

LIMBAJE FORMALE ȘI AUTOMATE

Curs + Seminar 22 ore online

24 III 16-20

29 III 9-15,

30 III 9-15,

31 III 16-20

7 IV 16-18

Conf.dr. Monica TĂTĂRĂM
smtataram@yahoo.com
tataram@fmi.unibuc.ro

LFA: C1 - INTRODUCERE

1. Programa
2. Descrierea cursului
3. Evaluare
4. Bibliografie



LF: C1 - INTRODUCERE

1. Ierarhia Chomsky

- ✓ Alfabet, cuvânt, operații cu cuvinte
- ✓ Limbaj, operații cu limbaje
- ✓ Gramatică; exemple
- ✓ Clasificarea gramaticilor generative; ierarhia lui Chomsky;

2. Automate finite

- ✓ Variantele deterministe și nedeterministe; echivalența lor
- ✓ Clasa limbajelor definite de automatele finite: proprietăți de închidere, probleme de decizie, lema de pompare
- ✓ Expresii regulate; legătura cu automatele finite;

3. Limbaje independente de context

- ✓ Gramatici independente de context; forma normală Chomsky.
- ✓ Automate pushdown; echivalența cu gramaticile independente de context.
- ✓ Proprietăți de închidere, lema de pompare.

LFA: C1 - INTRODUCERE

4. Masini Turing

- ✓ Exemple
- ✓ Definitia formală
- ✓ Limbaje Turing-recunoscute și limbaje Turing-decidabile

5. Variante de Masini Turing

- ✓ MT cu 3 “deplasări”; MT circulară; MT cu mai multe benzi; MT nedeterminate; Enumeratoare; Alte variante de MT
- ✓ Echivalența modelelor de calculabilitate
- ✓ Problema a 10-a a lui Hilbert

6. Decidabilitate

- ✓ Probleme decidabile în clasa limbajelor regulate, independente de context, dependente de context
- ✓ Problema opririi.

LF \mathcal{A} : C1 - INTRODUCERE



1. Programa
2. Descrierea cursului
3. Evaluare
4. Bibliografie

LF \mathcal{A} : C1 - INTRODUCERE

- ☐ Formalizare
- ☐ Masurare
- ☐ Calcule
 - ✓ Instante ale problemei
 - ✓ Clasa de probleme

LF \mathcal{A} : C1 - INTRODUCERE

- ⌘ Programe de calculator.
- ⌘ Algoritm / Algoritmi
- ⌘ Problema formală de sinteză
- ⌘ Problema formală de analiză
- ⌘ Problema informală

LF \mathcal{A} : C1 - INTRODUCERE

=>

⌘ Cum REZOLVAM ?

⌘ Ce PUTEM / NU PUTEM rezolva?

⌘ Cat de USOR / DIFICIL rezolvam?

LF \mathcal{A} : C1 - INTRODUCERE

□ Clasificarea problemelor:

- ✓ rezolvabile [algoritmice]
 - efectiv (practic)
 - in principiu (teoretic)
- ✓ nerezolvabile;

LF: C1 - INTRODUCERE

⌘ Probleme

- ❑ **difficile pt om dar usoare pt calculator:**
 - ✓ prelucrari banale pt volume mari de date;
- ❑ **usoare pt om dar dificile pt calculator:**
 - ✓ probleme dificil de formalizat:

(datele de intrare pot fi incomplete sau inconsistente; metodele de rezolvare clasice sunt inaplicabile)

ex.: recunoașterea vorbirii, recunoașterea imaginilor, recunoașterea caracterelor, politicile de fidelizare bancara etc.)

- ❑ **difficile pt om si pt calculator:**
 - ✓ probleme caracterizate prin spațiu mare de căutare:
probleme NP dificile: SAT, TSP).

(nu se cunosc algoritmi care să permită rezolvarea lor într-un interval de timp a cărei dimensiune să depindă polinomial de dimensiunea problemei)

ex.: probleme de optimizare liniara/combinatorială de dimensiuni mari, probleme de planificare.

LFA: C1 - INTRODUCERE

Informatica teoretica:

- problema -> functie -> algoritm
- ✓ exista probleme nerezolvabile?
- ❑ exista probleme teoretic rezolvabile dar practic nerezolvabile?

