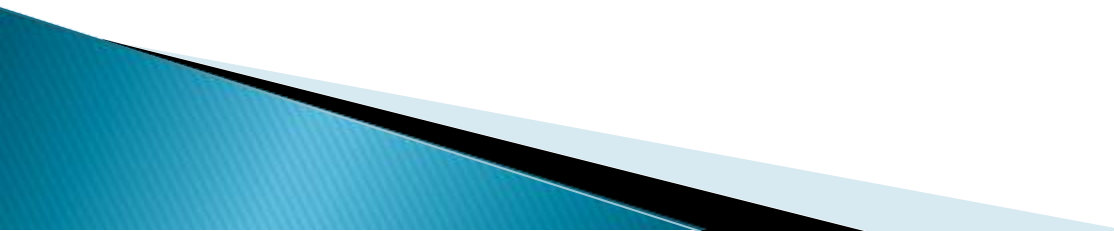


# Valószínűségi döntéstámogató rendszerek Bevezetés

Antal Péter

[antal@mit.bme.hu](mailto:antal@mit.bme.hu)

# Áttekintés

- Információk a kurzusról
  - Döntések a világunkban
  - Racionális döntéstámogatás: „bayesi” döntéselmélet
  - Demo
- 

# Alapinformációk

- Honlap
  - <http://www.mit.bme.hu/oktatas/targyak/vimima06>
- Tárgyfelelős és oktató
  - Antal Péter (~peter), [antal@mit.bme.hu](mailto:antal@mit.bme.hu)
- Időpont, helyszín
  - Kedd, 8.30–10.00, IE.224
  - „PÁRATLAN” HETEKEN: szerda, 10.15–11.45, IE.226

# Követelmények

- Kéthetente „kis” gyakorlati feladatot kell megoldani és 10 napon belüli határidőre benyújtani.  
A félév során 8. héten egy „nagy” átfogó házi feladatot adunk ki, amelyet a félév végéig kell benyújtani.
- A félév során 13. héten egy zárthelyi dolgozatot kell megírni.
- A félévközi jegy megszerzésének a feltétele a 6 kis feladatból legalább négynek és a nagy házi feladatnak határidőre, elfogadható szinten történő beadása és a zárthelyi elfogadható szinten történő teljesítése.
- A félévvégi jegy a félévközi kisfeladatok jegyei (30%), a nagy házi feladat jegye (30%) és a zárthelyi jegyének (40%) alapján kerül megállapításra.
- A kis feladatok "tömeges" pótlása/javítása nem lehetséges. A nagy házi feladat és a zárthelyi a pótlási héten pótolható.
- Esetleges konzultációra a páros hetek gyakorlat ideje javasolt.

# A tárgy tematikája

- **1.–4. Egyszerű döntési hálók**
  - Naív Bayes hálók és kiterjesztéseik
  - Rejtett Markov Modellek alkalmazásai és kiterjesztéseik
- **5.–6. Becslés és döntéelmélet**
  - Bizonytalanság és optimális döntések
  - Emberi döntéshozatal
- **7.–11. Általános valószínűségi gráf alapú modellek**
  - Bayes hálók, Markov hálók
  - Oksági modellek
  - Következtetés
- **12.–14. Bayes tanulás**

# Tankönyvek, jegyzetek, segédanyagok

- Tankönyvek
  - S. Russell and P. Norvig Artificial Intelligence: A Modern Approach Prentice Hall, 2nd edition ==> 4th edition
    - MI Almanach: <https://mialmanach.mit.bme.hu/>
  - P. Antal et al.: Valószínűségi döntéstámogató rendszerek, 2014
- Szoftver
  - BayesCube, szoftver+felhasználói kézikönyv
    - Linux, Java8
    - Win8
    - <http://bioinformatics.mit.bme.hu/>
  - R
    - LearnBayes

