

# E-učenje in vodenje sistemov ob uporabi virtualnega in oddaljenega laboratorija

Maja ATANASIJEVIĆ-KUNC, Vito LOGAR, Rihard KARBA, Marko PAPIČ, Janez BEŠTER

**Izvleček:** Hiter tehnološki napredek in učinkovito povezovanje držav, ki se odraža tudi v številnih novih študijskih programih ter možnostih sodelovanja oddaljenih institucij, ne nazadnje pa tudi vse izrazitejše vrednotenje znanja, ki postaja tudi pomembna tržna niša, so nas stimulirali k proučevanju možnosti uvajanja tako imenovanega e-učenja na področje vodenja sistemov. Idejo smo realizirali na način, ki omogoča postopen prehod od klasičnih metod poučevanja ali pa tudi kombinacijo z njimi. Na tej osnovi smo zaenkrat predvsem odprli nove možnosti v načinu dela, nismo pa izgubili nekaterih uveljavljenih oblik dela s študenti. Idejo smo realizirali ob uporabi programa E-CHO, ki je bil razvit na Fakulteti za elektrotehniko v Ljubljani prav za namene podpore aktivnostim e-učenja, programa Matlab in pilotne računalniško vodene laboratorijske naprave pri predmetu Multivariabilni sistemi na smeri Avtomatika. Razviti koncept omogoča razširitev možnosti v minulih letih vpeljanega projektne-ga dela in proučevanje problematike vodenja multivariabilnih sistemov, testiranje znanja v obliki računalniške igre ter tekmovanje v načrtovanju vodenja realnega procesa. Spodbudne ugotovitve na osnovi dvoletne uporabe sistema že kažejo številne možnosti nadaljnjega razvoja pri tem in tudi pri sorodnih predmetih.

**Ključne besede:** načrtovanje vodenja, multivariabilni sistemi, e-učenje, virtualni laboratorij, oddaljeni laboratorij

## ■ 1 Uvod

Čeprav je elektronsko učenje ali kratko e-učenje, kot ga običajno imenujemo, postalo zelo popularno praktično po vsem svetu, pa ni nobene splošno sprejete in uveljavljene definicije, ki bi kazala na to, kako je potrebno organizirati učni proces, kakšna orodja naj bi uporabljali pri učenju, da bi ga lahko imenovali e-učenje. Predstavimo nekaj poskusov tovrstnih definicij [1]:

Izr. prof. dr. Maja Atanasijević-Kunc, univ. dipl. inž., Vito Logar, univ. dipl. inž., prof. dr. Rihard Karba, mag. Marko Papič, univ. dipl. inž., prof. dr. Janez Bešter, univ. dipl. inž., vsi Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko

- V prvih letih tega tisočletja, ko je e-učenje pričelo pridobivati na pomembnosti, se je izraz nanašal na katerokoli elektronsko podprto učenje, najpogosteje z računalnikom in internetom.
- To so aktivnosti učenja, ki temeljijo na kateremkoli elektronskem formatu.
- To je proces, ki olajša izobraževanje z uporabo omrežja (internet, LAN ali WAN).
- To je oblika izobrazbe, ki je ponujena z elektronsko dostavljivimi mediji, kot so CD-ROM-i, videokonference, spletne strani elektronska pošta.
- E-učenje je proces učenja, kjer učitelj in učenci komunicirajo ob uporabi digitalnih medijev, preko katerih učenci prejmejo tudi materiale in pomoč.

Tako je v literaturi (glej npr. [2]–[7]) moč zaslediti zelo različne predloge, in sicer tako glede uporabljene strukture kot tudi glede uporabe orodij in organizacije učnega procesa.

Na Fakulteti za elektrotehniko v Ljubljani so v zadnjih letih potekale intenzivne priprave na uvedbo bolonjskega študija, ki zahteva vpeljavo sodobnejših načinov poučevanja, kamor zagotovo lahko uvrstimo tudi različne oblike e-učenja. Tovrstna oblika poučevanja pa ni pomembna le za študente z oddaljenih lokacij oziroma dežel. Nov zagon lahko ponudi tudi različnim oblikam podiplomskega in izrednega študija ter vseživljenjskega učenja, ki tudi v Sloveniji postaja pomemben gospodarski dejavnik. Pri tem pa se moramo zavedati, da je za zaposlene dodatno

šolanje pogosto izredno zahtevna naloga, saj se delovni čas podaljšuje v pozne popoldanske in celo večerne ure. Če poleg tega upoštevamo tudi zaostrene gospodarske razmere in izrazito staranje prebivalstva, je odpiranje novih priložnosti poučevanja, ki jih je moč izvajati s poljubne lokacije in praktično ob vsaki uri dneva, izrednega pomena.

Omeniti moramo še en problem, ki je specifičen za tehnična področja. Zanimanje za tovrstne študije je manjše, in to kljub dejstvu, da zaposlovanje ne predstavlja (vsaj zaenkrat) nobene problema.

