Mesterséges intelligencia előadássorozat

Az előadás diái az AIMA könyvre épülve (http://aima.cs.berkeley.edu) készültek a University of California, Berkeley mesterséges intelligencia kurzusának anyagainak felhasználásával (http://ai.berkeley.edu).

These slides are based on the AIMA book (http://aima.cs.berkeley.edu) and were adapted from the AI course material of University of California, Berkeley (http://ai.berkeley.edu).

Valószínűségi hálók

Feltételes függetlenségek, kompakt reprezentáció, következtetés

Előadó: Dr. Hullám Gábor

Problémamegoldás

- Keresés
- Kényszer kielégítés
- Keresés ellenséges térben
- Heurisztikák

Tudásreprezentáció következtetés

- Ontológia
- Logika
- Való-színűségi hálók
- Bizony-talanság kezelése

Döntések

- Hasznosság
- Döntési hálók

Megerősítéses tanulás

- Szekvenciális döntések
- Markov véletlen folyamat

- Regressziós modellek
- Döntési fák

Felügyelt tanulás

- Neurális hálók
- Együttes modellek

Ajánló rendszerek

MŰEGYETEM 1782

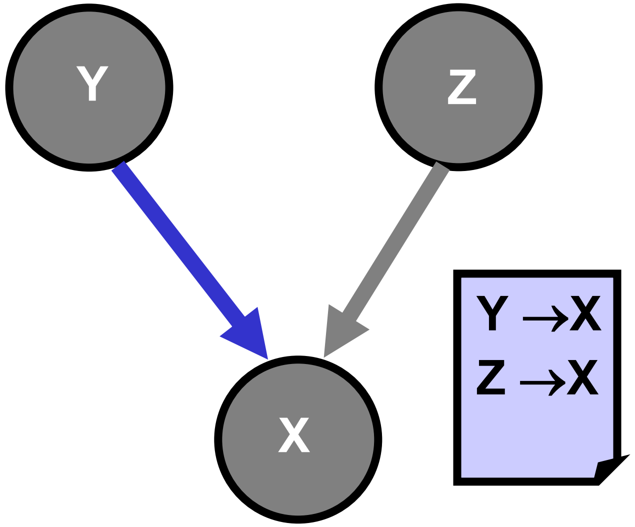
Valószínűségi háló (Bayes-háló)

… egy gráf, ahol

1. **Csomópontok: valószínűségi változók egy halmaza**

2. Csomópontok között**: irányított élek halmaza:**
   Az Y csomópontot az X csomóponttal összekötő nyíl
   jelentése: *az Y-nak közvetlen befolyása* van az *X*-re

3. Minden csomópontnál: **feltételes valószínűségi tábla**
   jelentése: szülők hatása a csomópontra P(X | *Szülők*(X))

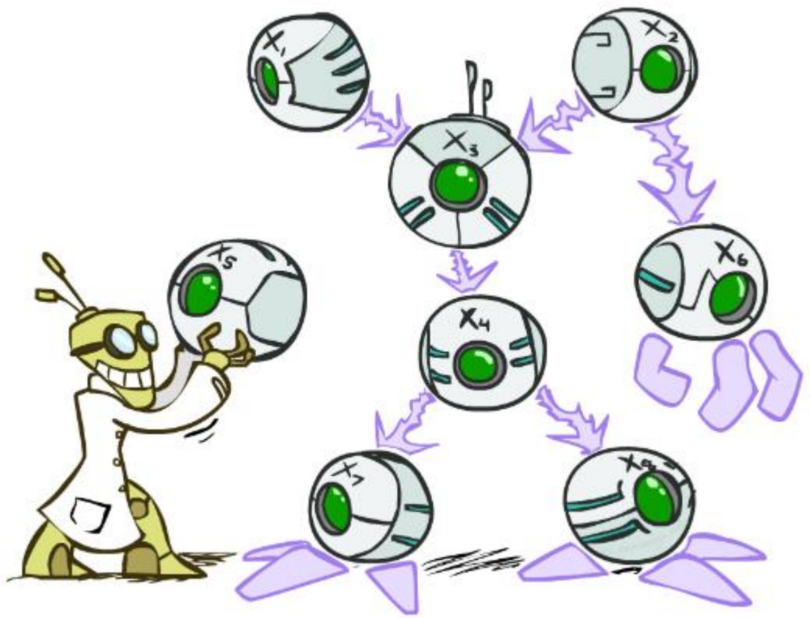


4. A gráf nem tartalmaz irányított kört (= **irányított, körmentes gráf = DAG**).

A valószínűségi hálók szemantikája

Valószínűségi változó = egy állítás a problémáról

Pl. X = HMG szint magas (két érték: I/N), vagy
X = HMG szint (több érték: Magas / Közepes / Alacsony)



Feltételes függetlenség

Ha a szülő (szülői feltétel) ismert, nem érdekes az ős:

$\mathbf{P(X_i \mid X_{i-1}, \ldots, \mathit{X_1}) = \mathit{P}(X_\mathit{i} \mid \mathit{Szülők}(X_\mathit{i}))}$, $i=1\ldots n$,
ha $\mathbf{\mathit{Szülők}(X_\mathit{i}) \subseteq \{ X_{\mathit{i-1}},\ldots,X_\mathit{1} \}}$.

Ez utóbbi könnyen teljesíthető a csomópontok olyan sorszámozásával, ami konzisztens a gráf implicit részleges rendezésével.

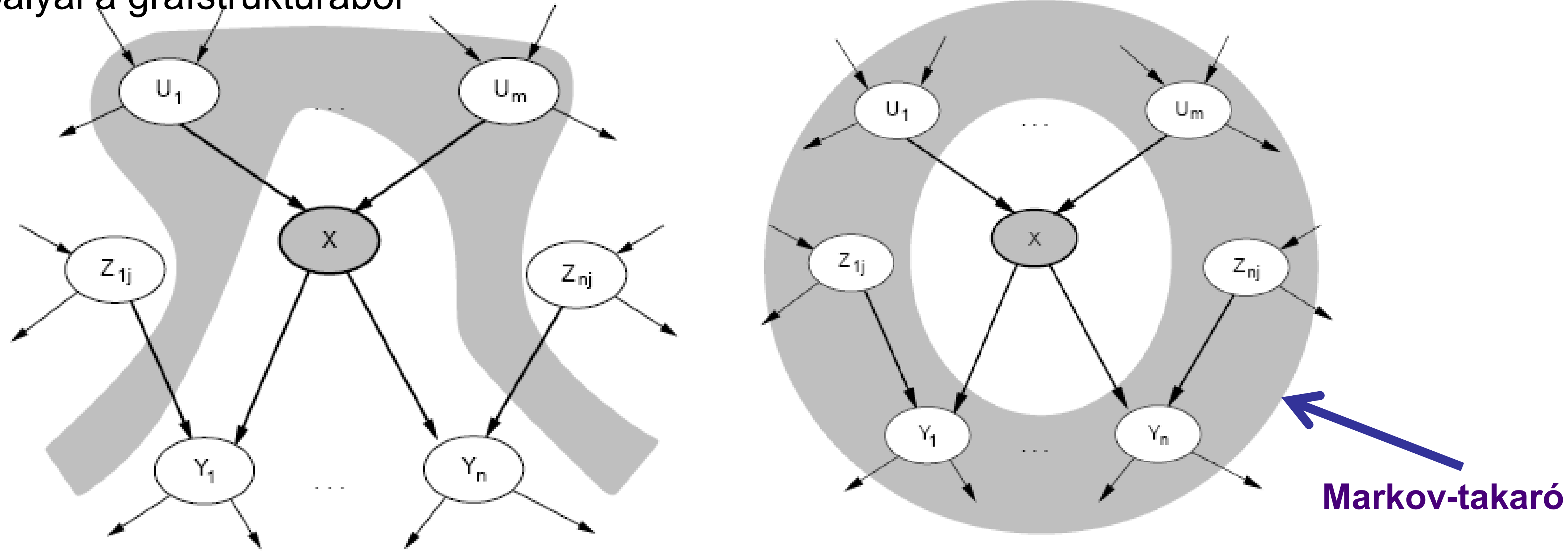
$$\mathbf{\mathit{P}(X_\mathit{i} \mid \mathit{Szülők}(X_\mathit{i}), \mathit{Ősök}(X_\mathit{i})) = \mathit{P}(X_\mathit{i} \mid \mathit{Szülők}(X_\mathit{i}))}$$

Lokális (topológiai) szemantika

a. Minden csomópont (X) feltételesen független a nem leszármazottjaitól (Z), ha a **szülői** adottak (U).

b. Minden csomópont (X) feltételesen független minden mástól, ha a **Markov-takarója** adott (szülői+gyerekei+gyerekeinek szülői).

c. **d-elválasztás**: a feltételes függetlenségek és feltételes függőségek kiolvasásának szabályai a gráfstruktúrából

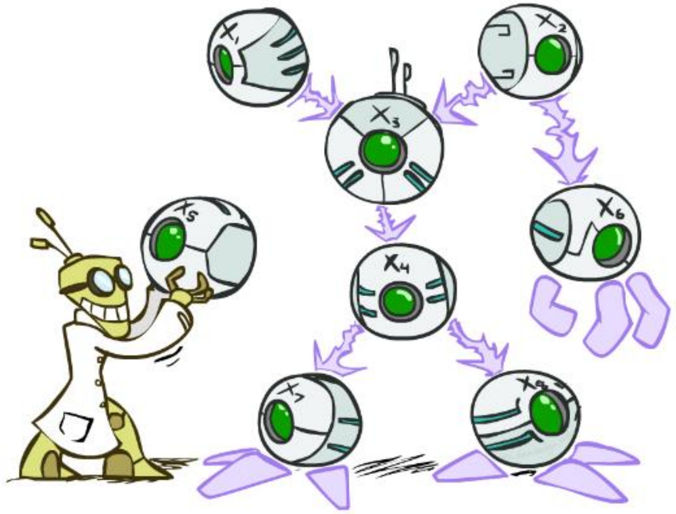


A valószínűségi hálók szemantikája

(1) a háló = **együttes valószínűségi eloszlás** egy leírása,

(2) a háló = **feltételes függetlenségekről szóló állítások** együttese.

A két szemlélet **ekvivalens**
- az első abban segít, hogy hogyan **hozzunk létre** egy hálót
- a második abban, hogy hogyan **tervezzünk** következtetési eljárásokat.



Az együttes valószínűségi eloszlásfüggvény leírása

A valószínűségi hálóban található információk alapján:
az együttes valószínűségi eloszlás bármely bejegyzése kiszámítható.

