

SEMNALĂ ȘI SISTEME

CURSUL 1

Vom parcurge, în acest semestru, în activitățile de curs, seminar și laborator, noțiunile fundamentale ce țin de disciplina *Semnăle și sisteme*. Nu-mi propun acum să fac o înșiruire a titlurilor capitolelor în care vom aprofunda toate aceste noțiuni. Sunt sigur că cele mai multe dintre denumirile folosite nu ar face nimic altceva decât să sporească și mai mult misterul.

EXAMENUL LA DISCIPLINA SEMNALE ȘI SISTEME

1. Prezența și activitatea la curs și seminar
2. Prezența și activitatea la laborator
3. Notele de curs (subiectele selectate, scrise de mână)
4. Rezolvarea, la examen, a unor probleme tip grilă, ce țin de teorie
5. Rezolvarea, la examen, a unor probleme tip grilă, ce implică doar calcule simple
6. Rezolvarea, la examen, a unor probleme la care se cere soluția completă

Haideți să stabilim, de la bun început, câteva lucruri importante cu privire la modul în care veți fi evaluați la examenul de *Semnale și sisteme*.

Să nu trăiți, însă, cu impresia că la examen este suficient să fiți prezenți pentru a-l promova. Materia trebuie obligatoriu să o parcurgeți și să o înțelegeți. Vă explic imediat de ce.

BIBLIOGRAFIE RECOMANDATĂ

- [1]. **Semnale și sisteme / Marin Bancoș - Note de curs și seminar (în format pdf.)**
- [2]. Michael D. Adams, Signals and Systems, Edition 5.0, Department of Electrical and Computer Engineering, University of Victoria, Canada
- [3]. Victor Popescu – *Semnale, circuite și sisteme. Teoria semnalelor*, Editura Casa Cărții de Știință, Cluj-Napoca, 2001.
- [4]. Marina Dana Țopa – *Semnale, circuite și sisteme. Teoria sistemelor*, Editura Casa Cărții de Știință, Cluj-Napoca, 2002.
- [5]. Adelaida Mateescu, *Semnale și sisteme*. Editura Teora, București.
- [6]. Ioana Sărăcuț, Erwin Szopos, Victor Popescu – *Teoria semnalelor. Culegere de probleme*, Editura U.T. Press, Cluj-Napoca, 2010
- [7]. Ioana Sărăcuț, Victor Popescu – *Teoria semnalelor. Culegere de grile*, Editura U.T. Press, Cluj-Napoca, 2010
- [8]. Ioana Popescu, Erwin Szopos, Victor Popescu, Marina Dana Țopa – *Semnale, circuite și sisteme. Indrumător de laborator IV*, Editura Casa Cărții de Știință, Cluj-Napoca, 2003

Iată care este bibliografia recomandată pentru pregătirea dumneavoastră.

Iluzia cunoașterii

„Nu trebuie să învăț ceea ce găsesc pe internet, pentru că oricum pot să accesez rapid respectiva informație.”



Pe Mona Lisa o găsim la Luvru.

MARTIN BANCOS - SEMNALE SI SISTEME

1

Ceea ce vă doriți voi, cu siguranță, este să deveniți cât mai creativi pe domeniul pe care vă pregătiți.

Creativitatea, mai ales în domeniile științifice, tehnice, în tehnologia de vârf, pornește de la o bază de cunoștințe foarte serioasă. Nu poți să fii creativ pornind de la zero. Există creativitate izvorâtă doar dintr-un fond de cunoștințe bine consolidate.

Vrei să fii creativ? Creativitatea depinde de ceea ce ai în mintea ta și este deja stocat acolo. Ea depinde de cantitatea de cunoștințe pe care deja le ai în capul tău și nu de ceea ce este stocat pe o tabletă, într-un calculator sau într-o carte.

Oamenii trăiesc permanent cu o *iluzie a cunoașterii*. Ei cred că știu, că stăpânesc și că pot folosi în orice moment ceea ce de fapt ei pot doar să acceseze. Asta pentru că adesea ei dau câteva click-uri și ajung imediat la informația dorită.

De aceea adesea ajungem să spunem:

„Nu trebuie să învăț ceea ce găsesc pe internet, pentru că oricum pot să accesez rapid respectiva informație.”

Dar este cu totul diferit ceea ce există deja stocat în mintea ta, de ceea ce poți accesa. Și asta chiar dacă tu poți accesa respectiva informație foarte ușor.

Dacă vrei să înțelegi cât mai multe lucruri, atunci obligatoriu trebuie să înmagazinezi cât mai multă informație în creierul tău. Învățarea este esențială. Fără să avem stocată informație în mintea noastră, unele procese nu pot avea loc eficient. Dar nu orice tip de informație. Înțelegerea nu poate avea loc decât dacă informația nouă, care vine spre noi, intră în interacțiune cu informația veche, pe care eu deja o am în minte.

Să luăm un exemplu:

Pe Mona Lisa o găsim la Luvru.

- Cine este Mona Lisa?
- Ce înseamnă Luvru?

Concluzionând, dacă nu știam cine este Mona Lisa și ce înseamnă Luvru, respectiv dacă aceste informații nu erau deja în mintea mea, nu aveam cum să dau sensul corect acestei afirmații.

MARIN BANCOȘ - SEMNALE ȘI SISTEME

SEMNAL. EXEMPLE DE SEMNALE.
SISTEM.

ANALOGIC/TIMP CONTINUU. DIGITAL/TIMP DISCRET.

PROCESAREA SEMNALELOR. ANALIZĂ ȘI SINTEZĂ.

AVANTAJELE DIGITALIZĂRII ÎN MEMORAREA, PROCESAREA ȘI
TRANSPORTUL DATELOR.