Ti razlogi so nas spodbudili k študiju možnosti vpeljave oddaljenega poučevanja na področju avtomatike ob uporabi sodobnih informacijskih in komunikacijskih tehnologij. Ker so izkušnje pri tem zelo pomembne in ker uveljavljenih oblik ne gre zavreči, smo se odločili, da bomo idejo realizirali postopoma in skušali izkoristiti relativne prednosti posameznih pristopov. Poleg tega smo upoštevali dejstvo, da so študentje ob koncu študija že bolj samostojni in samozavestni in posedujejo že dovolj znanja, da jih je mogoče spodbuditi k projektному delu, ki lahko predstavlja tudi uvod oz. priprave na izdelavo diplome.

Predstavljene ideje smo prvič vpeljali v šolskem letu 2007/08 v Laboratoriju za modeliranje, simulacijo in vodenje (LMSV) na Katedri za sisteme, avtomatiko in kibernetiko na Fakulteti za elektrotehniko Univerze v Ljubljani, ponovitev pa smo izvedli v šolskem letu 2008/09. Realizirali smo jih v sodelovanju z Laboratorijem za telekomunikacije (LTFE) na isti fakulteti, kjer se že dlje časa ukvarjajo z razvojem rešitev elektronskega učenja. Za realizacijo smo namreč uporabili njihov program E-CHO, ki se že uporablja na različnih akademskih področjih in v poslovnih okoljih.

Idejo e-učenja smo zasnovali v obliki računalniške igre, ki jo študentje "igrajo" v okviru laboratorijskih vaj, vendar pa moramo poudariti, da vsebuje vse bistvene tehnične elemente, ki omogočajo enostavno razširitev

na vse dejavnosti tega predmeta, pa tudi na različne tečaje, poletne šole in druge oblike, ki jih srečujemo na primer pri vseživljenjskem učenju in problematiki, povezani z vodenjem, modeliranjem in simuliranjem dinamičnih sistemov, pri čemer je med eksperimente mogoče vključiti tudi rabo virtualnih ali oddaljenih laboratorijskih poskusov. Za izvedbo te aplikacije je bilo potrebno intenzivno interdisciplinarno sodelovanje, saj na tržišču ne obstaja odprta programska oprema, ki bi direktno omogočala izvedbo vseh omenjenih idej. Tako smo za realizacijo uporabili E-CHO sistem za elektronsko učenje [8, 9], ki so ga razvili v LTFE, medtem ko smo vse potrebne izračune pri vodenju in simulaciji izvedli s pomočjo Matlab in pripadajočih orodij [10–13]. Na ta način smo omogočili tudi direkten prenos teoretičnih znanj v prakso.

Prispevek je urejen na naslednji način. V poglavju 2 je predstavljen koncept pedagoškega procesa, ki smo ga zasnovali pri predmetu Multivariabilni sistemi. V poglavju 3 so na kratko opisane nekatere pomembnejše značilnosti programa E-CHO. Sledi poglavje, v katerem je podrobneje orisan tekmovalni projekt, s pomočjo katerega smo realizirali oddaljeno učenje. Prispevek je zaokrožen s sklepnimi ugotovitvami in izkušnjami uporabe razvitega okolja v času dveh šolskih let ter z idejami, ki jih bomo skušali realizirati v prihodnje.

## ■ 2 Organizacija pedagoškega procesa

Standardni pristop pri organizaciji učnega procesa na univerzah [14, 15] je sestavljen iz predavanj, avditornih in laboratorijskih vaj ter pisnega in/ali ustnega dela izpita. Takšen pristop uporabljamo tudi pri večini predmetov na naši fakulteti, zato seveda ni presenetljivo, da smo se odločili za izboljšave znotraj uveljavljenih možnosti.

S predmetom Multivariabilni sistemi se študenti na naši fakulteti srečajo v petem letniku (deveti semester) na smeri Avtomatika. Predmet vključuje štiri ure predavanj, dve uri avditornih in eno uro laboratorijskih

vaj na teden. Število študentov se je v minulih letih gibalo med 8 in 30, saj ga poslušajo samo študenti dveh izbirnih modulov. Da bi ure izkoristili kar najbolj učinkovito, običajno pričenjamo s predavanji, ki jih približno po enem mesecu prično dopolnjevati avditorne vaje, medtem ko laboratorijske, kjer je zahtevano zelo aktivno sodelovanje študentov, izvedemo strnjeno, ob koncu semestra v ciklih po 3 do 4 ure, delo pa dopolnjujejo tudi domače naloge.

V preteklih nekaj letih smo vpeljali projektno delo [14], ki smo ga realizirali zlasti med laboratorijskimi vajami. Z omenjenimi projekti smo skušali:

- spodbuditi oz. izboljšati kreativnost študentov in samozaupanje v doseženo znanje,
- razvijati sposobnosti skupinskega dela,
- spodbuditi motiviranost za sproti in čim bolj uspešen študij,
- dopolniti možnosti pri izvedbi izpitov in
- nakazati nadaljnje možnosti raziskav, ki lahko omogočijo sodelovanje študentov pri različnih oblikah tekmovanj, pa tudi pri pripravi diplomskega dela.