# További könyvek

- Valószínűségi gráfos modellek, Bayes-hálózatok
  - J. Pearl: „**Probabilistic Reasoning in Intelligent Systems: Networks of Plausible Inference**”, 1988
  - Pearl, Judea. *Causality*. Cambridge university press, 2009
  - P., Judea, D. Mackenzie. *The book of why: the new science of cause and effect*. Basic Books, 2018.
  - Cowell, R.G. – Dawid, A.P. – Lauritzen, S.L. – Spiegelhalter, D.J.: „**Probabilistic Expert Systems**”, 1999
  - Friedman, N. – Koller, D.: **Probabilistic Graphical Models**, The MIT Press, 2009
- Statisztikai következtetések és bayesi döntéelmélet
  - A.Gelman, J.B.Carlin, H.S.Stern, D.B.Dunson, A.Vehtari, D.B. Rubin: **Bayesian Data Analysis**, Chapman and Hall\_CRC, 2014
- Valószínűségi mintafelismerés, gépi tanulás és mesterséges intelligencia
  - D., Luc, László Györfi, and Gábor Lugosi. **A probabilistic theory of pattern recognition**, Springer, 2013
  - Christopher M. Bishop–**Pattern Recognition and Machine Learning**, Springer (2007).pdf
  - Kevin P. Murphy: **Machine Learning\_ A Probabilistic Perspective**, The MIT Press (2012)
  - Kevin B. Korb, Ann E. Nicholson: **Bayesian Artificial Intelligence**, Second Edition–CRC Press, 2010
- Információelmélet, statisztikai következtetés
  - Cover, Thomas M., and Joy A. Thomas: *Elements of information theory*, John Wiley & Sons, 2012.
  - T.Hastie, R.Tibshirani, J.Friedman: **The Elements of Statistical Learning\_ Data Mining, Inference, and Prediction**, 2008
- Emberi döntéshozatal
  - Simon, Herbert A. *The sciences of the artificial*. MIT press, 2019.
  - Kahneman, Daniel. *Thinking, fast and slow*. Macmillan, 2011

# Decisions&consequences

- Human decisions
  - Daily: 700; 3000; 35 000
  - Lifetime: ~10 millions – 1 billions
- Decisions under uncertainty
  - Uncertain facts (uncertain world?)
  - Uncertain values (good&bad?)
  - Uncertain actions ("free will"?)
  - Uncertain thoughts (counterfactuals? regrets?)
- Rationality? Optimality?
- Automated decisions
  - Health care
  - Games: chess, Watson, GO
  - Self-driving cars...
  - Turing-test, consciousness-test(?)



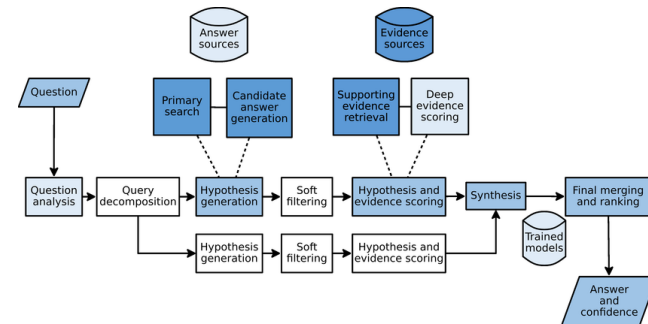
# Artificial general intelligence

- Lex Friedman: MIT 6.S099: Artificial General Intelligence
  - <https://agi.mit.edu/>
- Sean Carroll's Mindscape Podcast
  - <http://www.preposterousuniverse.com/podcast/>
- Sam Harris: Making sense
  - <https://samharris.org/podcast/>

# IBM Watson (2011): Jeopardy

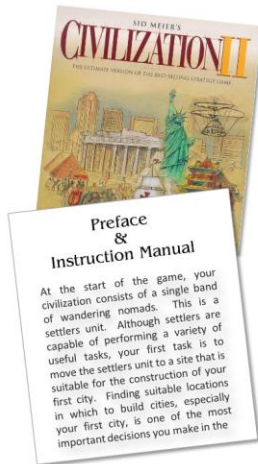
- **IBM Grand Challenge**

- 1997: **Deep Blue** wins human champion G. Kasparov.
- 1999-2006<: **Blue Gene**, protein prediction
- 2011: **Watson**
  - Natural language processing
  - inference
  - Game theory



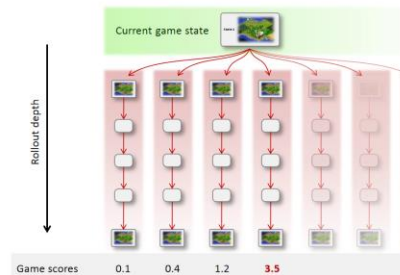
# Machines playing Civilization

- Teaching + Learning: learning from manual and from practice



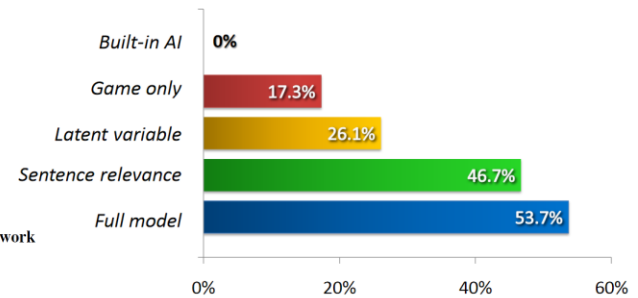
## Monte-Carlo Search

Try many candidate actions from current state & see how well they perform.



