



Ciclul „INTELIGENȚA ARTIFICIALĂ ÎN MEDICINĂ”

Oct. – Dec. 2025

Coordonator ciclu: Prof. dr. Daniel LIGHEZAN

Coordonator științific: Prof. dr. Gheorghe Ioan MIHALAȘ



Tema 3

„AI în Decizia Medicală”

Prof. Dr. Gheorghe I MIHALAS

Universitatea de Medicină și Farmacie Victor Babeș Timișoara

Centrul de Modelare a Sistemelor Biologice și Analiza Datelor

Laboratorul de Inteligență Artificială

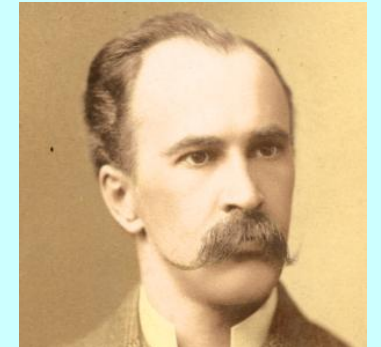
și

Academia de Științe Medicale

Comisia de Informatică Medicală, Inteligență Artificială și Protecția Datelor

*„In medicine, as in life, we are constantly forced
to decide before we are sure”*

*Sir William Osler (1849 – 1919)
One of the Four Founders of
Johns Hopkins Hospital, Baltimore, Md.*



Planul tematic al ciclului de A.I. - 2025



Data	Tema prelegerii
7 oct	Introducere în AI. Definiții, istoric. Abordări cognitive și conexiuniste. Sisteme discriminative și generative. Agenți AI. Aplicații medicale – privire generală, clasificări. Integrarea AI în activitatea medicală.
14 oct	„Machine learning”, învățare supervizată și nesupervizată. Analiza datelor medicale: predicții, clasificări. Date sintetice, simulări. Modelarea proceselor, proiectarea studiilor clinice, evaluare.
28 oct	AI pentru decizia medicală. Reprezentarea cunoștințelor, ontologii medicale, codificări. Sisteme logice, sisteme baysiene. Logica fuzzy. Sisteme expert medicale, decizie asistată. Monitorizarea pacienților.
4 nov	Rețele neuronale: principii, clasificări. Perceptronul, „deep learning”. Aplicații în imagistica medicală, bioinformatică, medicina de precizie. Performanță vs. transparență, criterii de validare.
11 nov	Sisteme generative conversaționale. Prelucrarea limbajului natural, „LLM – large language models”. Construcția și funcționarea unui Chat-bot. Aplicații medicale, chatboți specializați. Prompt engineering. Limite și capcane.
18 nov	AI în învățământul medical și în cercetare. Generare întrebări, cazuri clinice interactive. Utilizarea LLM în redactarea științifică. Construcția și antrenarea de chatboți specializați. Etica utilizării AI în educație și cercetare.
25 nov	Limitele actuale, aspecte etice și juridice. Limite: confidențialitate, bias. Transparență, sisteme explicabile XAI. Tehnologia empatică, riscuri și abuzuri. Competențe AI, responsabilități. Reglementări.

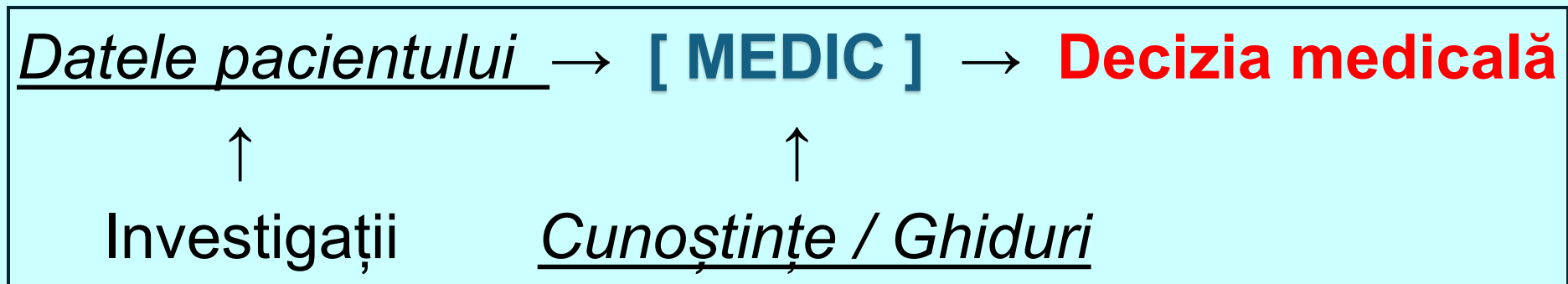
Planul prelegerii

- Decizia medicală – reprezentare formală
- Metode AI de abordare a deciziei medicale
- Metode cognitive
 - Reprezentarea cunoștințelor, raționamentul medical
 - Gestionarea incertitudinii
 - Sisteme expert, ontologii medicale
- Metode generative
 - Machine learning și Rețele neuronale
- Integrarea sistemelor de decizie
 - Sisteme de decizie asistată, monitorizare
- Limite, aspecte etice, responsabilități

