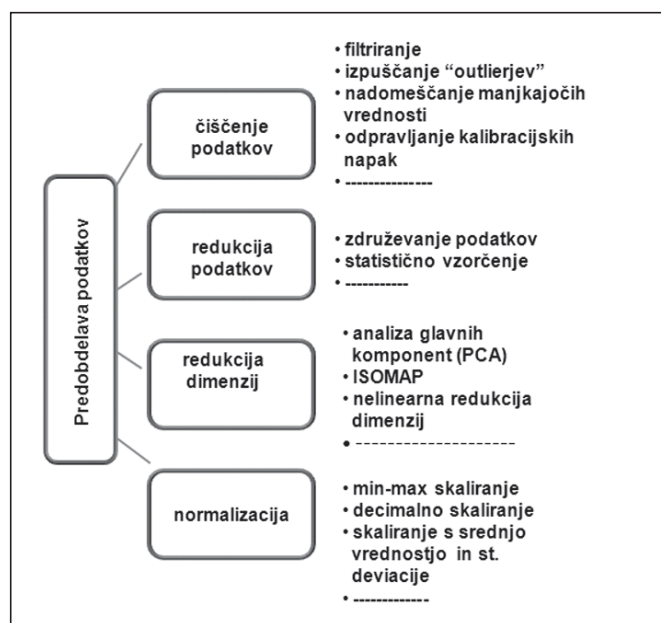


Slika 5. Okvirna struktura sinteze informacij iz podatkov

Razmišljanje in odločanje je uporaba informacij, znanja in modrosti za pripravo ukrepov in odločitve o njihovi izvedbi.

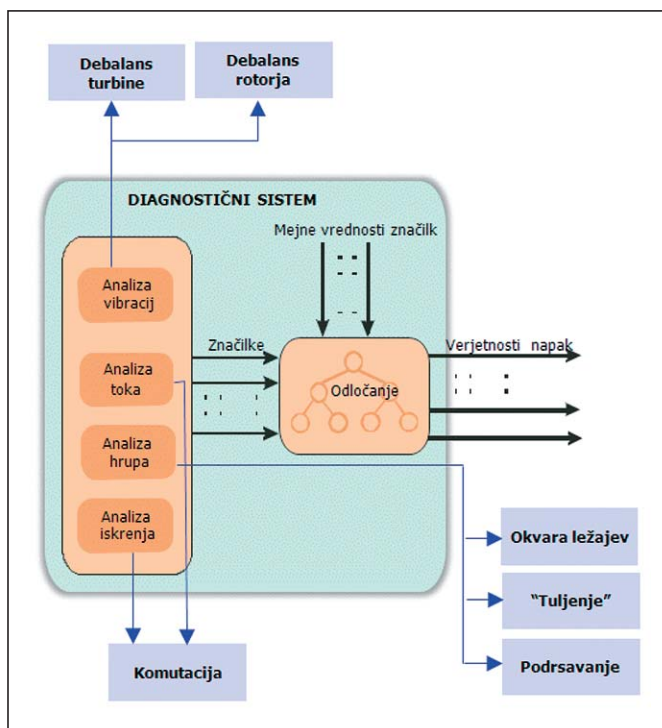
Ukrepanje pa je uporaba informacij o odločitvah in ukrepih za potrebe izvedbe ukrepov.

V splošnem pa lahko rečemo, da je vodenje tesno povezano s problematiko podatkov, informacij, znanja in modrosti. Vendar pa je ta povezava zelo kompleksna in ni enoznačna. Prav tako je res, da so nekatere informacije nujne, nekatere ne, nekatere potrebujemo sproti, nekaterih ne. Ni splošnih receptov za to, katere informacije, kdaj in koliko jih potrebujemo. To je odvisno od primera



Slika 6. Shema predobdelave podatkov

ja gre za aktivnost "opazovanje", v njenem okviru določimo "stanje proizvodnje", ki nam kasneje po eni strani služi za ločevanje slabih od dobrih proizvodov (klasifikacija), po drugi strani pa lahko vplivamo tudi na izboljšanje procesa proizvodnje. Osredotočili se bomo na nekatere pristope, ki jim pravimo "ekstrakcija značilk".



Slika 7. Idejna zasnova sistema za odkrivanje napak

Pobližje si bomo ogledali rešitev problema avtomatske analize končne kakovosti pri množični proizvodnji elektromotorjev v tovarni Domel. Domel je eden najpomembnejših proizvajalcev elektromotorjev za sesalnike v svetu in je drugi po tržnem deležu v Evropi. Njegovi kupci so Philips, Electrolux, AEG, Rowenta in druga ugledna podjetja. Pritisk po visoki kvaliteti proizvodov (in nizkih cenah) je zaradi tega izjemno visok. Zato je bilo nujno, da iz pretežno ročne in subjektivne končne kontrole kakovosti preide na avtomatski sistem. Ker tako specifičnih sistemov na svetu ni mogoče dobiti, se je podjetje odločilo za razvoj svojega sistema. Pri razvoju smo odigrali ključno vlogo sodelavci Odseka za sisteme in vodenje na Institutu Jožef Stefan. Razvoj je potekal v več etapah in se je začel z aplikativnim raziskovalnim projektom ter zaključil s končnimi implementacijami treh sistemov v tovarni v Železnikih in tovarni na Kitajskem.