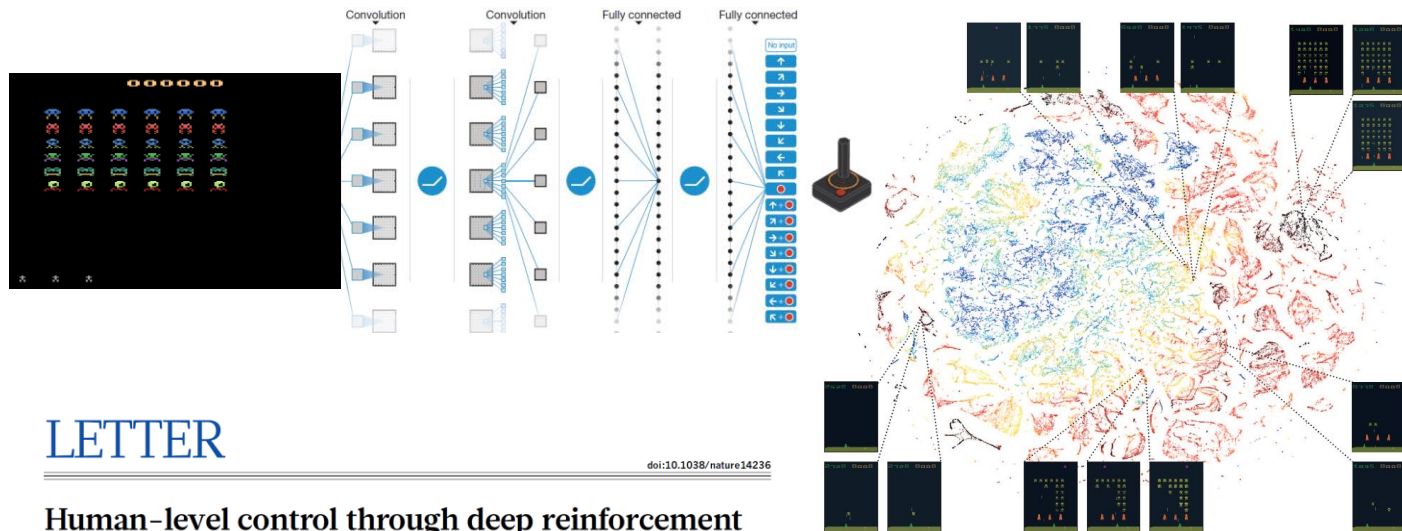
## Learning to Win by Reading Manuals in a Monte-Carlo Framework

S.R.K. Branavan      David Silver\*      Regina Barzilay  
Computer Science and Artificial Intelligence Laboratory      \* Department of Computer Science  
Massachusetts Institute of Technology      University College London  
{branavan, regina}@csail.mit.edu      d.silver@cs.ucl.ac.uk



Proportion of wins

# Playing computer games



LETTER

doi:10.1038/nature14236

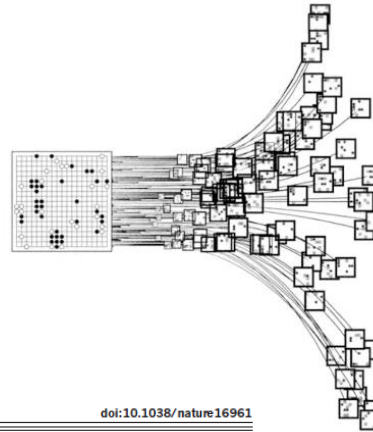
## Human-level control through deep reinforcement learning

Volodymyr Mnih<sup>1\*</sup>, Koray Kavukcuoglu<sup>1\*</sup>, David Silver<sup>1\*</sup>, Andrei A. Rusu<sup>1</sup>, Joel Veness<sup>1</sup>, Marc G. Bellemare<sup>1</sup>, Alex Graves<sup>1</sup>, Martin Riedmiller<sup>1</sup>, Andreas K. Fidjeland<sup>1</sup>, Georg Ostrovski<sup>1</sup>, Stig Petersen<sup>1</sup>, Charles Beattie<sup>1</sup>, Amir Sadik<sup>1</sup>, Ioannis Antonoglou<sup>1</sup>, Helen King<sup>1</sup>, Dharshan Kumaran<sup>1</sup>, Daan Wierstra<sup>1</sup>, Shane Legg<sup>1</sup> & Demis Hassabis<sup>1</sup>

# Go:



- Google DeepMind
- Monte Carlo tree search
- 2016: 9 dan
- 2017: wins against human champion



