

## Učinkovitost oddaljenih laboratorijev za poučevanje na področju tehnike

### Remote Laboratories Effectiveness for Education in Technical Sciences

Andreja Rojko, Matjaž Debevc, Darko Hercog

[andreja.rojko@uni-mb.si](mailto:andreja.rojko@uni-mb.si), [matjaz.debevc@uni-mb.si](mailto:matjaz.debevc@uni-mb.si), [darko.hercog@uni-mb.si](mailto:darko.hercog@uni-mb.si)

#### Povzetek

Sodobni izobraževalni procesi prinašajo s seboj nove izzive za integracijo informacijske in komunikacijske tehnologije v učne procese. Zaradi zahtev in potreb industrije po hitrejšem in učinkovitejšem pridobivanju praktičnih izkušenj se iščejo nove rešitve za izvajanje vaj, ki bi pritegnile in motivirale študente za dodatno pridobivanje znanja. Ena od rešitev so oddaljeni laboratoriji, ki nudijo izvajanje laboratorijskih eksperimentov v živo na izobraževalni instituciji, kar zmanjša potrebnost neposredne fizične prisotnosti študentov in povečuje možnosti za izboljšanje znanja študentov za reševanje določenih tehniških problemov. V članku je predstavljen primer uspešne izvedbe oddaljenega laboratorija za področje tehnike skupaj s tečajem, ki deluje v okolju Moodle. Posebej je izpostavljen tudi postopek prijavljanja na izvajanje oddaljenih eksperimentov ter sama izvedba vaje skupaj z opisom grafičnega uporabniškega vmesnika. Izvedena je bila evaluacija s priznano metodo SUMI za ocenjevanje uporabniške prijaznosti sistema. Poleg tega se je ugotavljalo tudi odziv študentov na delo z oddaljenim laboratorijem. Rezultati raziskav so pokazali, da je v delu predstavljen oddaljeni laboratorij ustrezno uporabniško prijazen in s strani študentov in učiteljev sprejet kot primerna in zanimiva dopolnitev klasičnih laboratorijskih vaj.

**Ključne besede:** oddaljeni laboratorij, mehatronika, ocenjevanje uporabniške prijaznosti.

#### Abstract

Modern educational methods bring many new challenges including the integration of information and communication technology into the education process. Industry requests and needs faster and more efficient acquisition of practical skills which can be achieved by introduction of experimental exercises that attract and motivate students. Therefore new approaches and solutions for execution of practical exercises are being continually sought. One of the possible solutions are remote laboratories which offer possibility to execute real remote laboratory experiments in the educational institutions' laboratories and therefore enhance the students' knowledge and capability for dealing with some technical problems without the need for their physical presence in the laboratory. In the paper the example of successful implementation of remote laboratory and experimental remote course developed in Moodle environment is presented. Special attention is given to description of booking process for remote experiments, execution of remote experiment and applied user interface. Evaluation of interface usability from the point of view of end user was carried through with acknowledged and proven SUMI method. Additionally another questionnaire was executed in order to investigate students' opinion about working in the remote laboratory. Results show that here presented remote laboratory is user friendly and accepted by both teachers and students as suitable and interesting supplement to the conventional laboratory exercises.

**Keywords:** remote laboratory, mechatronics, usability evaluation.

## 1. Uvod

Sodobni izobraževalni procesi zaradi vse večje uporabe informacijske in komunikacijske tehnologije (IKT) na vseh področjih prinašajo številne spremembe, ki se kažejo tudi v tem, da vse hitreje prehajamo od tradicionalnega učenja proti e-izobraževanju. E-izobraževanje predstavlja splošno gledano integracijo uporabe multimedijskih orodij in spletnih posredovalnih in komunikacijskih orodij (Downes, 2005). Poleg tega je razviden prehod od tradicionalnega učenja v živo k učenju kot konstrukciji (ang. *constructivistic learning*) (Huitt, 2003) in odkrivanju rešitev za probleme, kjer postaja pomembno, da študent najprej sam odkriva in oblikuje svoje znanje z delom na praktičnih primerih, nato pa v skupini preverja svoje rezultate z drugimi in dodatno razrešuje probleme (ang. *learning by doing*) (Costa et al., 2007; Alterovitz in Ramoni, 2007).

Študenti se na ta način učijo obvladovanja in reševanja zapletenih problemov, saj znajo določen problem razrešiti z različnih perspektiv in, za razliko od primera ko učni proces od njih zahteva le zapomnitev dejstev, znajo k reševanju določenega problemu pristopiti na več načinov. Eden od najpomembnejših vidikov pri oblikovanju kvalitetnega učnega procesa na področju tehnike so ustrezno pripravljene in oblikovane vaje v laboratorijih. Predvsem industrija pričakuje od izobraževalnih institucij, da bodo študenti v času študija pridobili praktična znanja pri laboratorijskih vajah na sistemih, s katerimi se bodo pozneje srečali, predvsem zaradi pritiska tržišča in hitrega razvoja tehnike (Åström, 1994).

V ta namen izobraževalne institucije pripravljajo laboratorijske vaje tako, da imajo študentje možnost pridobivanja znanja s pomočjo dela na konkretnih eksperimentih in sistemih (Bauer et al., 2007). Na ta način pridobijo eksperimentalne podatke, s pomočjo katerih lahko nato sami izvedejo analizo ali ugotovijo stanje sistema.

Toda takšen način laboratorijskega dela s konkretnimi eksperimentalnimi napravami zahteva čas in fizično prisotnost tako študentov, kot tudi učiteljskega kadra. Dodatno je potrebno še ustrezno prilagajanje datumov in ure za izvedbe vaj v živo na laboratorijskih eksperimentih, kar lahko postane še posebej težavno pri delu s številčnejšimi skupinami študentov. Nadalje pri velikem številu študentov priprava ustreznih laboratorijskih eksperimentov zahteva tudi velike finančne vložke (Nedic et al., 2003). Da bi rešili to problematiko glede izvajanja laboratorijskih eksperimentov v živo na izobraževalni instituciji, se kaže potreba, da študentom ponudimo dodatne možnosti za pridobivanje znanja na eksperimentalnih sistemih tudi izven realnega laboratorija, oziroma brez njihove neposredne fizične prisotnosti. Zato se v zadnjem času vse bolj uveljavljajo naslednji, s svetovnim spletom podprti pristopi, ki zajemajo (Bencomo, 2004):

- video posnetke izvedbe vaj,
- virtualne laboratorijske eksperimente in
- oddaljene laboratorijske eksperimente.