Exemple?

- algoritmul: descriere, caracteristici;
- ✓ problema opririi,
- ✓ problema corespondentei Post;
- ❑ problema turnurilor din Hanoi (Benares),
- ❑ problema satisfiabilitatii formulelor logice;

Progresele tehnologice →

extinderea studiului din sfera teoretica in cea practica =>

3 domenii ale teoriei calculului:

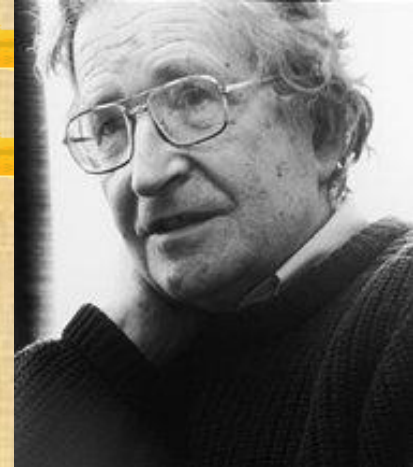
- ✓ teoria limbajelor formale (gramaticilor și automatelor),
- ✓ teoria calculabilitatii propriu-zise,
- ✓ teoria complexitatii.

LFA: C1 - INTRODUCERE

Raspunsul la intrebare →
diverse forme:

1950: *TEORIA LIMBAJELOR FORMALE (GRAMATICILOR ȘI
AUTOMATELOR:*

Avram Noam Chomsky (7 dec 1928 -),
Arto SALOMAA, Grzegorz ROZENBERG,
Solomon MARCUS, Gh. PAUN,
Victor MITRANA, Alex. MATEESCU.

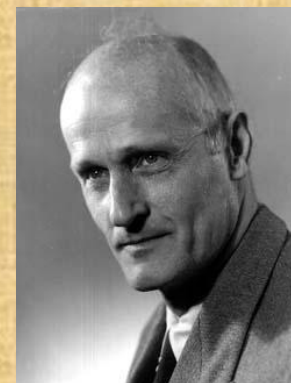


LFA: C1 - INTRODUCERE

Raspunsul la intrebare →
diverse forme:

1930: *TEORIA CALCULABILITATII*:

Alan Mathison TURING (23 iunie 1912 – 7 iunie 1954),
Alonzo CHURCH, Stephen Cole KLEENE,
Kurt GÖDEL,
Emile Leon POST,
N.N. MARKOV.



LFA: C1 - INTRODUCERE

Raspunsul la intrebare →
diverse forme:



1950: TEORIA COMPLEXITATII:

1953: Andrzej Grzegorzczak (22 aug. 1922 – 20 mar. 2014)

1960: Manuel BLUM (26 apr. 1938 -)

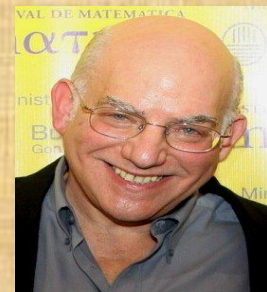
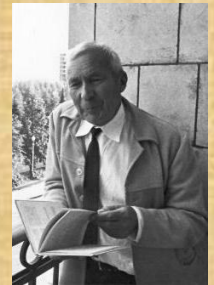
1960: Ray SOLOMONOFF (25 iulie 1926 – 7 dec. 2009) și

1963: Andrei N. KOLMOGOROV (25 apr. 1903 – 20 oct. 1987)

1966: Gregory CHAITIN (15 nov. 1947 -)

1970: Stepan COOK (14 dec 1939 -) și

1971: Leonid A. LEVIN (2 nov. 1948 -)



LF: C1 - INTRODUCERE

Cursul ∈

Semiotica (Teoria comunicarii),
Lingvistica,
Theoretical Computer Science:

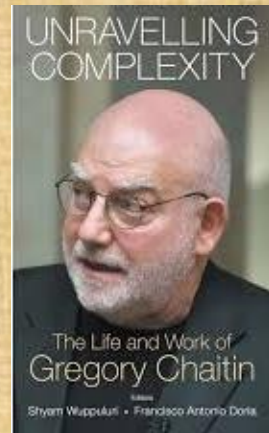


“Theory without practice is useless;
practice without theory is blind”

Roger BACON (1219/20 – c. 1292)

“To me, you understand something only if you can program it.
(You, not someone else!) . . . programming something forces
you to understand it better, it forces you to really understand
it, since **you are explaining it to a machine.**”

Gregory CHAITIN (1947 -).