Egy bejegyzés értéke (globális szemantika):

$$P(X_1 \ldots X_n) = \prod_{i=1 \ldots n} P(X_i \,|\, Szülők(X_i)), \text{ i=1} \ldots n$$

- Az együttes valószínűségi eloszlás minden bejegyzése felbontható a FVT megfelelő elemeinek a szorzatára.

- **FVT-k: az együttes valószínűségi eloszlás dekomponált leírása.**

Feltételes valószínűségi tábla – FVT

Egy sor a táblázatban az egyes csomóponti értékek feltételes valószínűsége az adott sorhoz tartozó **szülői feltétel** esetén

Szülői feltétel: a szülő csomópontok értékeinek egy lehetséges kombinációja (**egyfajta elemi esemény a szülők között**).

Általánosabban, ha a változó **bináris**, és ha *n* **bináris** szülője van:

2^n -1 valószínűség adható meg a feladat alapján.

Szülő nélküli csomópont: a változó egyes értékeinek a priori valószínűségei (ha bináris, akkor elég csak egyiket megadni).

Tömörség és a csomópontok sorrendje

Egy valószínűségi háló gyakran sokkal **tömörebb**, mint az együttes valószínűségi eloszlásfüggvény.

A valószínűségi háló tömörsége a **lokálisan strukturált** (vagy **ritka**) rendszerek egy példája.

Lokálisan strukturált rendszer: egy komponense csak korlátos számú más komponenssel van kapcsolatban közvetlenül, függetlenül a komponensek teljes számától.

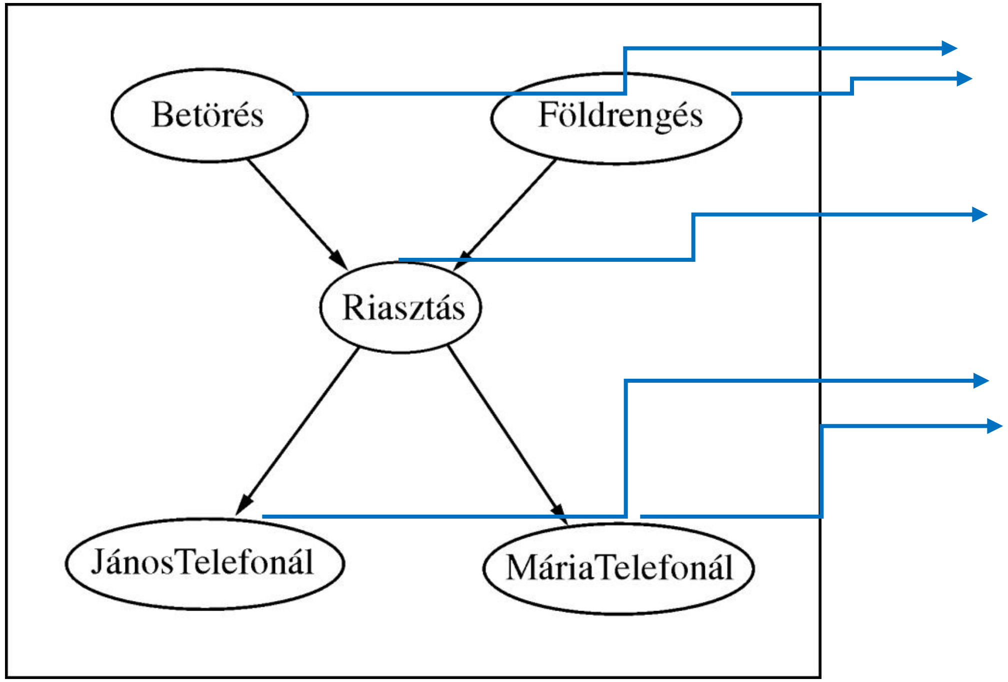
Lokális struktúrák: **inkább a lineáris, mint az exponenciális komplexitás** növekedés.

Tömörség és a csomópontok sorrendje

Valószínűségi háló n változóból: legtöbb esetben egy változót csak k számú más változó befolyásol, bináris változók = $n \times 2^k$ érték. Együttes valószínűségi eloszlás = $2^n - 1$ érték.

Példa: 20 cs.pont (n = 20), max. 5 szülője legyen (k = 5), valószínűségi háló: 640 érték, együttes valószínűségi eloszlás: > egy millió.

A gyakorlatban előforduló információcsökkenés amiatt lép fel, hogy a valós problémák igen strukturáltak, amit a hálók könnyűszerrel képesek kihasználni.



Bayes háló:
2 x 1 db a priori
+
1 x 4 db szülői feltétel
+
2 x 2 db szülői feltétel
= 2 + 4 + 4 = **10 db**

Együttes eloszlás:
5 változó
= 2^5-1 = **31 db** valószínűség

Általános eset:

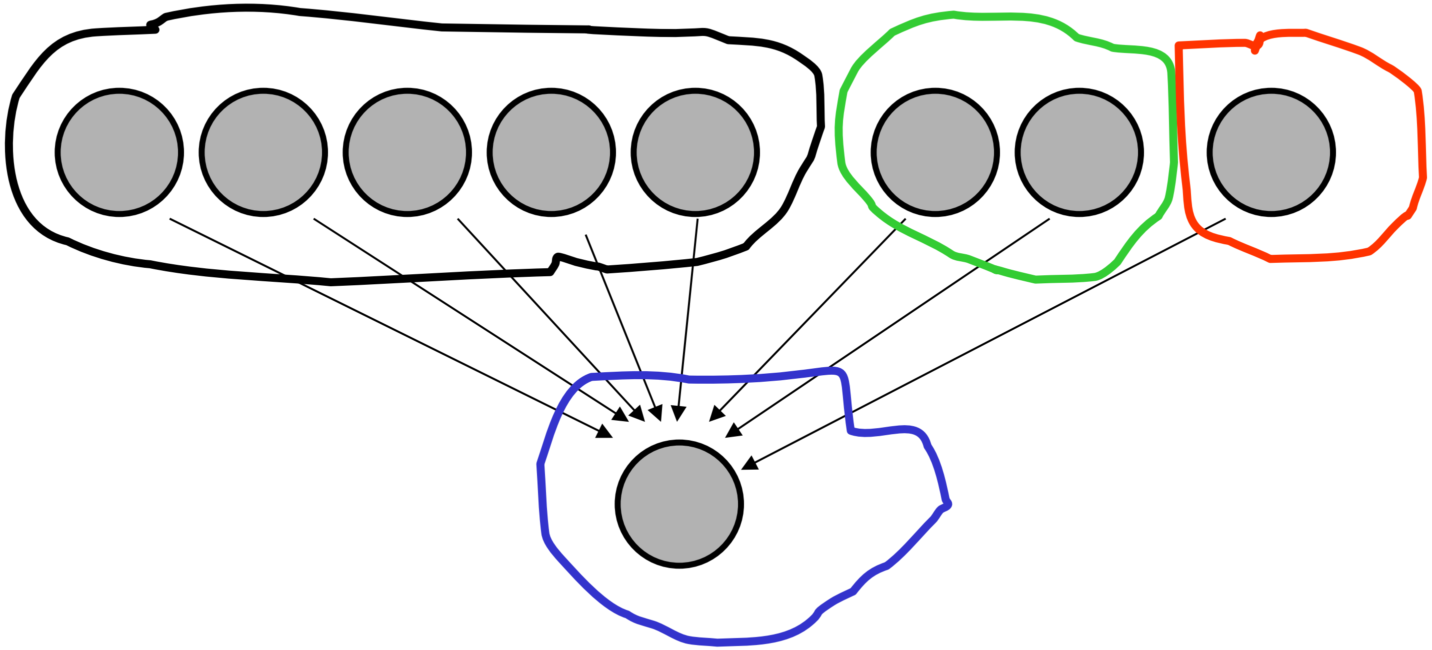
Mi van, pl. ha

5 db szülő csomópont bináris értékű

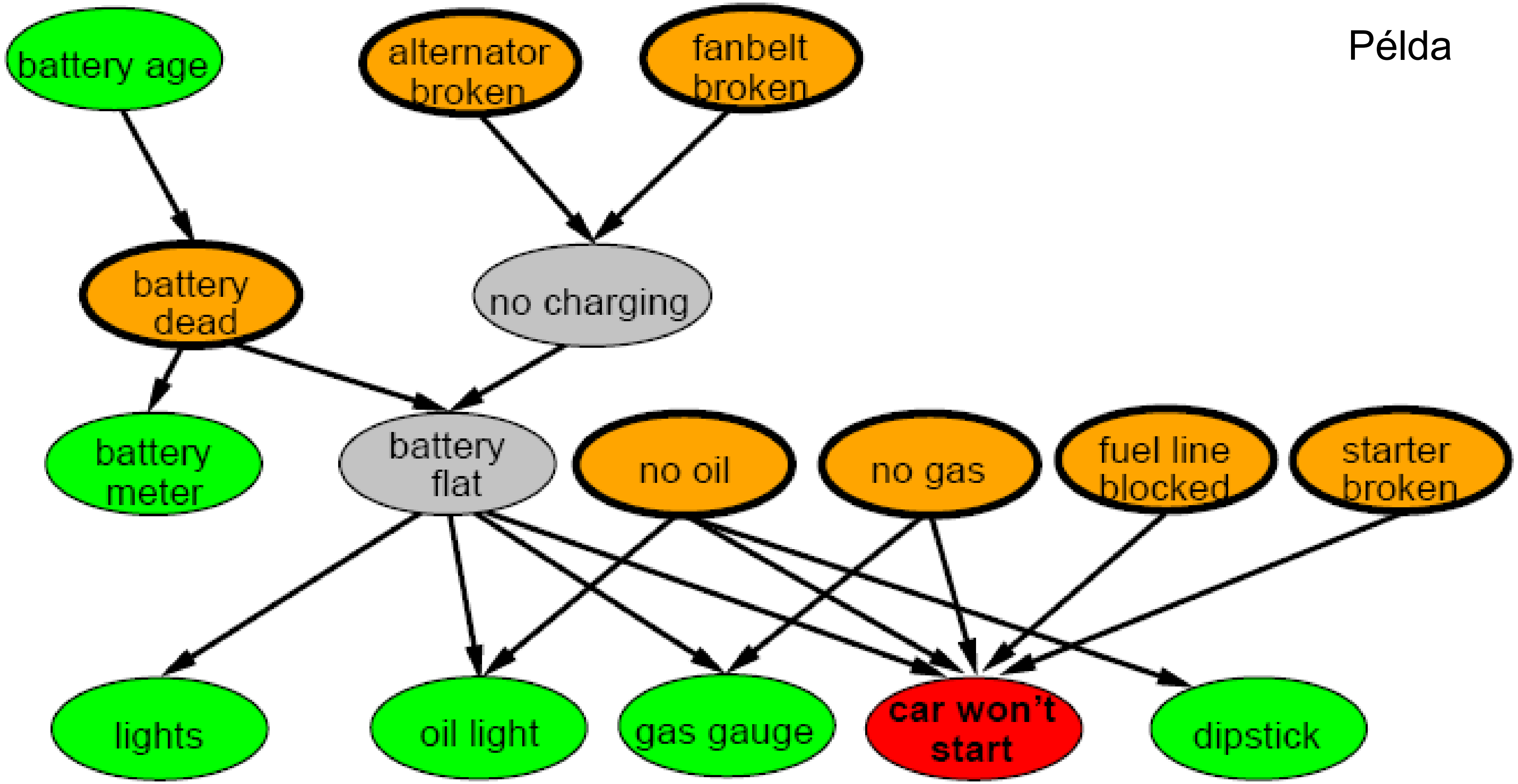
2 db szülő csomópont 3-as értékű

1 db szülő csomópont 4-es értékű és

az eredmény csomópont egy 5-ös értékű változó?

