



Signali i
sustavi

školska godina
2006/2007
Predavanje 1.

Profesor
Branko Jeren

Organizacijske
i administra-
tivne
obavijesti

Uvod u signale
i sustave

Signali i sustavi

Profesor
Branko Jeren

19. veljače 2007.



Signali i
sustavi

školska godina
2006/2007
Predavanje 1.

Profesor
Branko Jeren

Organizacijske
i administra-
tivne
obavijesti

Uvod u signale
i sustave

Signali i sustavi – organizacijske i administrativne obavijesti

- sve obavijesti o predmetu na
URL predmeta: <http://www.fer.hr/predmet/sis2>
- osnovni podaci:
ECTS: 6.0
Predavanja: 4 sata tjedno tijekom 13 tjedana
Laboratorijske vježbe: 3×5 sati u tjednima LiV-i
Preduvjeti: Matematika 3 (Matematika 2 i Matematika 1)



Signali i
sustavi

školska godina
2006/2007
Predavanje 1.

Profesor
Branko Jeren

Organizacijske
i administra-
tivne
obavijesti

Uvod u signale
i sustave

Signali i sustavi – organizacijske i administrativne obavijesti

Nositelji, grupa	Ured, zavod, telefon, e-mail	Konzultacije
Prof. dr. Branko Jeren 2.E5	D120, ZESOI, 612 99 50 branko.jeren@fer.hr	poslije predavanja
Doc. dr. Damir Seršić 2.R3	D106, ZESOI, 612 99 73 damir.sersic@fer.hr	poslije predavanja
Nastavnici, grupa		
Dr. Mato Baotić 2.R1	C09-13, ZAPR, 612 98 21 mato.baotic@fer.hr	poslije predavanja
Dr. Ivan Đurek 2.E2	C10-07, ZEA, 612 98 33 ivan.djurek@fer.hr	
Dr. Tomislav Idžotić 2.R2	C04-14, ZESA, 612 98 26 tomislav.idzotic@fer.hr	
Doc. dr. Damir Ilić 2.E1	C03-06, ZOEEM, 612 96 79 damir.ilic@fer.hr	utorak 11-12 C03-06
Doc. dr. Dražen Jurišić 2.E3	D109, ZESOI, 612 99 49 drazen.jurisc@fer.hr	poslije predavanja
Dr. Igor Lacković 2.E4	D129, ZESOI, 612 98 08 igor.lackovic@fer.hr	petak 12-13 D129
Prof. dr. Davor Petrinović 2.R4	D105, ZESOI, 612 99 68 davor.petrinovic@fer.hr	poslije predavanja



Signali i
sustavi

školska godina
2006/2007
Predavanje 1.

Profesor
Branko Jeren

Organizacijske
i administrativne
obavijesti

Uvod u signale
i sustave

Signali i sustavi – organizacijske i administrativne obavijesti

Administrativna tajnica	Ured, zavod, telefon, e-mail	Konzultacije
Gđa. Jasmina Zorko sve grupe	D144, ZESOI, 612 99 11 jasmina.zorko@fer.hr	P,S,P 10-10:15 u D144
Asistenti	Ured, zavod, telefon, e-mail	Konzultacije
Zvonko Kostanjčar	D107, ZESOI, 612 99 70 zvonko.kostanjcar@fer.hr	utorkom 13-14 u D2
Ana Sović	D163, ZESOI, 612 98 83 ana.sovic@fer.hr	utorkom 13-14 u D2
Mr. Tomislav Petković	D162, ZESOI, 612 95 63 tomislav.petkovic.jr@fer.hr	utorkom 13-14 u D2
Mr. Mile Šikić	D163, ZESOI, 612 98 83 mile.sikic@fer.hr	
Mr. Krešimir Šikić	D104, ZESOI, 612 97 81 kresimir.sikic@fer.hr	



Signali i
sustavi

školska godina
2006/2007
Predavanje 1.

Profesor
Branko Jeren

Organizacijske
i administra-
tivne
obavijesti

Uvod u signale
i sustave

Signali i sustavi – laboratorijske vježbe

- laboratorijske vježbe se održavaju u LiV terminima u trajanju od 5 školskih sati po terminu
- sve se vježbe temelje na primjeni programskog sustava MATLAB i uvjet za pohađanje vježbi je odslušani predmet iz vještina – MATLAB
- za pristup vježbi nužno je proučiti i razumjeti pripremni materijal
- na laboratorijskim vježbama može se postići do 10 bodova
- laboratorijske vježbe su obvezne i uvjet su za pristup završnom ispitu
- za studente koji iz opravdanih medicinskih razloga nisu pristupili svim vježbama ne će biti nadoknade već trebati prirediti odgovarajući seminarski rad vezan uz gradivo neodrađene vježbe



Signali i
sustavi

školska godina
2006/2007
Predavanje 1.

Profesor
Branko Jeren

Organizacijske
i administra-
tivne
obavijesti

Uvod u signale
i sustave

Signali i sustavi – preporučena literatura

- H. Babić: Signali i sustavi, 1996., elektronički oblik (<http://sis.zesoi.fer.hr/predavanja.html>) ili tiskano u FER skriptarnici
- T. Petković, B. Jeren i ostali: Signali i sustavi zbirka zadataka, 2004., elektronički oblik (<http://sis.zesoi.fer.hr/vjezbe.html>)

ili bilo koja od knjiga:

- E.A.Lee, P. Varaiya: Structure and Interpretation of Signals and Systems, A. Wesley, 2003.
- B.P Lathi: Linear Systems and Signals, Oxford University Press, 2005.
- A. V. Oppenheim, A. S. Willsky, H. Nawab: Signals and Systems, Prentice-Hall International, 1997.



Signali i
sustavi

školska godina
2006/2007
Predavanje 1.