Kljub svoji vse večji priljubljenosti uporabe videa na spletu, manjka video posnetku interaktivnost in iz tega razloga študenti ne morejo pridobiti praktičnih izkušenj, ampak prejmejo samo splošen vpogled v izvedbo vaje. Druga alternativa so virtualni laboratoriji, ki ponujajo simulacijska okolja. Ta okolja nudijo možnost, da se študenti seznanijo s teoretičnimi vidiki in da izvajajo eksperimente v določenem interaktivnem virtualnem okolju, ki je lahko dvo- ali tridimenzionalen.

Čeprav so lahko virtualni laboratoriji zelo atraktivni (n.pr. Boeing 777 simulator letenja) (Trego, 1995), so vendarle večinoma slab nadomestek za praktično delo na fizičnih napravah, saj simulacije nikoli ne morejo zajeti vseh vidikov realnega sistema. Iz tega razloga se v zadnjem času vse bolj uveljavljajo oddaljeni laboratorijski eksperimenti, ki omogočajo praktično delo na realnih napravah na daljavo. Med prvimi oddaljenimi laboratoriji so bili laboratorijski eksperimenti za robotiko (Taylor in Trevelyan, 1995) in vodenje sistemov (Bohus et al., 1995). Oddaljeni laboratoriji se v zadnjem času vse bolj uveljavljajo kot odlična alternativa za delo v realnih laboratorijih, saj omogočajo študentom dostop do realnega eksperimenta na daljavo in na katerem lahko izvaja svoje eksperimente na skoraj enak način kot v laboratoriju v živo (Bauer et al. 2007). Še posebej je pri oddaljenih laboratorijih za študente najbolj privlačen vidik časovne in krajeve neodvisnosti, ki nam jo prinaša dostop do eksperimenta preko svetovnega spleta. Za posamezno institucijo pa zlasti v primeru, ko pri pripravi

oddaljenih laboratorijskih eksperimentov sodelujejo tudi z ostalimi institucijami to pomeni manjše neposredno vlaganje v potrebno tehnologijo.

V splošnem pa se ugotavlja, da načrtovanje in razvoj oddaljenih laboratorijskih eksperimentov, ki jih zraven tega vključujemo v neposredno okolje e-vsebin, ni enostaven proces. Gradiva in oprema ter interakcija morajo biti ustrezno načrtovana in izdelana in ne nazadnje tudi ocenjena ali so dovolj uporabniško prijazna.

V naši raziskavi smo želeli najti odgovor na vprašanje, kako naj oblikujemo oddaljene laboratorijske eksperimente, da bodo učinkovita zamenjava dejanskih laboratorijskih vaj. Iz tega razloga se v članku osredotočamo na naslednje vidike:

- obrazložitev izvedbe oddaljenega laboratorijskega eksperimenta in njegovih učnih ciljev na primeru vodenja nelinearnih sistemov za področje tehnike,
- obrazložitev didaktičnih izkušenj pri delu s študenti na daljavo, kjer smo ugotovili, kako študenti sprejemajo laboratorijske eksperimente na daljavo v primerjavi z realnimi eksperimenti v laboratoriju v živo,
- opis ocenjevanja uporabniške prijaznosti sistema za izvedbo oddaljenega eksperimenta, ki je bila izvedena s pomočjo standardizirane metode SUMI.

## 2. Izvajanje vaj na daljavo

Pri učenju na daljavo se s stališča učnih metod srečamo z različnimi možnostmi izvajanja vaj na daljavo, kot so individualne metode, metode ena proti mnogo ter metode mnogo proti mnogo (Cohen et al., 2004). Individualne metode zajemajo med drugim izvedbo intervjujev, izdelavo seminarskih nalog, izvedbo različnih e-vsebin in druge oblike, kjer študenti individualno izvedejo svoje naloge. Metode ena proti mnogo pri učenju na daljavo običajno zajemajo predstavitve asistenta študentom s pomočjo videokonference, pretočnega videa (ang. streaming video) ali spletnega učenja (ang. webcasting) (Reynolds et al., 2008) ter v zadnjem času tudi s pomočjo tehnologije hypervideo, ki omogoča interaktivnost znotraj video posnetka (Debevc et al., 2008). Pri metodi mnogo proti mnogo pa se srečujemo z diskusijskimi skupinami, debatami, simulacijami, študijami primerov in projektnim delom.

Ravno zaradi izjemnega razvoja IKT je danes možno omogočiti študentom visoko stopnjo interaktivnosti in sodelovanja pri izvedbi vaj na daljavo brez potrebne fizične prisotnosti. Kljub temu pa se lahko ohranja socialni kontakt s pomočjo ustreznih orodij za komunikacijo in diskusijo na daljavo. Računalniška tehnologija nam danes tako nudi (Bencomo, 2004):

- boljšo interakcijo človek-računalnik,
- naravnejše in intuitivne grafične uporabniške vmesnike,
- visoko stopnjo interaktivnosti,
- dostop do oddaljenih računalniških aplikacij.

Na področju tehnike je za študente pomembno, da se pri študiju in pri izvajanju vaj s tehničnimi sistemi seznani s fizikalnimi zakoni, ki opisujejo obnašanje teh sistemov. Znanstveniki in inženirji običajno uporabljajo računalnike zato, da izračunajo in grafično prikažejo odzive teh tehniških sistemov na različna začetna stanja in vhode. Pri tehniških sistemih se tako srečujemo s časovnimi odzivi, spektri, Bodejevimi in Nyquistovimi diagrami in podobno. Poznavanje in razumevanje teh osnovnih načinov opisov sistemov je eden od pomembnih vidikov za razumevanje osnov delovanja tehniških sistemov.