Ker je bila takšna oblika dela med študenti zelo dobro sprejeta in smo z njim dosegli večino zastavljenih ciljev, nas je to spodbudilo k vpeljavi dodatnih izboljšav, kjer smo se osredotočili predvsem na:

- preučevanje različnih možnosti vpeljave e-učenja na področje multivariabilnega vodenja
- in na realizacijo izbranega projekta v tekmovalni obliki, ki naj bi bil (vsaj delno) realiziran kot računalniška igra. Vse to naj bi študentom olajšalo reševanje zastavljene naloge.

Kljub želji po vpeljavi e-učenja smo hoteli ohraniti določeno število ur, ki bi omogočale osebne stike in razpravo med učnim osebjem in študenti, kar ocenjujemo kot zelo pomembno.

Naloge projektne dela smo organizirali v štiri nivoje, ki smo jih nakazali tudi v pripravljenih materialih [16]. Ti nivoji so naslednji:

- obvezni del, ki je predviden za reševanje med laboratorijskimi vajami,
- del, ki omogoča obremenitev, s pomočjo katere je mogoče nadomestiti klasično obliko pisnega dela izpita,
- del, ki lahko nadomesti klasično obliko ustnega dela izpita, in
- del, ki omogoča nadaljevanje v smislu raziskave za študentsko objavo, udeležbo na študentskem tekmovanju ali celo realizacijo diplomske naloge.

Z reševanjem obveznega dela študentje ponovijo nekatere pomembnejše splošne vidike sistemske teorije, seveda pa je pri tem poseben poudarek na multivariabilnih procesih, ki jih vpeljemo in predstavimo na predavanjih, delno pa pomembnejše poudarke ponovimo tudi na avditornih vajah.

V okviru avditornih vaj predstavimo tudi orodje za analizo sistemov [17, 18], ki smo ga v okviru programa Matlab razvili prav za namene izobraževanja. Sestavljeno je iz večjega števila funkcij, ki predstavljajo razširitev in dopolnitev možnosti, kot so na voljo v Matlabu [10], Simulinku [11], Orodju za analizo in načrtovanje (Control System Toolbox [12]) in Orodju za multivariabilne sisteme (Multivariable Frequency Domain Toolbox [13]). Uporabljamo jih lahko na klasičen način – kot vse funkcije Matlaba. Ker pa so organizirane tudi v grafičnih oknih, lahko opravljamo ustrezne izračune tudi s pritiskom na gumba grafičnega vmesnika, kar zelo poenostavi in pohitri delo. Vse funkcije ponudijo tudi ustrezna pojasnila, kjer je to smiselno, pa tudi grafično interpretacijo rezultatov. Nivo razlage in pomoči pri izračunih je mogoče prilagajati z definicijo ustreznega komunikacijskega vektorja.

Kar zadeva izvedbo pisnih in ustnih izpitov, moramo poudariti, da jih študentje lahko opravljajo tudi na klasičen način. V nasprotnem primeru pa lahko nadaljujejo z reševanjem kompleksnejših delov problema in opišejo svoje rešitve tudi v pisnem poročilu. Če pa se

odločijo poiskati odgovore na vsa zastavljena vprašanja, ki vključujejo tudi načrtovanje vodenja ob uporabi kompleksnejših načrtovalnih postopkov, ter svoje reševanje prikazati v pisnem poročilu in s primerno računalniško predstavitvijo, lahko opravijo na takšen način tudi ustni del izpita.

Pred pričetkom projektnega dela najprej definiramo ekipe, ki so sestavljene iz dveh do treh študentov. Nato vsaka ekipa izžreba svoj projekt iz množice pripravljenih možnosti. Pri reševanju projekta mora ekipa ustrezno sodelovati, sodelovanje pa morajo prikazati tudi pri končni predstavitvi svojega dela. Ta je javna, kar pomeni, da so na predstavitvi poleg kandidatov in učnega osebja prisotni tudi njihovi kolegi, ki z dodatnimi vprašanji in komentarji prispevajo k boljšemu razumevanju obravnavane problematike. Takšno sodelovanje, ki so ga študentje dobro sprejeli, pa ni dragoceno samo za člane ekipe, ampak tudi za njihove kolege in učno osebje. Študentje se na takšen način pripravljajo tudi na predstavitev diplomske naloge, ki poteka na skoraj identičen način, učno osebje pa dobi dragoceno povratno informacijo o učinkovitosti pedagoškega procesa in o morebitnih šibkih točkah, ki bi jih veljalo izboljšati.

Čeprav so pripravljene projektne naloge relativno kompleksne in zaokrožene celote, pa je delo mogoče tudi nadaljevati. V materialih so nakazane nekatere od možnosti, ki so pretežno odvisne od tega, ali gre za model pilotne naprave, ki jo imamo tudi v laboratoriju, ali pa je problem definiran samo na osnovi matematičnega modela (oz. več matematičnih modelov). V prvem primeru je teža nadaljnjega dela naravnana na izvajanje ustreznih eksperimentov na realnem sistemu, kar je zelo pomembno, saj imajo študentje pri delu na voljo tako programsko kot strojno opremo, ki omogoča direktno računalniško izvedbo načrtanega vodenja, poleg tega pa tudi prehod na uporabo industrijskih regulatorjev in programirljivih logičnih krmilnikov. S tem je seveda zagotovljen sistematičen prehod od teoretične obravnave

načrtovanja kompleksnih multivariabilnih sistemov k praktični realizaciji, ki lahko vključuje tudi različne v industriji uporabljane konfiguracije. V primerih, ko sloni problem samo na enem ali več matematičnih predstavitev, pa je pozornost usmerjena na teoretično obravnavo in simulacijsko eksperimentiranje, ki pogosto vključuje tudi uporabo različnih načrtovalnih in optimizacijskih postopkov.