STUDIU DE CAZ.

După partea introductivă a acestui curs, în care vom lua contact cu câteva noțiuni de bază ce vor fi utilizate de acum înainte abordând lucrurile la modul foarte general, vom face apoi cunoștință, în întreg semestrul, în abordări mult mai amănunțite, cu ceea ce înseamnă *semnale periodice* și *semnale neperiodice*, *eșantionarea semnalelor* și *modularea semnalelor*. V-am dat acum, de fapt, câteva denumiri de capitole mari din ceea ce uzual numim *teoria semnalelor*. Vom discuta apoi despre ceea ce înțelegem prin *sisteme analogice* și *sisteme discrete*, proprietăți care ne interesează la acestea, insistând mai ales pe ceea ce înseamnă *stabilitatea unui sistem*. Toate acestea țin de *teoria sistemelor*.

Astăzi ne vom ocupa de câteva noțiuni de bază, foarte interesante, folosind pentru o mai bună înțelegere o serie de exemple. Vom lua contact cu ceea ce este enumerat în slide. Și haideți să le luăm pe rând...

Ce înseamnă...

SEMNALE ȘI SISTEME

MARIN BANCOS - SEMNALE ȘI SISTEME

6

Vom începe prin a analiza denumirea cursului pe care îl parcurgem împreună. Observați că aceasta conține două cuvinte de bază:

1. *Semnal* 2. *Sistem*

Amândouă conceptele sunt foarte importante pentru domeniul în care voi vă pregătiți, iar pe parcurs veți ajunge să înțelegeți de ce.

CE ÎNȚELEGEM PRIN SEMNAL?

SEMNAL = Descrierea evoluției unui fenomen fizic, a unui eveniment sau a unui proces oarecare.

Poate cea mai bună definiție a ceea ce înseamnă *semnal* este aceea că el reprezintă, în fapt, evoluția unui fenomen fizic, a unui eveniment sau a unui proces oarecare. Iar acest lucru se explică cel mai bine prin exemple.

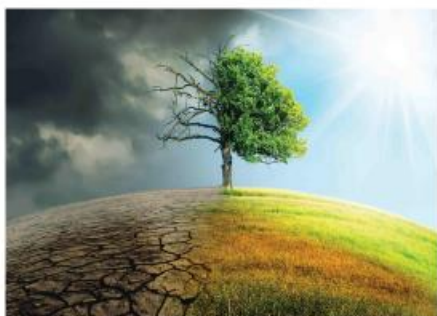
CÂTEVA EXEMPLE DE FENOMENE FIZICE CARE POT FI DESCRISE CA SEMNALE

MARIN BANCOȘ - SEMNALE ȘI SISTEME

8

Să dăm acum câteva exemple de fenomene fizice care pot fi descrise ca semnale.

VREMEA:

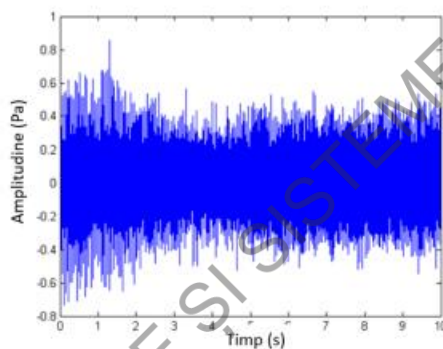


Să luăm vremea ca prim-exemplu.

Când spunem vreme, gândul ne zboară cel mai des la temperatura măsurată. Dacă se măsoară temperatura de-a lungul timpului, prin intermediul valorilor rezultate vom obține una dintre posibilele descrieri ale vremii ca fenomen. La fel de bine putem analiza cantitatea de precipitații căzute în respectivul loc unde facem măsurătorile. Și acesta este un posibil indicator care furnizează informații despre vreme. Noi am considerat aici numai doi dintre acești indicatori. Ei sunt, însă, mult mai mulți.

Tot de vreme ține și mișcarea maselor de aer. Iar exemplele ar putea continua...

SUNETUL:



MARIN BANCOS - SEMNALE SI SISTEME

10

Să considerăm acum *sunetul*, generat spre exemplu de vocea umană și recepționat de urechea umană.

Știți că acesta se propagă prin aer, practic, ca o undă mecanică, ca o undă de presiune.

Dacă se măsoară această presiune (denumită presiune acustică) într-un punct oarecare din spațiu, de exemplu prin intermediul unui microfon, vom obține o descriere a sunetului ca fenomen fizic.

Reprezentarea poate arăta ca în figură.

Dar, bineînțeles, aceasta este doar una dintre posibilele descrieri. Dacă *sunetul* este înregistrat pe un suport magnetic, descrierea sunetului se va putea face de această dată cu ajutorul deviației magnetice înregistrate pe respectivul suport. Și vom obține, astfel, un alt tip de reprezentare.

INTENSITATEA LUMINII:



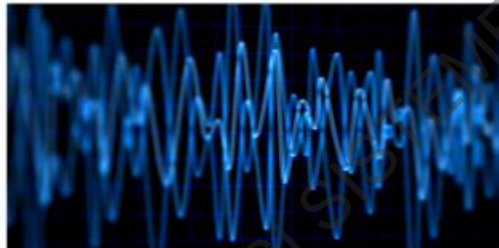
MARIN BANCOS - SEMNALE SI SISTEME

11

Dacă analizăm *intensitatea luminii* reflectate de o suprafață, putem să-i asociem acesteia un anumit nivel, o valoare concretă. Obținem astfel tot un semnal, 2D, iar variația semnalului descris în acest fel se produce între două limite extreme, între negru și alb. Ea are loc mai degrabă în spațiu decât în timp.