Razvoj IKT in učenja na daljavo je v tem primeru dal možnost študentom, da se s tehničnimi sistemi srečujejo po individualni didaktični metodi na svetovnem spletu in da izvajajo vaje na daljavo neodvisno od časa in kraja tako, da izvajajo eksperimente in rešujejo probleme. Didaktično gledano gre za princip izvedbe problemskega učenja in aktivno učenje (ang. learning by doing). To so v učenca

usmerjeni učni procesi, pri katerem učitelj ni več v ospredju, ampak je ob strani in se vključi samo po potrebi. Pri izvedbi vaje na daljavo za področje dela s tehniškimi sistemi se srečamo z dvema oblikama (Bencomo, 2004):

- **virtualni laboratoriji** (ang. virtual laboratories); namenjeni so izključno izvajanju simulacij,
- **oddaljeni laboratoriji** (ang. remote laboratories); omogočajo izvedbo realnih eksperimentov v realnem času na opremi, ki se nahaja na oddaljeni lokaciji. Povezava od uporabnika do eksperimentov je večinoma izvedena preko spleta.

**Virtualni laboratoriji** so namenjeni izključno izvajanju dve ali tridimenzionalnih simulacij in se razlikujejo predvsem glede na lokacijo orodij, ki se izvedejo na lokalnem računalniku (na primer s pomočjo programčkov, napisanih v Java Applet) ali na oddaljenem strežniku, kjer se izvajajo zahtevnejše aplikacije in se rezultati nato prenesejo v lokalni računalnik.

**Oddaljeni laboratoriji** omogočajo izvedbo realnih eksperimentov v realnem času na realni opremi preko svetovnega spleta. Ta, za študente najbolj privlačna možnost izvedbe vaje na daljavo je sicer s stališča razvoja in izvedbe ena od najbolj zahtevnih rešitev, ki pa se na daljši rok obrestuje, saj je vlaganje v eno samo napravo in eksperiment finančno ugodnejše kot nakup velikega števila naprav za veliko število študentov. Oddaljene laboratorije lahko izvedemo podobno kot virtualne laboratorije. S programi, delujočimi na lokalnem računalniku ali s programi na oddaljenem strežniku. V zadnjem času se uporabljajo spletne aplikacije, ki delujejo na osnovi tehnologije podjetja LabVIEW in omogočajo izvajanje aplikacij za vodenje sistemov direktno na spletni strani (Zhou et al., 2005).

Didaktično gledano za študente pomeni uporaba oddaljenih laboratorijev možnost dostopa do eksperimentov 24 ur na dan in iz katerekoli lokacije. Še večja prednost za študenta je, da lahko vajo, če želi in če jo razume, naredi hitro, v kolikor pa ima težave z razumevanjem, pa mu je dana možnost, da lahko vajo ponovi večkrat in poglobljeno s ciljem, da bolje razume delovanje sistema in njegov odziv. S tem je tudi izboljššan učni proces, saj na ta način obstaja stalna povezava med teorijo in prakso, tako da študenti v praksi na realnih napravah preverijo teoretične osnove in pridobijo potrebne praktične izkušnje in spretnosti, kar je bistvenega pomena za študij tehnike.

Po drugi strani pa oddaljeni laboratoriji in izvajanje vaj na daljavo nudijo enakovredno vključevanje v študijski proces tudi osebam s posebnimi potrebami, s čimer se jim omogoči boljši položaj v sodobni, tehnološko usmerjeni družbi.

### 3. Oddaljeni laboratorij za avtomatiko in mehatroniko

Kot primer bomo predstavili oddaljeni laboratorij namenjen študentom na področju avtomatike in mehatronike, ki smo ga izgradili na Univerzi v Mariboru, Fakulteti za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, (Hercog et al. 2007). Namen oddaljenega laboratorija je ponuditi študentom in predavateljem alternativni način za izvajanje rednega učnega procesa oziroma njegovo dopolnitev, ter istočasno rešitev problema premajhnih kapacitet obstoječih laboratorijev in premajhnega števila razpoložljivih eksperimentalnih naprav. V okviru oddaljenega laboratorija so tako na razpolago tečaji, ki pokrivajo osnovno teorijo iz področja modeliranja električnih in mehatronskih naprav, simulacije, načrtovanja in implementiranja regulacije teh naprav. Tečaji so praktično usmerjeni, zato so osrednja točka vsakega tečaja oddaljeni eksperimenti.

Oddaljeni laboratorij je postavljen v okviru spletnega učnega okolja Moodle, s čimer je poenostavljeno upravljanje z uporabniki in vključevanje spletnih učnih materialov (Brandl, 2005). Vse informacije in potrebna dokumentacija na spletni strani oddaljenega laboratorija so na voljo tako v slovenskem kot tudi v angleškem jeziku, kar omogoča uporabo laboratorija tudi tujim študentom.

Osnovna, začetna spletna stran je zasnovana tako, da ob vstopu v sistem nudi uporabniku vse potrebne informacije o samem laboratoriju in sicer opis oddaljenega laboratorija, splošne napotke za uporabo oddaljenega laboratorija, možnost prijave v sistem in potrebne informacije za izvedbo vaj v lastnem

okolju (slika 1 – nabor funkcij oddaljenega laboratorija). Dodatno so na voljo še programi, ki si jih morajo študentje naložiti na svoj računalnik. To so programi za delovanje LabVIEW okolja in za opazovanje video posnetka oddaljenega eksperimenta.



Slika 1: Vstopna spletna stran oddaljenega laboratorija

### 3.1 Tečaji v oddaljenem laboratoriju

Ko se študent prijavi v sistem, se mu ponudi nabor tečajev. Za vsak tečaj je v oddaljenem laboratoriju pripravljena ustrezna dokumentacija ter oddaljeni eksperimenti, ki se izvajajo na realnih napravah. V dokumentaciji se navedejo vsi ključni podatki za učitelje in študente, ki so potrebni za informiranje o tečaju in nato še za uspešno izvedbo tečaja. Znotraj posameznega tečaja je za udeležence na voljo:

- pregled tečaja (Course overview),
- učni cilji (Course objectives),
- dokumentacija (Documentation),
- izvedba oddaljenega eksperimenta (Execution),
- avtorji (Authors).