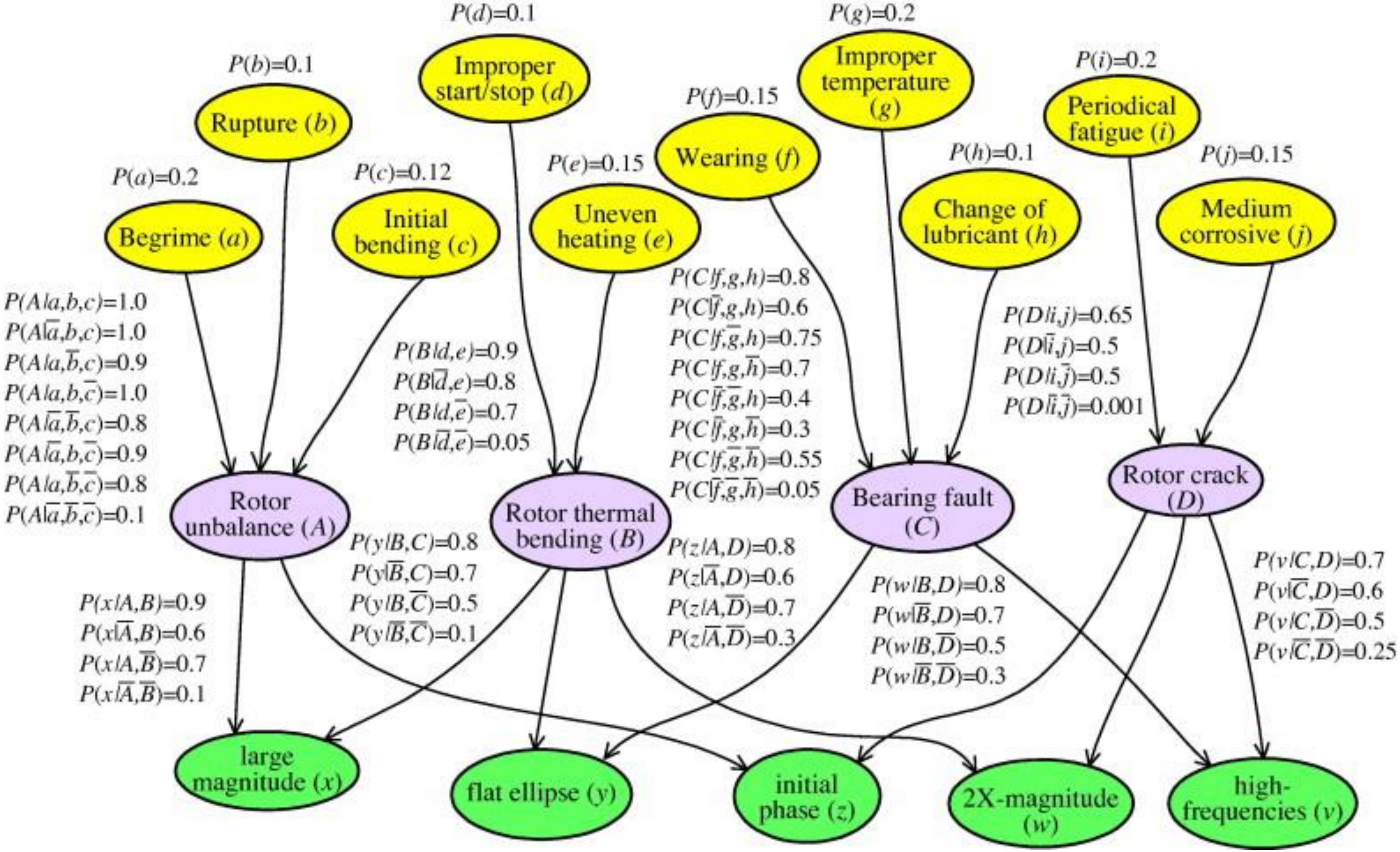


Példa



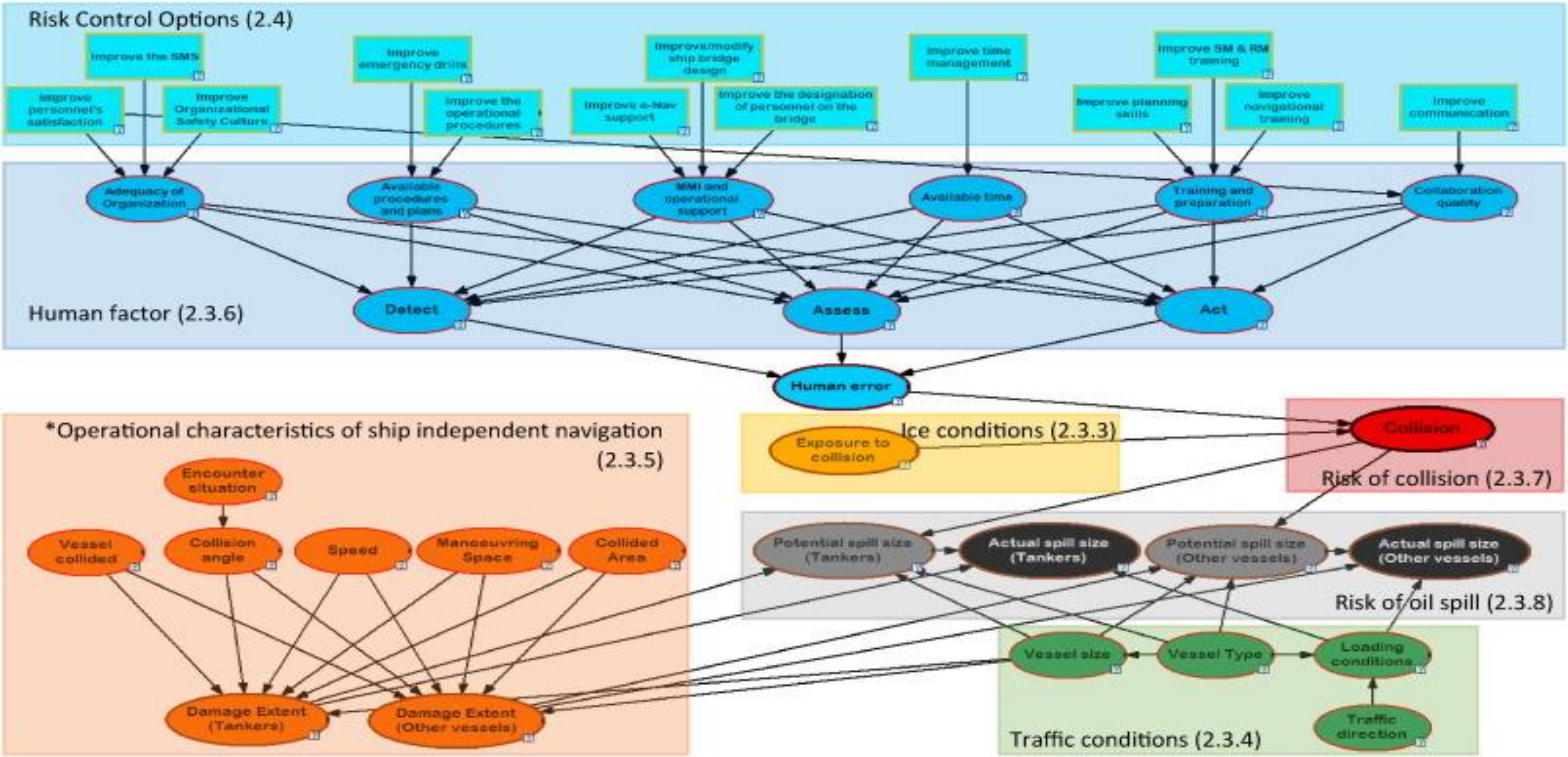
16 (bináris) változó = $2^{16}-1$ = 16383 valószínűség
háló = 7 + 4 x 2 + 4 x 4 + 1 x 32 = 63 valószínűség (x 260)