Iar exemplele pot continua...

SEMNAL ELECTRICE



Informație (mesaj)



Mărime electrică

MARIN BANCOS - SEMNALE SI SISTEME

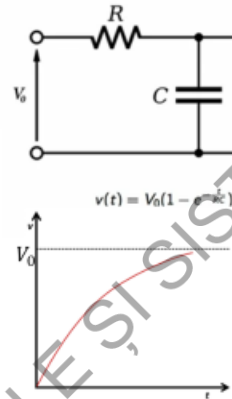
12

Așadar, semnalele, ca descrieri ale evoluției unor fenomene fizice, reprezintă variații ale unor mărimi fizice care conțin informație. Natura lor este diferită și pot fi: *acustice, optice, termice, chimice, electrice*, etc.

Vom considera *semnal electric* orice informație (sau mesaj) de o anumită natură (audio, video, etc.) care prin intermediul unor dispozitive adecvate este convertită într-o mărime electrică (tensiune, curent, intensitate de câmp electric, intensitate de câmp magnetic, etc.).

EXEMPLU DE SEMNAL DIN ELECTRONICĂ

CIRCUIT = un ansamblu de componente electrice și electronice, interconectate prin conductoare sau prin câmp electromagnetic, care transmit și prelucrează semnale electrice.



MARIN BANCOS - SEMNALE ȘI SISTEME

13

În electronică există o mulțime de ecuații care descriu funcționarea unor *circuite*. Dar ce este acela un circuit? O definiție pe care o putem considera suficient de cuprinzătoare este cea din slide.

În figură avem un circuit RC, ce poate fi descris prin ecuația evidențiată. Avem astfel o reprezentare matematică a modului în care se încarcă cu sarcină electrică condensatorul de capacitate C , respectiv a modului cum variază tensiunea de ieșire în funcție de timp.

Pentru circuitul din exemplu, ecuația se caracterizează prin două *grade de libertate*, în sensul că putem alege arbitrar valorile rezistenței R și a capacității C .

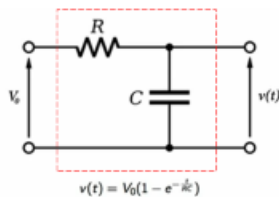
Forma exponențială a semnalului rămâne însă aceeași, indiferent de valori.

CE ÎNȚELEGEM PRIN SISTEM?

SISTEM = Un ansamblu de circuite ce se interconectează în vederea asigurării unei funcționări unitare.

Folosind noțiunea de circuit putem defini ce este acela un sistem.

SEMNALE ANALOGICE



$$f : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$$

Revenind, în exemplul dat putem vedea că modelul matematic utilizat pentru descriere este o funcție reală, $v(t)$, de variabilă reală, t . O astfel de funcție este modelul standard pentru ceea ce numim *semnal analogic*.

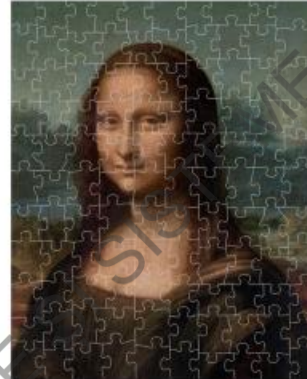
PRELUCRAREA SEMNALULUI

ANALIZĂ :

Identificarea informației conținute de semnal

SINTEZĂ :

Crearea unui semnal ce conține informația de interes



MARTIN BANCOS - SEMNALE SI SISTEME

16

Ce facem, însă, cu semnalele?

Dacă se obține un semnal oarecare, aproape invariabil ne punem problema prelucrării lui. *Prelucrarea* (procesarea) semnalului se referă, în fapt, la a da sens informației conținute (descrise) de acel semnal.

Putem prelucra semnalul în două moduri.



Pe de o parte, putem să realizăm *analiză* de semnal, înțelegând (sau identificând) informația conținută de respectivul semnal și obținând o cât mai bună descriere a sa.

Simplist exprimat, prin analiza acestuia spargem semnalul în componente elementare.



Pe de altă parte, putem realiza *sinteză* de semnal, imitând originalul, prin crearea a ceva ce conține o cantitate relevantă de informație din acest original. Tot printr-o exprimare simplistă, prin sinteză realizăm recompunerea semnalului punând laolaltă mai multe componente.

Aceasta este exact ceea ce facem de fiecare dată când transmitem informație. Spre exemplu, utilizând telefonul mobil sau radioul.

UN SEMNAL INTERESANT...



$$f(t) = ?$$

MARIN BANCOS - SEMNALE SI SISTEME

17

Acum, dacă vă voi arăta o formă de undă precum cea din figură, pe baza celor deja discutate veți intui că este o reprezentare ce corespunde unui sunet oarecare sau vorbirii.

Întrebarea pe care ne-o punem este: ce funcție $f(t)$ descrie cel mai bine acest sunet?

Ei bine, răspunsul nu este ușor de dat. Ceea ce pot să fac este să înregistrez, într-un anumit mod, informația de interes, iar oamenii au inventat pentru aceasta, de-a lungul timpului, o mulțime de dispozitive sofisticate.

PENTRU FIECARE SEMNAL ANALOGIC UN ALT DISPOZITIV DE ÎNREGISTRARE A SEMNALULUI...



MARTIN BANCOS - SEMNALE ȘI SISTEME

18

Așadar, în cazul sunetului s-a folosit cândva gramofonul (fonograful), iar mai apoi magnetofonul. Exemplele din domeniu, însă, sunt nenumărate.