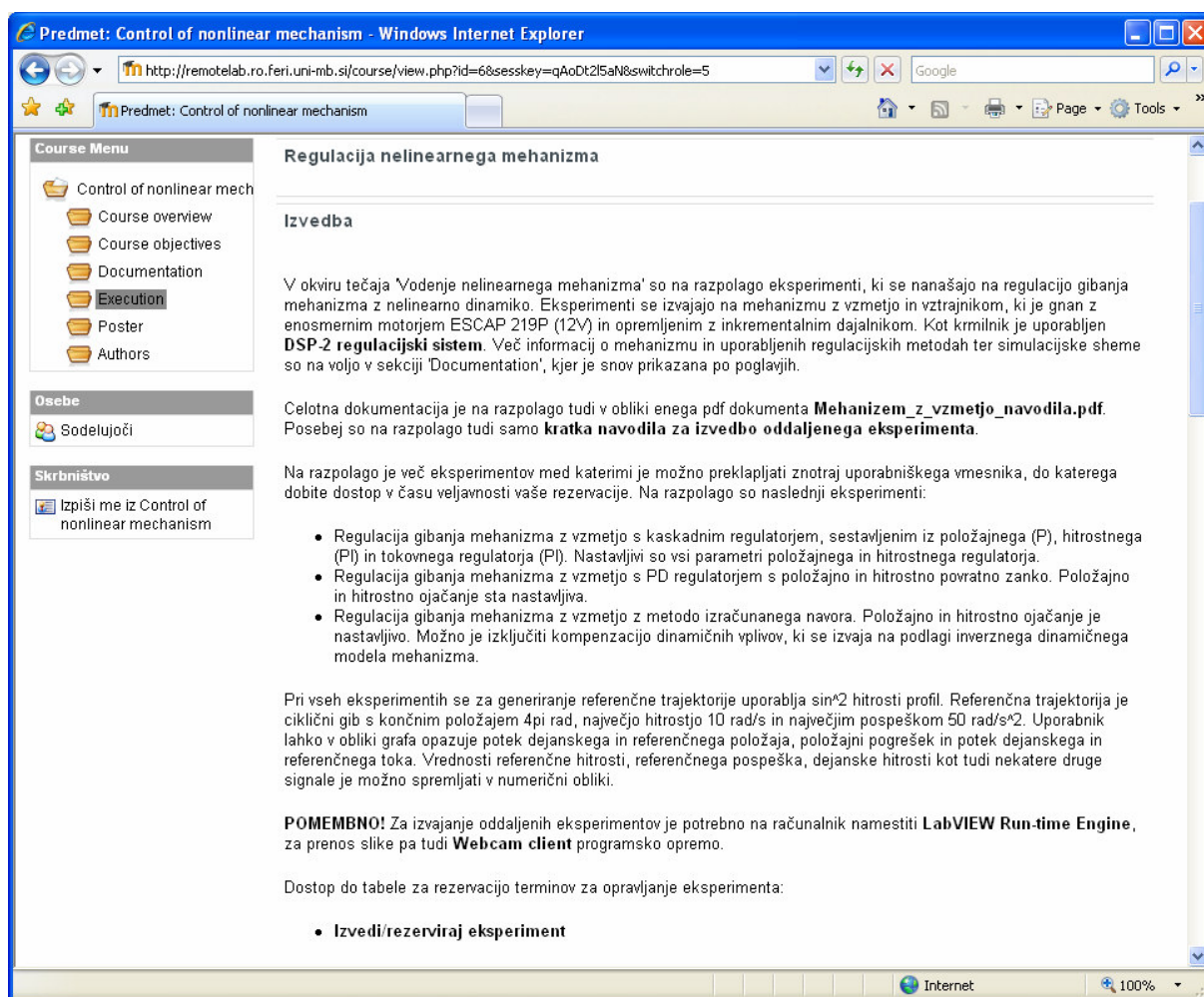
V razdelku 'Pregled tečaja' so zajete informacije o opisu tečaja, zahtevani vstopni pogoji, struktura tečaja in časovna zahtevnost. Opis tečaja vsebuje kratek povzetek tečaja in opis glavnih poglavij. Njegov osnovni namen je, da uporabnika v nekaj stavkih seznani z vsebino tečaja. Zahtevani vstopni pogoji zajemajo opis potrebnih znanj, ki so osnova za razumevanje in izvajanje tečaja. Pri tem so pogoji lahko opredeljeni kot konkretni pogoji v smislu opisa zahtevanih znanj. V opisu je tako lahko, na primer, zahtevano poznavanje fizike na srednješolski gimnazijski stopnji, poznavanje osnov linearne algebre in podobno. Prav tako se pod zahtevane vstopne pogoje navede potrebno poznavanje

dela s programsko opremo in znanje programiranja v specifičnih programskih jezikih. Druga možnost podajanja zahtevanih vstopnih pogojev je, da se navede za študente katerih študijskih stopenj in smeri je tečaj primeren. Oba načina podajanja zahtevanih vstopnih pogojev je možno tudi kombinirati. Struktura tečaja prikazuje logične enote oziroma module iz katerih je tečaj sestavljen. Običajno ena logična enota ustreza enemu poglavju v dokumentaciji. Priporočljivo je, da se struktura tečaja prikaže tudi v grafični obliki, tako da je takoj razvidno kako so posamezni moduli med seboj povezani in v kakšnem vrstnem redu jih je možno izvajati. Časovna zahtevnost opredeli potreben povprečen čas za vsako logično enoto oziroma modul tečaja, ter skupen čas potreben za izvedbo tečaja.

V razdelku 'Učni cilji' se zraven zgoščeno podanih učnih ciljev tečaja navedejo še pričakovani učni rezultati in predlagan način doseganja učnih rezultatov. Pričakovani učni rezultati se nanašajo na nek izveden postopek ali izdelek, medtem ko predlagan način doseganja učnih rezultatov opisuje postopke, s katerimi se preveri stopnja uspešnosti doseganja učnih rezultatov.

V razdelku 'Dokumentacija' je podano vso teoretično ozadje tečaja ter navedena literatura potrebna za morebitni dodatni študij. Teorija je kombinirana z nalogami za študente, ki so lahko teoretične, računske, simulacijske naloge ali oddaljeni eksperimenti. Pri vsaki nalogi je natančno specificirano, kaj je naloga študenta in kakšni rezultati ter komentarji morajo biti v poročilu, ki ga študent predloži mentorju.

V razdelku 'Izvedba oddaljenega eksperimenta' so zbrane vse informacije potrebne za praktično izvedbo oddaljenih eksperimentov. Zraven kratkega opisa eksperimentov in navodil za izvedbo eksperimentov je navedena tudi potrebna programska oprema (slika 2).