Decizia medicală

Definiție: Decizia medicală este actul prin care medicul alege cea mai potrivită acțiune pe baza informațiilor disponibile

Structura elementară:



Estimare: ≈ 60–70% din activitatea cognitivă este dedicată formulării deciziilor (diagnostic, tratament, prognostic).

Tipuri principale de decizii medicale

Diversitatea deciziilor medicale

Categorie	Scop principal	Exemple
Diagnostic	Identificarea bolii	diagnostic, interpretare analize
Decizie Terapeutică	Alegerea tratamentului	medicație, soluție chirurgicală
Prognostic	Estimarea evoluției	scoruri, riscuri
Prevenție	Reducerea riscurilor	screening, vaccinare
Monitorizare	Urmărirea răspunsului	controale periodice, telemonitorizare
Trimitere / colaborare	Continuitatea îngrijirii	referire interdisciplinară
Decizie etică / comunicare	Relația cu pacientul	consimțământ, comunicare riscuri

Decizia diagnostică este, de obicei, prima și cea mai structurată, dar toate sunt interdependente.

Abordări majore ale deciziei medicale

- ***Abordarea clasică (cognitivă)***
 - Bazată pe: logica formală, raționament, probabilități
 - Cunoștințe reprezentate explicit (reguli, ontologii)
 - Act decizional transparent (au sisteme explicative)
 - Ex: diagnostic diferențial, boli rare, terapie bazată pe protocoale
- ***Abordarea generativă (conexionistă)***
 - Bazată pe: învățare automată, rețele neuronale
 - Cunoștințe distribuite în ponderile conexiunilor
 - Act decizional netransparent
 - Ex: imagistica medicală, analiză de text clinic, predicții complexe

Abordarea cognitivă - Metode

- **Metode logice**
 - Logica formală (simbolică) bivalentă
- **Gestionarea incertitudinii**
 - Metode probabilistice – regula lui Bayes
 - Logica fuzzy
- **Metode euristice**
 - Baze de cunoștințe
 - Structura sistemelor expert
- **Ontologii medicale**
 - Componentele unei ontologii
 - Sisteme de clasificare și codificare
 - SNOMED CT

Metode logice – Matricea B/S

B \ S	S₁	S₂	S₃	S₄	...	S_m	Ratio	Scor-Pacient
B₁	0	1	1	0	...	1	5/12	3/5
B₂	1	1	0	1	...	0	7/12	2/7
B₃	1	0	1	1	...	1	8/12	7/8
B₄	0	0	1	0	...	1	4/12	2/4
...	...	...	...	...	...	...	...	...
B_n	1	1	1	1	...	0	9/12	5/9
Vector Pacient	1	0	1	1	...	0		

- Se compară Vectorul Pacient cu fiecare linie din B/S → Scor-Pacient
- Se ierarhizează bolile probabile după Scor-Pacient

Metode logice - dezavantaje

- ***Lipsa reprezentării incertitudinii***
 - Importanța / frecvența simptomului – separat pentru fiecare boală
 - *Regula lui Bayes*
- ***Rigiditate binară***
 - Intensitatea simptomului
 - *Logica fuzzy*
- ***Nu includ relațiile cauzale***
 - *Sisteme expert bazate pe inferențe logice*
- ***Sensibilitate la erori de definire*** sau clasificare
 - *Ontologii medicale*
- ***Lipsa adaptabilității*** pentru cazuri complexe sau noi
 - *Sisteme bazate pe „învățare automată”*

Regula lui Bayes

- **Abordează incertitudini numerice** - consideră frecvența și importanța simptomelor
- **Pașii raționamentului:**