LFA: C1 - INTRODUCERE

Semiotica =

- = stiinta care studiaza semnele și simbolurile din perspectiva filosofica,
- = se ocupa cu studiul proceselor prin care se formeaza și se ataseaza un inteles semnelor care ne inconjoara;

Strans legata de Teoria comunicarii datorita relatiei triadice (cf. Charles Sanders PEIRCE) dintre

- ✓ semn
- ✓ obiectul (reprezentantul) sau
- ✓ interpretantul sau

Se compune din 3 subdomenii:

- ✓ **sintactica:**
studiaza relatia dintre semnele care compun o anumita structura formală
- ✓ **semantica:**
studiaza relatia dintre semne și lucrurile (obiecte, procese, fenomene) pe care le desemneaza (i.e. “intelesul” semnelor)
- ✓ **pragmatica:**
studiaza relatia dintre semne și utilizatorii lor. →

LFA: C1 - INTRODUCERE

Semiotica (cont.)

Studiază diverse sisteme de semne (lingvistice și non-lingvistice):

- ✓ iconii,
- ✓ indicii,
- ✓ simbolurile nonverbale;

Procese semiotice:

- ✓ de gradul I
- ✓ de gradul II

(ex.: interfetele grafice).

LFA: C1 - INTRODUCERE

Lingvistica =

= stiinta care studiaza limbajul sub 3 aspecte:

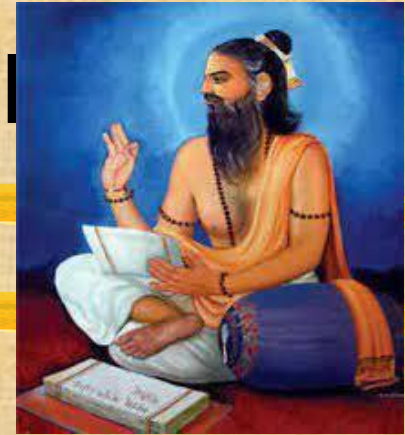
- ✓ forma limbajului (sintaxa),
- ✓ intelesul limbajului (semantica),
- ✓ contextul limbajului (pragmatica);



Primele studii “de lingvistica”:

- ✓ legate de descrierea limbajului:
- ✓ tratatul ***Astadhyayi (Astaka)*** = o gramatica descriptiva a limbii sanskrite,
- ✓ Sanskrit = complet = perfect = limbajul zeilor,
- ✓ structura: 4 capitole cu cate 4 subcapitole fiecare.

LFA: C1 - INTRODUCERE



Lingvistica (cont.)

- ✓ Autorul *Astadhyayi* : Panini
 - ✓ datele biografice: incerte:
 - ✓ unii biografi: 520 î.H., Shalatula (Attock) in actualul Pakistan – 460 î.H., India;
 - ✓ alti biografi: secolele 4, 5, 6 și chiar 7 î.H.,
 - ✓ considerat fondatorul foneticii, fonologiei și morfologiei
 - ✓ considerat un precursor al teoriei limbajelor formale:
 - ✓ propune o structura generativă a gramaticii limbii sanskrite:
 - ✓ substantivele compuse, frazele etc: formate cu ajutorul unor reguli de producție pornind de la aprox. 1700 de elemente fundamentale (substantive, verbe , consoane etc.)
- =>gramatica sanscrită a fost comparată cu Elementele lui Euclid (esențială și aproape nemodificată până azi).

LFA: C1 - INTRODUCERE

Lingvistica (cont.)

