

1. A szoftver funkcionálisai: modellszerkesztés

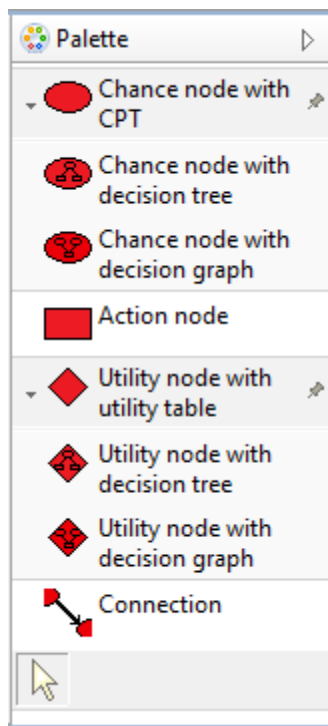
A BayesCube szoftver segítségével a felhasználó valószínűségi csomópontokból álló Bayes-hálókat, majd az akció- és hasznosságcsomópontok bevezetésével annak kiterjesztését jelentő döntési hálókat konstruálhat.

A modellstruktúra szerkesztésekor a felhasználó a palettáról választhatja ki, majd húzhatja be a szerkesztővászonra a hozzáadni kívánt csomópontot. A csomópontok közé irányított éleket köthet, amelyek a háló értelmezési szintjétől függően a változók közötti feltételes függőségi vagy ok-okozati relációk reprezentációjaként értelmezhetők.

A palettán a csomópontok típusuk szerint csoportosítva érhetők el.

Az első csoportba a valószínűségi csomópontok kerültek. A valószínűségi csomópontok ellipszisekkel vannak jelölve. A Bayes-hálóban minden egyes valószínűségi csomópont saját CPD modellel, azaz lokális feltételes valószínűségi modellel rendelkezik, amely a reprezentált valószínűségi változó feltételes valószínűség-eloszlását adja meg. Egy Bayes-háló leírásához a topológiát leíró metadatok mellett a csomópontbeli CPD modellek paraméterezése szükséges.

Többféle CPD modell létezik. A valószínűségi csomópontokat az alkalmazott CPD modelljük szerint tudjuk típusokba sorolni. A szoftver a lehetséges CPD modellek közül a táblázatos CPT-t, a kontextuális feltételes függetlenségeket reprezentáló lokális struktúrák közül a döntési fát és döntési gráfot implementálja.



1. A paletta

A leggyakrabban használt modell a CPT, vagyis feltételes valószínűségi tábla, amely soraiban a szülők minden lehetséges érték-kombinációjához tartalmaz egy valószínűségi eloszlást.

| (SLIT, Sensitization) | 0 | 1 | 2 | 3 |
|-----------------------|------|------|------|------|
| (0, 0) | 0.99 | 0.01 | 0.0 | 0.0 |
| (0, 1) | 0.01 | 0.98 | 0.01 | 0.0 |
| (0, 2) | 0.01 | 0.05 | 0.89 | 0.05 |
| (0, 3) | 0.0 | 0.01 | 0.05 | 0.94 |
| (1, 0) | 0.95 | 0.05 | 0.0 | 0.0 |
| (1, 1) | 0.74 | 0.25 | 0.01 | 0.0 |
| (1, 2) | 0.65 | 0.3 | 0.05 | 0.0 |
| (1, 3) | 0.5 | 0.2 | 0.2 | 0.1 |

fixed row height sample size/probability

OK Cancel

2. Példa a feltételes valószínűségi táblára

A döntési fa, - háló alapú valószínűségi csomópontokról alább részletesebben szólok.

A palettán a valószínűségi csomópontok csoportja alatt az ún. akciócsomópont található. E téglalappal jelölt csomópontokat azokat a döntési pontokat reprezentálják, ahol a döntéshozónak választani kell a lehetséges alternatívák közül.

Az akciócsomópont alatt a hasznosságcsomópontok csoportja következik. A vizuálisan rombuszsal ábrázolt hasznosságcsomópontok a döntéshozó hasznosságfüggvényét reprezentálják a szülőcsomópontokon definiált függvény segítségével. A szoftver jelenlegi verziójában a hasznosság megadható a "klasszikus", táblázatos formában, de emellett lehetőség van a hasznosságfüggvény döntési fás és - gráfos lokális függőségi modellel való kifejezésére is.

| SLIT | | 0 | 1 |
|----------|----------------------|-----|------|
| SDrugsY1 | none | 0 | -100 |
| | StdAntiHistamin | -10 | -110 |
| | HighAHorLocalSteroir | -40 | -140 |
| | SysSteroid | -90 | -190 |