## ARTICLE

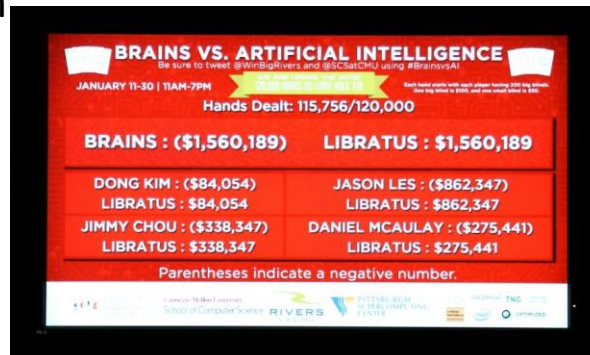
doi:10.1038/nature16961

# Mastering the game of Go with deep neural networks and tree search

David Silver<sup>1\*</sup>, Aja Huang<sup>1\*</sup>, Chris J. Maddison<sup>1</sup>, Arthur Guez<sup>1</sup>, Laurent Sifre<sup>1</sup>, George van den Driessche<sup>1</sup>, Julian Schrittwieser<sup>1</sup>, Ioannis Antonoglou<sup>1</sup>, Veda Panneershelvam<sup>1</sup>, Marc Lanctot<sup>1</sup>, Sander Dieleman<sup>1</sup>, Dominik Grewe<sup>1</sup>, John Nham<sup>2</sup>, Nal Kalchbrenner<sup>1</sup>, Ilya Sutskever<sup>2</sup>, Timothy Lillicrap<sup>1</sup>, Madeleine Leach<sup>1</sup>, Koray Kavukcuoglu<sup>1</sup>, Thore Graepel<sup>1</sup> & Demis Hassabis<sup>1</sup>

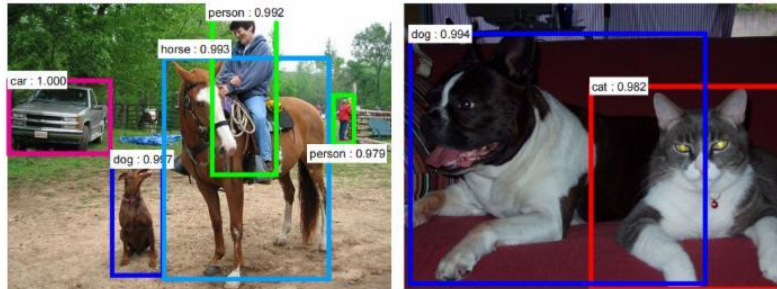
# Poker: Libratus

- 2017: Carnegie Mellon University MI: Libratus
- Pittsburgh Supercomputing Center:
  - 1.35 petaflops computation
  - 274 Terabytes memory



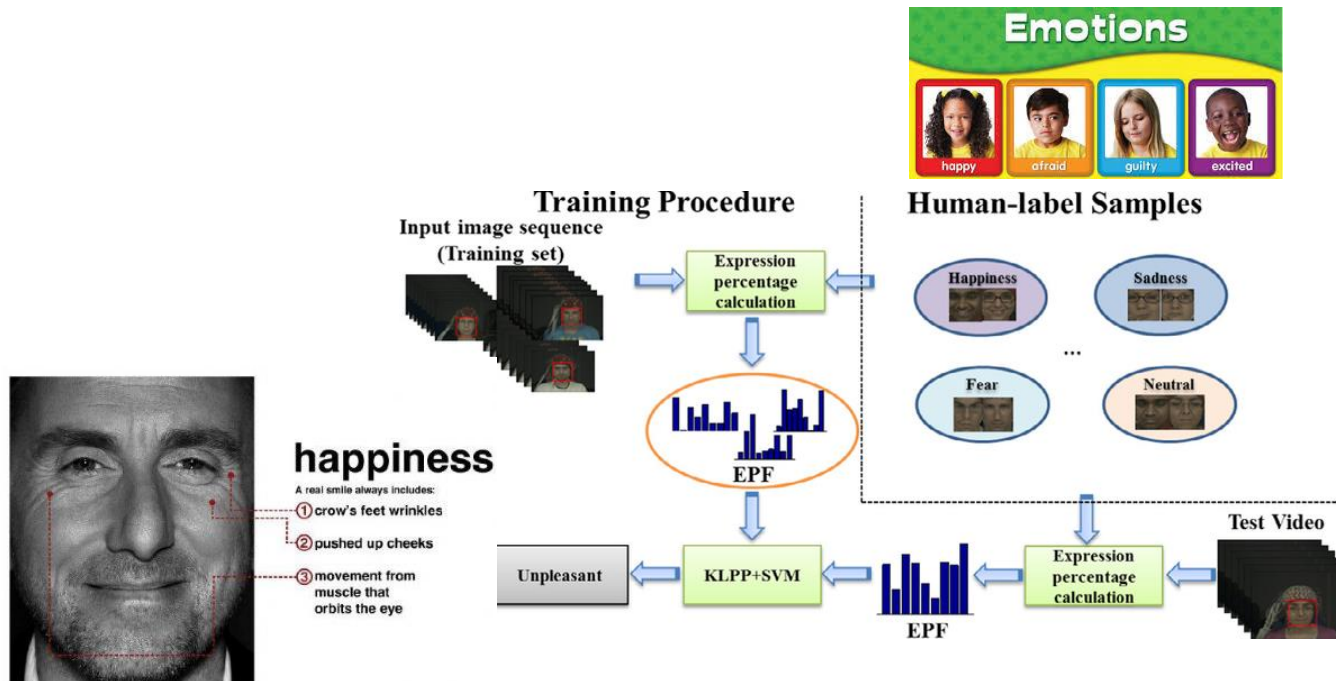
# Vision: YOLO

- YOLO (you only look once)