- ✓ Panini: considerat un precursor al reprezentarilor
 - ✓ matematice: (**primul care a utilizat litere pentru reprezentarea numerelor**. cf. arheologului indian Pandit Bhagvanlal Indraji – sec XIX)
 - ✓ pentru limbajele de programare: o notatie similara BNF și EBNF
 - <simbol> ::= expresie unde:
 - <simbol> = neterminal (variabila)
 - expresie = una sau mai multe secvente de simboluri terminale și neterminale;
 - ::= operatorul de atribuire (inlocuire)
 - | operatorul care indica posibilitatea de alegere intre mai multe expresii in m. drept;
 - <oferta-curs> ::= <titlu> <cadru_didactic-curs> <cadru_didactic_seminar> <an_universitar>
 - <cadru_didactic_curs>::=<prof_Ilie_Dima>|<prof_Radu_Sava>|<conf_Ion_Dedu>

LFA: C1 - INTRODUCERE

Lingvistica (cont.)

Gramatica =

= un sistem de reguli care guverneaza limbajul folosit de o ***anumita comunitate***;

se refera atat la:

- ✓ formarea și compunerea morfemelor in cuvinte (*morfologia*),
- ✓ formarea și compunerea cuvintelor in propozitii și fraze (*sintaxa*);

dar și la:

- ✓ sunete, semnificatii, gesturi (*fonologia* = modul in care sunetele și gesturile functioneaza impreuna).→

LFA: C1 - INTRODUCERE

Teoria limbajelor formale (TLF) =

= studiaza in principal **aspectele sintactice** ale acestui tip de limbaje
(i.e. structura interna a constructelor tipice)

- a aparut in cadrul Lingvisticii,
- ca instrument de studiere a sintaxei limbajelor **naturale**,

a devenit:

- ⏏ initial: subdomeniu al **Matematicii**,
- ⏏ ulterior: subdomeniu al **Informaticii Teoretice**. →

LFA: C1 - INTRODUCERE

TLF constituie un instrument teoretic aplicat:

i) in *Logica matematica și in Fundamentele Matematicii*, pt:

- ☐ reprezentarea sintaxei sistemelor axiomatice și formalismelor matematice;

ii) in *Informatica*:

✓ in Teoria Limbajelor de Programare pt:

- ☐ definirea gramaticilor,
- ☐ studierea proprietatilor limbajelor de programare;

✓ in Teoria Calculabilitatii pt:

- ☐ definirea formală a conceptului de calculabilitate,
- ☐ definirea formală a notiunii de calculator,
- ☐ definirea și studierea proprietatilor unor modele matematice de calculabilitate (automate, gramatici);

✓ in Teoria Complexitatii Calculului pt:

- ☐ definirea claselor de complexitate intr-o forma care poate fi parsata de masini cu putere computationala limitata.

LFA: C1 - INTRODUCERE

=> ?

- ? Limbaj sau limba?
- ? Ce fel de limbaj?
- ? Ce fel de gramatica?

=> diverse dihotomii:

- A. limbaj formal vs limbaj informal
- B. limbaj formal vs limbaj natural
- C. limbaj formal vs limbaj artificial
- D. limbaj formal vs limbaj construit.

LFA: C1 - INTRODUCERE

Limba, limba, dialect ?

Limbajul

- = capacitatea vietuitoarelor de a invata și utiliza sisteme complexe de semne in scopul comunicarii,
- limbajul uman: obiectul de studiu al lingvisticii;

Limba

- = sistem de comunicare alcătuit din sunete articulate, specific oamenilor, prin care aceștia își exprimă gândurile, sentimentele și dorințele
- este specifică unei comunități umane, istoric constituită,
- este caracterizata prin structură gramaticală, fonetică și lexicală proprie,
- este **o instanță a limbajului** (**langage – langue; language - language!**);
- se estimeaza ca in lume exista:
intre 5.000 și 8.000 de limbi (și aprox. 20 alfabete “clasice”);

<http://www.worldstandards.eu/other/alphabets/>

<http://ro.wikipedia.org/wiki/Ideogram%C4%83>

Dialect

- = grai, jargon;
- = ramificație teritorială a unei limbi, ale cărei trăsături caracteristice (fonetice, lexicale, gramaticale etc.) o deosebesc de limba comună a întregului popor și de alte ramificații teritoriale ale acestei limbi..

LFA: C1 - INTRODUCERE

A. Limbaj formal vs limbaj informal

Limbaj **informal** !!

Limbaj **formal** = o multime de secvente de simboluri care respecta un set (finit) de reguli specifice;

Limbajele formale dispun de:

- un alfabet = o multime finita și nevida de simboluri (litere/cuvinte/semne),
 - o gramatica [generativa], [formala];
- ✓ *Secventele de simboluri preluate din alfabet și formate dupa regulile gramaticii se numesc **cuvinte (fraze)** ale limbajului;*
- ✓ Nu intotdeauna au sens!!