Profesor
Branko Jeren

Organizacijske
i administra-
tivne
obavijesti

Uvod u signale
i sustave

Signali i sustavi – samostalni rad studenata

- sva predavanja dostupna na <http://www.fer.hr/predmet/sis2> tjedan dana prije predavanja
- preporuka je unaprijed pročitati predavanje što olakšava praćenje izlaganja i postavljanje eventualnih pitanja
- preporuka je dodatno pročitati preporučena poglavlja iz elektroničkog izdanja H. Babić: Signali i sustavi, označena kao “obvezno čitanje”
- preporuka je dodatno proučiti preporučene rješene zadatke iz elektroničke zbirke T. Petković, B. Jeren i ostali: Signali i sustavi zbirka zadataka
- organizira se svakotjedni termin utorkom, od 13 do 14 sati u dvorani D2, za “Samoučenje i konzultacije”
- za osobnu demonstraciju rješених zadataka u terminu “Samoučenja i konzultacija” studenti dobivaju bodove za aktivnost u nastavi



Signali i
sustavi

školska godina
2006/2007
Predavanje 1.

Profesor
Branko Jeren

Organizacijske
i administra-
tivne
obavijesti

Uvod u signale
i sustave

Signali i sustavi – bodovanje studentskih aktivnosti i rezultata

	max. bodova do
Aktivno sudjelovanje u nastavi	5
Domaće zadaće	5
Laboratorij	10
1. međuispit	20
2. međuispit	20
Završni ispit	40

- bodovi za aktivno sudjelovanje u nastavi stječu se diskrecijskom odlukom nastavnika i to za:
 - aktivno sudjelovanje na predavanjima (pitanja, komentari, diskusije)
 - aktivan rad o okviru organiziranog termina samoučenja i grupnih konzultacija
- za prolaz na ispitu potrebno je postići najmanje 50 bodova od kojih minimalno 41 mora biti postignuto na međuispitima i završnom ispitu i minimalno 9 na ostalim aktivnostima



Signali i
sustavi

školska godina
2006/2007
Predavanje 1.

Profesor
Branko Jeren

Organizacijske
i administra-
tivne
obavijesti

Uvod u signale
i sustave

Signali i sustavi – međuispiti i završni ispit

- međuispiti se organiziraju kao pismeni ispiti
- za studente koji iz medicinski opravdanih razloga nisu mogli pristupiti međuispitu organizira se dodatni ispit koji će biti u usmenom obliku
- završni ispit se organizira kao pismeni ispit



Signali i
sustavi

školska godina
2006/2007
Predavanje 1.

Profesor
Branko Jeren

Organizacijske
i administra-
tivne
obavijesti

Uvod u signale
i sustave

Zašto predmet Signali i sustavi

- predmet Signali i sustavi je temeljni predmet za moderni studij računarstva, komunikacija, elektronike, automatike, električnih strojeva
- ovaj predmet postaje temeljni predmet i u studiju strojarstva, geologije, ekonomije, društva



Signali i sustavi na drugim sveučilištima

- MIT – Massachusetts Institute of Technology

Signali i
sustavi

školska godina
2006/2007
Predavanje 1.

Profesor
Branko Jeren

Organizacijske
i administrativne
obavijesti

Uvod u signale
i sustave

Bachelor of Science in Computer Science
and Engineering
Course VI
Program 3: Computer Science and
Engineering

General Institute Requirements 17 Subjects

Science Requirement 5
Humanities, Arts, and Social Sciences Requirement 8

Computer
Science and
Engineering

6.001 Structure and Interpretation of
Computer Programs, 12, SD, 6.001, 18.06*
6.002 Circuits and Electronics, 15, SD, 8.02*, 18.06*
6.003 Signals and Systems, 15, 6.001, 6.002
6.004 Computation Structures, 15, 6.001, 6.002
6.034 Artificial Intelligence, 12, SD, 6.001
6.170 Laboratory In Software Engineering
18.063 Introduction to Algebraic Systems,
18.06 Linear Algebra, 12, SD, 18.02*
6.Thu Undergraduate Thesis, 12

VI-A Internship Program

The VI-A Internship Program combines industrial and research experience with academic work through a series of organized assignments at affiliated companies combined with the regular course of study at MIT. Although students may stop at the bachelor's degree, the program encourages simultaneous completion of the bachelor's and master's degrees by the end of the fifth year. In only the master's thesis required for the two degrees. The work of the final two VI-A internship assignments normally serves as the basis for this thesis. Since the VI-A Internship Program maintains a continuing liaison with many companies and the faculty, students receive responsibility and professional jobs. While in internship assignment, students are bona fide employees of the participating company and receive pay as well as academic credit for their work.

MIT

Second-year students who are registered and in good standing in any of the regular programs of Course VI may apply for admission to the VI-A Internship Program during the annual selection period in February. The department cannot guarantee the acceptance of a student into the program, however, since openings are limited.

Students in the VI-A Internship Program usually

Signals and Systems

ment, by registering for 6.921 VI-A Internship



Signali i sustavi

školska godina
2006/2007
Predavanje 1.

Profesor
Branko Jeren

Organizacijske
i administrativne
obavijesti

Uvod u signale
i sustave

SiS na drugim sveučilištima

- MIT – Massachusetts Institute of Technology

Bachelor of Science in Electrical Engineering
Course VI
Program 1: Electrical Science and Engineering

General Institute Requirements 17 Subjects

Science Requirement
Humanities, Arts, and Social Sciences Requirement
Science Distribution Requirement [two subjects can be by 6.002 and 18.03 in the Departmental Program]
Laboratory Requirement

TOTAL Subjects

PLUS

Departmental Program

Subject names below are followed by credit units, and prerequisites if any (corequisites in italics)

Required Subjects:

6.001	Structure and Analysis of Computer Programs, 15
6.002	Circuits and Electronics, 15, SD; 8.02*, 18.03*
6.003	Signals and Systems, 15; 6.001, 6.002
6.004	Computation Structures, 15; 6.001, 6.002
6.012	Electronic Devices and Circuits, 12; 6.002, 8.02
6.013	Electromagnetic Fields and Waves, 12; 6.002, 8.02
6.014	Electrodynamics, 15; 6.013
18.03	Differential Equations, 12, SD; 18.02*
6 ThU	Undergraduate Thesis, 12

Restricted Electives:

Electrical Science and Engineering



Signali i
sustavi

školska godina
2006/2007
Predavanje 1.