Slika 2: Izvedba oddaljenega eksperimenta, spletna stran

Na spletni strani je tudi povezava do tabele za rezervacijo terminov izvedbe oddaljenih eksperimentov (slika 3). S pomočjo te tabele si lahko uporabnik rezervira termin za izvajanje oddaljenega



eksperimenta. Rezervacijska tabela je eden od najpomembnejših elementov za uspešno uporabo oddaljenega laboratorija, saj ureja dostop do eksperimenta tako, da ga lahko istočasno uporablja samo en uporabnik v vnaprej rezerviranem terminu. Uporabnik enostavno klikne na želen termin in se mu s tem ustrezno spremeni tudi barva termina. Z zeleno barvo so označeni prosti termini, z rdečo zasedeni.

Control of nonlinear mechanism: Booking - Control of nonlinear mechanism - Windows Internet Explorer

http://remotelab.ro.feri.uni-mb.si/mod/booking/view.php?id=87&timeslot=1212098400&tin

File Edit View Favorites Tools Help

Control of nonlinear mechanism: Booking - Control of ...

Booking - Control of nonlinear mechanism  
27.5.2008 - 2.6.2008

Server time reported to local time zone: 30. May 2008 10:05:19 Server time: 30. May 2008 10:05:19

	Tuesday May 27	Wednesday May 28	Thursday May 29	Friday May 30	Saturday May 31	Sunday June 1	Monday June 2
0:00							
1:00							
2:00							
3:00							
4:00							
5:00							
6:00							
7:00							
8:00							
9:00							
10:00							
11:00							
12:00							
13:00							
14:00							
15:00							
16:00							
17:00							
18:00							
19:00							
20:00							
21:00							
22:00							
23:00							

Internet 100%

Slika 3: Rezervacijska tabela

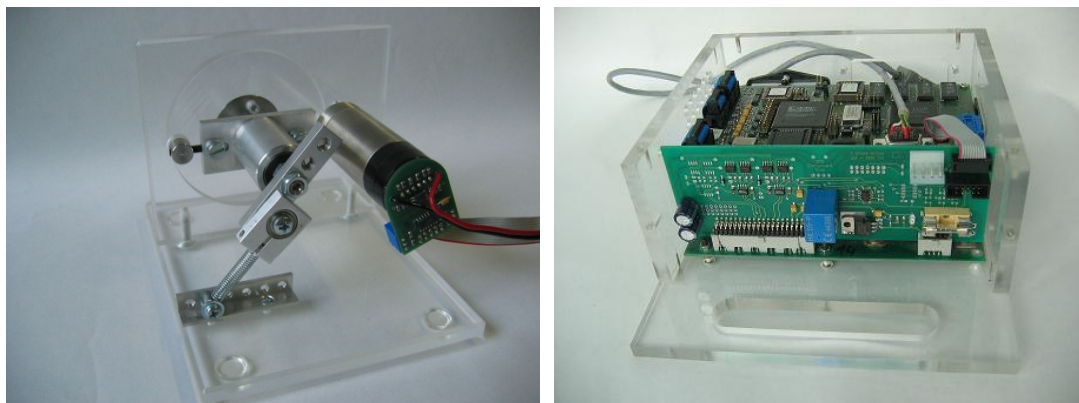
#### 4. Tečaj 'Vodenje nelinearnega mehanizma'

Osrednji tečaj, izdelan v okviru oddaljenega laboratorija je tečaj 'Vodenje nelinearnega mehanizma' (ang. Control of nonlinear mechanism), ki pokriva obsežno tematiko modeliranja, simulacije, načrtovanja ter praktične implementacije regulacije gibanja mehatronskih naprav. Vse to je pomemben del modernega izobraževanja inženirjev elektrotehnike, strojništva, interdisciplinarne smeri mehatronike in ostalih sorodnih študijskih smeri. V tečaju so vključeni vsi osnovni elementi, ki študentu z ustreznim predznanjem omogočijo vpogled v ta problem in pridobitev nekaj praktičnih izkušenj.

- Učni cilji tečaja 'Vodenje nelinearnega mehanizma' so naslednji:
- Modeliranje mehatronske naprave z nelinearno dinamiko mehanskega dela.
- Načrtovanje, implementacija in optimizacija linearnega regulatorja kaskadne strukture (kaskada P položajnega, PI hitrostnega in PI tokovnega regulatorja in delne kaskade) za položajno regulacijo mehanizma z nelinearno dinamiko.

- Načrtovanje, implementacija in optimizacija nelinearnega položajnega regulatorja, ki temelji na dinamičnem modelu mehanizma.
- Razumevanje vzrokov za različno učinkovitost uporabe linearnih in nelinearnih metod vodenja v primeru vodenja nelinearnih mehanizmov.