☐ **abb** ----- “Colorless green ideas sleep furiously”

(Noam CHOMSKY: Three Models for the Description of Language, in *I.R.E. Transactions on Information Theory*, Volume IT-2, Proceedings of the Symposium on Information Theory, Sept. 1956, pp.113-123):

propozitie corecta gramatical dar care nu are sens in realitatea cunoscuta;

☐ **eventual** ----- Mirel este un analfabet erudit:

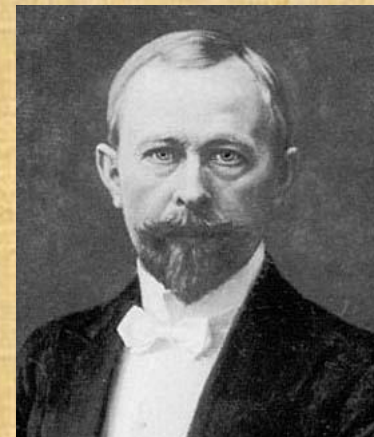
engleza/romana???? ----- propozitie corecta gramatical dar care nu respecta principiile logicii (exprima o contradictie). →

LFA: C1 - INTRODUCERE

A. Limbaj formal vs limbaj informal (cont.)

Istoric:

- ✓ primul limbaj formal:
 - ❑ **Begriffsschrift** (i.e. ~"concept writing", "concept notation") = un sistem formal similar celui dedicat aritmeticii (care a și constituit sursa de inspirație pt Begriffsschrift),
 - ❑ Gottlob FREGE (1848-1925);
 - ❑ 1879,
- ✓ prima gramatică formală:
 - ❑ sistemele de rescriere (Semi-Thue systems),
 - ❑ Axel THUE (1863-1922)
 - ❑ 1900?
 - ❑ 1914: o problemă similară problemei opririi, formulată ca o problemă de apartenență a unui element (cuvânt) la un semigrup finit generat.



LFA: C1 - INTRODUCERE

B. Limbaj formal vs limbaj natural

Limbaj **natural** = un set de secvente de simboluri care respecta un set de reguli specifice;

Clasificare:

- limbaje vorbite (orale) = permit comunicarea orală, prin cuvânt;
- limbaje de semne (bazate pe gestică) = permit comunicarea
 - alternativă (uneori antinomică),
 - în cadrul anumitor comunități (persoane fără auz etc.),

Principii de funcționare:

- ambele tipuri de limbaje naturale contin:
 - un *sistem fonologic* = determină modul în care simbolurile se combină pt a forma secvențe (**cuvinte** și /sau **morfeme**; ex.: **cine**, **va**, **com**, **placea**; **cineva**, **complacea**),
 - un *sistem sintactic* = determină modul în care cuvintele și morfemele se combină pentru a forma propoziții și fraze;
- ambele tipuri de limbaje naturale se bazează pe un proces de *semioză* :
 - simbolurile convenționale primesc o semnificație anume, unanim acceptată în respectiva comunitate.

LFA: C1 - INTRODUCERE

B. Limbaj formal vs limbaj natural (cont.)

Caracteristicile limbajului natural (unele sunt distinctive pt limbajul **uman**):

- independent de canalul de comunicare (poate fi codificat prin scriere normala, braille, morse etc.),
- independent de timp și spațiu (poate descrie evenimente care au loc în alte momente de timp și în alte locații decât cele curente),
- conventional,
- dependent de context,
- recursiv (o frază este formată din alte fraze, numite propoziții etc.),
- ambiguu,
- generativ (dintr-un set finit de elemente simple se poate crea o – potențial – infinitate de elemente complexe, înzestrate cu sens);

Origine:

Africa, aprox. 50.000 ani în urmă.