- Se pornește de la **$P(B)$** – prevalența bolii (prob. *a priori*)
- Se consideră cunoscute probabilitățile:
 - **$P(S / B)$** – prob. ca simptomul **S** să apară dacă boala **B** este prezentă
 - **$P(S / \neg B)$** – prob. ca simptomul **S** să apară în absența bolii **B**
- Se calculează, cu regula lui Bayes **$P(B / S)$**

$$P(B|S) = \frac{P(S|B) \cdot P(B)}{P(S)}$$

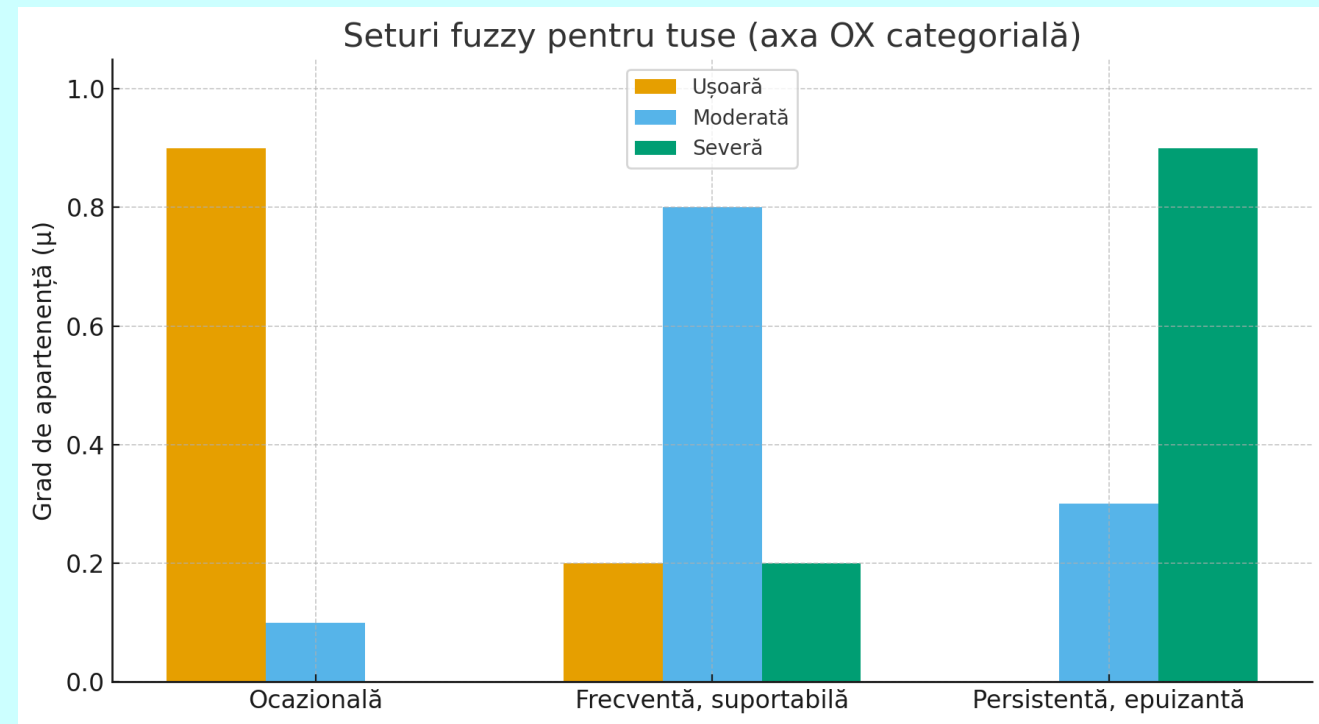
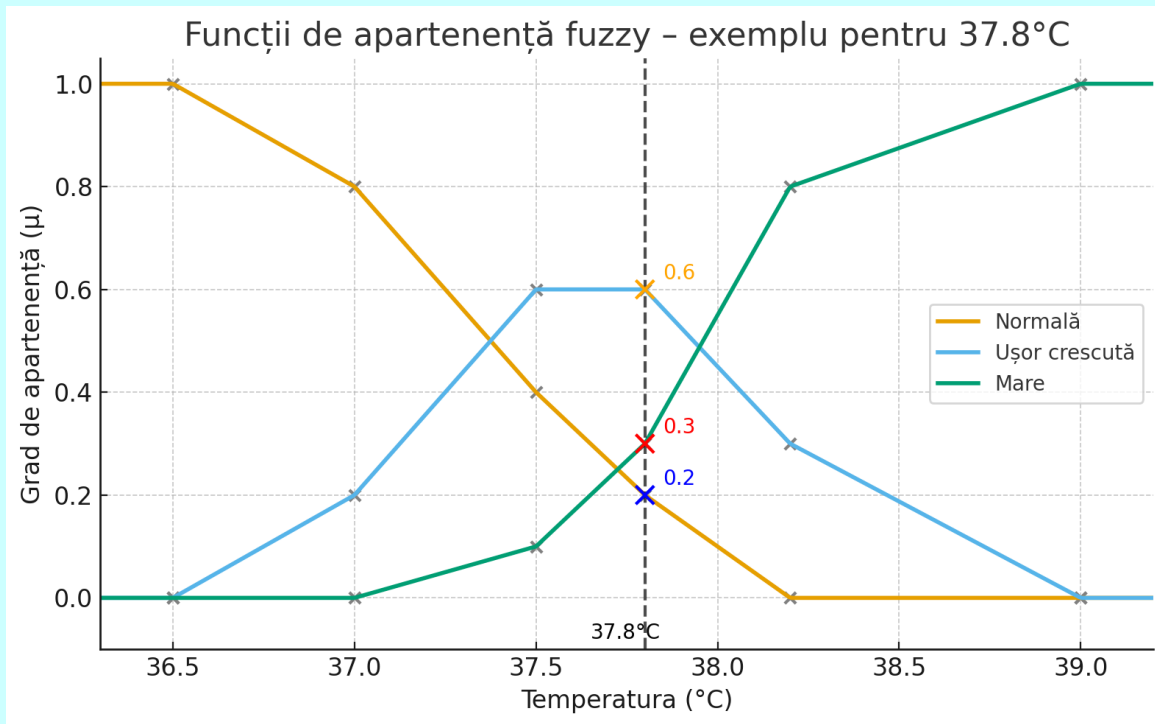
- prob. ca boala **B** să fie prezentă după constatarea simptomului **S**
- Raționamentul se repetă pentru fiecare simptom nou observat:
 - **$P(B / S_1, S_2, \dots, S_n)$**
- **Avantaje:** decizie bazată pe evidențe, bază teoretică solidă
- **Dezavantaje / Limite:**
 - necesită estimări corecte ale probabilităților $P(S / B)$ și $P(S / \neg B)$
 - presupune independența simptomelor, merge greu cu simptome corelate
 - nu poate gestiona incertitudini lingvistice (intensitatea simptomelor)