Dacă ne referim la înregistrarea temperaturii, s-a folosit, și încă se mai folosește acest principiu de funcționare, un dispozitiv mecanic ce conține un sistem ce înregistrează toate măsurătorile corespunzătoare pe o bandă (care era de hârtie, la începuturi).

Pentru a face fotografii, a fost necesar să se inventeze camera foto, care a evoluat spectaculos de-a lungul anilor.

Observați că fiecare dispozitiv corespunde unui anumit tip de semnal. Voi înregistra informația de interes, dar nu va fi ușor de operat cu această informație într-un mod generic.

Ce s-a folosit de-a lungul timpului pentru înregistrarea sunetului?



MARTIN BANCOS - SEMNALE SI SISTEME

19

Fonograful

- 1877 – Thomas Edison – a folosit înregistrarea pe placă cilindrică acoperită cu ceară, prin intermediul unui ac

Gramofonul

- 1888 – Emile Berliner – a folosit înregistrarea pe disc plat

Pickup-ul

- un alt dispozitiv de redare a sunetului de pe disc, de această dată din vinil (un material plastic)

Magnetofonul

- 1925 – utilizarea benzii magnetice, la început în scopuri profesionale și numai după 1950 pentru uz general

Casetofonul

- 1952 – a fost introdusă caseta audio, care devine rapid formatul uzual de înregistrare a sunetului

CD player-ul

- 1982 – a fost introdus CD-ul, format revoluționar de înregistrare, după 1990 trecându-se pe digital

MP3-ul

- 1998 – formatul de fișiere MP3 (audio digital comprimat) a revoluționat modul în

care se asculta

muzică

iPod –ul

- 2001 – a dus la o creștere exponențială a consumului de muzică digitală

Astăzi, când facem streaming audio și folosim tehnologii de sunet surround, tehnologiile de înregistrare a sunetului continuă să evolueze și noi formate și dispozitive apar în mod constant.

MARIN BANCOȘ - SEMNALE ȘI SISTEME

REVENIND...



$$f(t) = ?$$

MARIN BANCOȘ - SEMNALE ȘI SISTEME

20

Nu voi putea, însă, răspunde la întrebarea: *Care este funcția matematică ce descrie cel mai bine fenomenul vizat?*

DIN ANALOGIC ...



MARIN BANCOȘ - SEMNALE ȘI SISTEME

21

Aceasta este problema cea mai mare atunci când ne referim la semnalele analogice. Din acest motiv s-a și realizat trecerea din analogic în digital.

... ÎN DIGITAL

```
... 74 31 -66 9 -123 33 159 -26 102 148 86  
-136 -179 70 72 -84 -113 -42 -88 88 8 -180 -7  
-133 8 164 -4 108 35 -82 74 -49 52 32 -31 ...
```

Marea schimbare atunci când se trece la prelucrarea digitală a semnalului este că ne îndepărtăm de modelul analogic, exemplificat anterior. Nu ne mai întrebăm care este funcția ce reprezintă semnalul, ci doar se trece la înregistrarea valorilor funcției și reprezentăm fenomenul ca pe o șir de numere.



Când erai în școala primară, probabil că vi s-a cerut să faceți un mic experiment. Eu îmi aduc aminte de acest tip de teme, când foloseam hârtia milimetrică. Astfel, urmărind mercurul din termometru, poate ați înregistrat valori de temperatură, în fiecare zi, la o anumită oră, pentru o perioadă de timp.

Apoi ați pus punctele corespunzătoare trasând graficul, pe bucata de hârtie milimetrică.

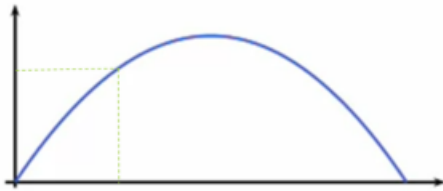
Făcând acest lucru pentru un număr mai mare de zile, reprezentarea rezultată arată destul de rezonabil.

Relevanța rezultatului obținut? Discutabilă, evident, chiar și dacă ne referim la alegerea momentului din zi la care facem măsurătoarea. Cum să-l alegi pentru a fi cu adevărat reprezentativ pentru o întreagă zi? Și de ce doar un moment al zilei și nu mai multe? Iar dacă sunt mai multe astfel de momente, cât de apropiate trebuie să fie unele de altele?

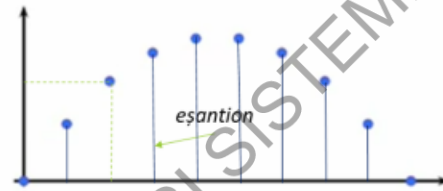
Realizați că reprezentarea grafică s-ar face printr-o curbă continuă numai dacă s-ar cunoaște valoarea măsurată la fiecare moment de timp din intervalul considerat.

MODELE DE REPREZENTARE

REPREZENTARE ÎN TIMP CONTINUU



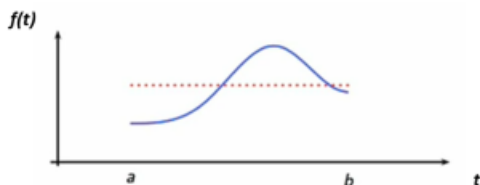
REPREZENTARE ÎN TIMP DISCRET



La reprezentarea unui *semnal analogic* (adică reprezentarea în timp continuu), ne aflăm într-o situație în care cunoaștem evoluția mărimii măsurate la fiecare moment de timp (lucru evident imposibil). Obținem o reprezentare precum cea din figură.

La reprezentarea unui *semnal digital* (adică reprezentarea în timp discret), vom avea numai un număr finit de valori (fiecare corespunzând unei măsurători efectuate) și implicit un număr finit de intervale. Acesta se va dovedi a fi un model extrem de practic pentru o mulțime de aplicații, deoarece corespunde mult mai bine realității.