Na *sliki 7* je idejna zasnova sistema za ugotavljanje napak na elektromotorjih v tovarni Domel.

Dobro bi bilo, da bi bili napisi na slikah povsod enaki. Ali niso drugod z malo začetnico?

Osnova sistema so meritve različnih spremenljivk, kot so vibracije, tok, hrup in iskrenje. Z meritvami dobimo osnovne podatke, iz katerih je treba dobiti prave informacije. V konkretnem primeru je potrebno podatke obdelati tako, da iz njih dobimo nove spremenljivke, ki jim pravimo značilke. Značilke so spremenljivke, ki so enake nič, če je

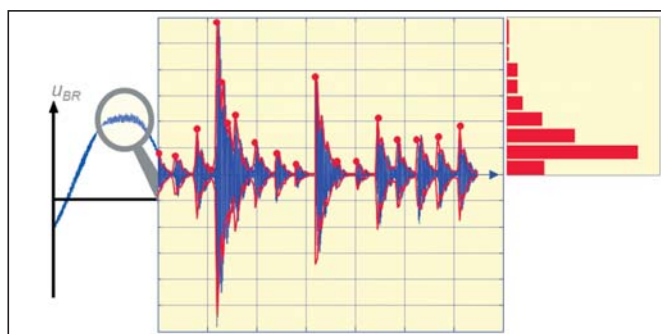
čilk in logičnega sklepanja ugotovimo, za kakšne napake gre, oziroma izračunamo verjetnosti za njihovo prisotnost.

Gre za zelo kompleksen sistem, mi pa se bomo omejili na dva primera, ki kažeta, na kakšen način iz podatkov dobimo pravo informacijo, na osnovi katere se lahko odločimo.

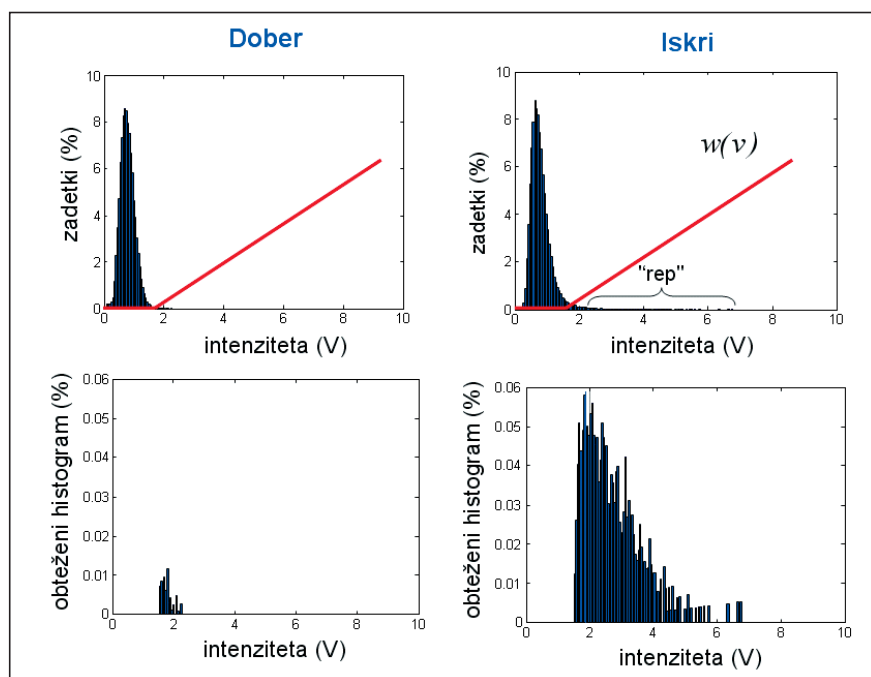
4.1 Analiza iskenja

Glavni vzrok za omejeno življenjsko dobo elektromotorja je obraba ščetk in kolektorja. Stanje ščetk in morebitne napake pri montaži se kažejo v iskrenju motorja.