Profesor
Branko Jeren

Organizacijske
i administrativne
obavijesti

Uvod u signale
i sustave

Signali i sustavi na drugim sveučilištima

- University of California, Berkeley



EECS 120
Signals and Systems

UC Berkeley
upper-division
courses in the
EECS curriculum

Upper-division core courses

Area	Core course
Microelectronic Devices and Circuits	EE 105
Power Electronics	EE 113
Electromagnetic Fields and Waves	EE 117
Signals and Systems	EECS 120
Control Systems	EE 128
Integrated-Circuit Devices	EE 130
Components and Design Techniques for Digital Systems	EECS 150
Random Processes in Communications Systems	EE 126
Computer Architecture and Engineering	CS 152
Operating Systems and System Programming	CS 162
Programming Languages and Compilers	CS 164
Software Engineering	CS 169
Efficient Algorithms and Intractable Problems	CS 170



Signali i sustavi

školska godina
2006/2007
Predavanje 1.

Profesor

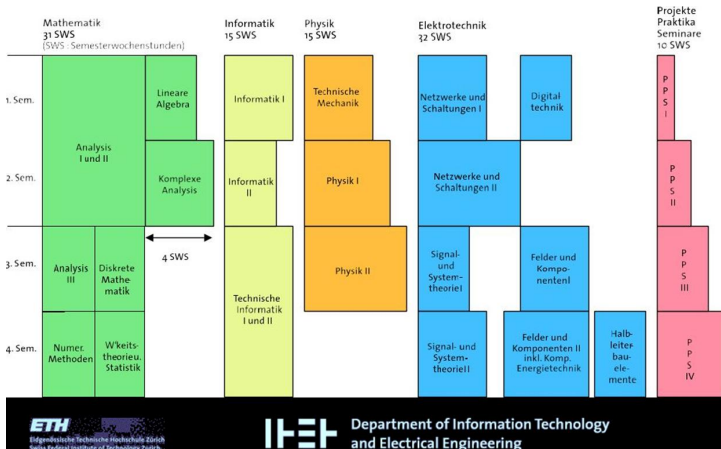
Branko Jeren

Organizacijske
i administrativne
obavijesti

Uvod u signale
i sustave

Signali i sustavi na drugim sveučilištima

- ETH – Die Eidgenössische Technische Hochschule Zürich





Signali i
sustavi

školska godina
2006/2007
Predavanje 1.

Profesor

Branko Jeren

Organizacijske
i administra-
tivne
obavijesti

Uvod u signale
i sustave

Signali i sustavi – poticaj na redoviti rad

- neovisno na administrativno “pravo” upisa preporuka savladati gradivo Mat3 ali i Mat1 i Mat2

Matematika 1

Realni brojevi i funkcije jedne varijable. Matrice i linearni sustavi. Diferencijalni i integralni račun.

Matematika 2 Vektorska algebra i analitička geometrija prostora. Diferencijalni račun funkcija više varijabla. Diferencijalne jednačbe.

Matematika 3E Uvodi se Fourierova analiza, Laplaceova i Z-transformacija s primjenama. Proučavaju se svi važni pojmovi vektorske analize, te krivuljni i plošni integral zajedno s Teorem o divergenciji i Stokesovom formulom.

Matematika 3R Izučavaju se Fourierov red te Fourierova i Laplaceova transformacija, i primjene. Upoznaju se pojmovi i metode kombinatorike, s uvodom u diferencijske jednačbe. Opisuje se modeliranje problema diskretne matematike s pomoću grafova.

Signali i sustavi

Signali kao funkcije. Sustavi kao funkcije. Memorijski sustavi. Model sustava s varijablama stanja. Diskretni i kontinuirani signali. Odzivi linearnih diskretnih sustava. Odzivi linearnih kontinuiranih sustava. Prijenosne funkcije i frekvencijske karakteristike. z i Laplaceova transformacija. Temeljne strukture u realizaciji linearnih sustava. Frekvencijska analiza vremenski kontinuiranih signala. Frekvencijska analiza vremenski diskretnih signala. Svojstva Fourierove transformacije diskretnih signala. Digitalna obradba kontinuiranih signala. Diskretna Fourierova transformacija.



Signali i
sustavi

školska godina
2006/2007
Predavanje 1.

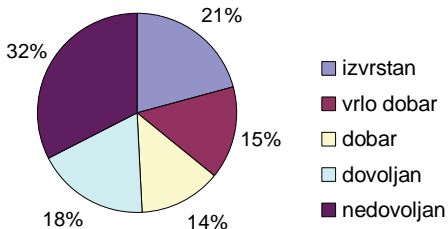
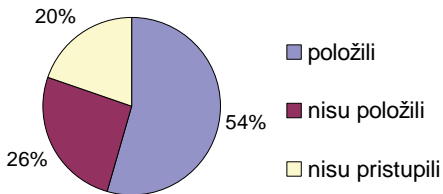
Profesor
Branko Jeren

Organizacijske
i administra-
tivne
obavijesti

Uvod u signale
i sustave

Signali i sustavi – poticaj na redoviti rad

- šestogodišnji prosjeci prolaznosti i ocjena na predmetu Signali i sustavi prema programu FER1





Signali i
sustavi

školska godina
2006/2007
Predavanje 1.

Profesor
Branko Jeren

Organizacijske
i administra-
tivne
obavijesti

Uvod u signale
i sustave

Zvučni signali
Signali kao
funkcije
Blokovski
dijagrami

Signal

- izgovaram rečenicu (koja je ujedno i motivacijska):

'RECITE DA - SIGNALIMA I SUSTAVIMA'

- izgovorena rečenica je i napisana pa je informaciju koju nosi moguće predati primatelju na dva načina:
 - kao zvučni signal
 - slušatelj prima informaciju kao varijaciju tlaka zraka koju njegovo uho osjeća, transformira i prosljeđuje prema mozgu gdje je odgovarajuće interpretirana
 - kao signal slike
 - napisanu rečenicu čitatelj prima putem oka koje prima, transformira i prosljeđuje ovaj oblik signala prema mozgu koji ga odgovarajuće interpretira



Signali i
sustavi

školska godina
2006/2007
Predavanje 1.