[https://www.ted.com/talks/joseph\\_redmon\\_how\\_a\\_computer\\_learns\\_to\\_recognize\\_objects\\_instantly#t-409586](https://www.ted.com/talks/joseph_redmon_how_a_computer_learns_to_recognize_objects_instantly#t-409586)

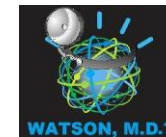
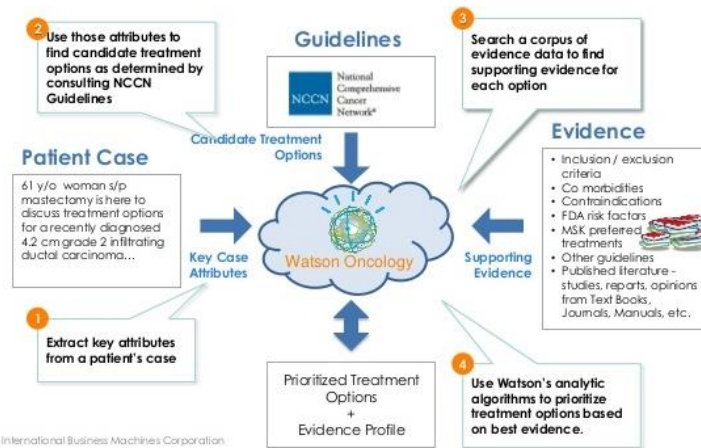
# Emotion detection, sentiment analysis



[https://www.ted.com/talks/rana\\_el\\_kaliouby\\_this\\_app\\_knows\\_how\\_you\\_feel\\_from\\_the\\_look\\_on\\_your\\_face](https://www.ted.com/talks/rana_el_kaliouby_this_app_knows_how_you_feel_from_the_look_on_your_face)



# Clinical decision support systems

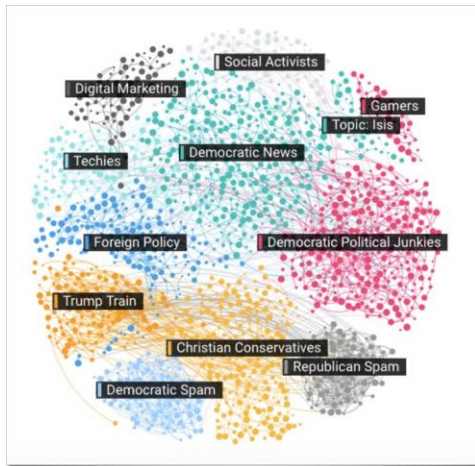


Watson for Oncology – assessment and advice cycle

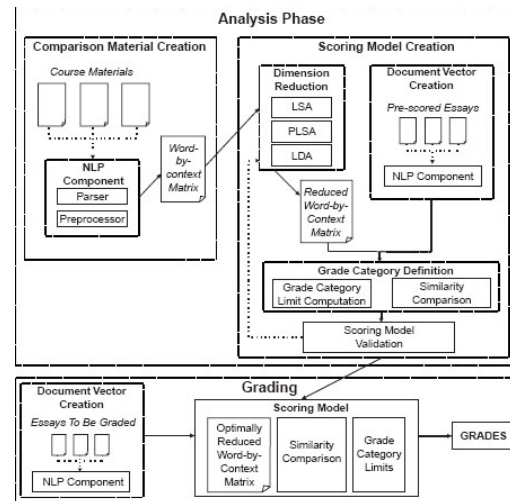
[www.avanteoconsulting.com/machine-learning-accelerates-cancer-research-discovery-innovation/](http://www.avanteoconsulting.com/machine-learning-accelerates-cancer-research-discovery-innovation/)

# Political analytics: MogIA

- ~„big data failed, AI correctly predicted the upset victory” (correct prediction of election in the US 3 times in a row)