CALCULELE ÎN TIMP CONTINUU SUNT DIFICILE



CALCULUL VALORII MEDII

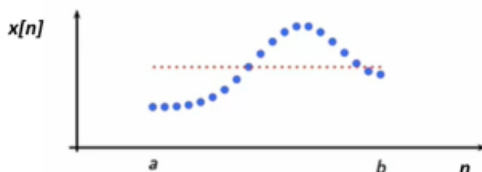
$$\bar{x} = \frac{1}{b-a} \int_a^b f(t) dt$$

Să considerăm că reprezentarea din figură corespunde semnalului analogic „temperatură” pe intervalul de timp dintre a și b .

Dacă dorim să calculăm temperatura medie pe acest interval, trebuie obligatoriu să cunoaștem funcția $f(t)$ care descrie matematic curba.

Presupunând că am obținut-o, este necesar apoi să calculăm integrala definită din $f(t)$ de la a la b , și apoi să o raportăm la lungimea intervalului: $(b-a)$. Nici obținerea lui $f(t)$ și nici calculul integralei, însă, nu sunt simplu de realizat.

CALCULELE ÎN TIMP DISCRET SUNT MULT SIMPLIFICATE



CALCULUL VALORII MEDII

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x[n]$$

MARIN BANCOS - SEMNALE ȘI SISTEME

26

Dacă, însă, suntem în cazul discret, și deținem N valori rezultate din măsurarea temperaturii la N momente, egal distanțate în timp,

valoarea medie a temperaturii se calculează mult mai simplu.

Pentru aceasta, se însumează cele N valori corespunzătoare măsurărilor (eșantioanelor), iar rezultatul obținut se împarte la numărul N de eșantioane. Metoda este chiar intuitivă și general valabilă. Așadar calculele sunt mult simplificate la modelul din cazul discret.

TIMP DISCRET, SEMNAL DIGITAL (DISCRET)

~~$$f: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{V}$$~~

$$x: \mathbb{Z} \rightarrow \mathbb{V}$$

$$x[n] = \dots, 1.2390, -0.7372, 0.8987, 0.1798, -1.1501, -0.2642 \dots$$

MARIN BANCOS - SEMNALE SI SISTEME

27

Care este concluzia?

Distanțarea de modelul din cazul semnalului analogic, reprezentat prin funcții $f(t)$, este perfect justificată și a evoluat în timp în mod firesc.

Este mult mai convenabil să adaptăm și să modelăm realitatea astfel încât semnalele să le putem reprezenta prin șiruri de numere. Să facem observația că intervalul de timp dintre două eșantioane (care poate fi de o zi, trei ore, două secunde, 17 milisecunde,... adică oricât, însă fixat), permite „numerotarea”, cu numere întregi din $\mathbb{Z}$, a fiecărui eșantion. Matematic, așadar, noi realizăm maparea de la un set de numere întregi, preluat din mulțimea numerelor întregi $\mathbb{Z}$, la un set de valori, $\mathbb{V}$, care sunt numere reale din $\mathbb{R}$.

Notăția devine foarte simplă. Vom reprezenta un semnal discret de timp ca fiind x de n , unde x este semnalul nostru, iar n este citit ca fiind momentul n . Acesta, însă, nu mai are o semnificație fizică, ci este doar un număr de ordine care stabilește succesiunea eșantioanelor.

DE CE ESTE IMPORTANT PROCESUL DE DISCRETIZARE (DIGITALIZARE) A SEMNALULUI?

EXISTĂ CEL PUȚIN TREI AVANTAJE:

- ❑ MEMORARE (STOCARE)
- ❑ PRELUCRARE (PROCESARE)
- ❑ TRANSPORT (TRANSMISIE)

MARIN BANCOS - SEMNALE ȘI SISTEME

28

Acum, dacă datele cu care operăm sunt mulțimi de valori întregi, de numere din $\mathbb{Z}$, aceasta va avea consecințe foarte importante din cel puțin următoarele considerente:

În ceea ce privește *memorarea* (*stocarea*) datelor, aceasta devine mult mai facilă, deoarece orice suport de memorie care poate reține valori de numere întregi este în măsură să stocheze aceste semnale. Primul candidat serios ca mediu de stocare, ce ne vine în minte, este chiar memoria calculatorului.

Referindu-ne la *prelucrarea* (*la procesarea*) datelor, aceasta devine complet independentă de natura semnalului inițial. Tot ce avem nevoie acum este să apelăm la un procesor care poate lucra cu valori întregi. Și din nou, un CPU, inima calculatorului, este un astfel de procesor.

Al treilea considerent pe care îl analizăm se referă la *transportul* (*la transmisia*) datelor. Cu ajutorul semnalelor digitale (discrete) putem găsi căi extrem de eficiente pentru a combate zgomotul și a maximiza capacitatea de transport pe un canal de date. În cele ce urmează chiar de aceste aspecte ne vom ocupa luând exemple concrete.

MEMORARE (STOCARE)

ANALOGICĂ



DISCRETĂ (DIGITALĂ)

$\{0, 1\}$

MARIN BANCOS - SEMNALE ȘI SISTEME

29

Referindu-ne la stocare, să evidențiem diferența uriașă dintre ceea ce presupune

stocarea unui semnal analogic, ce necesită un mediu ce depinde de fiecare tip de semnal și de fiecare tip de aplicație în parte, așa cum am văzut,

și respectiv stocarea semnalului digital, pe care o facem astăzi în memoria calculatorului, cu avantajele uriașe menționate.