Izkaže se, da informacijo o iskrenju lahko dobimo iz napetosti na ščetkah elektromotorja, če se zadeve pravilno lotimo [6], [7]. Signal, ki ga dobimo



Slika 8. Prikaz ekstrakcije velikosti isker iz signala napetosti



Slika 9. Ločitev "dobrih" in "slabih" histogramov z utežnostno funkcijo

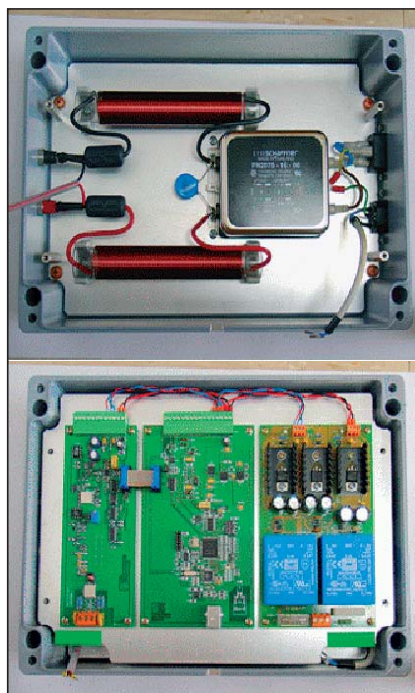
iz meritve, je na prvi pogled videti kot običajen sinusni signal, enak omrežni napetosti 50 Hz. Če malo podrobneje pogledamo, lahko opazimo, da je na njem superponiran visokofrekvenčni signal z značilnimi "izbruhi". Pokaže se, da je velikost "izbruha" neposredno odvisna od velikosti iskre. Večja, kot je iskra, večji je tudi "izburh" v signalu. Če določimo ovojnico visokofrekvenčnega signala, lahko iz njene amplitude določimo velikost isker, ki jih nato uredimo v histogram. Ideja je ilustrirana na *sliki 8*.

Žal pa se izkaže, da se histogram motorja, ki je dober, od tistega, ki preveč iskri, skoraj ne razlikuje. Gre za komaj opazno razliko v dolžini histograma. Govorimo o t. i. "dolgem repu" in prav tam se skriva ključna informacija. Pri dobrih motorjih namreč takega "repa" ni. Če torej želimo avtomatsko identificirati prisotnost dolgega repa, moramo histogram primerno obtežiti. V našem primeru smo izbrali kar linearno utežnostno funkcijo. Postopek je ilustriran na *sliki 9*.

Končno značilko dobimo tako, da obteženi spekter integriramo, kar je zapisano z naslednjo formulo.

$$\text{značilka} = \int_0^{\infty} h(v) \cdot w(v) dv,$$

$$w = \begin{cases} 0 & \text{for } v < v_0 \\ v - v_0 & \text{for } v \geq v_0 \end{cases} \quad (1)$$



Slika 10. Prikaz fizične realizacije merilnika iskenja

Zgradba merilnika oziroma njegova fizična realizacija je podana na *sliki 10*. Merilnik smo tudi patentno zaščitili [8].

Iz navedenega primera je jasno vidno, da smo za ekstrakcijo prave informacije iz podatkov potrebovali vrsto različnih postopkov, ki jih je možno sestaviti v smiselno celoto le z dobrim poznavanjem problema.

4.2 Analiza hrupa

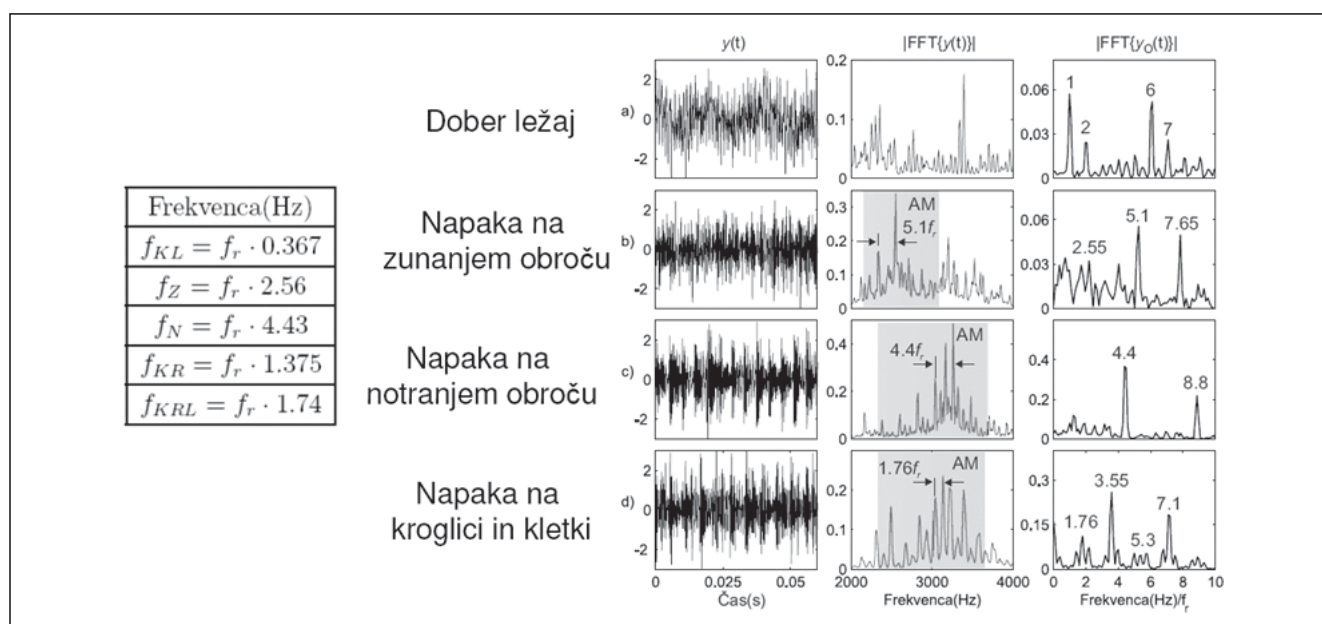
Posebnost našega pristopa je tudi v uporabi hrupa motorja kot vira informacije o stanju mehanskih, predvsem drsnih delov [9]. Samo merjenje zahteva mikrofoni in gluho komoro. Ta zaduši vse moteče hrupe iz okolice in prepreči, da bi vplivali na izid analize.