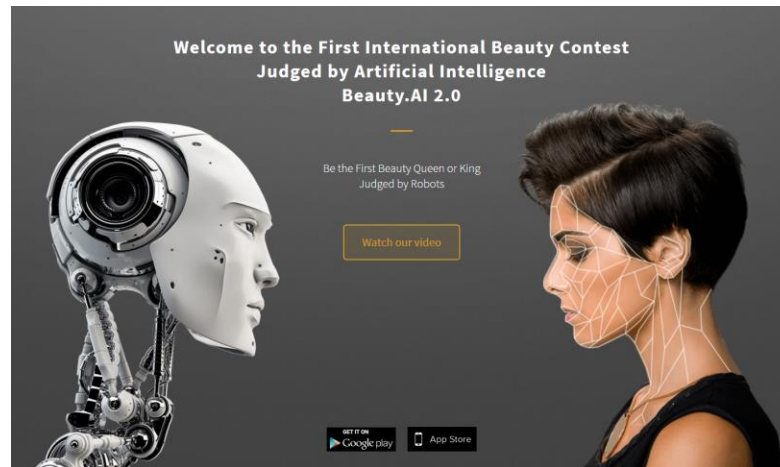
# Automated essay scoring (AES)



# Legal applications of AI

- Juridical decisions:
  - Human experts: [66%](#) identical decision.
  - Katz, D.M., Bommarito II, M.J. and Blackman, J., 2017. **A general approach for predicting the behavior of the Supreme Court of the United States**. *PloS one*, 12(4), p.e0174698.
    - 1816-2015 esetek
    - [70%< accuracy](#)
  - COMPAS CORE

# Beauty.AI

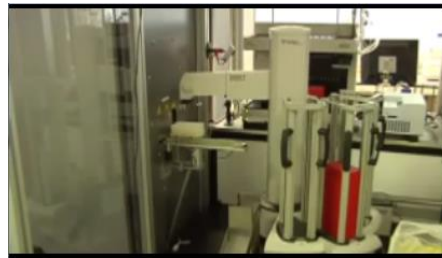


<http://beauty.ai/>

- A beauty contest was judged by AI and the robots didn't like dark skin, Guardian
- Another AI Robot Turned Racist, This Time At Beauty Contest, Unilad

# Automated scientific discovery

- Langley, P. (1978). Bacon: A general discovery system.
- ...
- ...
- R.D.King et al.: **The Automation of Science**, Science, 2009
- Sparkes, Andrew, et al.: Towards **Robot Scientists** for autonomous scientific discovery, 2010



„Adam”



„Eve”

# Adaptív (labor)diagnosztika

1. Adatbázistól független döntéstámogató rendszer
2. Labor általi (~orvostól független) költséghatékonysági kontroll (+/-!)
3. Orvoskontroll biztosítása (betegadatok teljessége és védelme)
4. Labormérések indításának segítése adott minta esetén
5. Labor kapacitásának automatikus figyelembevétele



# Decision theory = probability theory + utility theory

## Decision situation:

- Actions
  - Outcomes
  - Probabilities of outcomes
  - Utilities/losses of outcomes
- QALY, micromort
- Maximum Expected Utility Principle (MEU)

Best action is the one with maximum expected utility

$$a_i$$

$$o_j$$

$$p(o_j | a_i)$$

$$U(o_j | a_i)$$

$$EU(a_i) = \sum_j U(o_j | a_i) p(o_j | a_i)$$

$$a^* = \arg \max_i EU(a_i)$$

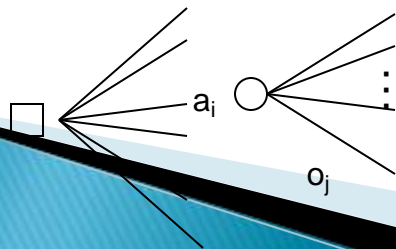
Actions  $a_i$   
(which experiment)

Outcomes  
(e.g. dataset)

Probabilities

Utilities, costs

Expected utilities



$P(o_j|a_i)$   
⋮

$U(o_j), C(a_i)$   
⋮

$$EU(a_i) = \sum P(o_j|a_i)U(o_j|a_i)$$



# A decision support system: BayesCube

<http://bioinfo.mit.bme.hu/>

The screenshot displays the BayesCube software interface. The main window shows a decision tree diagram with nodes for Locularity, WallRegularity, PapSmooth, ColScore, Bilateral, CA12, Pathology, Surgery, and Loss. A dialog box titled "U(Pathology, Surgery)" is open, showing a utility table for the decision between Surgery (true/false) based on Pathology (Benign/Malignant).