În această imagine ilustrăm, spre exemplu, ceea ce se făcea pentru înregistrarea sunetului. S-a utilizat fonograful, la care vibrația unei membrane era preluată de un ac și transpusă pe un cilindru cu ceară. S-a trecut apoi la înregistrările pe bandă, iar noul mediu utilizat era total incompatibil cu cel utilizat anterior. Dificultăți importante s-au întâmpinat și când a fost vorba de înregistrarea temperaturii, iar transmiterea datelor obținute însemna transportul efectiv al unei role de hârtie cu înregistrarea. Nu are rost să mai discutăm despre fotografie și prelucrarea de imagini. Câte obstacole au trebuit depășite în fiecare caz în parte! Ce facem însă astăzi? Operăm doar cu valori de 0 și 1. Iar aceasta este o consecință a faptului că putem apela la digitalizare.

EVOLUȚIA CAPACITĂȚII DE STOCARE (O IMAGINE PENTRU ISTORIE)

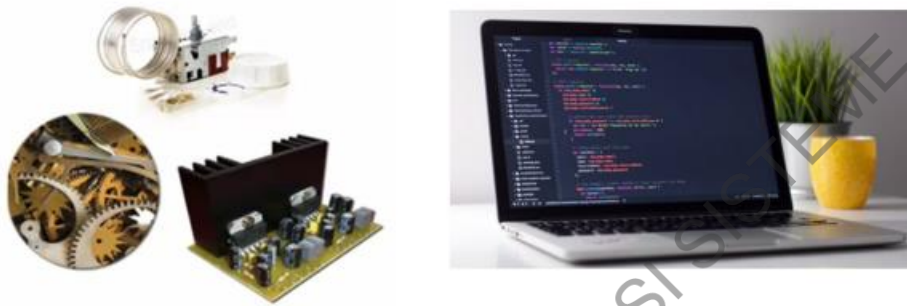


MARTIN BANCOS - SEMNALE SI SISTEME

30

Fotografia din imagine este deja celebră, deoarece a făcut ocolul Pământului prin intermediul Internetului. Ea evidențiază o impresionantă evoluție și ne determină să ne gândim la cât de multă informație putem înmagazina astăzi pe un card de memorie MicroSD, comparativ cu mediile de stocare utilizate doar cu câțiva ani în urmă. Această evoluție rapidă a tehnologiei este o dovadă certă a ceea ce se poate obține atunci când găsești numitorul comun pentru lucruri atât de diferite, așa după cum am arătat. Nu mai este nevoie să ne specializăm într-o multitudine de domenii, lucrând cu dispozitive total distincte. Totul converge către o singură tehnologie care înglobează întreaga varietate, pusă în evidență și prin exemplele date.

PRELUCRARE (PROCESARE)



MARTIN BANCOS - SEMNALE SI SISTEME

31

Am discutat până acum, mai în detaliu, despre memorare (stocare). Trecem să analizăm, însă, și ceea ce a însemnat, în trecut, și ce înseamnă, astăzi, procesarea (prelucrarea) datelor.

Folosindu-se atunci semnale analogice, trebuiau concepute dispozitive specifice, capabile să reacționeze la anumite fenomene fizice.

Astfel, spre exemplu, puteți observa aici un termostaț care trebuia dotat cu un arc special, care se dilata sau comprima funcție de temperatură, și care declanșa un întrerupător. Ingenios și complicat.

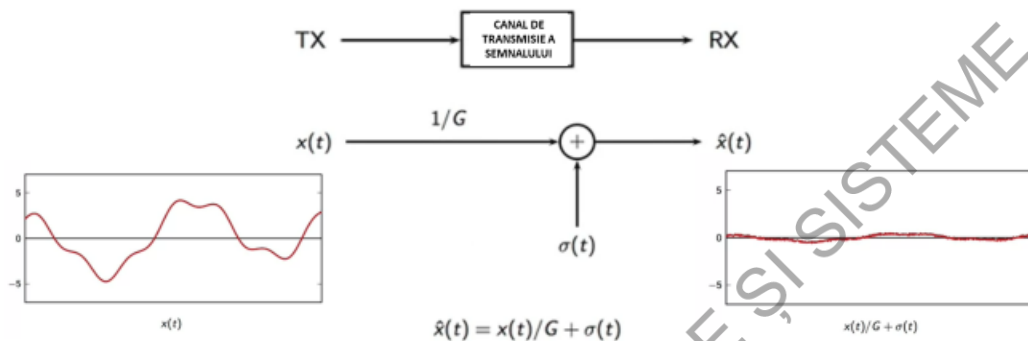
Sistemele mecanice în general necesită proiectarea unor angrenaje foarte complexe.

Sistemul de egalizare a sunetului necesită electronică discretă.

Astăzi, cu semnale digitale, tot ce trebuie să faceți este să scrieți o bucată de cod pentru calculator, care va fi rulată, și se vor îndeplini aceleași sarcini. Sarcini care în trecut necesitau parte de hardware.

TRANSPORT (TRANSMISIE)

CAZUL SEMNALULUI ANALOGIC



MARIN BANCOS - SEMNALE SI SISTEME

32

Și, în sfârșit, haideți să analizăm problema transportului (transmisiei) datelor, domeniu în care utilizarea procesării digitale a semnalelor a adus, probabil, cele mai mari diferențe.