Hibamodellezés és következtetés

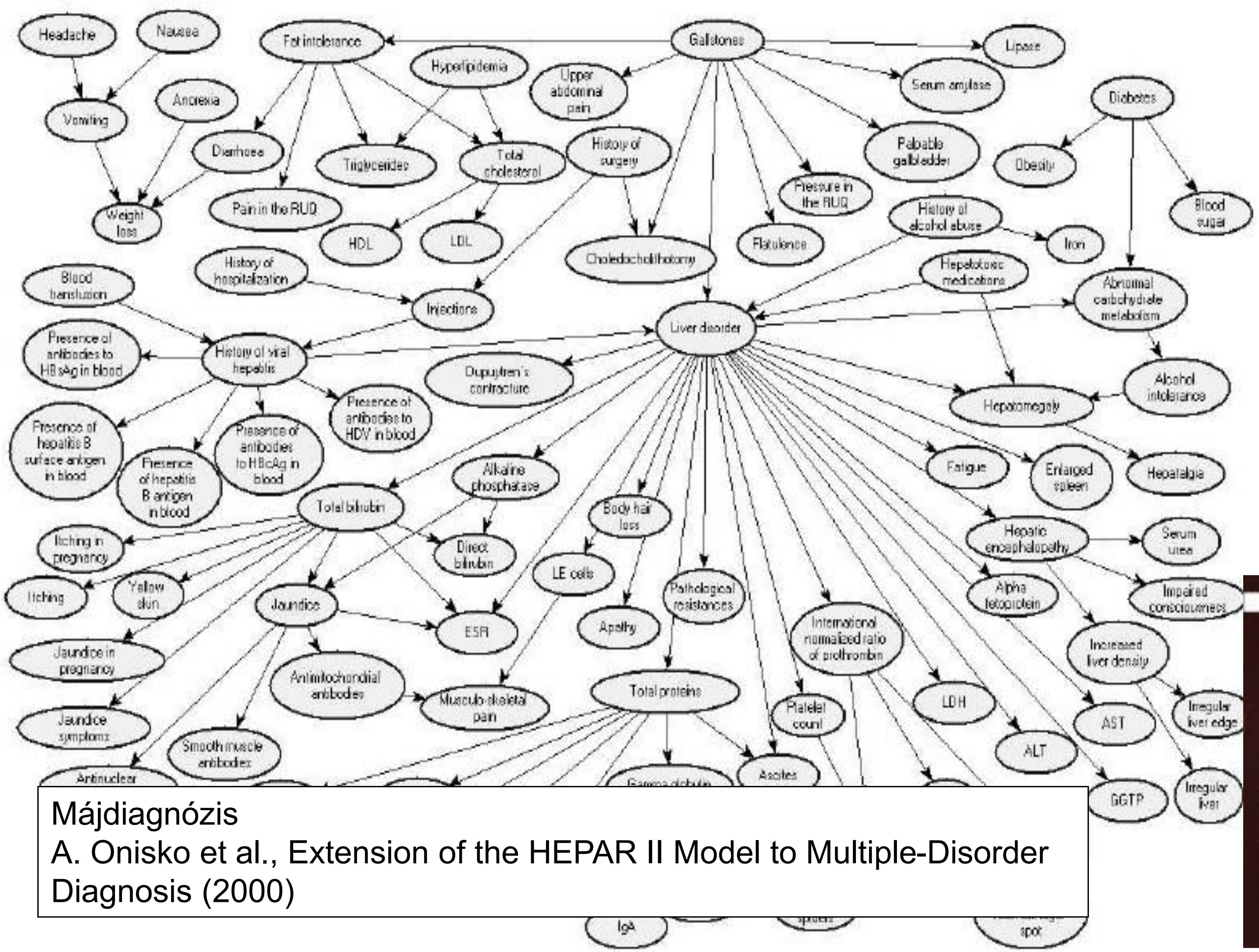


Bin GangXu: Intelligent fault inference for rotating flexible rotors using Bayesian belief network, Expert Systems with Applications,Volume 39, Issue 1, January 2012, Pages 816-822

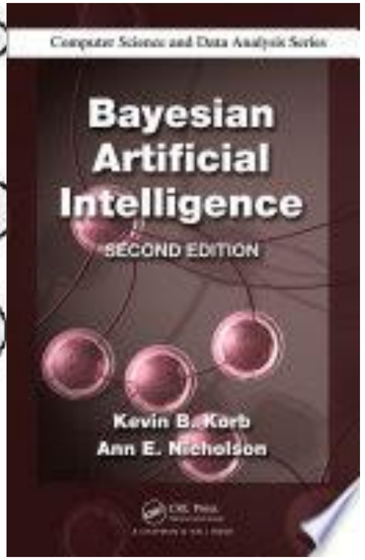
Kockázatmodellezés



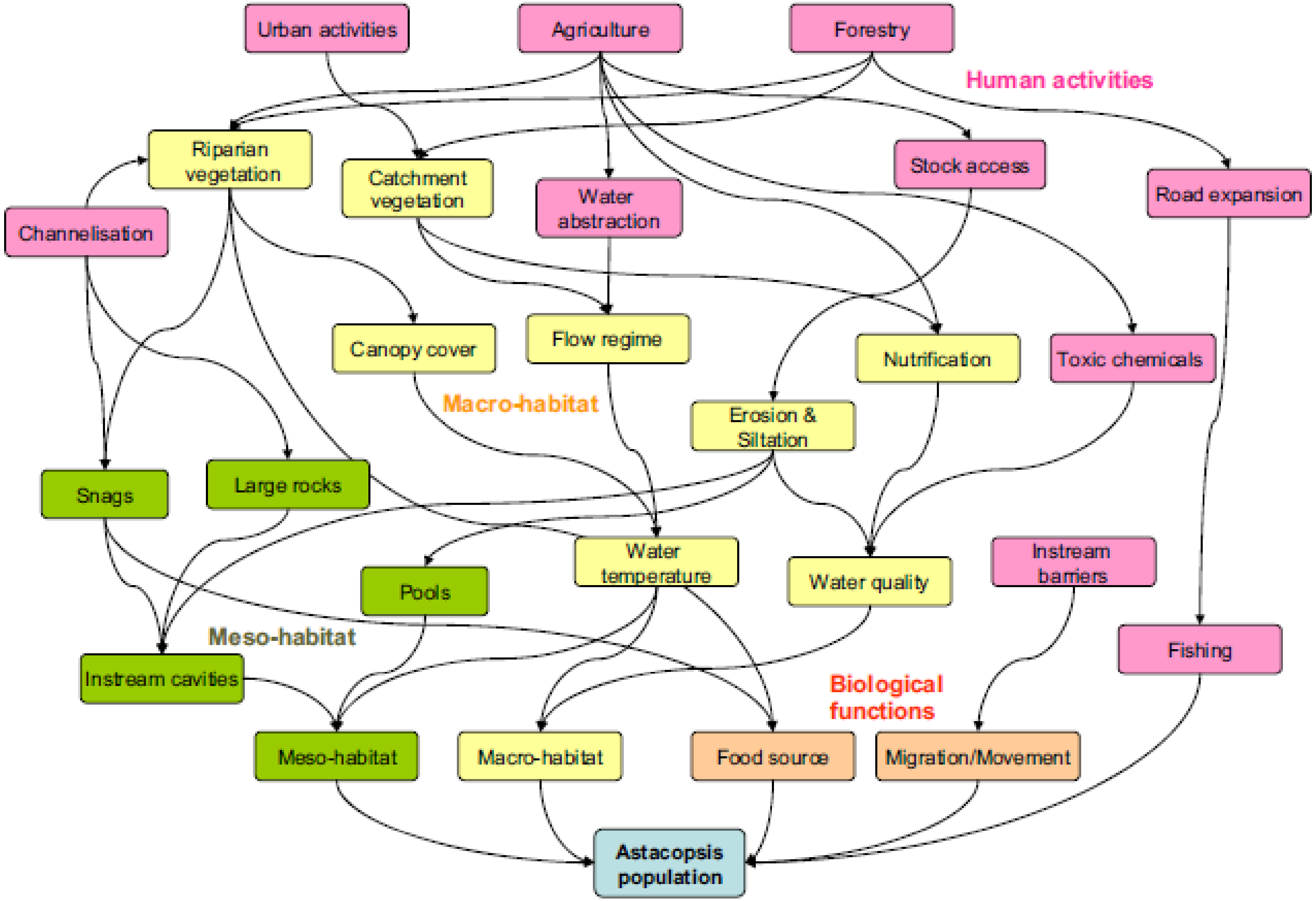
Osiris A.Valdez et al. : Risk management model of winter navigation operations,Marine Pollution Bulletin,Volume 108, Issues 1–2, 15 July 2016, Pages 242-262



Májdiagnózis
A. Onisko et al., Extension of the HEPAR II Model to Multiple-Disorder Diagnosis (2000)



Biológiai és környezeti folyamatok modellezése



Serena H. Chen & Carmel A. Pollino: Good practice in Bayesian network modelling

Modelltípusok - kitérő

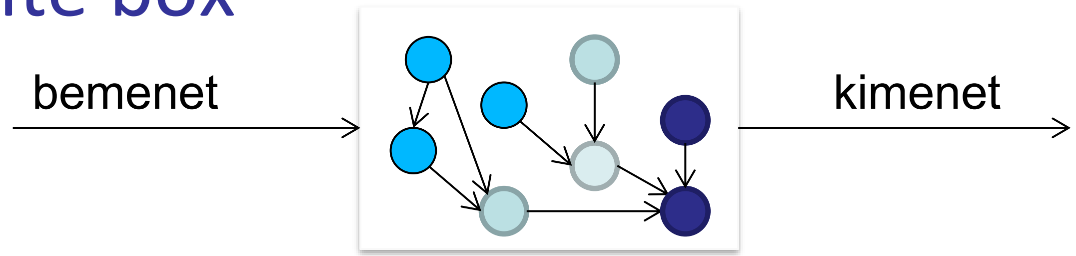
- Black box

Pl.:Neurális hálók

A modell belső működését nem / nehezen lehet értelmezni

- White box

Pl.:Bayes- hálók



A modell belső működése értelmezhető

ALARM Network Példa

Otthonunkban egy új **riasztót** szereltünk fel.

- Ez megbízhatóan észleli a **betöréseket**, de kisebb **földrengés** esetén is jelez.
- Két szomszédunk, **János** és **Mária**, megígérték, hogy **felhívnak** a munkahelyünkön, ha meghallják a riasztónkat.
- János mindig felhív, ha szól a riasztó, de néha összekeveri a telefoncsörgést a riasztó csengésével és ekkor is telefonál.
- Mária viszont, mivel szereti hangosan hallgatni a zenét, néha meg sem hallja a riasztót.

Mi tehát a hívások bekövetkezte vagy hiánya alapján szeretnénk megbecsülni a betörés valószínűségét.

(Bináris) változók (tények):