Profesor
Branko Jeren

Organizacijske
i administra-
tivne
obavijesti

Uvod u signale
i sustave

Zvučni signali

Signali kao
funkcije

Blokovski
dijagrami

Govorni signal

- informacija prenesena iz mozga govornika do mozga slušatelja doživljava više transformacija
 - mozak govornika željenu poruku pretvara u neuronske signale koje upućuje prema njegovom vokalnom traktu gdje upravljaju s postupkom artikulacije
 - dijafragma, pluća i glasnice stvaraju strujanje zraka odgovarajuće frekvencije
 - jezik i usne moduliraju strujanje zraka i izazivlju odgovarajuću vremensku varijaciju tlaka okolnog zraka i tako nastaje zvučni (akustički) signal koji nosi informaciju iz mozga govornika
 - zvučni signal propagira kroz zrak prema slušatelju
 - slušateljevi ušni bubnjići registriraju varijaciju tlaka, pretvaraju u živčane impulse i upućuju prema mozgu



Signali i
sustavi

školska godina
2006/2007
Predavanje 1.

Profesor
Branko Jeren

Organizacijske
i administra-
tivne
obavijesti

Uvod u signale
i sustave

Zvučni signali

Signali kao
funkcije

Blokovski
dijagrami

Transformacije zvučnog signala

- zvučni signal generiran je govornikovim izgovorom a propagiranjem kroz zrak doživljava razne transformacije (prigušenje, jeka, ...)
- otvara se pitanje kako odgovarajućim tehničkim postupcima i sustavima:
 - zvučni signal pojačati i učiniti ga dostupnim većem auditoriju,
 - zvučni signal odaslati prostorno i geografski udaljenom auditoriju,
 - zvučni signal pohraniti u računalo ili na drugi medij i po želji reproducirati



Signali i
sustavi

školska godina
2006/2007
Predavanje 1.

Profesor
Branko Jeren

Organizacijske
i administra-
tivne
obavijesti

Uvod u signale
i sustave

Zvučni signali
Signali kao
funkcije
Blokovski
dijagrami

Audio sustav

- zvučni (govorni) signal pojačan je i prenesen auditoriju uz pomoć audio sustava koji tvore mikrofoni, pojačalo i zvučnici
- provode se sljedeće transformacije govornog signala:
 - mikrofoni transformiraju varijaciju tlaka u varijaciju napona
 - varijaciju napona iz mikrofona elektroničko pojačalo transformira u varijaciju napona odnosno struje i pobuđuje zvučnik
 - varijaciju napona iz pojačala zvučnik finalno transformira u varijaciju tlaka okolnog zraka (dakako veće amplitude nego je to bila na ulazu u mikrofoni)



Signali i
sustavi

školska godina
2006/2007
Predavanje 1.

Profesor
Branko Jeren

Organizacijske
i administrativne
obavijesti

Uvod u signale
i sustave

Zvučni signali
Signali kao
funkcije
Blokovski
dijagrami

Prijenos na daljinu

- zvučni signal može biti prenesen auditoriju na udaljenoj lokaciji korištenjem komunikacijskih mreža i tada je put signala¹
 - mikrofon
 - pojačalo
 - pretvorba u digitalni signal - u niz logičkih nula i jedinica
 - prijenos preko komunikacijske mreže do računala na prijamnoj strani
 - pretvorba u analogni signal
 - pojačanje na audio pojačalu
 - pretvorba u varijaciju tlaka okolnog zraka na zvučniku

¹vrlo pojednostavljen prikaz, kao i za ostale primjere



Signali i
sustavi

školska godina
2006/2007
Predavanje 1.

Profesor
Branko Jeren

Organizacijske
i administrativne
obavijesti

Uvod u signale
i sustave

Zvučni signali
Signali kao
funkcije
Blokovski
dijagrami

Digitalni zapis i memoriranje signala i njegova reprodukcija

- zvučni signal moguće je zapisati na razne načine
- u slučaju zapisa u memoriju računala (ili na CD) put signala je
 - mikrofoni
 - pojačalo
 - pretvorba u digitalni signal
 - zapis u memoriju ili
 - zapis na medij (CD)
- u slučaju reprodukcije
 - čitanje sadržaja CD-a²
 - pretvorba u analogni signal
 - pojačanje na audio pojačalu
 - pretvorba u varijaciju tlaka okolnog zraka na zvučniku

²opet sustav koji se sastoji od više podsustava



Signali i
sustavi

školska godina
2006/2007
Predavanje 1.

Profesor
Branko Jeren

Organizacijske
i administra-
tivne
obavijesti

Uvod u signale
i sustave

Zvučni signali

Signali kao
funkcije

Blokovski
dijagrami

Signal nosi informaciju

- naslovi i opisi prethodnih primjera sadrže ključne riječi koje se inače koriste u svakodnevnom govoru, a i u imenu su predmeta koji izučavamo
 - signal
 - sustav
- u kontekstu ovih primjera ali i sasvim generalno možemo zaključiti:
 - signal nosi informaciju
 - obično je to varijacija fizikalne veličine koja može biti transformirana, pohranjena, ili prenesena nekim fizikalnim procesom
 - sustav transformira, pohranjuje ili prenosi signal



Veza realni svijet – model

Signali i sustavi

školska godina
2006/2007
Predavanje 1.

Profesor
Branko Jeren

Organizacijske
i administrativne
obavijesti

Uvod u signale
i sustave

Zvučni signali

Signali kao
funkcije

Blokovski
dijagrami

REALNI SVIJET

SIGNALI
audio signal,
video signal,
mjerni signal
tekst,



SUSTAVI za
komunikaciju,
računanje,
mjerenja,
regulaciju,
upravljanje,

opažanje, mjerenje,
testiranje,
eksperimentiranje na
realnim objektima u
realnom vremenu

apstrakcija



realizacija



MODEL

SIGNALI
matematičke funkcije



SUSTAVI
automati,
diferencijalne jednačbe
prijenosne funkcije

simuliranje,
izračunavanje,
analiza
sinteza

Slika 1: Realni svijet – model



Signali i
sustavi

školska godina
2006/2007
Predavanje 1.