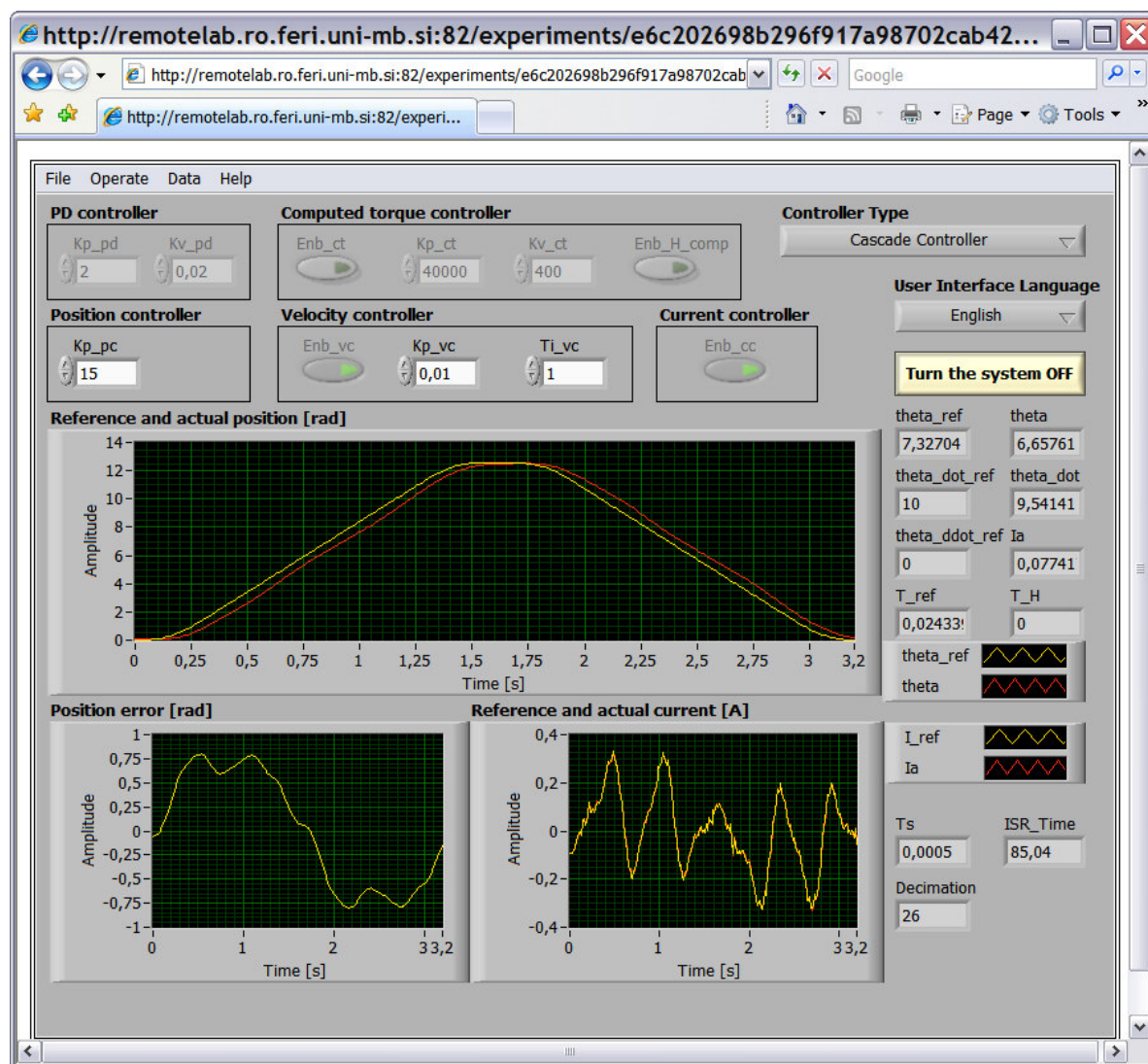
Kot praktičen primer obravnavan v tečaju in eksperimentalna naprava v oddaljenem laboratoriju je uporabljena mehatronska naprava poimenovana mehanizem z vzmetjo z DSP-2 regulacijskim sistemom (Hercog in Jezernik, 2005) (slika 4).



Slika 4: Mehanizem z vzmetjo in DSP-2 regulacijski sistem

Prvi del tečaja je namenjen seznanjanju s teorijo, ki je za vsako poglavje nadgrajena s primerom, ki prikazuje uporabo teorije na primeru mehanizma z vzmetjo. Tako na primer obravnava splošnega dinamičnega modela mehanizma sledi izpeljava dinamičnega modela mehanizma z vzmetjo, izgradnja ustreznega MATLAB/Simulink simulacijskega modela in izvajanje simulacij. Nato je predstavljena teorija o regulaciji gibanja, sledi izpeljava ustreznih regulatorjev in njihova implementacija za regulacijo gibanja mehanizma z vzmetjo. Po opravljenem teoretičnem delu s simulacijami sledijo eksperimenti v oddaljenem laboratoriju. Uporabniški vmesnik, preko katerega študenti izvajajo oddaljene eksperimente omogoča izvedbo treh različnih regulacijskih metod, nastavljanje njihovih parametrov in prikazovanje izmerjenih rezultatov je prikazan na sliki 5. Sliko eksperimenta v živo je možno spremljati tudi preko spletne kamere.





Slika 5: Uporabniški vmesnik za izvajanje oddaljenih eksperimentov

## 5. Odzivi uporabnikov pri delu z oddaljenim laboratorijem

Po izvajanju oddaljenih eksperimentov so študenti izpolnili anonimni vprašalnik, s katerimi smo jih povprašali o njihovem mnenju glede izvajanja eksperimentov na daljavo. Na vprašalnik je odgovorilo 18 študentov.

Izkazalo se je, da vsi študenti razpolagajo s potrebno opremo za izvajanje oddaljenih eksperimentov od doma (osebno računalnik, hitra internetna povezava), torej za takšen način dela ni ovir v smislu slabe opremljenosti. Kar 94 % študentov se zdijo oddaljeni eksperimenti koristna dopolnitev klasičnih laboratorijskih vaj, medtem ko jih le 22 % meni, da bi lahko oddaljeni eksperimenti v celoti nadomestili klasične laboratorijske vaje. 94 % jih meni, da so oddaljeni eksperimenti primerni za utrditev in ponovitev že pridobljenega znanja, 72 % pa, da so oddaljeni eksperimenti primerni tudi za pridobivanje novega znanja. Kar 39 % študentov je pri tečaju 'Vodenje nelinearnega mehanizma' prvič izvajalo oddaljene eksperimente, kar kaže na dokaj majhno zastopanost takšnega načina dela v rednem učnem procesu. Kljub temu, da je izvajanje oddaljenih eksperimentov krajevno in časovno neodvisno, pa se je izkazalo, da vseeno kar 61 % študentov raje izvaja eksperimente v laboratoriju kot oddaljene eksperimente, 33 % je glede tega neodločenih, 7 % pa daje prednost oddaljenim eksperimentom. Kar 78 % študentov meni, da se pri delu v laboratoriju naučijo več kot pri delu z oddaljenimi eksperimenti.