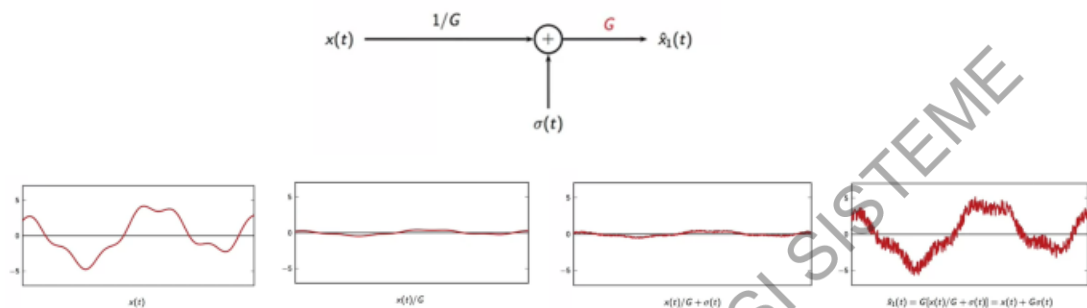
Așadar, dacă avem un canal de comunicație și încercăm să transmitem informația de la transmitătorul TX la receptorul RX, ne confruntăm, invariabil, cu ceea ce înseamnă apariția zgomotului și a atenuării.

Să urmărim ce se întâmplă. Mediul specific canalului prin care transmitem informația introduce o atenuare, evidențiată de noi prin factorul de atenuare notat cu G . Așadar, transmitând un sunet de exemplu, volumul acestuia poate fi considerabil micșorat. Efectul zgomotului, care influențează, de asemenea, sunetul, este evidențiat în figură prin $\sigma(t)$. Ceea ce se recepționează va fi o copie atenuată a semnalului original, afectat însă și de zgomot.

Să vedem cum arată semnalul inițial.

Și apoi la final.

PUTEM COMPENSA ATENUAREA SEMNALULUI ANALOGIC PRIN AMPLIFICARE



MARIN BANCOS - SEMNALE ȘI SISTEME

33

Atenuarea și zgomotul sunt factori care sigur influențează transmisia și nu pot fi excluși. Doar asupra modului în care ei influențează semnalul util putem acționa, dar și aceasta numai într-o anumită măsură.

Ne punem următoarea problemă: cum am putea recupera informația originală, apropiindu-ne cât mai mult de semnalul inițial?

Singurul efect nedorit, dintre cele două evidențiate, care poate fi înlăturat, este atenuarea. În ceea ce privește zgomotul, mare lucru nu putem face, fără a afecta caracteristicile semnalului transmis.

Referindu-ne la atenuare, matematic vorbind, dacă semnalul inițial a fost atenuat, suferind prin „împărțirea” cu G , putem încerca să amplificăm semnalul recepționat, „înmulțind” la ieșire cu G . Nu este însă nicio surpriză să constatăm că odată cu amplificarea făcută la recepție, vom amplifica și zgomotul ce s-a suprapus în timpul transmisiei peste semnalul original.

Iată ce se întâmplă în întregul proces de transmitere: semnal inițial – semnal atenuat – semnal atenuat afectat de zgomot – semnalul la recepție

Doar pentru a putea înțelege cum se întâmplă lucrurile, imaginați-vă ce calitate se mai putea obține atunci când făceam o înregistrare a unei casete audio sau video, după o altă casetă înregistrată. Ori când facem o copie după o altă copie, neavând acces la original. Aceste exemple vă dau o idee despre ceea ce se întâmplă atunci când zgomotul este amplificat. De ce a fost important să realizăm această analiză? Gândiți-vă ce înseamnă cele evidențiate când este vorba de distanțe foarte lungi.

CUM PROCEDĂM CÂND TRANSPORTUL SE REALIZEAZĂ PE DISTANȚE FOARTE LUNGI?

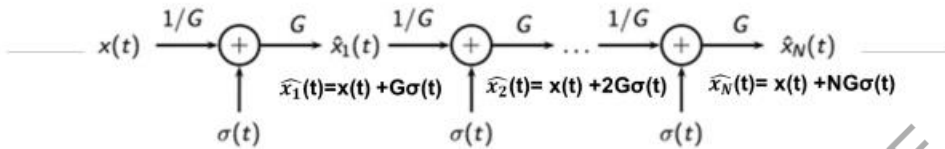


Spre exemplu, cazul unui cablu care unește Europa și Statele Unite și pe care se încearcă transmiterea unei conversații telefonice.

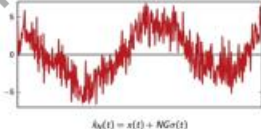
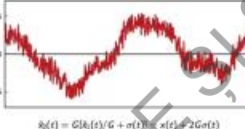
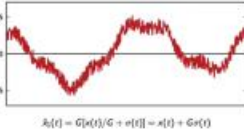
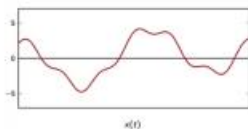
Priviți cât de interesantă este harta din slide pentru istoria comunicațiilor.

Pe astfel de distanțe ești obligat, însă, să împarți cablul în mai multe secțiuni și după fiecare secțiune să instalezi un repetor pentru a regenera semnalul la nivelul inițial. O astfel de secțiune are, în general, o lungime de ordinul zecilor de km. Vă exemplific ca ordin de mărime doar pentru a înțelege mai bine cum stau lucrurile.

RĂSPUNS: DIN LOC ÎN LOC SE INSTALEAZĂ „REPETOARE”



$$\hat{x}_N(t) = x(t) + NG\sigma(t)$$



MARIN BANCOS - SEMNALE SI SISTEME

35

Dar, din păcate, efectul cumulativ nedorit care se produce pe acest lanț de repetoare constă în aceea că apare zgomot suplimentar pe fiecare secțiune, iar acest zgomot este amplificat apoi, din nou și din nou, până la recepție.