Profesor
Branko Jeren

Organizacijske
i administra-
tivne
obavijesti

Uvod u signale
i sustave

Zvučni signali
Signali kao
funkcije
Blokovski
dijagrami

Signal kao funkcija

- zvuk je brza promjena tlaka zraka u vremenu i možemo ga prikazati kao funkciju

Zvuk : Vrijeme \rightarrow Tlak

- ovdje je *Tlak* skup koji se sastoji od mogućih vrijednosti tlaka zraka i predstavlja područje vrijednosti ili kodomenu signala (funkcije)
- *Vrijeme* je skup koji predstavlja vremenski interval u kojem definiramo signal i predstavlja područje definicije ili domenu signala (funkcije)
- ako je domena *Vrijeme* kontinuirani interval oblika $[t_1, t_2] \subset \text{Realni}$ tada signal nazivamo vremenski kontinuiranim signalom
- sukladno tome zvučni signal možemo promatrati kao vremenski kontinuiran signal



Signali i
sustavi

školska godina
2006/2007
Predavanje 1.

Profesor
Branko Jeren

Organizacijske
i administrativne
obavijesti


Uvod u signale
i sustave

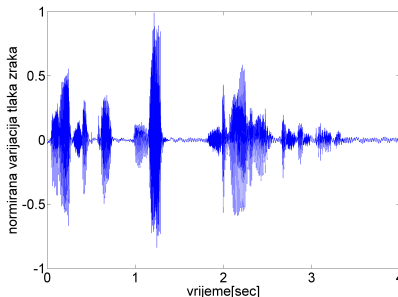
Zvučni signali

Signali kao
funkcije

Blokovski
dijagrami

Govorni signal prikazan kao funkcija

- reproduciramo u računalu pohranjeni signal govora (sl. 2)

- izgovoreni signal, u trajanju 4 sekunde, predstavlja varijaciju tlaka zraka ambijenta (oko $100\,000\text{ N m}^{-2}$) koji je u ovom prikazu normiran



Slika 2: Govorni signal prikazan kao funkcija



Signali i
sustavi

školska godina
2006/2007
Predavanje 1.

Profesor
Branko Jeren

Organizacijske
i administrativne
obavijesti

Uvod u signale
i sustave

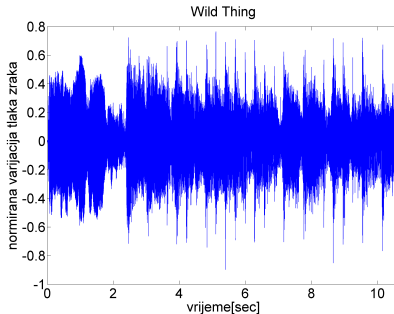
Zvučni signali

Signali kao
funkcije

Blokovski
dijagrami

Signal glazbe

- neovisno o načinu nastanka slušatelj prima kao zvučni signal
- reproduciramo u računalu pohranjeni signal glazbe (sl. 3)



Slika 3: Prvih 10.68 sekundi pjesme “Wild Thing” grupe “The Troggs”



Grupa The Troggs

Signali i
sustavi

školska godina
2006/2007
Predavanje 1.

Profesor
Branko Jeren

Organizacijske
i administrativne
obavijesti

Uvod u signale
i sustave

Zvučni signali

Signali kao
funkcije

Blokovski
dijagrami





Signali i
sustavi

školska godina
2006/2007
Predavanje 1.

Profesor
Branko Jeren

Organizacijske
i administrativne
obavijesti

Uvod u signale
i sustave

Zvučni signali
Signali kao
funkcije
Blokovski
dijagrami

Vremenski kontinuirani i vremenski diskretni signali

- primjer signala glazbe je zvučni signal i možemo ga prikazati kao funkciju

$Glazba : Vrijeme \rightarrow Tlak \quad Vrijeme = [0, 10.68] \subset Realni$

- signal glazbe, *GlazbaDigitalizirana*, pohranjen u računalu je:
 - zbog ograničene raspoložive memorije računala pohranjen kao konačan skup od 471 129 trenutnih vrijednosti signala za diskretne trenutke vremena
 - kvantizirane amplitude zbog konačne dužine riječi (npr. 16 bita) računala, pa definiramo

$GlazbaDigitalizirana : DiskretnoVrijeme \rightarrow Cjelobrojni_{16}$

$DiskretnoVrijeme = [0, 1/44100, \dots, 471128/44100]$

$Cjelobrojni_{16} = \{-32768, \dots, 32767\}$

- domena signala *DiskretnoVrijeme* je diskretan skup pa je signal *GlazbaDigitalizirana* vremenski diskretan signal



Signali i
sustavi

školska godina
2006/2007
Predavanje 1.

Profesor
Branko Jeren

Organizacijske
i administrativne
obavijesti

Uvod u signale
i sustave

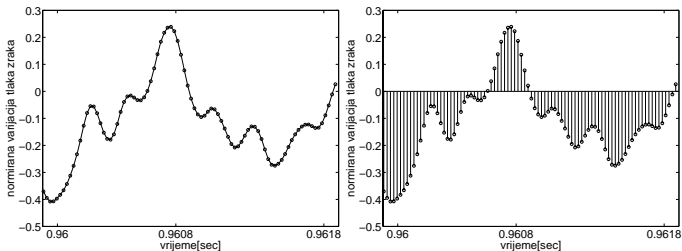
Zvučni signali

Signali kao
funkcije

Blokovski
dijagrami

Signal glazbe kao vremenski diskretan signal

- snimljeni signal glazbe prikazivan je kao vremenski kontinuirani signal, no, rastegnemo li prikaz signala na vrlo kratkom odsječku možemo prepoznati da se radi o vremenski diskretnom signalu čije su trenutne vrijednosti definirane samo u diskretnim trenucima vremena (sl. 4)³



Slika 4: Signal glazbe kao vremenski diskretni signal

³ na desnoj slici je vremenski diskretni signal dan u uobičajenom peteljkastom (eng. stem) prikazu



Signali i
sustavi

školska godina
2006/2007
Predavanje 1.