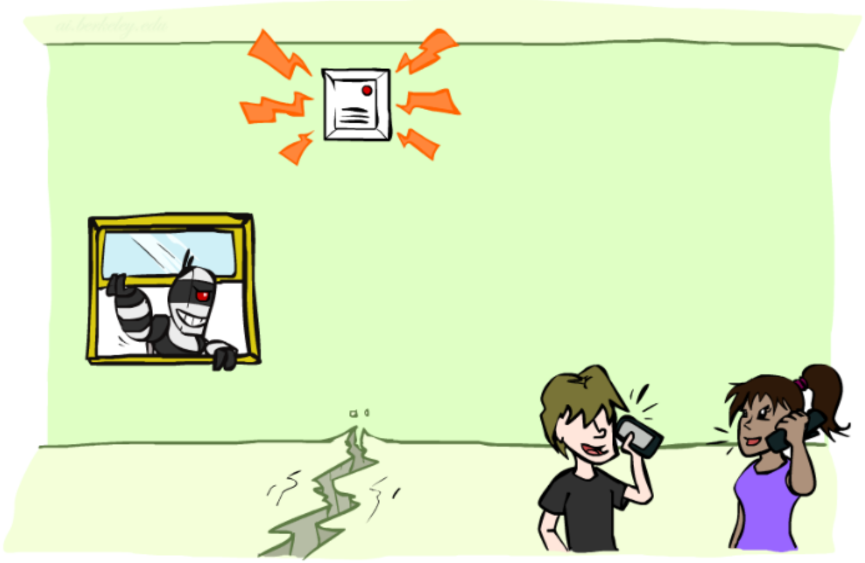
Betörés (megtörtént): Igen/ Nem

Földrengés (megtörtént): Igen/ Nem

Riasztás (megszólalt): Igen/ Nem

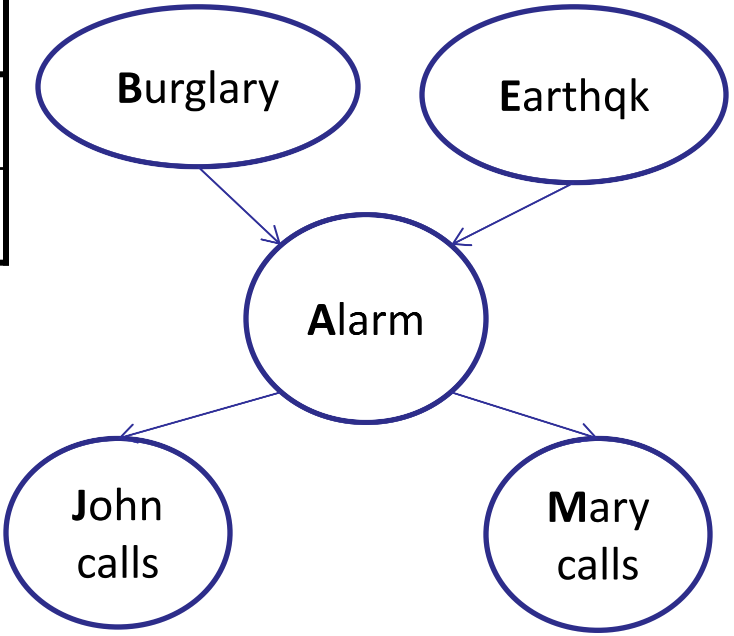
János telefonál(t-e): Igen/ Nem

Mária telefonál(t-e): Igen/ Nem

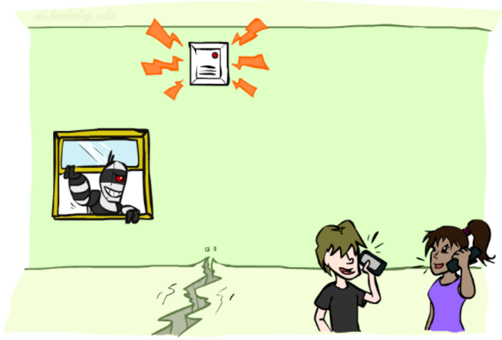


Alarm Network

B	P(B)
+b	0.001
-b	0.999



E	P(E)
+e	0.002
-e	0.998



A	J	P(J|A)
+a	+j	0.9
+a	-j	0.1
-a	+j	0.05
-a	-j	0.95

A	M	P(M|A)
+a	+m	0.7
+a	-m	0.3
-a	+m	0.01
-a	-m	0.99

B	E	A	P(A|B,E)
+b	+e	+a	0.95
+b	+e	-a	0.05
+b	-e	+a	0.94
+b	-e	-a	0.06
-b	+e	+a	0.29
-b	+e	-a	0.71
-b	-e	+a	0.001
-b	-e	-a	0.999

Háló topológiája = egy absztrakt tudásbázis

általános ok-okozati* folyamatokat ír le az adott problémakörben.

- A betöréses háló esetén a topológia azt mutatja, hogy a betörés és a földrengés közvetlenül hat a riasztóra, befolyásolja megszólalásának valószínűségét,
- ellenben János vagy Mária hívásának bekövetkezése csak magán a riasztón múlik
- azaz a háló tartalmazza azt a feltevést, hogy ők közvetlenül nem vesznek észre sem a betöréseket, sem a földrengéseket.

* Egy tipikus tervezési folyamat esetében.

Az általános eljárás egy háló fokozatos megépítésére

1. Határozzuk meg a problémát leíró változókat (miről érdemes beszélni).
2. Határozzunk meg **egy sorrendet**.
3. Ameddig maradt még érintetlen változó:

   a) Válasszuk a következő X_i változót és adjunk egy csomópontot a hálóhoz.

   b) Legyen a *Szülők*(X_i) a csomópontok azon **minimális halmaza**, amik már szerepelnek a hálóban és a feltételes függetlenség tulajdonságát teljesítik – húzzuk be a kapcsolatokat.

   c) Definiáljuk X_i csomópont feltételes valószínűségi tábláját.

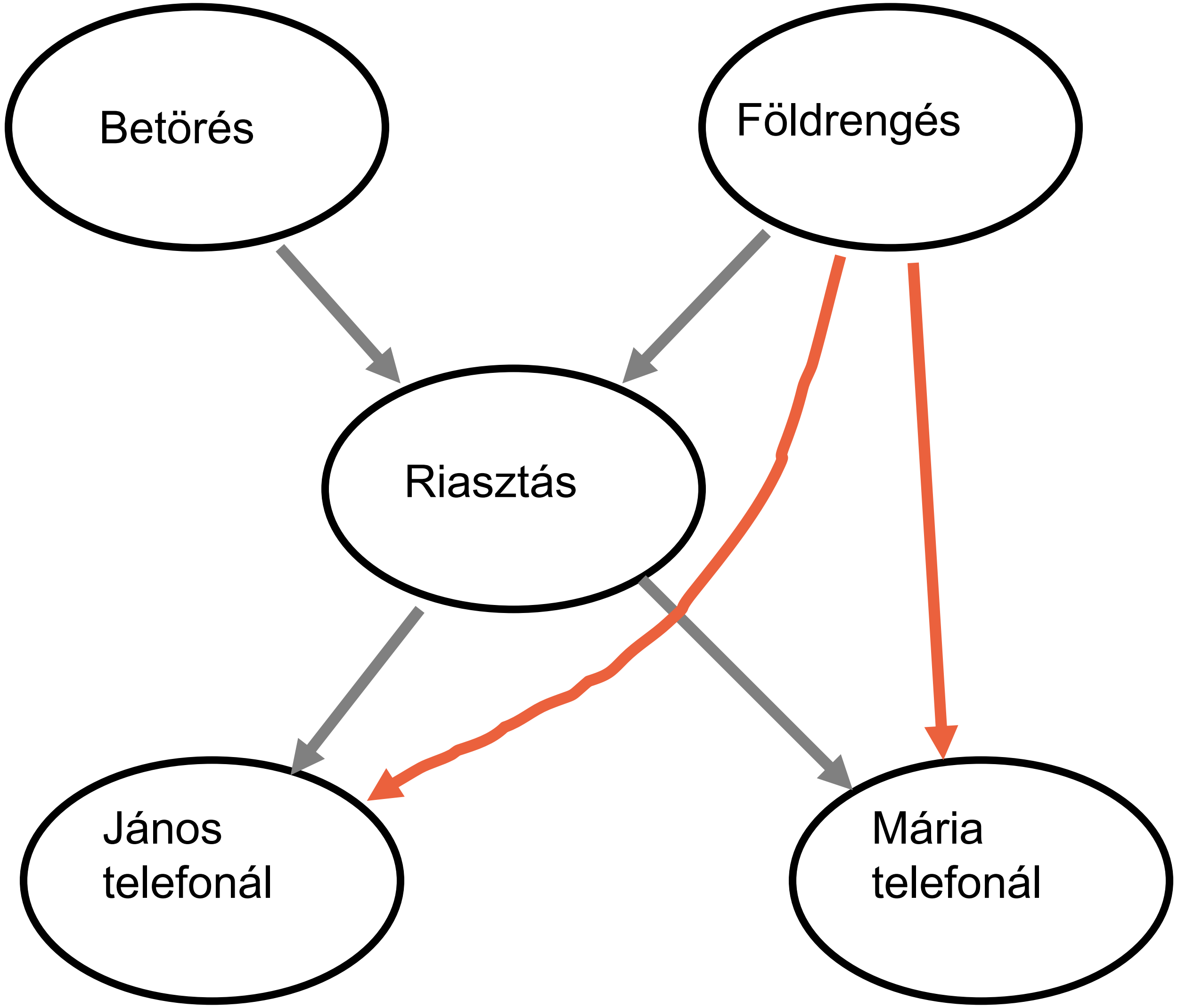
Mindegyik csomópontot csak korábbi csomóponthoz csatlakoztathatunk
= a háló körmentes lesz.

Tömörség és a csomópontok sorrendje

- Bizonyos tárgytartományokban létezhetnek olyan jelentéktelennek tűnő függőségek, amiket feltétlenül modellezni kell egy új kapcsolat felvételével.

- De ha ezek a függőségek ténylegesen jelentéktelenek, akkor lehet, hogy nem éri meg a háló komplexitását megnövelni a pontosság kismértékű növelésének érdekében.

Pl.:
hogyha földrengés van, akkor Mária és János akkor sem telefonálna, ha hallanák a riasztót, mivel feltételezik, hogy a földrengés okozta.



$2 + 4 + 2 + 2$
$= 10$ (eddig)

$2 + 4 + 4 + 4$
$= 14$

Megéri-e?

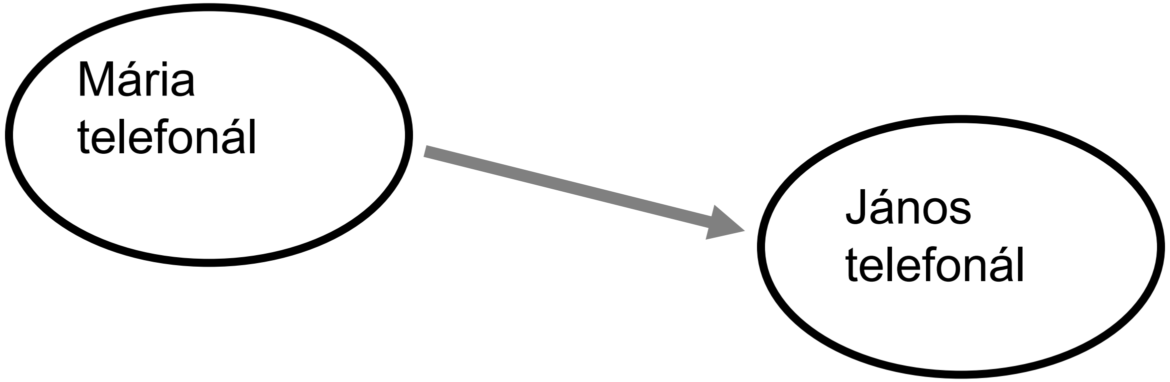
Tömörség és a csomópontok sorrendje

A konstrukciós eljárás működése miatt előbb a „közvetlen befolyásolók”-at kell a hálóhoz adni, ha azt szeretnénk, hogy szülőknek tudjuk őket választani az általuk befolyásolt csomópontnál.