LFA: C1 - INTRODUCERE

C. Limbaj formal vs limbaj artificial

Limbaj **artificial** =

= un limbaj ale carui lexic, fonetica și gramatica

- au fost create pe baza unei surse unice
- de către un singur creator / grup de creatori
- ca un exercitiu în sine (vocabularul și gramatica se dezvoltă mult mai rapid decât puterea de învățare a “vorbitorilor”);

limbaj artificial = un oximoron:

- un sistem este un limbaj doar dacă există cel puțin 2 vorbitori care îl utilizează pt a comunica idei și concepte;
- un sistem este artificial doar atât timp cât nimeni nu îl folosește pentru comunicarea conceptelor;
- numite și **limbaje internaționale auxiliare**.

LFA: C1 - INTRODUCERE

C. Limbaj formal vs limbaj artificial (cont.)

Exemple:

- **Volapük**, 1879, Johann Martin SCHLEYER: primul “auxlang” cu o oarecare recunoastere internationala,
- **Esperanto**, 1887, Ludwik Lejzer ZAMENHOF,
- **Interlingua**, 1951, International Auxiliary Language Association (data publicarii unui dictionar și a unei gramatici a auxlag.),
- **Eurologo**, 1972, Leslie JONES (combinatie de engleza și spaniola),
- **Klingon**, 1985, Marc OKRAND (pt serialul Star Trek);

Caracteristici:

- scop
 - in sine, nu pentru comunicare,
 - => Esperanto: nu; Volapük: da!
- originalitate,
 - distanta cat mai mare fata de vocabularele existente,
 - => Esperanto, Eurologo: nu; Volapük: da!
- dimensiune;
 - nu se masoara in numar de cuvinte ci in puterea expresiva a vocabularului și gramaticii,
 - limbajele care nu dispun de sisteme de numeratie sau de reguli adecvate anumitor situatii sintactice au o putere expresiva f limitata.

LFA: C1 - INTRODUCERE

D. Limbaj formal vs limbaj construit

Limbaj **construit** =

= un limbaj ale carui lexic, fonetica și gramatica

- au fost create pe baza unei surse unice
- de către un singur creator / grup de creatori
- în scopul expres al asigurării comunicării interumane sau a **simularii** acesteia,

=> limbajul construit diferă de limbajul natural / artificial;

Clasificare:

- **limbaje controlate** = standardizare (simplificare) a unor limbaje naturale în scopul facilitării asimilării lor de către vorbitorii nenativi (ex. Basic English, Simplified Technical English etc.),
- **limbaje proiectate** = create în scopul studierii unui domeniu științific: logică, filosofie, lingvistică etc.,
- **limbajele artistice** = limbaje construite în scopuri estetice (de ficțiune, experimentale, micronationale, personale, ilare etc.),

Prezentăm 2 clase speciale de limbaje construite:

D1) limbajele pentru interacțiunea cu roboții,

D2) limbajele de programare.

LFA: C1 - INTRODUCERE

D. Limbaj formal vs limbaj construit (cont.)

D1) Limbajele pentru interaciunea cu robotii:

Robot Interaction Language (ROILA, 2010)

= primul limbaj vorbit, unificat, creat special pentru comunicarea dintre oameni și mașini, în speta **roboti** (ex. Roomba, Lego Mindstorms NXT);

Caracteristici:

- ❑ ușor de învățat de către om,
- ❑ optimizat pentru recunoașterea de către roboți (algoritmi de *speech recognition*),
- ❑ înlocuiește elementele limbajului natural care îl fac dificil de recunoscut de către roboți (omofoni, conjugări, declinări etc.) cu un vocabular artificial (format din cuvinte frecvente, ușor și similar pronunțate în mai multe limbi) generat de un algoritm genetic;

Proiectat în 2010 la Departamentul de Proiectare pentru Industrie, Universitatea Tehnică din Eindhoven,

Open source.

LFA: C1 - INTRODUCERE

D. **Limbaj formal vs limbaj construit** (cont.)

Vocabularul ROILA:

- provine din Basic English;

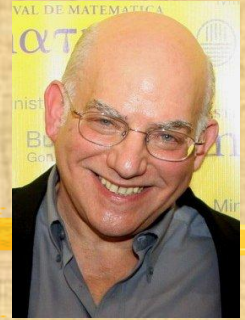
Gramatica ROILA :

- regulata:
 - nu exista exceptii: aceeasi regula se aplica tuturor cuvintelor dintr-o categorie gramaticala;
- izolanta:
 - nu exista prefixe sau sufixe care sa modifice sensul cuvintelor =>
 - exista cuvinte speciale care sunt plasate dupa un cuvant pentru a indica timpul trecut ("jifi") sau numarul plural ("tuji") etc.;

Limbajul ROILA :

- frazele au o structura unica, simpla: subiect-verb-complement,
- exista numai 5 parti de vorbire: substantive, verbe, adjective, adverbe, pronume (eu="pito", tu="bama", el, ea="mona")".