Profesor
Branko Jeren

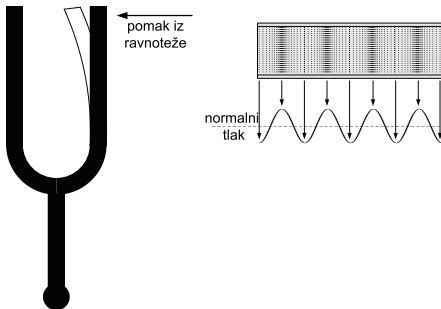
Organizacijske
i administrativne
obavijesti

Uvod u signale
i sustave

Zvučni signali
Signali kao
funkcije
Blokovski
dijagrami

Signal koji generira glazbena vilica

Glazbena vilica
potaknuta na titranje
izaziva varijaciju okolnog
tlaka zraka (sl. 5) koju
ljudsko uho registrira
kao zvučni signal
frekvencije 440 Hz što
odgovara signalu
glazbene note A-440 Hz.



Slika 5: Glazbena vilica



Signali i
sustavi

školska godina
2006/2007
Predavanje 1.

Profesor
Branko Jeren

Organizacijske
i administrativne
obavijesti

Uvod u signale
i sustave

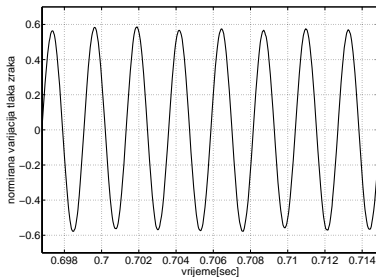
Zvučni signali

Signali kao
funkcije


Blokovski
dijagrami

Signal glazbene vilice prikazan kao funkcija

- prikazan je, sl. 6, dio snimljenog signala glazbene vilice



Slika 6: Dio signala glazbene vilice

- signal je (gotovo) sinusoidnog oblika i frekvencije je točno 440Hz i odgovara glazbenoj noti A 



Signali i
sustavi

školska godina
2006/2007
Predavanje 1.

Profesor
Branko Jeren

Organizacijske
i administrativne
obavijesti

Uvod u signale
i sustave

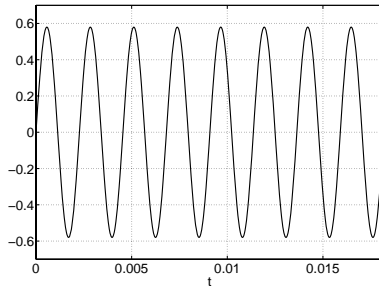
Zvučni signali

Signali kao
funkcije

Blokovski
dijagrami

Elektronička glazbena vilica

- notu A možemo generirati i numerički pomoću računala
- na sl.7 je prikaz numerički generiranog signala $0.58\sin(2\pi 440t)$



Slika 7: Numerički generirani signal note A



Signali i
sustavi

školska godina
2006/2007
Predavanje 1.

Profesor
Branko Jeren

Organizacijske
i administrativne
obavijesti

Uvod u signale
i sustave

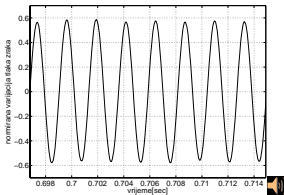
Zvučni signali

Signali kao
funkcije

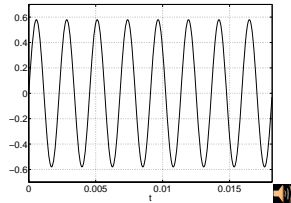
Blokovski
dijagrami

Mehanička i elektronička glazbena vilica

- prikazuje se 18 ms u računalu pohranjenog signala glazbene vilice (sl.8) i računalom generirane note A (sl.9)
- radi akustičke usporedbe reproduciraju se signali trajanja 1.33 s



Slika 8: Dio signala glazbene vilice



Slika 9: Numerički generirana nota A



Signali i
sustavi

školska godina
2006/2007
Predavanje 1.

Profesor
Branko Jeren

Organizacijske
i administra-
tivne
obavijesti

Uvod u signale
i sustave

Zvučni signali
Signali kao
funkcije
Blokovski
dijagrami

Dinamički mikrofon kao sustav

- mikrofon je sustav koji varijaciju tlaka zraka transformira u napon
- varijacija tlaka zraka pobuđuje membranu mikrofona⁴ na titranje pa je zvučni signal pobudni signal za ovaj sustav
- na membranu je učvršćena zavojnica i njihovim titranjem u magnetskom polju permanentnog magneta inducira se napon u zavojnici koji predstavlja odzivni signal mikrofona
- u shematskom prikazu sustava koriste se blokovski dijagrami, pa se mikrofon kao sustav može prikazati kao blok

⁴ primjer dinamičkog mikrofona



Signali i
sustavi

školska godina
2006/2007
Predavanje 1.

Profesor
Branko Jeren

Organizacijske
i administra-
tivne
obavijesti

Uvod u signale
i sustave

Zvučni signali
Signali kao
funkcije
Blokovski
dijagrami

Mikrofon kao blok

- mikrofon – i svaki drugi sustav – možemo prikazati blokom kao na sl. 10



Slika 10: Mikrofon prikazan blokom

- pravokutnikom je predstavljen sustav a tekst ili matematički izraz u pravokutniku objašnjava o kojem je sustavu riječ
- ulazna strelica označava ulazni signal (skraćeno ulaz ili pobuda)
- izlazna strelica označava izlazni signal (skraćeno izlaz ili odziv)



Signali i
sustavi

školska godina
2006/2007
Predavanje 1.

Profesor
Branko Jeren

Organizacijske
i administrativne
obavijesti

Uvod u signale
i sustave

Zvučni signali
Signali kao
funkcije
Blokovski
dijagrami

Sustav kao funkcija

- mikrofonski je sustav koji varijaciju tlaka zraka transformira u napon, dakle, sustav koji transformira ulazni signal u izlazni signal
- sustav je potpuno karakteriziran relacijom ili funkcijom S koja ulaznom signalu (funkciji) pridružuje izlazni signal (funkciju)

$$izlaz = S(ulaz)$$



Signali i
sustavi

školska godina
2006/2007
Predavanje 1.