Oglejmo si primer poškodbe na ležaju. Za boljše razumevanje manifestacije tovrstne poškodbe je pomembno razumevanje geometrije in kinematike ležaja [10]. Na ta način lahko opredelimo, katere karakteristične frekvence se bodo pojavljale pri določenih napakah.

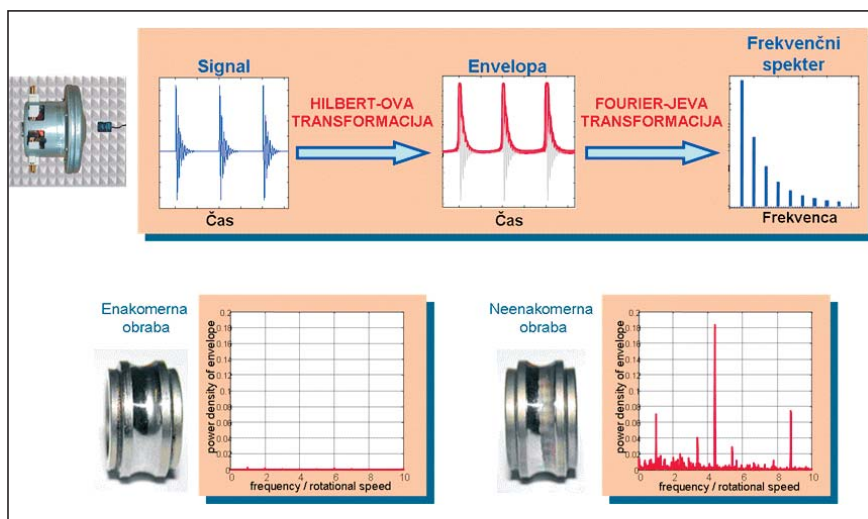
Slika 11 prikazuje rezultate analize hrupa na motorjih z različnimi poškodbami.

Na levi strani slike so v tabeli podane karakteristične frekvence (izražene s frekvenco vrtenja notranjega obroča ležaja f_r), ki jih na osnovi analize ležaja pričakujemo v signalih ob pojavu določenih napak. Kot vidimo, je neposredno iz signala skoraj nemogoče ugotoviti, da je sploh kaj narobe, kaj šele, kaj bi bilo narobe.

Tudi klasična Fourierjeva analiza zataji, saj je Fourierjev spekter poln



Slika 11. Analiza hrupa na motorjih z različnimi poškodbami: ($y(t)$ – časovni potek signalov zvoka; $|FFT\{y(t)\}|$ – amplitudni spekter; $|FFT\{y_o(t)\}|$ – amplitudni spekter ovojnice)



Slika 12. Ideja postopka za odkrivanje napak na ležaju elektromotorja

vrhov, ki se pojavljajo v vseh situacijah. Zaradi tega je povsem neuporaben. Različne poškodbe namreč povzročijo amplitudno modulacijo signala hrupa. Amplitudna modulacija pomeni, da se je informacija preslikala v višje frekvenčno področje. Če bi jo želeli dobiti, bi morali signal demodulirati. Žal pa to ne gre, ker ne poznamo nosilne (modulacijske) frekvence oziroma se ta s časom spreminja.

Zadevo je mogoče rešiti s Hilbertovo transformacijo, s katero pridemo do ovojnice signala.

V spektru ovojnice, do katerega pridemo s Fourierovo transformacijo, pa se jasno pokažejo vrhovi, in to na mestih, ki jih predvideva model ležaja. Zaradi tega je diagnostični algoritem izjemno zanesljiv.

Osnovna ideja postopka je prikazana na sliki 12, kjer lahko jasno vidimo, kakšna je razlika med značilko motorja, pri katerem je ležaj enakomerno obrabljen, in tisto, pri neenakomerno obrabljenem ležaju.

Očitno je, da tudi v tem primeru do uporabne informacije ne moremo priti na preprost način, ampak si po eni strani pomagamo z določenim predznanjem, da opredelimo, kakšna je informacija, ki jo sploh iščemo, po drugi strani pa uporabimo vrsto različnih postopkov, da takšno informacijo, če je v podatkih, tudi najdemo.