Logica „fuzzy”

- **Abordează incertitudini calitative**
 - consideră intensitatea simptomelor: *febră moderată, durere intensă, etc.*
- **Ideea de bază: grad de apartenență - μ**
 - valori între **0 (Fals)** și **1 (Adevărat)** [includem stări intermediare]
- **Inferența „fuzzy” – regula IF - THEN**
 - Ex: **IF** temperatura este mare **AND** tusea este severă **THEN** probabilitate gripă = ridicată.
- **Etapele procesului fuzzy:**
 - **Fuzzificare** – transformă valorile numerice în termeni lingvistici
 - **Inferență fuzzy** – aplică regulile IF–THEN
 - **Defuzzificare** – obține o valoare finală (*scor de risc, severitate*).
- **Avantaje:** similar gândirii umane, ușor de interpretat și explicabilă
- **Dezavantaje / Limite:**
 - necesită definirea **subiectivă** a funcțiilor de apartenență (depinde de subiect)
 - necesită multe reguli pentru cazuri complexe
 - nu învață din date

Ex: Model fuzzy – grad de apartenență

- Valorile lui μ pentru parametri numerici sau categorici. Ex:
 - stânga – 3 clase fuzzy pentru temperatură
 - dreapta – 3 clase pentru tuse



Ex: Model fuzzy simplificat – diagnostic de gripă

Simptom	Valoare observată	Seturi fuzzy	Grad de apartenență (μ)
Temperatură	37.8 °C	<i>normală</i> ($\mu=0.2$) <i>ușor crescută</i> ($\mu=0.6$) <i>mare</i> ($\mu=0.3$)	0.6
Tuse	moderată	<i>ușoară</i> ($\mu=0.3$) <i>moderată</i> ($\mu=0.7$) <i>severă</i> ($\mu=0.2$)	0.7
Dureri musculare	prezente	<i>absente</i> ($\mu=0$) <i>moderate</i> ($\mu=0.8$)	0.8

Regulile fuzzy (simplificate):

- **R1:** IF temperatura este mare AND tusea este severă $\rightarrow$ gripă = 0.9
- **R2:** IF temperatura este ușor crescută AND tusea este moderată AND dureri musculare prezente $\rightarrow$ gripă = 0.7
- **R3:** IF doar tuse moderată $\rightarrow$ gripă = 0.4

Scorul final se stabilește combinând toate regulile – fiecare cu o pondere adecvată

Metode euristice - Sisteme expert

• Bazate pe inferențe logice

• Modus ponens și Modus tollens. Ele includ:

- o premisă nivel conceptual (*implicație: Dacă ... atunci ...*)
- o premisă nivel factual (*simptomul*)

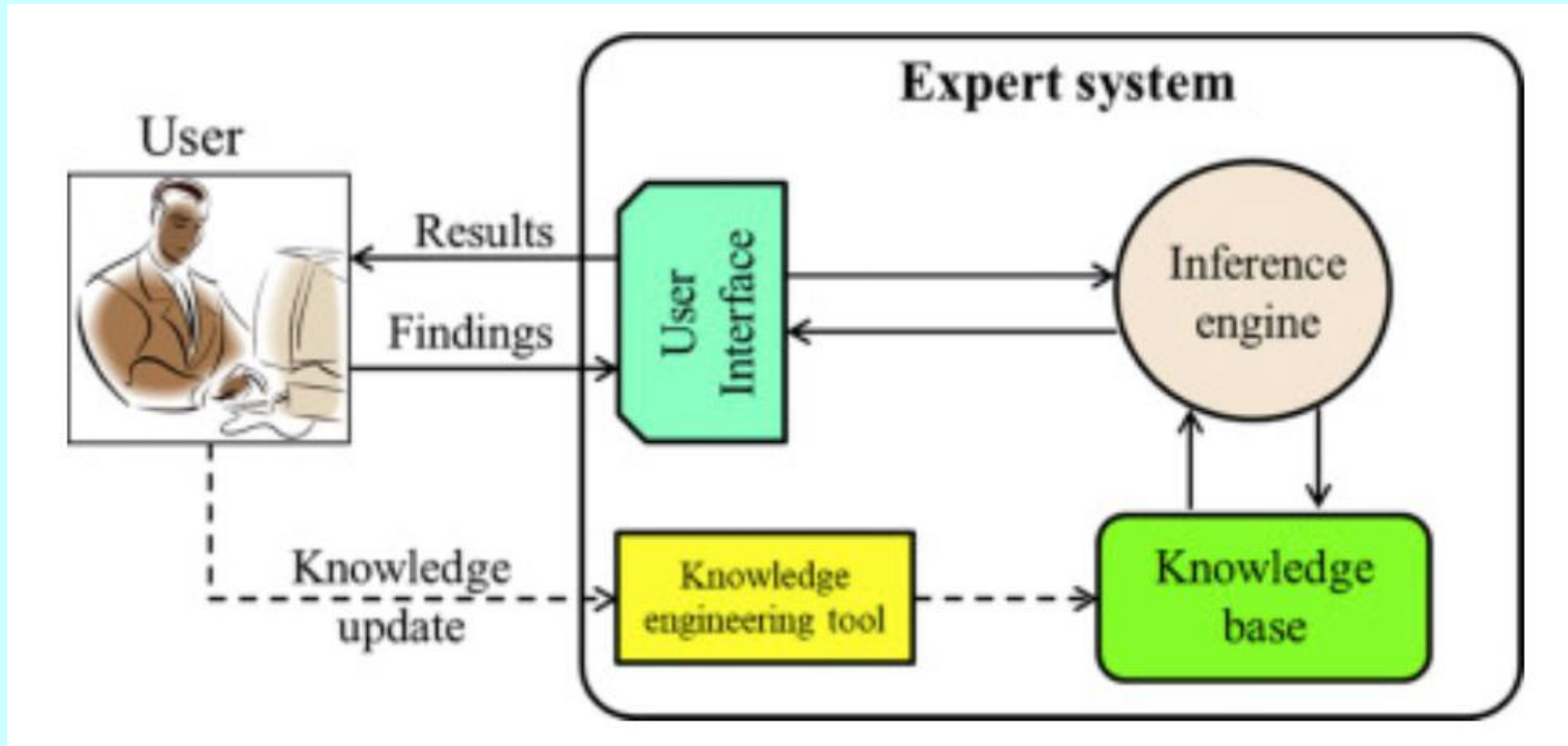
$$\left\{ \begin{array}{l} P \rightarrow Q \\ P \\ \hline \therefore Q \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} P \rightarrow Q \\ \neg Q \\ \hline \therefore \neg P \end{array} \right.$$