Profesor
Branko Jeren

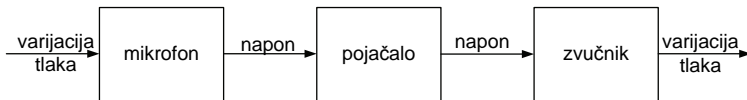
Organizacijske
i administra-
tivne
obavijesti

Uvod u signale
i sustave

Zvučni signali
Signali kao
funkcije
Blokovski
dijagrami

Opis sustava blokovskim dijagramima 1

- blokovski dijagrami su skup blokova međusobno spojenih strelicama i vizualna su sintaksa u opisu sustava
- prikazuju operacije ili postupke koje se izvode i prikazuju veze između elemenata sustava
- blokovski dijagram audio sustava dan je na sl. 11



Slika 11: Audio sustav



Signali i
sustavi

školska godina
2006/2007
Predavanje 1.

Profesor
Branko Jeren

Organizacijske
i administrativne
obavijesti

Uvod u signale
i sustave

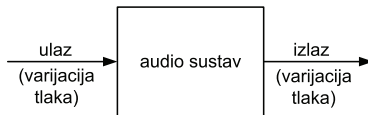
Zvučni signali

Signali kao
funkcije

Blokovski
dijagrami

Opis sustava blokovskim dijagramima 2

- blokovski dijagram audio sustava može biti nadomješten jednim blokom koji predstavlja sustav kao cjelinu (sl. 12)



Slika 12: Audio sustav kao blok

- prikazani sustav je sustav s jednim ulazom i jednim izlazom – single-input, single-output system (SISO)



Signali i
sustavi

školska godina
2006/2007
Predavanje 1.

Profesor
Branko Jeren

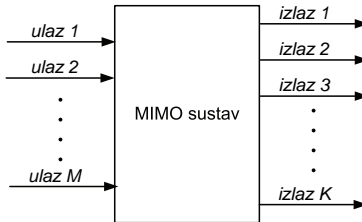
Organizacijske
i administra-
tivne
obavijesti

Uvod u signale
i sustave

Zvučni signali
Signali kao
funkcije
Blokovski
dijagrami

Sustavi s više ulaza i više ulaza

- sustavi mogu imati više ulaza i više izlaza
- tako je stereo audio pojačalo sustav s dva ulaza i dva izlaza, a novije generacije audio pojačala sustavi s pet ili više ulaza i izlaza
- sustav s više ulaza i više izlaza – multiple-input, multiple-output (MIMO) system – prikazujemo odgovarajućim blokom (sl. 13)



Slika 13: Blok MIMO sustava



Signali i sustavi

školska godina
2006/2007
Predavanje 1.

Profesor
Branko Jeren

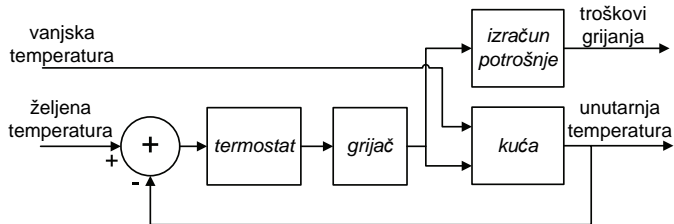
Organizacijske
i administrativne
obavijesti

Uvod u signale
i sustave

Zvučni signali
Signali kao funkcije
Blokovski dijagrami

Primjer sustava regulacije kućne temperature 1

- koristi se jedan od demonstracijskih primjera za programski sustav MATLAB-a
- blokovski dijagram sustava za regulaciju temperature u kući (sl. 14)



Slika 14: Blokovski dijagram sustava za regulaciju kućne temperature



Signali i
sustavi

školska godina
2006/2007
Predavanje 1.

Profesor
Branko Jeren

Organizacijske
i administra-
tivne
obavijesti

Uvod u signale
i sustave

Zvučni signali
Signali kao
funkcije
Blokovski
dijagrami

Primjer sustava regulacije kućne temperature 2

- dani primjer je primjer sustava s dva ulaza i dva izlaza
- blokovski dijagram sadrži blokove koji označavaju podsustave različite složenosti od, najjednostavnijeg bloka za usporedbu vanjske i unutarnje temperature realiziranog s operacijom oduzimanja, do bloka koji označava kuću
- blok označen kao *kuća* opisuje termodinamička svojstva kuće
- u određivanju termodinamičkih svojstava kuće uzima se u obzir dimenzije zidova i prozora te njihova izolacijska svojstva



Signali i
sustavi

školska godina
2006/2007
Predavanje 1.

Profesor
Branko Jeren

Organizacijske
i administra-
tivne
obavijesti

Uvod u signale
i sustave

Zvučni signali

Signali kao
funkcije

Blokovski
dijagrami

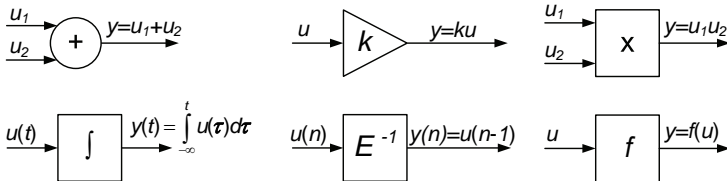
Podsustavi u slaganju i razlaganju složenih sustava

- složeni se sustavi sastoje od više međusobno povezanih podsustava
- razlaganjem složenih sustava na jednostavnije podsustave postiže se bolji uvid u vladanje cjelokupnog sustava
- dobro definirani, jednostavniji podsustavi, temelj su u slaganju (sintezi) složenih sustava željenih karakteristika
- u slaganju i razlaganju često se koriste podsustavi, opisani blokovima, koji znače tek jednu operaciju ili su pak definirani jednostavnim funkcijama



Osnovni blokovi

- u prikazu sustava blokovskim dijagramima koristi se skup osnovnih blokova (sl.15):
 - zbrajalo s dva ili više ulaza,
 - množilo s konstantom,
 - množilo,
 - integrator,
 - element za jedinično kašnjenje i
 - funkcijski blok.