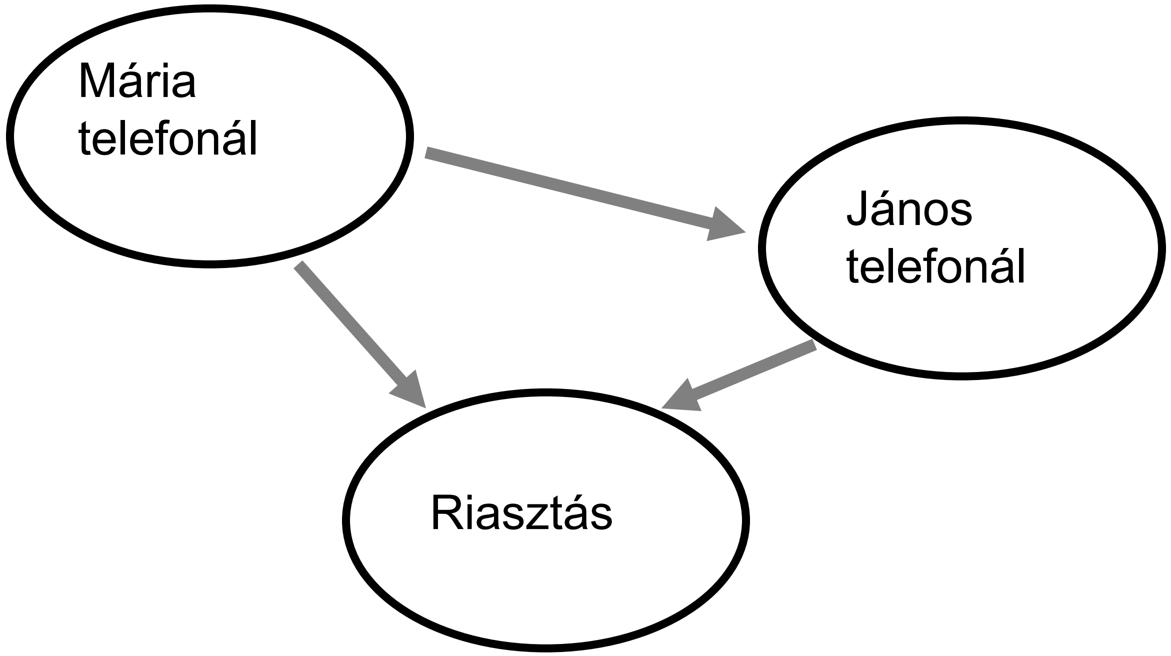
Ezért a helyes sorrend a csomópontok hozzáadásánál:
először az „alapvető okokat” adjuk a hálóhoz, majd a változókat, amiket befolyásolnak, és ezt addig folytatjuk, amíg el nem érjük a „leveleket”, amiknek már nincs közvetlen okozati hatása más változókra (azaz a kauzalitás sorrendjében).

Mi történik, ha történetesen egy rossz sorrendet választunk?
pl.
MáriaTelefonál $\rightarrow$ *JánosTelefonál* $\rightarrow$ *Riasztás* $\rightarrow$ *Betörés* $\rightarrow$ *Földrengés*.

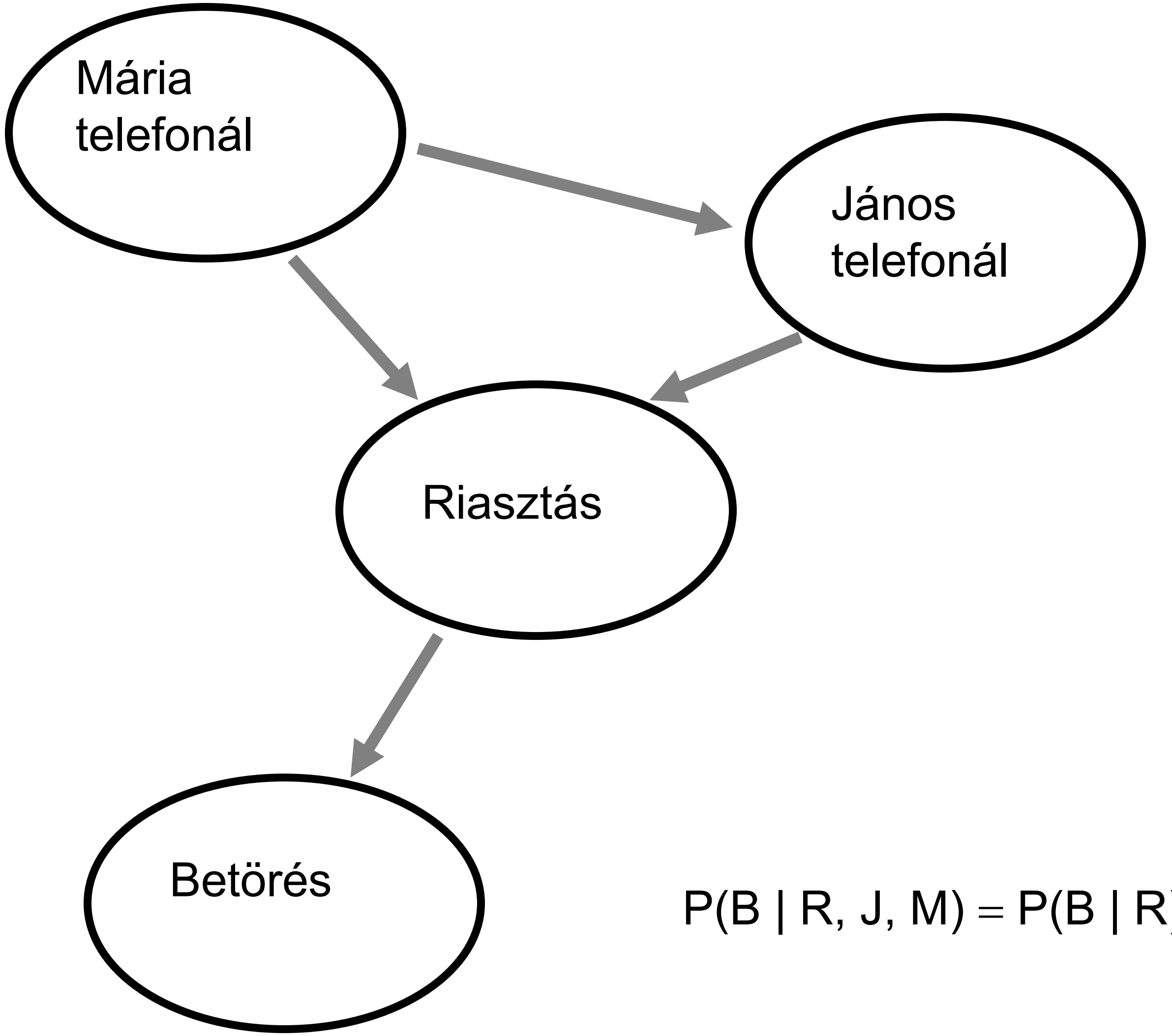
Mária
telefonál



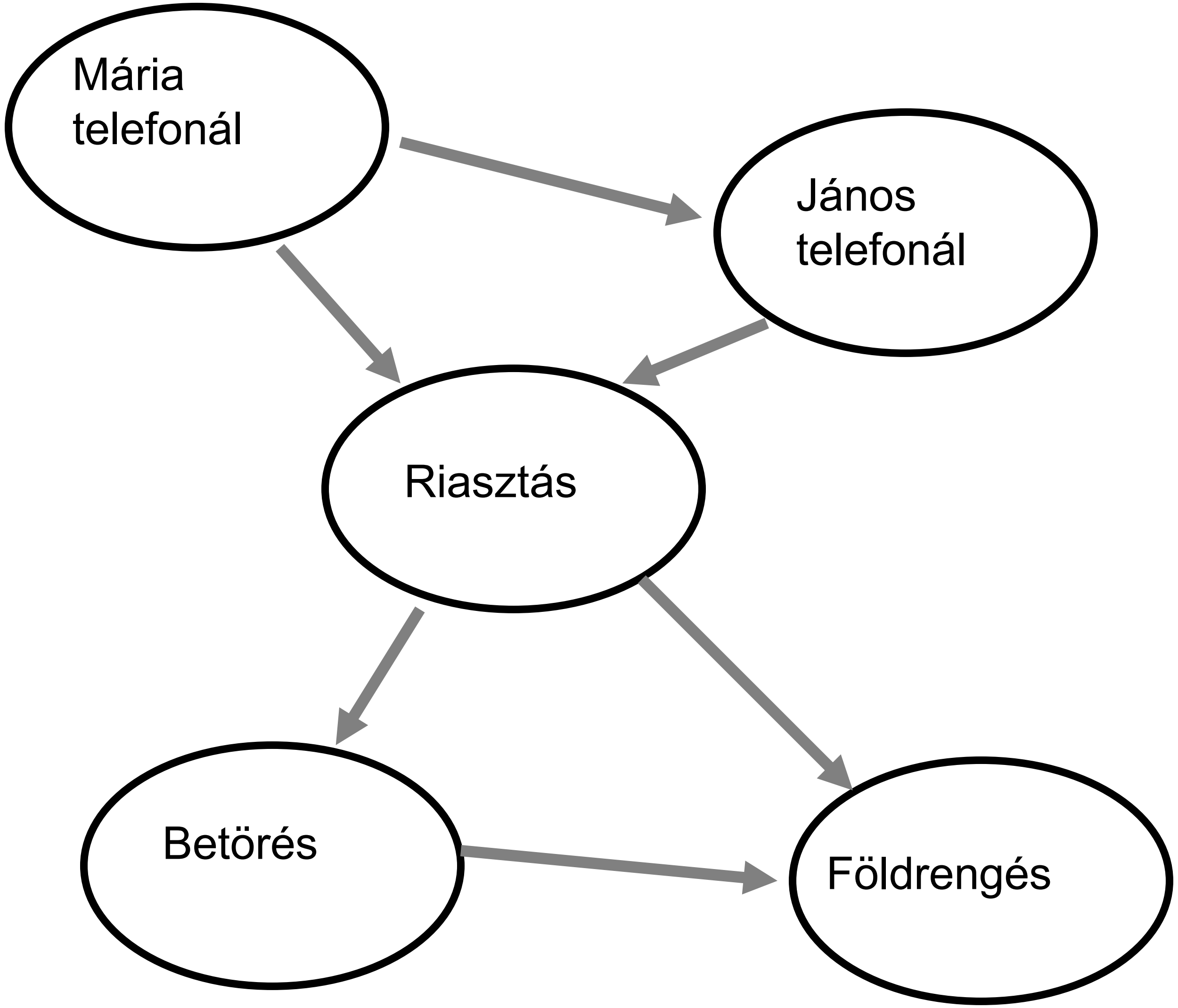
P(J | M) = P(J)?   Nem (azaz van nyíl)



$P(R \mid J, M) = P(R \mid J)$? $P(R \mid J, M) = P(R)$?   Nem



$P(B \mid R, J, M) = P(B \mid R)$? Igen



1 + 2 + 4
+ 2 + 4
= 13

P(F | B, R, J, M) = P(F | B, R)? = P(F | R)?
Igen Nem

Mi történik, ha történetesen egy nagyon rossz sorrendet választunk?