Ker so bile opisane projektne naloge med študenti zelo dobro sprejete in ob upoštevanju tehnološkega razvoja, ki omogoča tudi izvedbo e-učenja, smo se odločili za transformacijo enega od projektov v t. i. tekmovalno igro, ki se je ekipa, če želi, lahko aktivno udeleži. Ta izbira je prstovoljna. Realizacija takšnega tekmovanja, ki naj bi še dodatno stimuliralo kreativno, učinkovito in sprotno delo, seveda zahteva, da se vsi udeleženci pomerijo pri reševanju iste naloge. Pri tem smo realizacijo projekta oz. tekmovanja zasnovali tako, da ga je v celoti mogoče realizirati z oddaljene lokacije (npr. od doma in ob poljubni uri), vključno z eksperimenti na navideznem in na realnem sistemu. Da bi ohranili določeno stopnjo osebnega kontakta s študenti, pa smo zaključek tekmovanja pripravili v laboratoriju na koncu semestra, kjer smo skupaj s študenti pregledali in prediskutirali reševanje in ovrednotili kvaliteto rešitev, ki je predstavljala kriterij za uvrstitev na tekmovanju.

### ■ 3 E-CHO sistem

Programska platforma E-CHO (*slika 1*) je rezultat izkušenj pri izvedbi tečajev e-učenja, obširnih analiz in uporabe s tem povezanih produktov članov Laboratorija za telekomunikacije na Fakulteti za elektrotehniko Univerze v Ljubljani [8, 9]. Združuje številne funkcije, potrebne pri realizaciji e-učenja, mogoče pa jo je integrirati tudi v druge mrežne aplikacije. E-CHO sistem je torej internetna platforma (upoštevata standarda SCORM in QTI), ki omogoča:

- upravljanje s sistemom za e-učenje,
- urejanje vsebin posameznih tečajev,



Slika 1. Vstopna stran sistema E-CHO

- prenos informacij v obliki datotek, elektronske pošte in forumov,
- sledenje aktivnosti učitelja in učencev,
- izvajanje testiranja,
- anketiranje,
- večjezičnost.

Funkcionalnost sistema omogoča tudi upoštevanje dejstva, da nastopajo uporabniki v različnih vlogah, kar vpliva na nivo pravic, ki so uporabniku dodeljene. Določeni vmesniki pa omogočajo tudi osebno obravnavo vsakega posameznika.

Pri razvoju obravnavanih idej e-učenja pri predmetu Multivariabilni sistemi je opisana funkcionalnost sistema E-CHO odigrala zelo pomembno vlogo, saj smo se pri izvedbi lahko osredotočili predvsem na organizacijo same vsebine predmeta, kajti za ostale spremljajoče aktivnosti je bilo v okviru uporabljene platforme že poskrbljeno.

#### ■ 4 Tekmovalni projekt

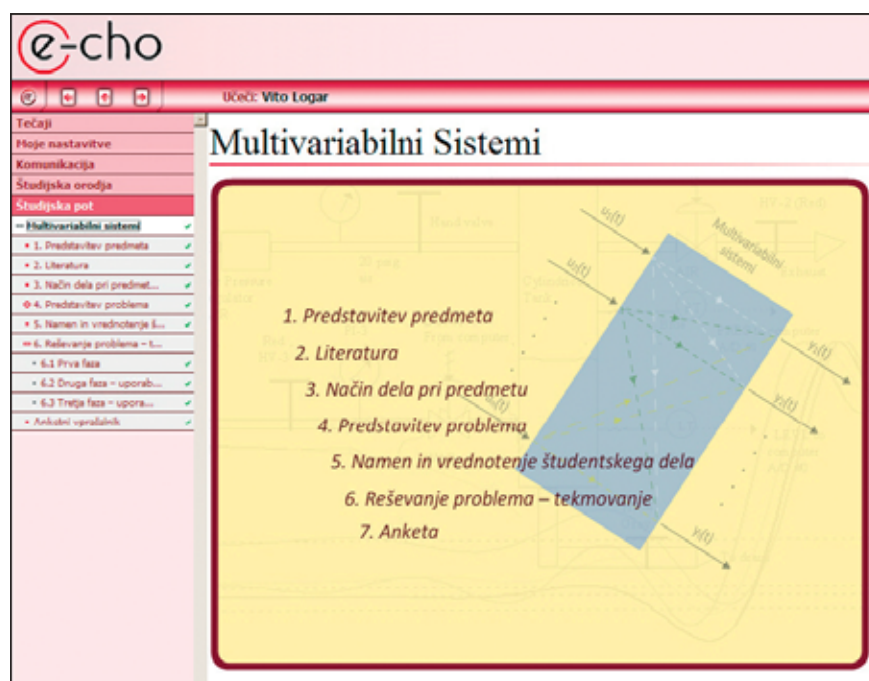
Sodelovanje pri tekmovalnem projektu zahteva realizacijo zaporedja ko-

rakov v predpisanem vrstnem redu. Najprej vsaka sodelujoča ekipa prejme svoje geslo, s pomočjo katerega lahko vstopi v sistem (slika 2). Delo lahko izvajajo bodisi na svojih domačih računalnikih, dostop do interneta pa imajo na voljo tudi v