Slika 15: Osnovni blokovi



Signali i
sustavi

školska godina
2006/2007
Predavanje 1.

Profesor
Branko Jeren

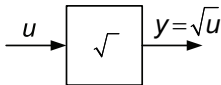
Organizacijske
i administrativne
obavijesti

Uvod u signale
i sustave

Zvučni signali
Signali kao
funkcije
Blokovski
dijagrami

Deklarativna i imperativna definicija funkcijskog bloka

- sustav za izračunavanje kvadratnog korijena prikazan je blokom na slici



Slika 16: Blokovski dijagram sustava “kvadratni korijen”

- u ovom primjeru za blok “kvadratni korijen” dana je deklarativna definicija funkcije koja opisuje sustav
- deklarativnom definicijom samo su definirana svojstva funkcije bez objašnjenja kako realizirati funkciju
- imperativna definicija daje postupak (proceduru) kako pridružiti elemente domene i kodomene
- deklarativna i imperativna definicija funkcije nisu nužno iste jer imperativna definicija često predstavlja tek aproksimaciju deklarativno definirane funkcije



Signali i
sustavi

školska godina
2006/2007
Predavanje 1.

Profesor
Branko Jeren

Organizacijske
i administra-
tivne
obavijesti

Uvod u signale
i sustave

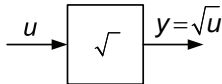
Zvučni signali

Signali kao
funkcije

Blokovski
dijagrami

Funkcijski blok “kvadratni korijen”

- razmatra se sustav opisan funkcijskim blokom na sl.17



Slika 17: Blokovski dijagram sustava “kvadratni korijen”

- ovako zadani sustav je bezmemorijski sustav jer trenutna vrijednost izlaznog signala ovisi samo o vrijednosti ulaznog signala u istom trenutku vremena
- neovisno o načinu izvedbe ovaj blok zahtijeva dodatne informacije:
 - kako se definira izlaz za negativne vrijednosti ulaznog signala?
 - koju od dvije moguće trenutne vrijednosti poprima izlaz za pojedinu trenutnu vrijednost ulaznog signala?



Signali i
sustavi

školska godina
2006/2007
Predavanje 1.

Profesor
Branko Jeren

Organizacijske
i administra-
tivne
obavijesti

Uvod u signale
i sustave

Zvučni signali
Signali kao
funkcije
Blokovski
dijagrami

Izračunavanje kvadratnog korijena 1

- potrebno je izračunati \sqrt{u} gdje je u pozitivan realni broj
- u današnje doba svakovrsnih računala zaboravljen problem
- problem riješili stari Babilonci
- razvili iterativni postupak za izračunavanje koristeći operacije zbrajanja i dijeljenja



Signali i
sustavi

školska godina
2006/2007
Predavanje 1.

Profesor
Branko Jeren

Organizacijske
i administrativne
obavijesti

Uvod u signale
i sustave

Zvučni signali
Signali kao
funkcije
Blokovski
dijagrami

Izračunavanje kvadratnog korijena 2

- neka je n redni broj iteracije
- neka je $y(0)$ početna, aproksimativna, vrijednost u izračunu \sqrt{u}
- ako vrijedi $[y(0)]^2 < u$ tada je sigurno⁵

$$y(0) < \sqrt{u} \quad \text{i} \quad \sqrt{u} < \frac{u}{y(0)}$$

- pa srednja vrijednost tih dvaju brojeva daje još bolju aproksimaciju

$$y(1) = \frac{1}{2} \left[y(0) + \frac{u}{y(0)} \right]$$

⁵Sličnim razmatranjima dolazi se do istog zaključka za $[y(0)]^2 > u$



Signali i
sustavi

školska godina
2006/2007
Predavanje 1.

Profesor
Branko Jeren

Organizacijske
i administra-
tivne
obavijesti

Uvod u signale
i sustave

Zvučni signali
Signali kao
funkcije
Blokovski
dijagrami

Izračunavanje kvadratnog korijena 3

- cijeli iterativni postupak za izračun $\sqrt{12.3456789}$ možemo prikazati uz pomoć jednadžbe

$$y(n) = \frac{1}{2} \left[y(n-1) + \frac{u}{y(n-1)} \right] \quad \text{za} \quad n = 1, 2, 3 \dots$$

- rješavanjem jednadžbe za npr. $y(0) = 2$, korak po korak, dobivamo rješenje za $\sqrt{12.3456789}$ već nakon nekoliko iteracija

n	u	aproximacija \sqrt{u}
0	12.3456789	2.000000000000000
1	12.3456789	4.08641972500000
2	12.3456789	3.55378387726301
3	12.3456789	3.51386854249693
4	12.3456789	3.51364183595822
5	12.3456789	3.51364182864446
6	12.3456789	3.51364182864446
7	12.3456789	3.51364182864446



Signali i
sustavi

školska godina
2006/2007
Predavanje 1.

Profesor
Branko Jeren

Organizacijske
i administrativne
obavijesti

Uvod u signale
i sustave

Zvučni signali
Signali kao
funkcije
Blokovski
dijagrami

Imperativna definicija sustava “kvadratni korijen”

- imperativna definicija funkcijskog bloka kvadratni korijen dana je algoritmom opisanim jednačbom diferencija

$$y(n) = \frac{1}{2} \left[y(n-1) + \frac{u(n)}{y(n-1)} \right] \quad \text{za} \quad n = 1, 2, 3, 4 \dots$$

- sustav za izračun kvadratnog korijena realiziran je memorijskim sustavom
- sustav je memorijski jer je za izračunavanje odziva u koraku n potrebno poznavanje odziva u koraku $n - 1$, a koji je rezultat prethodnih uzoraka pobude



Signali i sustavi

školska godina
2006/2007
Predavanje 1.

Profesor
Branko Jeren

Organizacijske
i administrativne
obavijesti

Uvod u signale
i sustave

Zvučni signali
Signali kao
funkcije
Blokovski
dijagrami