LFA: C1 - INTRODUCERE



D. Limbaj formal vs limbaj construit (cont.)

D2) Limbajele de programare:

“To me, you understand something only if you can program it. (You, not someone else!) . . . programming something forces you to understand it better, it forces you to really understand it, since **you are explaining it to a machine.**”

Gregory Chaitin

∈ clasa limbajelor construite,

∈ clasa limbajelor formale;

proiectate pentru a asigura comunicarea om-masina:

- ✓ masina = calculator / automat,
- ✓ masina = independenta / incorporata;

Limbaj de programare = un limbaj care permite reprezentarea algoritmilor intr-o forma “inteligibila” de catre calculator (inclusiv a directivelor de control al unor periferice ale calculatorului). ->

LFA: C1 - INTRODUCERE

D. Limbaj formal vs limbaj construit (cont.)

Clasificarea limbajelor de programare:

- ✓ imperative / declarative,
- ✓ cod-masina / nivel inalt
- ✓ etc.;

Istoric

- ✓ limbajul pentru razboiul de tesut al lui Jaquard,
- ✓ limbajul pentru planele mecanice,
- ✓ *Plankalkül* (Konrad ZUSE: 1943-1945, Z3),
- ✓ *Short Code* (John MAUCHLEY: 1949, ENIAC),
- ✓ generatiile de limbaje de nivel inalt.

*LF*A: C1 - INTRODUCERE



1. Descrierea cursului
2. Planul cursului
3. **Evaluare**
4. Bibliografie

LFA: C1 - INTRODUCERE

Examen: **fizic**:

aprox. 15 subiecte

1 subiect teorie + 1 problema,

nota finala: media aritmetica a 3 note:

1. examen: subiectul teoretic ;
2. examen: problema
3. media notelor pentru cele 2 teme de casa
(**minim nota 5 la fiecare**)

bonus: activitate “in clasa”.

Obs. Tema de casa: redactata, NU scrisa de mana si scanata!!!

LF \mathcal{A} : C1 - INTRODUCERE



1. Descrierea cursului
2. Planul cursului
3. Evaluare
4. Bibliografie

LFA: C1 - INTRODUCERE

- [Aho et al., 74] **Alfred AHO, John E HOPCROFT, Jeffrey D. ULLMAN**: *The Design and Analysis of Computer Algorithms*, Addison-Wesley Publ. Co., Reading Mass., 1974, II 24220, II 37734
- [Atan. et al., 90] **Adrian ATANASIU, Alexandru MATEESCU**: *Limbaje formale*, TUB, București, 1990, II 36078
- [Denn et al., 78] **Peter J. DENNING, Jack B. DENNIS, Joseph E. QUALITZ**: *Machines, Languages and Computation*, Prentice Hall Inc. Englewood Cliffs, NJ, 1978, II 27675
- [Gium., 04] **Cristian GIUMALE**: *Introducere în analiza algoritmilor; Teorie și aplicații*, Editura Polirom, Iași, 2004 II 40105.

LF: C1 - INTRODUCERE

- [Vide et al., 04] **Carlos MARTÍN-VIDE, Victor MITRANA, Gheorghe PĂUN (Eds.): *Formal Languages and Applications*, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2004, II 40157**
- [Paun et al., 01] **Gheorghe PĂUN, Grzegorz ROZENBERG, Aarto SALOMAA (Eds.): *Current Trends in Theoretical Computer Science*, World Scientific Publ. Co., Singapore, 2001, II 39698**
- [Roze. et al., 97] **Grzegorz ROZENBERG, Aarto SALOMAA (Eds.): *Handbook of Formal Languages*, 3 vols., Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1997, II 39019**
- [Salo, 73] **Aarto SALOMAA: *Formal Languages*, Academic Press, 1973 II 23015.**