Sistem, ki je nastal na osnovi opisanih in še drugih metod, je zelo kompleksen in sposoben odkrivanja številnih napak. Po izjavah tujih ekspertov gre za trenutno najboljši tovrstni sistem na svetu. Na njem je bilo preizkušenih že več milijonov elektromotorjev. Fotografijo dela enega od implementiranih sistemov prikazuje slika 13.

■ 5 Ugotavljanje globine anestezije med operacijo

Anestezija je kemična perturbacija v organizmu, ki vodi do blokade določenih receptorjev v možganih in (pri splošni anesteziji) do začasne izgube zavesti. Pomembna in nujno potrebna je pri opravljanju operacij. Žal globine anestezije ni mogoče dovolj natančno meriti in temu prirediti optimalnega doziranja anestetika, ki ne bi bilo škodljivo za pacienta. Tako se še vedno dogaja (v ok. 1 % primerov), da so pacienti med splošno anestezijo budni.

To pomeni, da sicer ničesar ne čutijo in ne morejo na nič reagirati, se pa zavedajo in slišijo dogajanje okrog

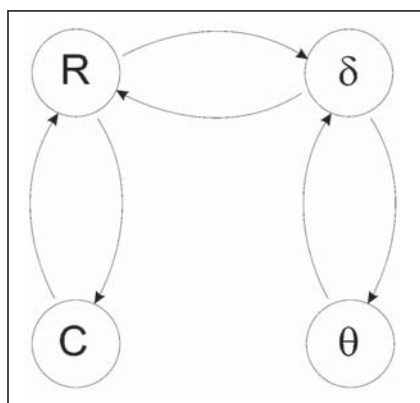
sebe. Gre za zelo travmatično izkušnjo, ki pušča globoke psihične posledice. Zanesljiva meritev globine anestezije je zato ključnega pomena. Raziskava, ki je usmerjena v rešitev tega problema, poteka v okviru EU projekta BRACCIA [11].

Če na problem pogledamo v kontekstu univerzalnega mehanizma vodenja, gre tukaj za aktivnost "opazovanje", v okviru katere določimo "stanje sistema (opreme)", v katerem potekajo procesi. Tu je sistem, ki ga opazujemo, živo bitje. V kontekstu pridobivanja informacij iz podatkov pa bomo pokazali, kako pridemo do relevantne informacije z uporabo dodatnega znanja v obliki matematičnega modela. Ta pristop je poznan tudi pod imenom »SW-senzor«.

Osnovna hipoteza, na kateri temelji raziskava, je, da je mogoče globino anestezije ugotoviti na osnovi stopnje sklopljenosti med različnimi oscilacijami, ki potekajo v človeškem telesu [12]. Gre predvsem za dihanje, delovanje srca, različne oscilacije v možganih itd. Znano namreč je, da med različnimi oscilatornimi sistemi, ki so med sabo tako ali drugače povezani, prihaja do večje ali manjše sinhronizacije. Ta je odvisna od stopnje in pogojev povezave. V konkretnem primeru smo študirali povezave znotraj kardiovaskularnega sistema, ki so shematsko podane na sliki 14.



Slika 13. Implementacija sistema na liniji



Slika 14. Diagram prikazuje štiri obravnavane oscilatorje med anestezijo: R – dihanje, C – srce, δ – delta valovanja, θ – theta valovanja. Puščice med posameznimi oscilatorji predstavljajo interakcije.



Slika 15. Sistemi za merjenje fizioloških signalov Cardio & BrainSignals

5.1 Zajemanje in predobdelava signalov

Da bi lahko merili fiziološke signale, na osnovi katerih bi bilo mogoče določiti stopnjo njihove sklopljenosti, smo razvili namenski inštrument, ki smo ga poimenovali Cardio & BrainSignals [13]. Sistem omogoča merjenje fizioloških veličin, kot so EKG, EEG, dihanje, tlak krvi na prstu, temperatura, prevodnost kože in še drugih pomožnih veličin. Zajemanje, shranjevanje in signalna obdelava merjenih veličin poteka z uporabo osebnega računalnika, povezanega preko USB-vodila. Sistem je zgrajen v skladu z vsemi relevantnimi standardi za medicinsko opremo. Trenutno ga uporabljajo ekipe v

Veliki Britaniji, Norveški in Sloveniji. Prirejen je tako za merjenje na testnih živalih (podganah) kot tudi za merjenje na ljudeh. Fotografija sistema z dodatno opremo je podana na sliki 15.

S pomočjo merilnega sistema in uporabe določenih metod filtriranja pridemo do signalov EKG, dihanja in EEG (glej sliko 16).