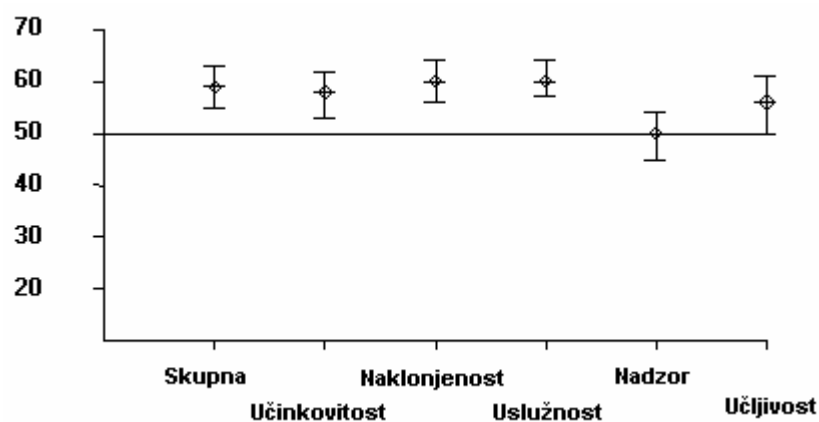
## 6. Ocenjevanje uporabniške prijaznosti vmesnika za izvajanje oddaljenega eksperimenta

Ena izmed pomembnejših lastnosti sistema za izvajanje oddaljenih eksperimentov je uporabniška prijaznost sistema, saj le-ta v veliki meri vpliva na sprejetost sistema pri uporabnikih (Holzinger, 2005). Uporabniška prijaznost je sicer tudi eden od pomembnih vidikov ocenjevanja e-izobraževalnih tehnologij in sistemov. Za naš projekt smo zaradi enostavne in hitre pridobitve prvega vtisa o uporabnosti uporabili metodo SUMI (ang. Software Usability Measurement Inventory) (Kirakowski in Corbett, 1993). Orodje, ki velja tudi za standardizirano v okviru ISO 9241, sestavlja natisnjen evalvacijski vprašalnik s 50 vprašanji, na katerega vprašani odgovarja tako, da izbere odgovor na tristopenjski lestvici (se strinjam, ne morem se odločiti, ne strinjam se).

Vprašalnik je sestavljen tako, da meri pet glavnih vidikov in sicer:

- učinkovitost (ang. efficiency),
- naklonjenost (ang. affect),
- uslužnost (ang. efficiency),
- nadzor (ang. control) in
- učljivost (ang. learnability).

Pridobljeni podatki se obdelajo s programom SUMISCO, ki ovrednoti rezultate vprašalnika in jih primerja s standardizirano bazo podatkov. Na sliki 6 so prikazane kvantitativne meritve uporabnosti sistema, ki smo jih pridobili s pomočjo 18 študentov, ki so testno opravili izvedbo oddaljenega eksperimenta. Iz slike je razvidno, da je območje, ki določa vidik uporabniške prijaznosti (vidik Skupna na sliki 6) v našem primeru v celoti nad mejno vrednostjo 50 in to z majhno razpršenostjo odgovorov (od 55 do 63). Ta podatek nam pove, da je sistem bil v celoti gledano uspešen s stališča uporabniške prijaznosti.



Slika 6: Primerjava kvantitativnih meritev uporabnosti z ocenjevanjem SUMI

Če pogledamo še ostale vidike na sliki 6, opazimo naslednje:

- vidik »Učinkovitost« je v celoti skorajda identičen s vidikom Skupna, vendar z le malenkost manjšo nižjo vrednostjo, kar nam pove, da je bil sistem uporabniško učinkovit,
- vidik »Naklonjenost« in »Uslužnost« sta se izkazala kot najboljša vidika in tudi odgovori so bili dokaj enotni, saj je razpršenost njihovih odgovorov podobna in majhna,
- vidik »Nadzor« s srednjo vrednostjo leži točno na mejni vrednost in z večjo razpršenostjo pod mejno vrednostjo, kar pomeni, da uporabniški vmesnik ni bil v celoti zadovoljiv z vidika nadzora. Ta vidik je bil pričakovan, saj je sistem, ki je še v začetni fazi uporabe, nekajkrat prenehal delovati ter so morali študenti počakati na poseg administratorja, ki ga je ponovno usposobil.
- vidik »Učljivost« nam pokaže, da so študentje imeli nekaj več težav z dojetjem, kako rokovati s sistemom.

Med posameznimi vprašanji, ki so najbolj odstopala od povprečja (z več kot 99.99 % verjetnostjo) so nekatera pozitivna mnenja, kot na primer »dokumentacija je informativna« in »vem, kaj moram narediti v naslednjem koraku«.

Iz rezultatov je razvidno, da je bil uporabniški vmesnik v celoti gledano izjemno uspešen in da so študentje zelo naklonjeni delu z oddaljenim laboratorijem. Edino, kar bi bilo potrebno še storiti, je izboljšati stabilnost sistema in s tem povečati vidik nadzora.

## 7. Zaključek

V delu je predstavljen nov pristop pri poučevanju tehnike, kjer je običajno laboratorijsko eksperimentalno delo kombinirano z oddaljenimi eksperimenti. Opisan tečaj 'Vodenje nelinearnega mehanizma' z oddaljenimi eksperimenti je bil testiran s študenti visokega strokovnega študija avtomatike. Takšen način dela ima številne prednosti, saj omogoča tako študentom kot predavateljem veliko več svobode pri delu, rešuje pa tudi problem pomanjkanja eksperimentalnih naprav in/ali velikih skupin študentov. Pri tem pa se je potrebno zavedati tudi omejitev, saj na primer delo z oddaljenimi eksperimenti ne nudi čisto vseh praktičnih izkušenj. Odgovori študentov pridobljeni z anketo kažejo, da čeprav se jim zdijo oddaljeni eksperimenti sicer koristna dopolnitev vaj, jih le malo meni, da bi lahko takšen način dela v celoti zamenjal delo v laboratoriju. Prav tako jih je velika večina mnenja, da se več naučijo pri delu v laboratoriju kot pri delu z oddaljenimi eksperimenti.

V okviru dela je bilo izvedeno tudi ocenjevanje uporabniške prijaznosti vmesnika za oddaljene eksperimente, ki je pokazal, da je bil uporabniški vmesnik uporabniško prijazen, vendar je po eni strani potrebna pazljivost pri omogočanju stabilnosti sistema, ki vpliv na vidik vodljivosti sistema. Iz tega razloga je pomembno, da se oddaljeni laboratoriji uveljavljajo še naprej in da se po možnosti različne institucije med seboj tudi povezujejo v enoten sistem oddaljenih laboratorijev, s čimer bi se povečala ponudba in kvaliteta oddaljenih eksperimentov.

## Zahvala

Delo je bilo opravljeno v okviru evropskega LEONARDO DA VINCI projekta "MeRLab - Innovative Remote Laboratory in the E-training of Mechatronics" ter v okviru razvojno-raziskovalnega projekta 'Center znanja za e-učenje in konvergenčne multimedijske vsebine' v programu CRP Konkurenčnost Slovenije 2006-2013.