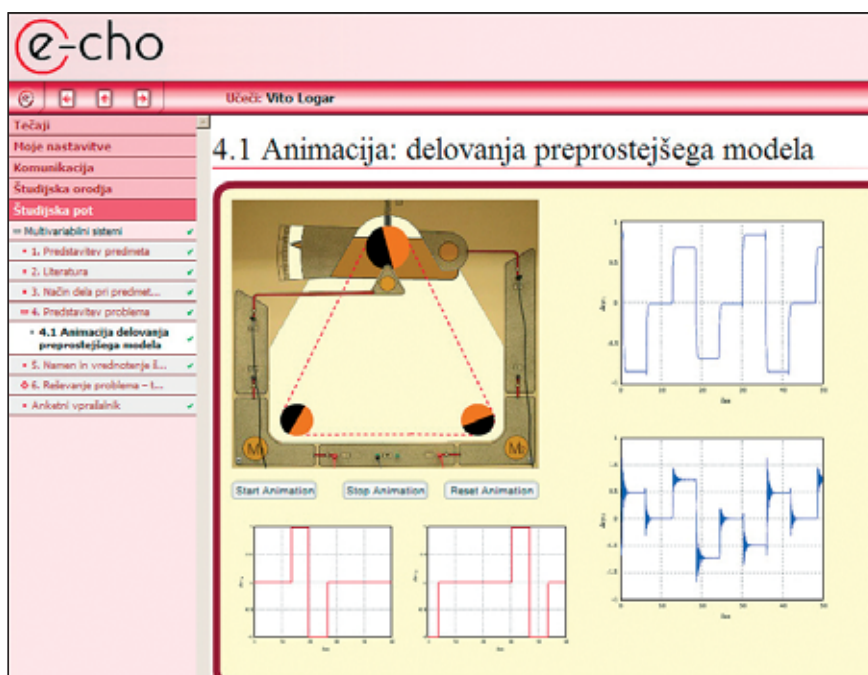
laboratoriju in v drugih fakultetnih prostorih.

Tu so pripravljene natančne informacije o samem predmetu (1. Predstavitev predmeta), priporočeni literaturi (2. Literatura) (osnovna je na voljo v slovenskem jeziku, nadaljnje možnosti pa v angleškem [19–23]). Nato se študentje seznanijo s cilji in načinom dela (3. Način dela pri predmetu). Sledi predstavitev problema (4. Predstavitev problema). V preteklih dveh letih smo uporabljali laboratorijsko modelno napravo navijanje (Coupled Drive Apparatus TQ-CE108 [23]), kot je prikazana na sliki 3.

Navijanje je multivariabilni sistem, ki posnema procese, kjer pride do navijanja in obdelave materiala. Tovrstne sisteme pogosto srečujemo v papirni in tekstilni industriji pa tudi drugje. Pri delovanju je potrebno zagotoviti ustrezen nateg materiala, tako da ne pride do gubanja ali trganja in hkrati tudi primerno hitrost potovanja materiala preko delovnega mesta. Pri uporabljeni modelni napravi sta vhodna signala napetostna signala, s pomočjo katerih vzbujamo dva električna motorja, da bi na "obdelovalnem mestu" dosegli primerno hitrost vrtenja in ustrezen nateg elastične traku, ki ju lahko merimo.



Slika 2. Izhodiščno okno predmeta Multivariabilni sistemi



Slika 3. Prikaz delovanja modelne naprave z animacijo

Izbira primerne modelne naprave je zelo pomembna, saj mora biti po eni strani dovolj kompleksna, da omogoča prikaz multivariabilnega vodenja, ustrezno hitra, da zaradi časovne omejenosti trajanja laboratorijskih vaj eksperimenti niso neustrezno dolgi, omogočati pa mora tudi vizualno spremljanje obratovanja, kar še dodatno pripomore k atraktivnosti in izboljšuje dobro predstavo in razumevanje lastnosti.

Poleg opisa delovanja izbranega sistema imajo študenti na voljo informacijo o določenih delovnih pogojih in dovoljenem obsegu regulirnih signalov in 2 linearizirana modela (enostavnejši in kompleksnejši). Nekaj dodatnih izhodiščnih informacij pa študentje lahko pridobijo z opazovanjem animacije obravnane modelne naprave (slika 3).

Ko študenti proučijo vse potrebne informacije, lahko pričnejo z izvajanjem računalniške igre (6. Reševanje problema – tekmovalje). Ta korak je sestavljen iz treh nivojev oz. faz, kjer vsaka faza predstavlja določen nivo igre.