Signal EEG je v primerjavi z EKG in dihanjem širokopasoven in vsebuje več valovanj hkrati. S pasovnoprepustnimi filtri smo iz signala EEG pridobili valovanje (0,5–3,5 Hz) in valovanje (3,5–8 Hz). Z uporabo valčne transformacije, Hilbertovega transforma in metode Poincaréjevih ploskev smo izmerjenim signalom določili faze, ki so osnova za določitev stopnje sklopljenosti oscilacij. Stopnjo sklopljenosti pa določimo s pomočjo naslednjega matematičnega modela.

5.2 Določanje stopnje sklopljenosti oscilacij

Par sklopljenih oscilatorjev lahko v faznem prostoru predstavimo z naslednjima enačbama [14]:

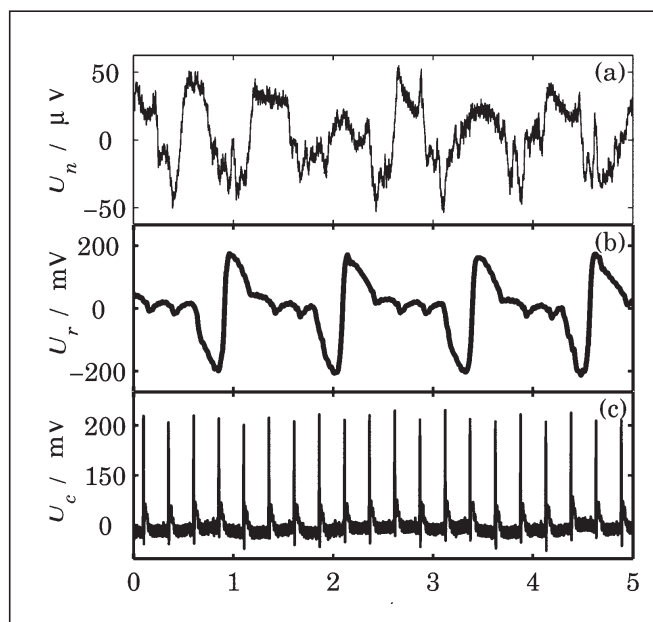
$$\varphi_{1,2} = \omega_{1,2} + \varepsilon_{1,2} f(\varphi_{1,2}, \varphi_{2,1}) + \zeta_{1,2}(t) \quad (2)$$

kjer sta $\varphi_{1,2}$ fazi oscilacij, $\zeta_{1,2}(t)$ parametra šuma, $\varepsilon_{1,2} \ll \omega_{1,2}$ predstavlja moč sklopitve in $\omega_{1,2}$ frekvenco oscilacij. Funkciji $f_{1,2}$ opisujeta dinamiko posameznega oscilatorja in sklopitve med obema oscilatorjema. Za odkrivanje smeri sklopitve je potrebno izračunati prirastek obeh faz na nekem časovnem intervalu $\Delta_{1,2} = \varphi_{1,2}(t_k + \tau) - \varphi_{1,2}(t_k)$. V splošnem lahko oba prirastka predstavimo kot poljubno funkcijo dveh spremenljivk $\Delta_{1,2} = F_{1,2}(\varphi_{1,2}(t_k), \varphi_{2,1}(t_k)) + \eta_{1,2}(t, k)$, ki jo nato iz podatkov $\Delta_{1,2}$ in $\varphi_{1,2}$ aproksimiramo po metodi najmanjših kvadratov. Iz funkcij, ki smo jih dobili z aproksimacijo, lahko sedaj izračunamo ocene $c_{1,2}$ odvisnosti med obema fazama

$$c_{1,2}^2 = \iint \left(\frac{\partial F_{1,2}}{\partial \varphi_{2,1}} \right)^2 d\varphi_1 d\varphi_2 \quad (3)$$

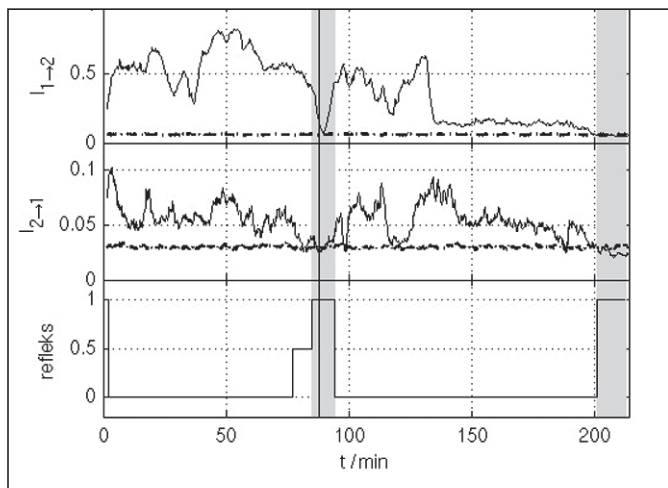
c_2 predstavlja vpliv prvega oscilatorja na drugega, c_1 pa vpliv drugega na prvega.