## Reference

- Alterovitz, G., in Ramoni, M. F., (2007): »Bioinformatics and proteomics: An Engineering Problem Solving-Based Approach,« IEEE Transactions on Education, let. 50, št. 1, str. 49-54.
- Åström, K.J., (1994): »The future of control,« Modeling, Identification and Control, let. 15, št. 3, str. 127-134.
- Bauer, P., Dudak, J., Maga, D., in Hajek, V., (2007): »Distance Practical Education for Power Electronics,« International Journal of Engineering Education, let. 23, št. 6., str. 1210-1218.
- Bencomo, S.D., (2004): »Control learning: present and future,« Annual Reviews in Control, let. 28, št. 1, str. 115-136.

- Bohus, C., Aktan, B., Shor, M.H., in Crowl, L.A., (1995): »Running Control Engineering Experiments Over the Internet,« Technical Report: 95-60-07, Department of Computer Science, Oregon State University, Corvallis, Oregon.
- Brandl, K., (2005): »Are you ready to "Moodle"?,« Language Learning & Technology, let. 9, št. 2, str. 16-23.
- Cohen, L., Manion, L., in Morrison, K., (2004): »A Guide to Teaching Practice,« RoutledgeFalmer, London.
- Costa, L. R. J., Honkala, M., in Lehtovuori, A., (2007): »Applying the Problem Based Learning Approach to Teach Elementary Circuit Analysis,« IEEE Transactions on Education, let. 50, št. 1, str. 41-48.
- Debevc, M., Šafarič, R., in Golob, M., (2008): »Hypervideo application on an experimental control system as an approach to education,« Computer Applications in Engineering Education, let. 16, št. 1, str. 31-44.
- Downes, S., (2005) :»E-learning 2.0,« eLearn Magazine, let. 10, dobljeno 04.10.2007, <http://www.elearnmag.org/subpage.cfm?section=articles&article=29-1>.
- Hercog, D., in Jezernik, K., (2005): »Rapid control prototyping using MATLAB/Simulink and a DSP-based motor controller,« International Journal of Engineering Education, let. 21, št. 4, str. 596-605.
- Hercog, D., Gergič, B., Uran, S., in Jezernik, K., (2007): »A DSP-based Remote Control Laboratory,« IEEE Transactions on Industrial Electronics, let. 54, št. 6, str. 3057-3068.
- Holzinger, A., (2005): »Usability engineering methods for software developers,« Communications of the ACM, let. 48, št. 1, str 71-74.
- Huitt, W. (2003): »Constructivism,« Educational Psychology Interactive, Valdosta, GA: Valdosta State University. Dobljeno, 8.6.2008, iz <http://chiron.valdosta.edu/whuitt/col/cogsys/construct.html>
- Kirakowski, J., in Corbett, M., (1993): »SUMI - the Software Usability Measurement Inventory,« British Journal of Educational Technology, let. 24. št. 3, str. 210-212.
- Nedic, Z., Machotka J. in Nafalski A. (2003): Remote Laboratories versus Virtual and Real Laboratories, 33. ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference, Nov. 5-8, Boulder, CO, ZDA.
- Reynolds, P.A., Mason, R., in Eaton, K.A., (2008): »Webcasting: casting the web more widely« British Dental Journal, 204(3), str. 145-149.
- Taylor, K., in Trevelyan, J., (1995): Australia's Telerobot On The Web, 26th International Symposium On Industrial Robots, Singapore, 4-6. Oktober, 1995.
- Trego, L., (1995): »Boeing 777 Flight Simulator,« Aerospace Engineering, let. 15, št. 1, str: 45-45.
- Zhou, Y., Jiang, J.J., in Fan, S.C., (2005): »A LabVIEW-based, interactive virtual laboratory for electronic engineering education,« International Journal of Engineering Education, let. 21, št. 1, str. 94-102.

*Doc. dr. Andreja Rojko je doktorirala iz elektrotehnike l.2002 na Fakulteti za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, Univerze v Mariboru. Od l. 2001 dela kot asistentka in raziskovalka na Inštitutu za robotiko. Njeno področje raziskovanja zajema aplikativno uporabo modernih regulacijskih metod v robotiki in mehatroniki, kinematiko in dinamiko mehatronskih naprav, mobilne robote, adaptivne sisteme mehke logike in umetne nevronske mreže. Prav tako se ukvarja z razvojem tečajev za izobraževanje na daljavo in vključevanjem sodobnih metod poučevanja v redni izobraževalni proces.*

*Letnica rojstva: 1972*

*Izr. prof. dr. Matjaž Debevc je leta 1995 doktoriral na Univerzi v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko s področja tehniških znanosti. Je izredni profesor predmetnega področja Avtomatika in robotika ter za področje Računalništvo. Od leta 1999 je deloval kot predstojnik Centra za razvoj študija na daljavo Univerze v Mariboru in v letu 2001 kot vršilec dolžnosti predstojnika Inštituta za nove medije in tehnologije v izobraževanju na daljavo. Njegovo področje delovanja so interakcija človek-računalnik, oblikovanje uporabniških vmesnikov, prilagodljivi uporabniški vmesniki, internetne aplikacije, kabelska televizija, izobraževanje na daljavo in podporne tehnologije za invalide. Je svetovalec združenjem in zavodom na področju izobraževalnih tehnologij. Za svoje delo na področju interakcije človek-računalnik je prejel nagrado UNESCO, Internet2 inovativno nagrado in Socrates Comenius nagrado. Je tudi dobitnik nagrade za najboljši članek na konferenci in nagrad za svoje mentorstvo z mladimi raziskovalci. Je predsednik slovenske izobraževalne sekcije IEEE ter član ACM in OCG.*

*Letnica rojstva: 1962*

**Darko Hercog** je diplomiral iz elektrotehnike leta 2001 na Fakulteti za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, Univerze v Mariboru. Za izvedeno diplomsko delo je prejel nagrado Vratislava Bedjaniča. Od leta 2002 je zaposlen na Inštitutu za avtomatiko kot asistent-raziskovalec. Njegovo področje raziskovanja zajema sisteme realnega časa, sisteme za hitro izvedbo prototipnih algoritmov vodenja, virtualno instrumentacijo in področje oddaljenih laboratorijev.

*Letnica rojstva: 1974*