Na prvem nivoju morajo pravilno odgovoriti na tri skupine po pet naključno generiranih vprašanj (skupaj torej na 15 vprašanj), ki zadevajo splošno

teorijo multivariabilnih sistemov pa tudi lastnosti preprostejšega in kompleksnejšega modela opazovanega procesa, pri čemer morajo biti seveda pozorni na razlike, pomembne za načrtovanje vodenja.

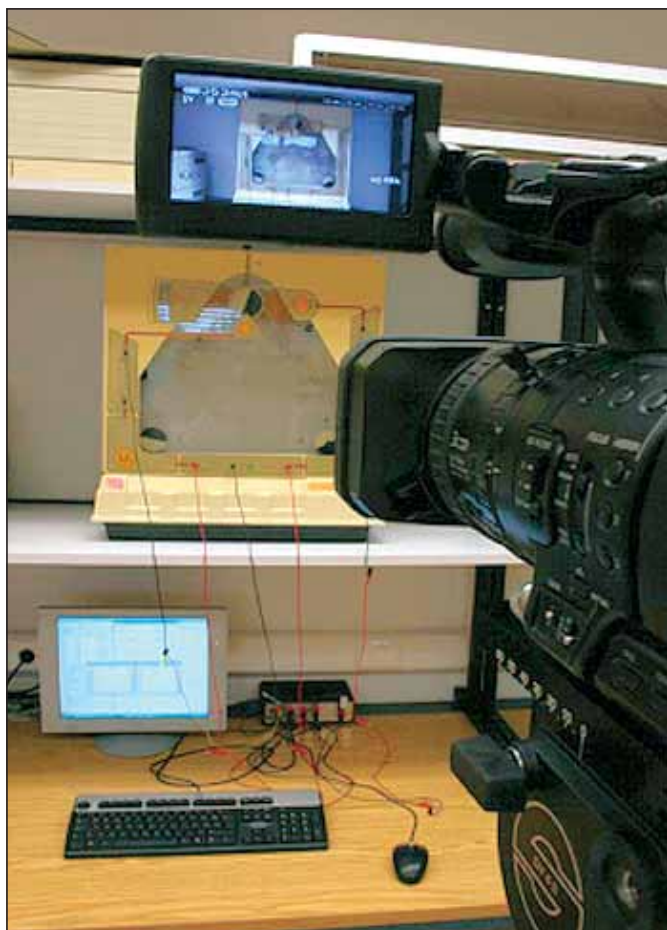
Pri vsakem vprašanju so na voljo štirje odgovori, od katerih je pravilen vsaj eden, lahko pa so tudi vsi. Ko je uporabnik prepričan, da je označil vse pravilne odgovore, lahko nadaljuje z odgovarjanjem na naslednje vprašanje. Napačno lahko odgovori na eno od petnajstih vprašanj. Ko pa naredi dve napaki, se izvajanje prve faze prekine in onemogoči za eno uro, ki naj bi bila namenjena dodatnemu študiju. Ker so vprašanja vedno naključno izbrana, gre ob vsakem vstopu v sistem pričakovati novo serijo vprašanj. Ko skupina pravilno odgovori vsaj na 14 zastavljenih vprašanj, se odpre dostop do drugega nivoja oz. druge faze.

Na tem nivoju se delo nadaljuje z načrtovanjem regulacijske strukture, pri čemer študentje poznajo matematični integralski kriterij, ki bo uporabljen pri določanju uspešnosti, in sicer mora biti izraz:

$$J = \sum_{i=1}^2 \int_0^{T_{FIN}} |u_i(t)| dt + \sum_{i=1}^2 \int_0^{T_{FIN}} |e_i(t)| dt$$

čim manjši, kjer predstavlja  $u_i(t)$  i-ti vhodni signal ( $i = 1, 2$ ),  $y_i(t)$  je i-ti izhodni signal ( $i = 1, 2$ ),  $e_i(t) = r_i(t) - y_i(t)$  pa je i-ti signal pogreška. Pri načrtovanju strukture regulatorja so povsem svobodni. Uporabljajo lahko klasično povratno zanko, predkompensacijo, regulator stanj v povezavi z observatorjem, le da so regulirni signali znotraj predpisane območja. Rezultat načrtovanja v obliki binarne datoteke nato prenesejo v sistem in sedaj lahko startajo preizkus učinkovitosti regulatorja, ki se izvede na virtualnem sistemu, to pomeni na modelu. Poudariti velja, da študentje nimajo informacije o tem, kakšna bo končna uporabljena oblika referenčnih signalov, poznajo le maksimalne predvidene spremembe. Če je testiranje na modelu (virtualni eksperiment) uspešno, to pomeni, da je rezultat načrtovanja vsaj stabilen, lahko nadaljujejo delo na zadnjem, to je tretjem nivoju, kjer poteka vse na enak način kot na drugem, le da se v tem primeru eksperiment dejansko izvede na sami napravi, ki jo lahko med izvajanjem tudi opazujejo (slika 4).