**Utility table:**

		Surgery	
		true	false
Pathology	Benign	-10	1
	Malignant	10	-100

fixed row height  matrix view

Buttons: OK, Cancel

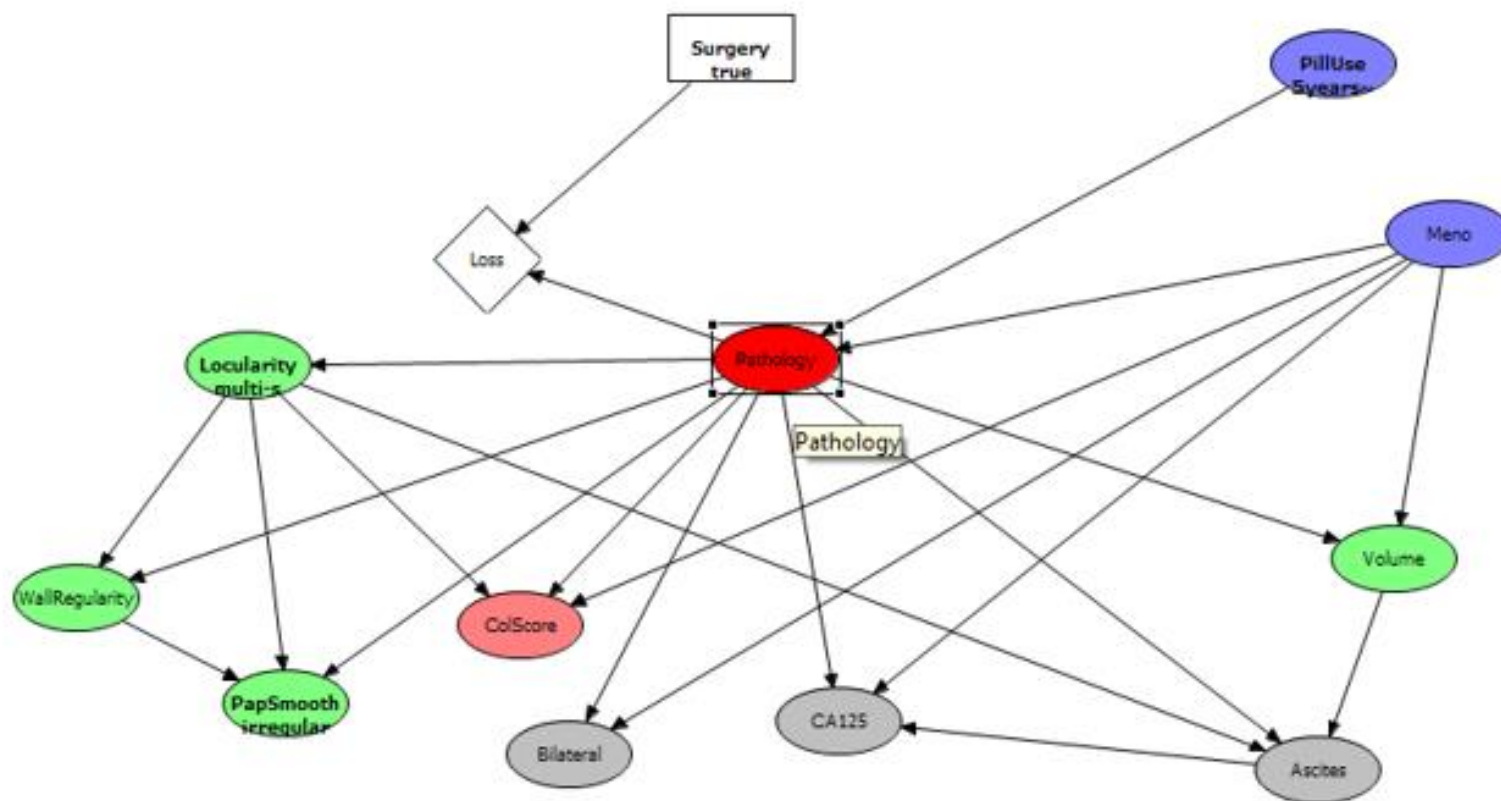
**Properties Panel:**

Property	Value
Annotations	
Label	Loss

**Palette:**

- Chance node with CPT
- Chance node with decision tree
- Decision node
- Utility node
- Utility node with decision tree
- Connection

# Tumordiagnosztika



- ▶ Petefészekrák nem-invazív diagnosztikája
  - International Ovarian Tumor Analysis (IOTA, Dirk Timmerman)

Antal, P., Fannes, G., Timmerman, D., Moreau, Y. and De Moor, B., 2004. Using literature and data to learn Bayesian networks as clinical models of ovarian tumors. *Artificial Intelligence in medicine*, 30(3), pp.257-281.