Așadar, dacă $x(t)$ este semnalul original, pe primul segment al cablului el este atenuat și afectat de zgomot. După amplificare se ajunge la $\hat{x}_1(t) = x(t) + G\sigma(t)$. Acest semnal $\hat{x}_1(t)$ este apoi injectat în a doua secțiune a cablului. El va fi atenuat și afectat de zgomot, la rândul său, iar după amplificare se ajunge la $\hat{x}_2(t) = x(t) + 2G\sigma(t)$. Observăm că până aici zgomotul deja s-a dublat.

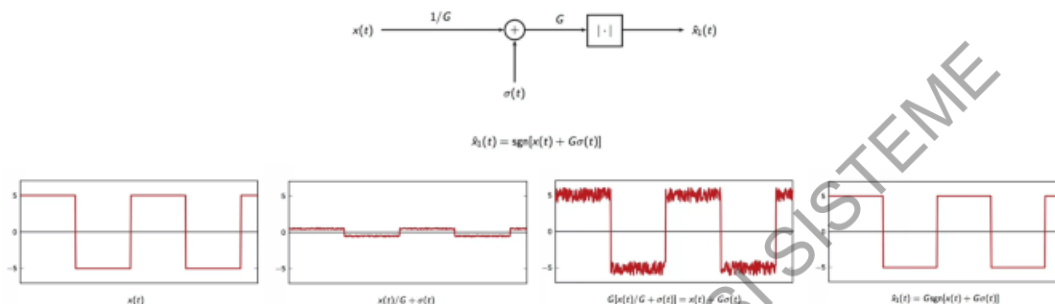
Acest $\hat{x}_2(t)$ se injectează în a treia secțiune de cablu, și lucrurile se petrec, în continuare, la fel.

...

După a N -a secțiune de cablu se ajunge la $\hat{x}_N(t) = x(t) + NG\sigma(t)$, zgomotul fiind de N ori amplificat. Acest lucru poate conduce cu ușurință la pierderea inteligibilității într-o convorbire telefonică.

TRANSPORT (TRANSMISIE)

CAZUL SEMNALULUI DIGITAL



Să considerăm acum problema transmiterii unui semnal digital printr-un astfel de cablu transoceanic.

După cum am stabilit deja, la un semnal digital, fiecărui eșantion ajungem să îi asociem un număr întreg. Având așadar de transmis numai numere întregi, le convertim în prealabil în binar și totul se va reduce, în final, la a transmite secvențe de 0 și 1.

Pentru a transmite aceste secvențe binare, putem construi un semnal analogic asociat și haide să considerăm că asociem nivelului de +5V valoarea binară 0, iar nivelului de -5V valoarea binară 1.

Semnalul poate să arate ca în figură. La transmisia acestui semnal pe cablu lucrurile se întâmplă, în principiu, așa cum am văzut mai înainte:

Vom avea atenuare și vom avea zgomot adăugat

Vom avea, de asemenea, amplificare, pe fiecare repetor, introdusă în încercarea de a elimina atenuarea. Ceea ce vom face, însă, diferit, constă în utilizarea unui bloc detector de prag (threshold), după cum se poate vedea și în schemă, cu scopul reconstruirii semnalului original cât mai bine posibil.

Să vedem cum funcționează acesta. Chiar dacă zgomotul afectează semnalul transmis, dacă se detectează o valoare peste 0V (adică pozitivă), se consideră automat ca fiind +5V, iar dacă se detectează o valoare sub 0V (adică negativă), se consideră automat ca fiind -5V.

Acest bloc detector de prag ajută astfel la reconstruirea semnalului original, semnalul recepționat fiind acum o copie exactă a ceea ce am avut inițial.

DESPRE EVOLUȚIA CAPACITĂȚII DE TRANSPORT A DATELOR

CABLUL TRANSOCEANIC

- 1866: 8 cuvinte pe minut (~5 bps)
- 1956: AT&T, coax, 48 canale de voce (3Mbps)
- 2005: Alcatel Tera10, FO, 8,4 Tbps
- 2012: 60 Tbps
- 2022: peste 250 Tbps

MARIN BANCOS - SEMNALE ȘI SISTEME

37

Eficacitatea soluțiilor tehnice utilizate pentru transmisia semnalelor poate fi apreciată analizând evoluția capacității de transport a cantității de informație. Să luăm chiar exemplul transportului de date prin cablul transoceanic.

În 1866, primul cablu transoceanic folosit asigura o capacitate de transport de 8 cuvinte pe minut, ceea ce corespunde la aproximativ 5 bps.

În 1956, când a fost utilizat primul cablu digital, capacitatea de transport a crescut brusc la 3Mbps, adică 10 la puterea 6. Deci cu șase ordine de mărime mai mult decât în cazul analogic.

În 2005, când s-a utilizat pentru prima oară fibra optică, alte șase ordine de mărime s-au adăugat, capacitatea de transport crescând la 8,4 Tbps.

În 2012 s-a ajuns la 60 Tbps, iar azi suntem la peste 250 Tbps.

Similar și apropiindu-ne de casă, putem face o scurtă analiză și a ceea ce a însemnat evoluția capacității de transmitere a datelor folosind modemurile.

Începând cu primele modele de modemuri de voce, din anii 50, scoase de Bell Labs, care funcționau pe un canal telefonic standard și erau dispozitive analogice cu capacitate maximă de 1200 bps, s-a ajuns în anii 90 la primele modemuri digitale ce atingeau 56 kbps. Prin 2008 s-a trecut la tehnologia ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line), depășindu-se 24 Mbps.

Unde am ajuns astăzi? Mult prea departe, parcă... Ceea ce este clar e că revoluția digitală continuă într-un ritm amețitor.