Če je obnašanje zaprtizančnega sistema nestabilno že ob uporabi modela, je potrebno načrtovanje regulatorja popraviti, sicer dostop do tretjega nivoja ni mogoč. V obeh primerih, tako pri virtualnem kot pri realnem eksperimentu, se simulacija izvede v Simulinku pri naključno izbranih referenčnih signalih, rezultati simulacije (to so vsi pomembni signali zaprtizančnega sistema) pa se shranijo v datoteko, ki jo študenti lahko prenesejo na svoj računalnik. Zaradi preglednosti pa se rezultat prikaže tudi na zaslonu. V primeru realnega eksperimenta je v simulacijski shemi model sistema enostavno nadomeščen z blokom, ki komunicira z A/D- in D/A-pretvorniki, vsa ostala struktura sheme in njeno izvajanje pa je identično kot v primeru virtualnega eksperimenta. Tako je vzpostavljena zelo tesna zveza med teoretičnimi izračuni in praktičnim eksperimentiranjem. Omenimo, da bi študentje, če ne bi bili zadovoljni s podanimi matematičnimi modeli, lahko razvili tudi svoj izboljšani model, in sicer na osnovi teoretičnih in



Slika 4. Opazovanje realnega sistema

formacij, podanih v opisu problema in študijski literaturi v kombinaciji z eksperimenti, ki lahko potekajo, kot že omenjeno, zaprtozračno. Ob ustrezni redefiniciji parametrov regulacijske strukture pa je mogoče preiti tudi na odprtozračno delovanje sistema.

Zaključno fazo tekmovanja realiziramo na koncu semestra v laboratoriju v prisotnosti vseh študentov in učnega osebja. Najprej vsaka ekipa predstavi potek svojega načrtovanja in način reševanja ter probleme, s katerimi so se morali spoprijeti. Odgovoriti morajo tudi na vprašanja učnega osebja in kolegov – poslušalcev. Ob koncu razglasimo tudi rezultate tekmovanja. Uspešnost ovrednotimo upoštevajoč definirani integralski kriterij in enega izmed referenčnih signalov, ki smo jih uporabljali pri načrtovanju oz. med eksperimenti druge in tretje faze. Kvaliteta predstavitev, podanih odgovorov in uvrstitev na tekmovanju vplivajo na končno izpitno oceno.

## 5 Zaključki

V prispevku smo predstavili možnosti postopnega prehoda od konvencionalnih metod učenja k e-učenju na področju vodenja sistemov. Ideja temelji na pripravljenih projektnih nalogah, ki predstavljajo zaokroženo problematiko in so primerne za izvedbo v okviru laboratorijskih vaj.

Nove možnosti smo preizkusili ob reorganizaciji enega od projektov v tekmovanje, ki smo ga realizirali ob uporabi sistema E-CHO. Vse faze

projekta (od spoznavanja, reševanja do eksperimentiranja z virtualnim in realnim procesom) smo realizirali v okviru tega sistema. V zadnjih dveh šolskih letih (2007/08 in 2008/09) smo kot eksperiment izbrali sistem navijanja, v prihodnje pa je idejo mogoče razširiti še na številne druge podobne možnosti.

Po zaključku semestra smo izvedli tudi anketo, da bi ocenili uspešnost vpeljanih novosti še s strani študentov. Na osnovi analize anket in pogovorov lahko ugotovimo, da

- so bile vpeljane novosti, ki so zadevale laboratorijske vaje, za študente zanimive in pozitivno sprejete (omenimo, da so se vsi odločili za predlagano novo obliko),
- študenti se strinjajo, da takšna oblika dela izrazito spodbuja učinkovito sodelovanje članov posamezne ekipe,
- tekmovalna igra spodbuja k sprotnemu študiju,
- zelo zanimivo je dejstvo, da si pri predavanjih in avditornih vajah

v glavnem ne želijo novih oblik dela, ampak so jim bolj pri srcu stari in preverjeni načini, kjer je možen tudi neposreden osebni kontakt z učnim osebjem.

Na osnovi izkušenj, ki smo jih pridobili z realizacijo opisanega načina e-učenja, ki vključuje tudi samostojno preverjanje kvalitete doseženega znanja, lahko ugotovimo, da je ideje mogoče direktno razširiti in dopolniti do različnih oblik poučevanja na daljavo. Vsekakor pa se zdi smiselno, če je le mogoče, ohraniti določeno količino ur, kjer pride do neposrednega kontakta študentov z učnim osebjem.