# Sensitivity of the inference

Variables:

**Fixed**

Meno	Post[3.;	<input type="button" value="Fix"/>
ColScore	moderate	
Volume	50-400[5	

**Free**

Ascites	<input type="button" value="Free"/>
PapSmooth	
PillUse	
Bilateral	

**Analyzed**


Locularity	-	<input type="button" value="Analyzed"/>
WallRegularity	-	
CA125	-	

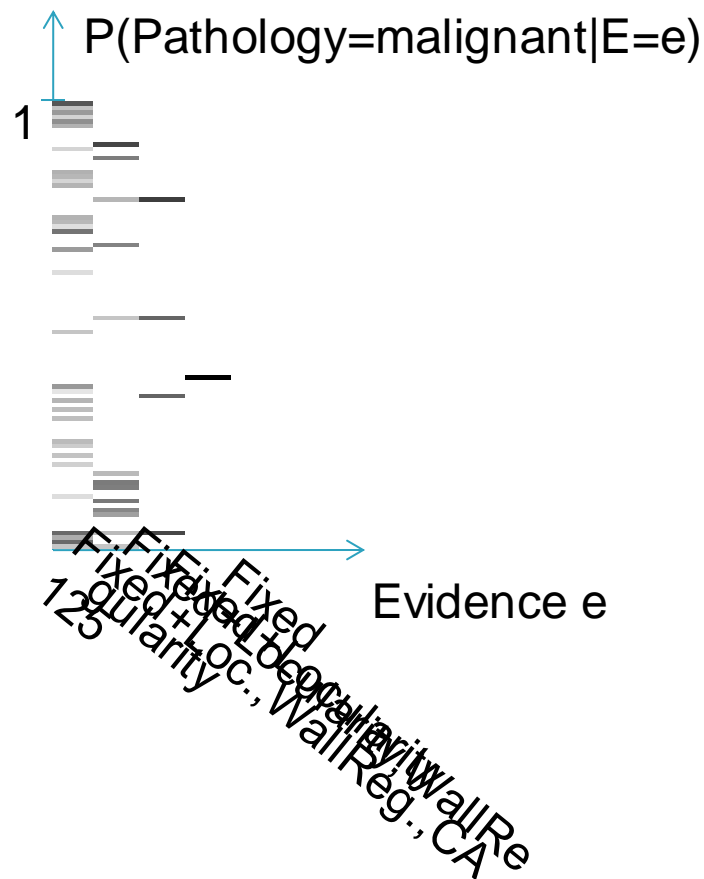
**Target**

Pathology	Malignan	<input type="button" value="Target"/>
-----------	----------	---------------------------------------

**Values:**

<35[0.;35.]
35-65[35.;65.]
65<=[65.;1.e+006]





# Kérdéstípusok az orvosi döntéstámogatásban

- Diagnosztikai következtetés
  - $P(\text{Diagnózis}|\text{Passzív megfigyelések})$
  - Legkisebb várható veszteségű diagnózis passzív megfigyelések esetén
- Optimális információgyűjtés
  - További információ hatása a következtetésre:  $P(\text{Diagnózis}|\text{megfigyelések, új megfigyelés})$
  - További információ hasznossága
- Terápiás következtetés
  - $P(\text{Kimenetel}|\text{Megfigyelés, Beavatkozás})$
- Kontrafaktuális következtetés
  - $P(\text{Elképzeltekimenetel}|\text{Megfigyelés, Beavatkozás, Kimenetel, Elképzeltekbeavatkozás})$

# Kérdéstípusok az orvosi döntéstámogatásban II.

- **Observational:** What is the probability that the patient recovers if he takes the drug  $x'$ .
- **Interventional:** What is the probability that the patient recovers if we prescribe\* the drug  $x'$ .
- **Counterfactual:** Given that the patient had not recovered for the drug  $x$ , what would have been the probability that patient recovers if we had prescribed\* the drug  $x'$ , instead of  $x$ .
  
- **Imagery observations and interventions:**
  - We observed  $X=x$ , but imagine that  $x'$  would have been observed: denoted as  $X'=x'$ .
  - We set  $X=x$ , but imagine that  $x'$  would have been set: denoted as  $do(X'=x')$ .
- **What is the relation of**
  - Observational  $p(Q=q|E=e, X=x')$
  - Interventional  $p(Q=q|E=e, do(X=x'))$
  - Counterfactual  $p(Q'=q'|Q=q, E=e, do(X=x), do(X'=x'))$
  
- \*: Assume that the patient is fully compliant.

# Összefoglalás

- Bayesi döntéselméleti keret.
- Valószínűségi gráfos modellek.
- Következtetési típusok
  - Megfigyelési
  - Beavatkozási
  - Kontrafaktuális
  -
- **Ajánlott olvasmány:**
  - **AIMA: 13, 16, 18 fejezetek**
  - MI Almanach: <https://mialmanach.mit.bme.hu/>
  - **BayesCube:**  
[https://www.mit.bme.hu/system/files/oktatas/targyak/9891/PDSS\\_Homework\\_v2017\\_v1.pdf](https://www.mit.bme.hu/system/files/oktatas/targyak/9891/PDSS_Homework_v2017_v1.pdf)