Poleg omenjene metode lahko smeri sklopitve dveh procesov obravnavamo tudi s stališča teorije informacij, kjer pri analizi uporabljamo metode, kot so entropija, lastna informacija in pogojna lastna informacija [12]. V primeru, ko za X , Y in Z uporabimo φ_1 , $\Delta\varphi_2$ in φ_2 , pogojna lastna informacija predstavlja informacijo prvega procesa, ki je vsebovana v prihodnosti drugega procesa in je ekvivalentna zgoraj definiranim meram za



Slika 16. Izseki izmerjenih signalov: (a) EEG, (b) dihanje in (c) EKG

jakost sklopitve. Tako $I(\varphi_1; \Delta_{\varphi_2} | \varphi_2)$ oziroma $I_{1 \rightarrow 2}$ predstavlja jakost vpliva prvega oscilatorja na drugega. Obratno velja $I(\varphi_2; \Delta_{\varphi_1} | \varphi_1)$ za oziroma $I_{2 \rightarrow 1}$.



Slika 17. Potek kardiorespiratornih interakcij med anestezijo. Zgornji graf kaže jakost vpliva dihanja na srce, srednji vpliv srca na dihanje, spodnji pa potek refleksnega odziva na bolečino.

5.3 Rezultati

Na *sliki 17* je prikazan potek indeksov sklopitev v kardiorespiratornem sistemu, izmerjenih na testnih živalih (podganah). Spodnji graf prikazuje potek refleksnega odziva na bolečino, kjer velja: (i) 0 – ni odziva oziroma globoka anestezija, (ii) 0,5 – šibek odziv ali zbujanje in (iii) 1 – močan odziv ali budno stanje. Podgane so dobile prvo dozo anestetika približno 8 do 10 minut pred začetkom meritve ($t=0$) in drugo dozo (vertikalna črta na grafih) nekaj minut po vrnitvi refleksa na bolečino. S slike je razvidno, da je v času od 0 do 77 min. in od 97 do 201 min. odziv negativen oziroma gre za globoko anestezijo, od 86 do 95 min. in od 201 min. naprej je odziv pozitiven, kar pomeni budnost, od 78 do 85 min. pa je odziv šibek oziroma gre za zbujanje. Prekinjeni horizontalni črti na obeh grafih služita za določanje signifikantnosti sklopitve in sta pridobljeni iz izvirnih podatkov, ki so jim bile s pomočjo naključnega mehanizma odstranjene medsebojne sklopitve. Tako velja, da je v primeru, ko je indeks nad to črto, sklopitev prisotna, in obratno, ko je indeks pod njo.

S *slike 17* je razvidno, da sta obe sklopitvi signifikantni med celotnim potekom anestezije, razen v krajšem intervalu na sredini in ob koncu anestezije, ko je refleksni odziv pozitiven.

Rezultati nakazujejo, da bi bilo mogoče globino anestezije določiti in nadzorovati na osnovi opazovanja interakcije med osnovnimi oscilatorji v telesu. Informacije o obsegu interakcije pa ni mogoče določiti neposredno iz podatkov, ampak je za to potrebna precej zapletena pot z vključevanjem znatnega obsega

dodatnega znanja v obliki matematičnega modela.

6 Zaključek

Iz prispevka smo lahko videli, da pot od podatkov do relevantne informacije običajno ni enostavna. Kompleksnost postopka je odvisna od konkretnih zahtev glede kvalitete, zanesljivosti in pravočasnosti informacije. Pomembno je tudi spoznanje, da univerzalnih rešitev ni; vsak konkretni primer je zgodba zase. Kadar se srečujemo s tovrstnimi problemi, pa je vendarle smiselno upoštevati naslednje splošne ugotovitve:

- Za uspešno ekstrakcijo informacije iz podatkov moramo dobro vedeti, zakaj to informacijo potrebujemo
- Potrebujemo metodološko znanje, da bomo znali iz podatkov dobiti informacijo in iz informacije znanje.
- Potrebujemo znanje iz problematske domene (o konkretnem problemu), zato da bomo dobili pravo informacijo in zbirali prave podatke