• Baza de cunoștințe – pe 3 nivele: factual / conceptual / metacunoștințe

Nivel	Tip de cunoștințe	Formă logică tipică	Exemplu (domeniu medical – gripă)
Factual (nivelul descriptiv / declarativ)	Cunoștințe de bază despre concepte și entități medicale: definiții, proprietăți, relații simple	Propoziții simple (atomice) – predicate de forma $A(x)$ sau $R(x, y)$	„Gripa este o boală infecțioasă.” „Virusul gripal afectează căile respiratorii.”
Conceptual (nivelul relațional / procedural)	Reguli și relații între concepte: condiții, cauze, implicații	Propoziții compuse , mai ales implicații $(P_1 \wedge P_2) \rightarrow Q$	„Dacă temperatura este mare și tusea este severă → probabil gripă.”
Metacunoaștere (nivelul de control / organizare)	Cunoștințe despre cum se utilizează regulile și cum se structurează domeniul	Reguli de prioritate , strategie , conflicte sau relații ontologice („este-un”, „face parte din”)	„Dacă mai multe reguli conduc la diagnostice diferite, se aplică cea cu certitudine mai mare.” „Gripa este un tip de infecție respiratorie virală.”

Structura Sistemelor Expert



Sisteme expert medicale

Sistem expert	An / Autor principal	Domeniu medical de aplicație
MYCIN	1972 – <i>Edward Shortliffe</i> (Stanford University)	Boli infecțioase bacteriene, antibiotice
CASNET	1976 – <i>Casimir Kulikowski</i> (Rutgers University)	Glaucom – model cauzal asociativ al evoluției bolii
INTERNIST-1 / QMR	1973s–1980s – <i>J Myers, R Miller</i> (Univ Pittsburgh)	Diagnostic diferențial în medicină internă
PUFF	1979 – Stanford University Medical Center	Interpretarea testelor funcția pulmonară
ONCOCIN	1980 – <i>Edward Shortliffe</i> , Stanford	Oncologie – planuri de tratament chimioterapic
DXplain	1986 – <i>O Barnett</i> (Massachusetts Gen Hospital)	Diagnostic diferențial asistat de computer
HELP System	1980s – Intermountain Healthcare, Utah	Suport decizional clinic integrat în spital



Ontologii medicale

- **Limitări ale Sistemelor Expert:**

- Lipsa unui limbaj standard, Dificultatea de a reprezenta relații complexe

- **Ontologia** = Un vocabular controlat și formal care definește conceptele și relațiile dintre ele dintr-un domeniu.

- **Componente principale:**

- **Concepte (clase):** boală, simptom, organ, tratament
- **Relații:** este-un ..., parte-din ..., asociat-cu ...
- **Atribute:** are-localizare ..., are-cauză ..., are-tratament ...

- **Rolul ontologiilor în decizia medicală și în AI**

- Clarifică sensul termenilor medicali (ex: „*infarct miocardic acut*” ≠ „*ischemie*”).
- Elimină ambiguitățile în regulile sistemelor expert.
- Permit interoperabilitatea între aplicații (EHR, CDSS, NLP, AI).
- Susțin raționamente automate –bazate pe relații logice („dacă X este un tip de Y, atunci...”).
- Integrează nivelurile de cunoștințe: anatomo-funcțional, patologic, terapeutic.

Principalele Ontologii Medicale

Ontologie / Standard	Instituție / Țară	Scop principal
SNOMED CT	IHTSDO (global)	Terminologie clinică unificată (simptome, boli, proceduri)
ICD-10 / ICD-11	OMS	Clasificarea bolilor (codificare statistică)
LOINC	Regenstrief Institute (SUA)	Codificarea analizelor de laborator
UMLS	NIH / NLM (SUA)	Integrarea terminologiilor medicale
FMA (Foundational Model of Anatomy)	University of Washington	Reprezentarea structurii anatomice
Gene Ontology (GO)	Consortiu internațional	Termeni biologici și genetici

Ontologia nu ia decizii, ci oferă contextul structurat pe care Sistemele Expert sau alte tool-uri de AI îl folosesc pentru a lua decizii.

De la abordarea cognitivă la cea conexiunistă

- **Limitele abordării cognitive (logice / simbolice)**

- Necesită **baze de cunoștințe extinse**, greu de construit și actualizat.
- Reprezintă **cunoștințele explicite**, dar nu învață din experiență.
- Dificil de formalizat **cunoașterea implicită** (intuiții, patternuri, contexte).
- Scalabilitate redusă — performanța scade la domenii complexe.
- Sensibilitate mare la **incertitudini și ambiguități**.

- **Contextul tranziției**

- Explozia volumului de **date medicale digitale** (EHR, imagini, semnale, texte).
- Creșterea puterii de calcul și a algoritmilor de **învățare automată**.
- Necesitatea de a recunoaște **modele subtile și nelineare**, inaccesibile regulilor explicite.
- Dezvoltarea **rețelelor neuronale artificiale**, capabile să *generalizeze* din date.