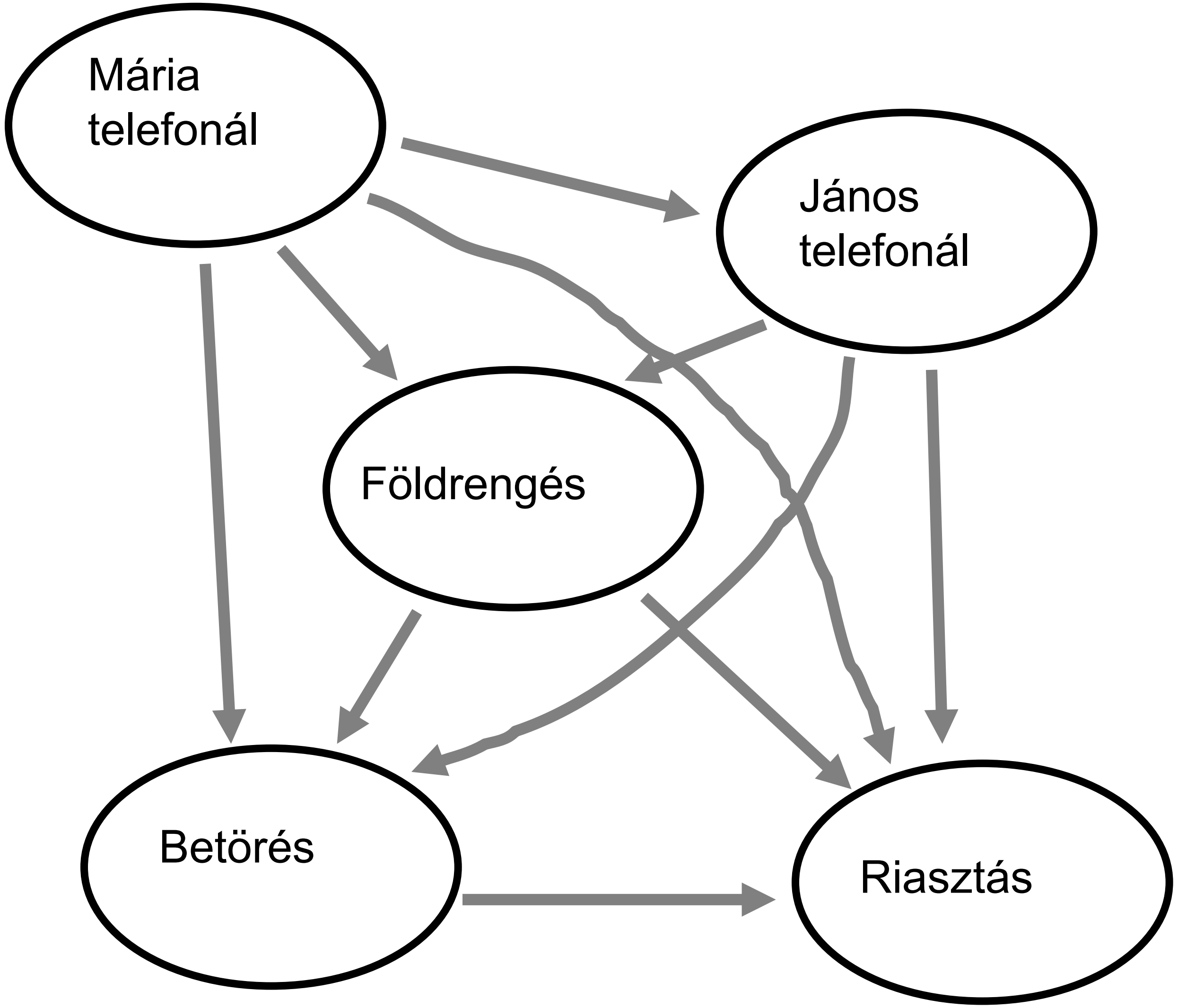
MáriaTelefonál

JánosTelefonál

Földrengés.

Riasztás

Betörés



$1 + 2 + 4$
$+ 8 + 16$
$= 31$
$= 2^5 - 1$

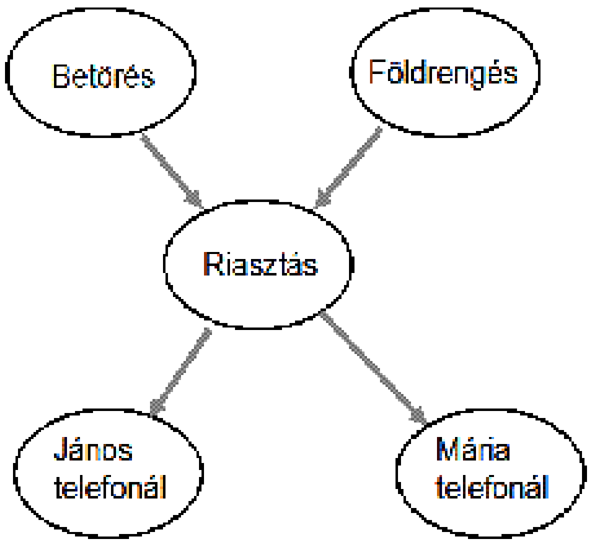
Sok valószínűség (elméletileg exponenciális számú)

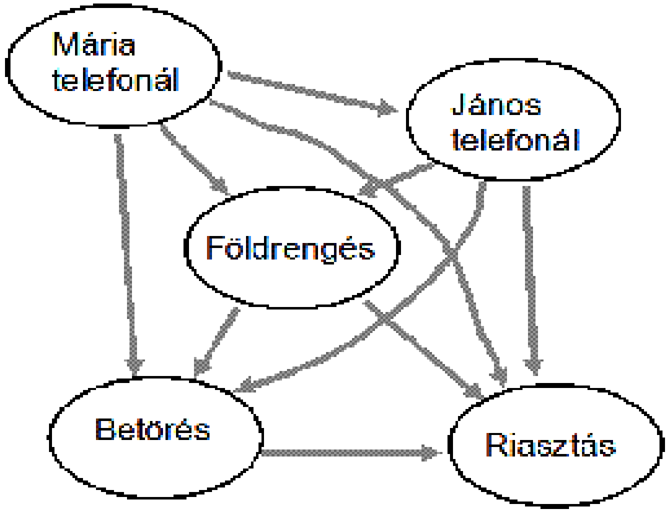
De a legrosszabb következmény:
néhány kapcsolat furcsa viszonyt reprezentál, ami nehéz és **nem természetes valószínűségi ítéleteket igényel**, pl.

P(*Földrengés* | *Mária …, János …*) ?

P(*Betörés* | *Földrengés*) ? ... ...

Okozati (kauzális) modell: kevesebb, megbízhatóbb érték, az értékeket gyakran könnyebb elérni





Következtetés valószínűségi hálókban

Az alapvető feladat:
kiszámítani az a posteriori valószínűséget a **lekérdezéses változók**ra, ha a **tény** ill. **bizonyíték (evidencia) változók**nak az értékei adottak:

P(Lekérdezéses | Bizonyíték)

A riasztós példában, pl.:

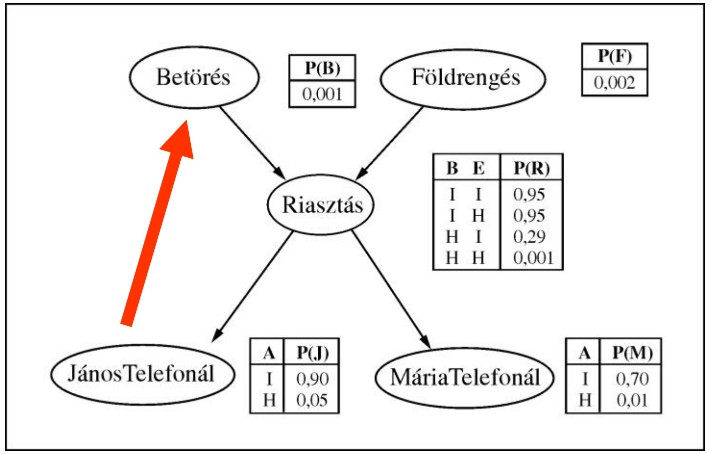
P(*Betörés* | *MáriaTelefonál* és *JánosTelefonál*)

Általában *az ágens az érzékeléséből (vagy egyéb következtetésből) kap értékeket a tény változókhoz, és más változók lehetséges értékeiről kérdez, hogy el tudja dönteni milyen cselekvéseket végezzen*.

Következtetés valószínűségi hálókban

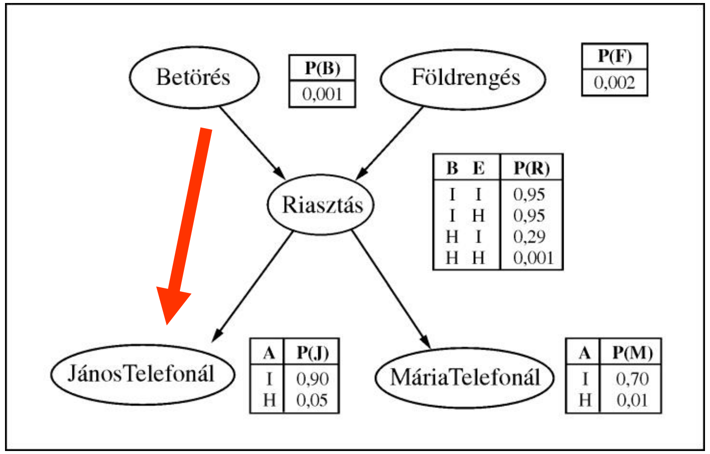
Diagnosztikai következtetés
(hatásról az okra)

Ha adott a *JánosTelefonál,* akkor kiszámíthatjuk pl., hogy
P(*Betörés* | *JánosTelefonál*) = 0,016.



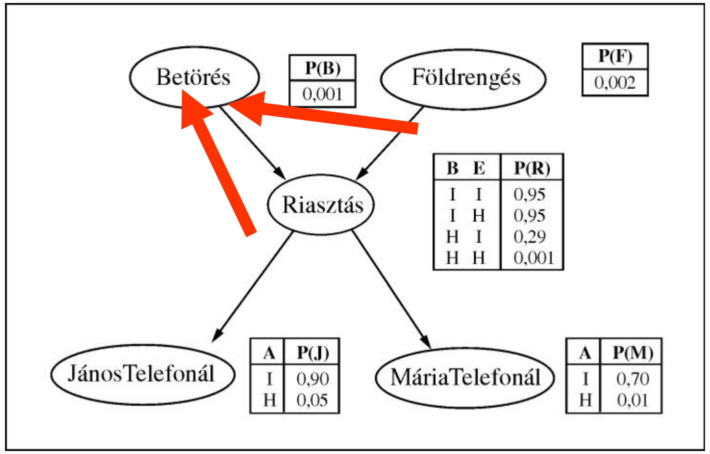
Okozati következtetés
(okról a hatásra)

Ha adott a *Betörés,* akkor kiszámíthatjuk pl., hogy
P(*JánosTelefonál* | *Betörés*) = 0,67.