Reference

- [1] S. Strmčnik, "Širši konceptualni in metodološki okviri", V: Celostni pristop k računalniškemu vodenju procesov, Stanko Strmčnik, ur., Raymond Hanus, ur., ani Jurič, ur., Rihard Karba, ur., Zoran Marinšek, ur., D. Murray-Smith, ur., H. Verbruggen, ur., Borut Zupančič, ur., 1. izd., Ljubljana, Fakulteta za elektrotehniko, str. 11–51, 1998.
- [2] G. Bellinger, D. Castro, A. Mills, "Data, Information, Knowledge, and Wisdom", <http://www.systems-thinking.org/dikw/dikw.htm>, 20. 4. 2008.
- [3] B. Nichols, "From Data to Wisdom", Byte Columns, January 03, 2000, <http://www.billswrite.com/>.
- [4] J. Pohl, "Transition from Data to Information", http://www.cadrc.calpoly.edu/pdf/data_information.pdf.
- [5] Pang-Ninh Tan, "Knowledge Discovery from Sensor data", <http://machine.sensorsmag.com/sensorsmachine/Technology+Tutorials%2FSoftware/Knowledge-Discovery-from-Sensor-Data/ArticleStandard/ArticleDetail/317756-?contextCategoryId=35075>, Mar 1, 2006.
- [6] D. Tinta, J. Petrovčič, U. Benko, Đ. Juričič, A. Rakar, M. Žele, J. Tavčar, J. Rejec, A. Stefanovska, "Fault diagnosis of vacuum cleaner motors", Control Eng. Pract., vol. 13, str. 177–187, 2005.
- [7] D. Tinta, "Odkrivanje napak pri velikoserijski proizvodnji elektromotorjev", doktorska disertacija, Ljubljana, 2006.
- [8] J. Petrovčič, Đ. Juričič, D. Tinta, "Detektorski sklop in naprava za merjenje intenzitete iskrenja kolektorskih motorjev", patent št. 21381, Ljubljana, Urad Republike Slovenije za intelektualno lastnino, 2004.
- [9] U. Benko, J. Petrovčič, Đ. Juričič, J. Tavčar, J. Rejec, A. Stefanovska, "Fault diagnosis of a vacuum cleaner motor by means of sound analysis", J. Sound Vib., vol. 276, str. 781–806, 2004.

- [10] U. Benko, "Uporaba sodobnih postopkov obdelave signalov pri diagnosticiranju tehničnih sistemov", doktorska disertacija, Ljubljana, 2007.
- [11] BRACCIA – Brain, Respiration And Cardiac Causalities In Anaesthesia, EU-6FP project, <http://www.lancs.ac.uk/depts/physics/braccia/default.htm>.
- [12] B. Musizza, A. Stefanovska, P. V. E. McClintock, M. Paluš, J. Petrovčič, S. Ribarič, F. Bajrovi, "Interactions between cardiac, respiratory, and EEG-delta oscillations in rats during anaesthesia", *J Physiol*, letn. 580, št. 5, str. 315–326, 2007.
- [13] J. Petrovčič, B. Musizza, A. Svetek, "Cardio & brain signals", user manual, (IJS delovno poročilo, 9928), 2008.
- [14] M. G. Rosenblum, L. Cimponeanu, A. Bezerianos, A. Patzak, R. Mrowka, "Identification of coupling direction", *Application to cardiorespiratory interaction*, *Phys Rev E* 65, 041909, 2002.

From sensors to the right decision

Abstract: Control is inherent to all goal-oriented systems, such as living beings, technical systems or socio-economic systems. The quality of the control depends very much on the information and knowledge available on the controlled system and its environment. In order to get informative data from the system a set of appropriate sensors has to be employed. However, to make a decision one needs information, which is encrypted in the data. This is accomplished by the appropriate procedures for processing sensory data. In the paper a system view on control and information is described and the basic principles of information extraction are briefly overviewed. Two important issues are addressed in more detail: (a) how to extract the hidden information from the signal data, and (b) how to synthesize the information using additional prior knowledge. To highlight the underlying concepts the summaries of two successful applications are provided. The first one is related to quality control in the production of electrical motors, while the second deals with controlling the depth of anaesthesia during an operation.

Key Words: sensors, data, information, control, quality control, measuring the depth of anaesthesia

Zahvala

Zahvaljujemo se Agenciji za raziskovalno dejavnost republike Slovenije, ki je sofinancirala raziskave, predstavljene v tem delu.

Pri nastanku rezultatov, ki so predstavljeni v okviru tega dela, so poleg avtorjev sodelovali še naslednji sodelavci Odseka za sisteme in vodenje: Uroš Benko, Stane Černe, Gregor Dolanc, Janez Grom, Maja Janežič, Vladimir Jovan, Aleš Svetek, Miro Štrubelj in Dejan Tinta.

Prispevek je bil predstavljen na konferenci SENZORJI IN AKTUATRJI, ki jo je organiziral TEHNOLOŠKI CENTER SEMTO v letu 2008.

Znanstvene in strokovne prireditve

■ Kolloquium zum 80. Geburtstag von prof. Backé – Znanstveni kolokvij ob 80-letnici prof. dr. Backéja

31. 07. 2009
Aachen, ZRN

Organizator:

- Institut für fluidtechnische Antriebe und Steuerungen (IFAS) der RWTH Aachen

Prijava in informacije na internetu: www.ifasrwth-aachen.de

■ 7. Internationale Fluidtechnische Kolloquium (IFK) in Aachen – 7. mednarodni kolokvij o fluidni tehniki v Aachnu

22.–24. 03. 2010
Aachen, ZRN

Organizatorja:

- Institut für fluidtechnische Antriebe und Steuerungen (IFAS) der RWTH Aachen
- VDMA

Moto kolokvija: »Učinkovitost s fluidno tehniko«

Informacije:

- Dipl. Ing. C. Riedel
- Tel.: +49(0) 241-8022194
- Internet: www.ifk2010.de