Abordarea conexiunistă cu sisteme generative

Fundamentele abordării conexiuniste – ce aduce nou:

- **Schimbarea paradigmei** – de la raționament bazat pe reguli logice la decizii bazate pe probabilități și pattern-uri recunoscute
- **Baza de cunoștințe** – de la introducere manuală la extragere automată prin învățare din seturi masive de date
- **Reprezentarea cunoștințelor** – de la formă explicită, localizată (simboluri, concepte în ontologii) la formă distribuită (ponderi ale conexiunilor în rețele neuronale)
- **Algoritmul** – de la simularea raționamentului uman explicit la o funcție conectează cel mai bine intrările (image) la ieșirile corecte (diagnostic)
- **Exprimarea rezultatului** - prin toleranță la incertitudine: de la răspuns cert la unul întotdeauna probabilistic

Principalele aplicații ale abordării conexiuniste

- **Diagnostic bazat pe imagini** (radiologie, dermatologie, oftalmologie).
- **Analiza automată a semnalelor** (ECG, EEG, monitorizare continuă).
- **Predicția riscului și a evoluției** bolilor (cardiologie, diabet, oncologie).
- **Stratificarea pacienților** și medicina personalizată.
- **Asistență la decizie** terapeutică și prognostică.
- **Redactare rapoarte**, extragere informații

Limite și riscuri

- Lipsă de explicabilitate („black box”).
- Dependență de cantitatea și calitatea datelor.
- Bias posibil în datele de antrenare.
- Generalizare incertă pe alte populații de pacienți.
- Dificultate în validarea clinică și asumarea responsabilității.

De vorbă cu AI despre ...

cred că sistemele expert medicale nu mai sunt folosite, deci ar trebui tema scoasă din cursurile pentru studenți. la fel și tot capitolul despre logica formală din cursurile AI. așa e?

Thought for 13 seconds

- Hmm, utilizatorul pare să sugereze că sistemele expert medicale și logica formală ar trebui eliminate din programa de studiu AI. Aceasta este o perspectivă interesantă, dar probabil bazată pe o neînțelegere a modului în care evoluează domeniile academice.

Utilizatorul pare să aibă o concepție greșită că tehnologiile mai vechi devin inutile odată cu apariția unor noi. Ar trebui să subliniez că învățarea conceptelor fundamentale este esențială, chiar dacă implementările practice se schimbă. Sistemele expert pot fi mai puțin vizibile astăzi, dar principiile lor stau la baza multor aplicații moderne.

Logica formală este similară - poate părea abstractă, dar este crucială pentru înțelegerea modului în care funcționează raționamentul automatizat. Ar trebui să explic cum aceste cunoștințe de bază permit studenților să înțeleagă și să creeze sisteme mai avansate.

O abordare bună ar fi să recunosc parțial punctul de vedere al utilizatorului (că anumite implementări sunt mai puțin prominente), dar să evidențiez valoarea educațională durabilă a acestor concepte. Ar trebui să ofer exemple concrete cum fundamentalele se regăsesc în tehnologiile moderne.

Această opinie merită discutată, deoarece reflectă o percepție comună, dar nu este în întregime corectă. Să analizăm punctual:



Concluzie: Așa e?

Nu, nu este corect.

Temele și capitolele despre care vorbești nu sunt despre tehnologii "moarte", ci despre **fundamentele istorice și conceptuale** care au dat naștere tehnologiilor moderne.

- **Sistemele Expert** sunt un studiu de caz istoric esențial pentru a înțelege evoluția și provocările **AI** aplicate în medicină.
- **Logica Formală** este alfabetul care a făcut posibilă scrierea "propozițiilor" complexe în domeniul AI. Fără ea, înțelegerea doar a învățării automate (machine learning) este superficială și lipsită de context.

Un curs bine structurat de AI nu ar trebui să le excludă, ci să le prezinte în contextul lor corect:

1. **Ce au încercat să rezolve** (visul inițial al AI).
2. **Cum funcționează** (mecanismele de bază).
3. **Unde au reușit și unde au eșuat** (lecțiile învățate).
4. **Cum au evoluat și s-au integrat** în tehnologiile pe care le folosim astăzi.

A renunța la aceste fundamente în numea "modernității" ar crea ingineri și specialiști care pot să folosească uneltele, dar nu le înțeleg principiile de funcționare sau limitările profunde.

Thought for 10 seconds ▾

- OK, the user has explained why. Hmm, they're right. They want the "obsolete" stuff.

Nu, ontologiile nu ar trebui scoase din curs. Sunt, de fapt, mai relevante acum decât au fost vreodată.