Okok közötti következtetés

(következtetés egy közös hatás
okai között)



Ha adott a *Riasztás,*
akkor *P*(*Betörés* | *Riasztás*) = 0.376.

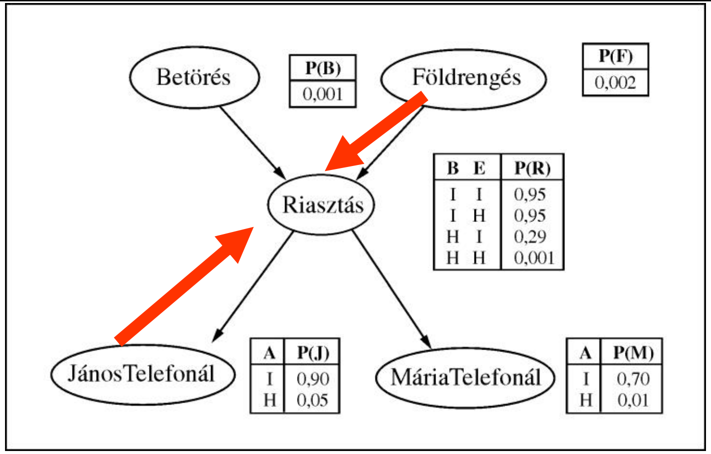
Ha azonban hozzávesszük azt a tényt is,
hogy a *Földrengés* igaz,
akkor P(*Betörés* | *Riasztás, Földrengés*) = 0.003.

Bár a betörések és a földrengések függetlenek, az egyik jelenléte a másik valószínűségét csökkenti.
Ez a fajta következtetési mód a **kimagyarázás.**

Következtetés valószínűségi hálókban

(a fentiek kombinált használata).

Ha a *JánosTelefonál* okozat igaz
és a *Földrengés* ok hamis, akkor



$$P(Riasztás \mid JánosTelefonál, \neg Földrengés) = 0{,}03.$$

Ez a diagnosztikai és okozati következtetés együttes felhasználása.

Hasonlóan,

$$P(Betörés \mid JánosTelefonál, \neg Földrengés) = 0{,}017.$$

Ez a diagnosztikai és az okok közötti következtetés kombinálása.

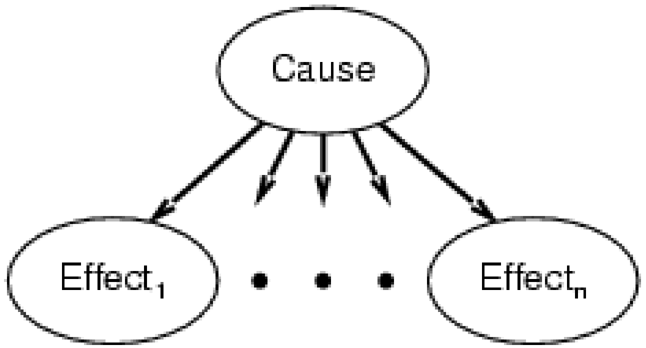
Érzékenységi vizsgálat elvégzése, annak érdekében,
hogy megértsük, hogy a modell mely vonatkozásának van
a legnagyobb hatása a lekérdezéses változókra nézve.

Naiv Bayes-hálók

Feltevések:

1.) Kétféle csomópont lehetséges: a „ok” és „következmény”.

2.) A következmények egymástól feltételesen függetlenek egymástól feltéve az okot.



Naiv Bayes-hálók

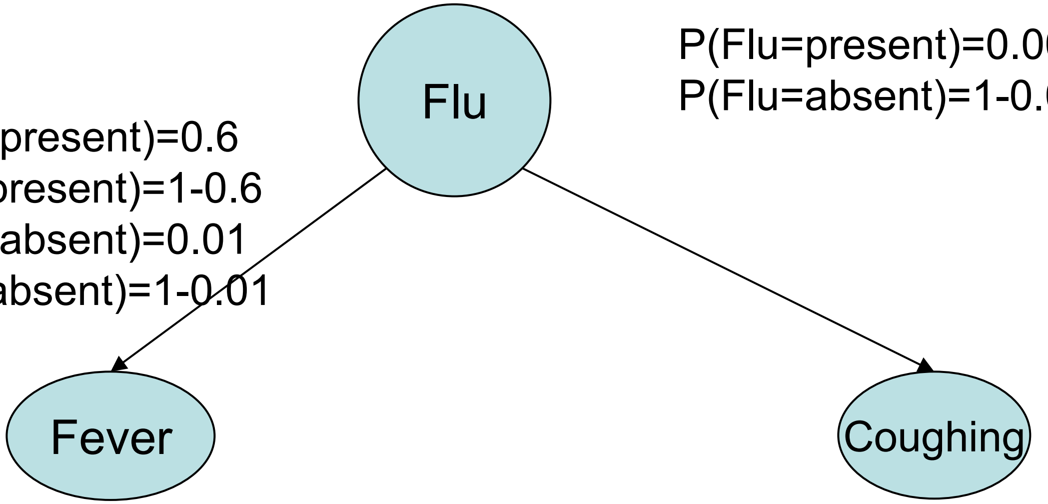
Változók (csomópontok)

Flu (Influenza): {jelen, nincs jelen}
Fever (Láz): {jelen, nincs jelen}
Coughing (Köhögés): {jelen, nincs jelen}

Modell

P(Flu=present)=0.001
P(Flu=absent)=1-0.001

P(Fever=present|Flu=present)=0.6
P(Fever=absent|Flu=present)=1-0.6
P(Fever=present|Flu=absent)=0.01
P(Fever=absent|Flu=absent)=1-0.01



P(Coughing=present|Flu=present)=0.3
P(Coughing=absent|Flu=present)=1-0.3
P(Coughing=present|Flu=absent)=0.02
P(Coughing=absent|Flu=absent)=1-0.02

Naiv Bayes-hálók

Együttes valószínűség-eloszlás dekompozíciója:

$P(Y,X_1,..,X_n) = P(Y)\prod_i P(X_i,|Y, X_1,..,X_{i-1})$ //lánc szabály miatt

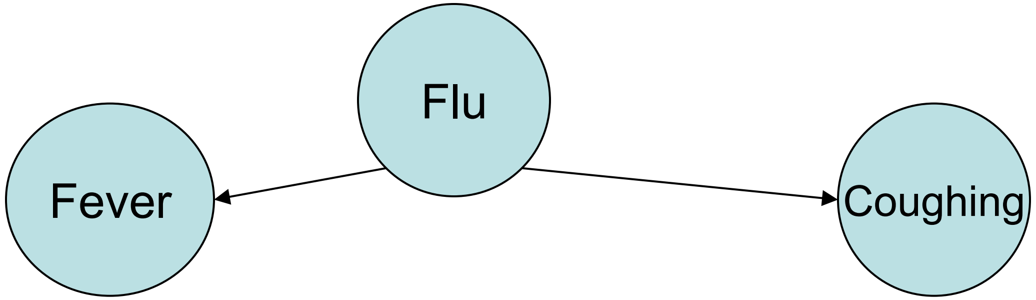
$= P(Y)\prod_i P(X_i,|Y)$ // naiv BN feltevés

2n+1 paraméter

Diagnosztikus következtetés:

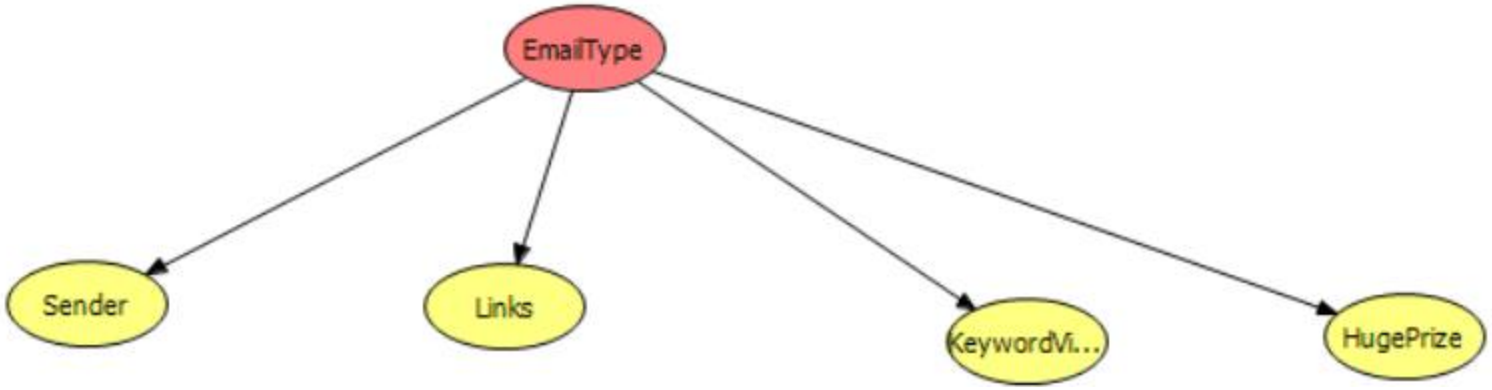
$P(Y|x_{i1},..,x_{ik}) = P(Y)\prod_j P(x_{ij},|Y) / P(x_{i1},..,x_{ik})$

$$p(Flu = present \mid Fever = absent, Coughing = present)$$
$$\propto p(Flu = present)\, p(Fever = absent \mid Flu = present)\, p(Coughing = present \mid Flu = present)$$



Gyakorlati példa: SPAM filter

- SPAM filter
  - SPAM: yes/no [suspicious..]
  - Attributes
    - Sender, subject, link, attachment,..



A valószínűségi hálók szemantikája – oksági kapcsolatok

(1) a háló = **együttes valószínűségi eloszlás** egy leírása,

(2) a háló = **feltételes függetlenségekről szóló állítások** együttese.

(3) a háló = **oksági kapcsolatok** együttese.

FONTOS: oksági kapcsolat ≠ asszociációs kapcsolat

Reichenbach's Common Cause Principle:

„a correlation between events *X* and *Y* indicates either that *X* causes *Y*, or that *Y* causes *X*, or that *X* and *Y* have a common cause.”