## Literatura

- [1] <[http://www.google.si/search?hl=sl&defl=en&q=define:E+learning&sa=X&oi=glossary\\_definition&ct=title](http://www.google.si/search?hl=sl&defl=en&q=define:E+learning&sa=X&oi=glossary_definition&ct=title)>, (Web page last assessed 27/1/2009).
- [2] J. C. Waller and N. Foster, "Training via the web: a virtual instrument", *Computers & Education*, 35, 2000, pp. 161–167.
- [3] S. D. Bencomo, "Control learning: present and future", *Annual Reviews in Control*, Pergamon, Vol. 28, 2004, pp. 115–136.
- [4] A. A. Hopgood and A. J. Hirst, "Keeping a Distance-Education Course Current Through eLearning and Contextual Assessment", *IEEE Transactions on Education*, Vol. 50, No. 1, 2007, pp. 85–96.
- [5] C. A. Jara, F. A. Candelas and F. Torres, "Virtual and Remote Laboratory for Robotics E-Learning", in *Proc. 18<sup>th</sup> European Symposium on Computer Aided Process Engineering – ESCAPE18*, 2008, pp. 1193–1198.
- [6] S. Uran and K. Jezernik, "Virtual Laboratory for Creative Control Design Experiments", *IEEE Transactions on Education*, Vol. 51, No. 1, 2008, pp. 69–75.
- [7] F. Judex, G. Zauner and F. Breitenacker, "Introducing MATLAB into basic mathematic lectures using a custom e-learning system", in *Proc. International Conference on Information Technology Interfaces, ITI*, 2008, pp. 209–214.

- [8] M. Pustišek, I. Humar and J. Bešter, "State of the art technologies for accessible internet applications: e-learning example", *Assistive technology – shaping the future, Assistive technology research series*, Vol. 11, IOS press, Amsterdam, 2003.
- [9] M. Pustišek, A. Kos and J. Bešter, E-learning: functions, services and solutions, Electroporation based technologies and treatments, in Proc. of the *International scientific workshop and postgraduate course*, Ljubljana: Faculty of Electrical Engineering, 2003.
- [10] *Matlab*, Reference Guide, The MathWorks Inc., 2005.
- [11] *Simulink*, User's Guide, The MathWorks Inc., 2005.
- [12] *Control System Toolbox*, User's Guide, Ver. 6.2, The MathWorks Inc., 2005.
- [13] *MFD, Multivariable Frequency Domain Toolbox*, User's Guide, Cambridge Control Ltd., and GEC Engineering Research Centre, 1990.
- [14] M. Atanasijević-Kunc and R. Karba, "Hierarchically structured educational projects", *WSEAS transactions on advances in engineering education*, Vol. 3, iss. 5, 2006, pp. 296–303.
- [15] D. Matko, S. Blažič and A. Belič, "Virtual Race as an Examination Test: Models, Solutions, Experiences", *IEEE Transactions on Education*, Vol. 44, No. 4, 2001, pp. 342–346.
- [16] M. Atanasijević-Kunc, *Multivariabilni sistemi, Zbirka kompleksnejših problemov*, Fakulteta za elektrotehniko, Univerza v Ljubljani, Ljubljana, 2006.
- [17] M. Atanasijević-Kunc and R. Karba, "Analysis Toolbox stressing parallelism of SISO and MIMO problems", in *Prep. 15th World Congress, IFAC*, Barcelona, Spain, 2002.
- [18] M. Atanasijević-Kunc, R. Karba and B. Zupančič, "Toolbox environment for analysis and design of multivariable systems", in *Prep. 6th IFAC Symposium on Advances in Control Education*, University of Oulu, Finland, 2003.
- [19] J. M. Maciejowski, *Multivariable Feedback Design*, Addison – Wesley Publishers Ltd., Cornwall, 1989.
- [20] M. Morari and E. Zafiriou, *Robust Process Control*, Prentice-Hall International, Inc., Englewood Cliffs, 1989.
- [21] R. V. Patel and N. Munro, *Multivariable Systems Theory and Design*, Pergamon Press, Oxford, 1982.
- [22] S. Skogestad and I. Postlethwaite, *Multivariable Feedback Control, Analysis and Design*, John Wiley and Sons Ltd, Chichester, 2005.
- [23] P. E. Wellstead, *CE 108 Coupled Electronic Drives*, TecQuipment Ltd., Long Eaton, 2004.

## E-learning and control-system design using a virtual and remote laboratory

**Abstract:** Rapid technological development, efficient country connections, which can be seen as a large number of new educational programs, and the evolving importance of knowledge where economic aspects cannot be neglected, have been stimulating reasons for investigating the possibilities of the step-by-step transition to e-learning in the field of control-system design. The idea was realized in a way that enables the extensions and combinations of teaching approaches with classical ones. In this way only new possibilities were enabled, while old and verified possibilities are still important. The mentioned idea was realized using the programme E-CHO, which was developed at the Faculty of Electrical Engineering in Ljubljana specifically for e-learning purposes, the programme Matlab and the computer-controlled pilot plant during lectures on Multivariable Systems at the Department of Automatics. The proposed concept extends the usage of design projects which were introduced in previous years, enables the study of multivariable control-system design, knowledge testing in the form of a computer game and competition in the control design of a real process. Stimulating conclusions, which are based on two years of system usage, indicate numerous possibilities for further extensions regarding the mentioned lectures as well as lectures with related content.

**Keywords:** control design, multivariable systems, e-learning, virtual laboratory, remote laboratory,

**INTRONIKA**  
 Mednarodni strokovni sejem za profesionalno elektroniko  
 International Trade Fair for professional electronic  
 07.-09. 10. 2009  
 CELJE-SLOVENIA  
 www.intronika.si, e-mail:intronika@icm.si  
 icm  
 PASSION FOR PERFECTION