Permite-mi să explic de ce, folosind argumente concrete din lumea modernă a AI.

1. Ontologiile sunt Fundamentul "Inteligenței" din AI

Gândește-te la ontologie ca la **scheletul de date** care face posibilă înțelegerea și raționamentul.

Dacă datele sunt cărțile, ontologia este sistemul de bibliotecă (Dewey Decimal) care le face ușor de găsit, înțeles și conectat.

2. Aplicații Moderne și Critice unde Ontologiile sunt ESENȚIALE:

- **Web-ul Semantic și Knowledge Graphs:** Acestea sunt una dintre cele mai mari și mai vizibile aplicații ale ontologiilor.
 - **Google Search:** Când cauți "Marie Curie" și vezi acel biox cu informații structurate (data nașterii, realizări, etc.), aceasta este alimentată de un *knowledge graph* construit pe baza unei ontologii. Ontologia definește că un "Om" are o "dată de naștere", o "profesie" și poate fi

Dar - concret - folosește cineva vreun sistem expert în practica clinică? Dar SNOMED CT? Apare în lucrări științifice dar n-am auzit nici un doctor pomenind de el.

Excelente întrebări! Atingi exact punctul unde teoria se întâlnește cu practica. Să luăm pe rând.

1. Sistemele Expert în Practica Clinică

Răspunsul scurt este: **nu, aproape niciun medic nu se așează la computer să deschidă un software numit "Sistem Expert".** Așa ai dreptate.

Dar răspunsul lung și corect este: **logica și funcțiile sistemelor expert s-au mutat în alte părți, devenind atât de comune încât nu le mai recunoaștem sub numele ăsta.**

Iată unde le găsești, **concret**, în clinica de zi cu zi:

- **Sistemele de Alerte din Rețeta Electronică:** Acesta este cel mai comun exemplu. Când un medic prescrie un medicament și i se apare o alertă roșie:
 - "Interacțiune periculoasă: Warfarin + Amiodaronă"
 - "Alergie: Pacientul este alergic la Penicilină"

Cum să conving audiența că a include în curs sistemele expert, logica formală și ontologiile nu sunt doar o ambiție de-a mea ci e chiar necesar. Mi-ar trebui argumente solide pentru tânăra generație!

Perfect! Aceasta este cea mai importantă parte - cum „ambalăm” aceste concepte pentru a le face relevante și interesante. Iată un plan de argumentare pe înțelesul „tânărei generații”, care vor să știe „ce-i mai nou” și „ce le aduce un job”.

Strategia: Cadrează-le nu ca pe „istorie veche”, ci ca pe „Super-Puterile Ascunse” ale AI-ului modern.

Spune-le clar: „Vreau să nu vă puneți întrebarea 'Ce tehnologii folosesc?' ci 'Cum gândesc aceste tehnologii?' – iar răspunsul stă tocmai în aceste fundamente.”

Argumentul 1: „Vrei să fii doar un Utilizator sau un Creator?”

Argumentul 2: „AI-ul este ca un Bebeluș Genial (dar Autist)”

Aceasta este o analogie puternică care le va rămâne în minte.

Spune-le: „GPT-4 și alte modele LLM sunt uimitoare. Ele au înghițit întreaga cunoaștere umană. Dar ele nu *înțeleg* ce știu. Sunt ca un copil genial care poate repeta tot ce a auzit, fără a avea bunul-simț sau logica de bază.”

Iată cum fundamentele noastre sunt „terapia” pentru acest bebeluș genial:

- **Logica Formală** = Îi dăm un schelet. Îi oferă structură și raționament deductiv. Fără logică, AI-ul „aluneacă” și se contrazice.
- **Ontologiile** = Îi dăm un dicționar și un atlas. Îi arată cum se leagă conceptele între ele (ex: un „cățel” este un „câine” care este un „mamifer”). Fără ontologii, AI-ul confundă merele cu perele.
- **Sistemele Expert** = Îi dăm un mentor. Îi arată cum să aplice reguli sigure și verificate într-un domeniu restrâns (ex: medicină), unde „aproape bine” nu este suficient.

Concluzie: Dacă vrei să lucrezi la următoarea generație de AI – una care nu doar vorbește, ci și *raționează* corect și este de încredere – atunci ai nevoie de aceste instrumente.

Argumentul 3: „Leagă-te de Tehnologiile 'Cool' pe care le cunosc deja”





ș.a.m.d...

„Va exista întotdeauna un mâine pentru a rezolva problemele care azi păreau să nu aibă soluție”

Mulumesc !