fixed row height matrix view

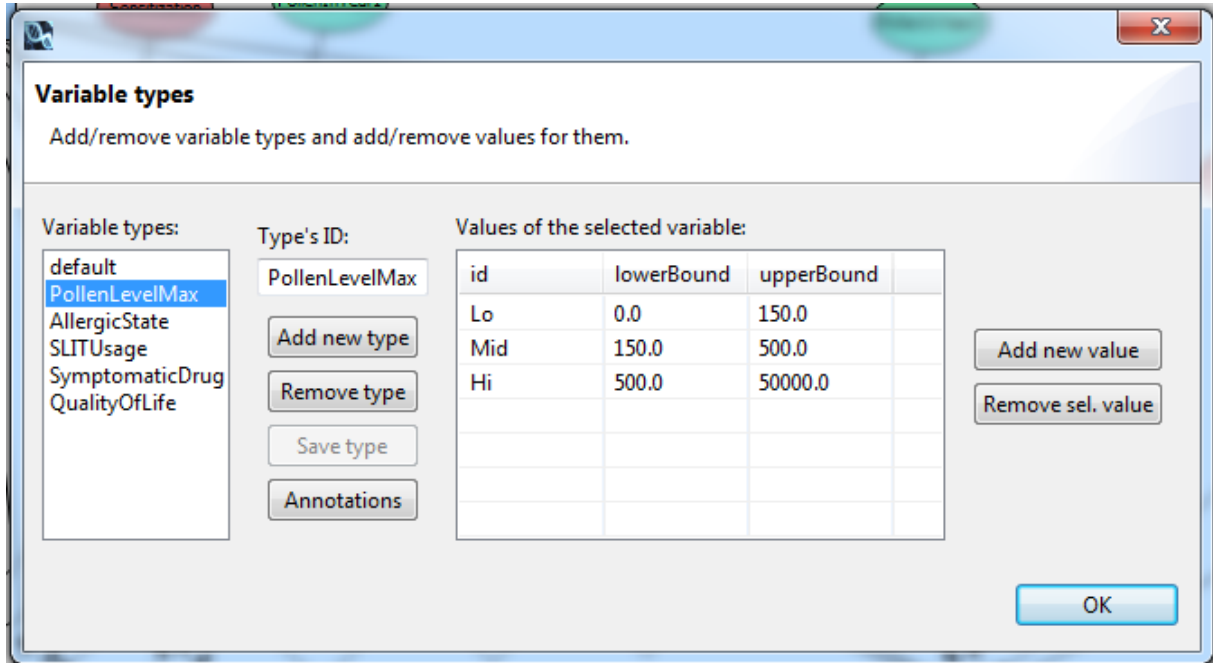
OK Cancel

3. Példa egy hasznosságtáblázatra

Minden csomópont belsejében annak egyedi azonosító neve olvasható, felső régiójában pedig a csomópont altípusára utaló ikon látható.

2. Változótípusok

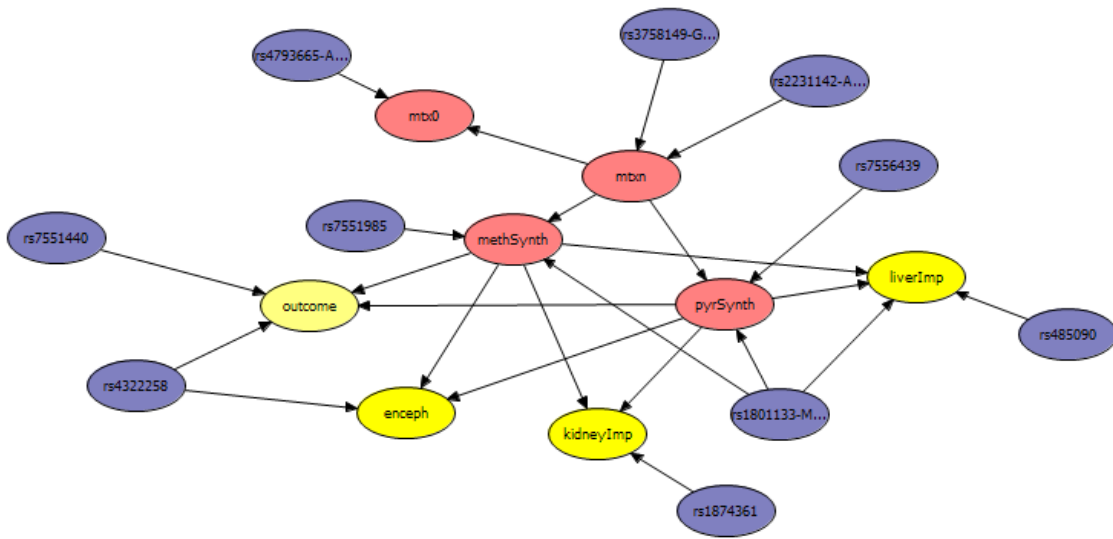
A valószínűségi csomópontok a szoftver jelenlegi verziójában kizárólag véges értékészletű, diszkrét valószínűségi változókat jelölnek. Lehetőség van a változótípusok egyedi azonosítójukkal, a felvehető értékek halmazának és azok valós intervallumainak megadásával történő definiálására, törlésére, módosítására.



4. Változótípus szerkesztésére szolgáló dialógusablak

3. Változócsoportok

A modellben található csomópontok csoportokba szervezhetők, a csoportokhoz a csomópont háttérszínét meghatározó színt rendelhet a felhasználó.



5. Az egy változócsoporthoz tartozó csomópontok háttérszíne azonos

4. Annotációk

A modellben magához a háléhoz, a csomópontjaihoz, a változótípusokhoz és a változócsoporthoz is rendelhetők kulcs-érték pár alakú szöveges annotációk. Az annotáció lényege, hogy egy modell különböző absztrakciós szintjén lévő elemeit kiegészítő információkkal gazdagítsuk. Az változókhöz, illetve változó csoportokhoz publikációs hivatkozást vagy akár adatbázis referenciát rendelhetünk, egyes kiemelten fontos elemekhez további részleteket fűzhetünk. De lehetővé válik korábbi eredmények adott elemhez való linkelése is. A cél az, hogy az elemzést elősegítse a rendszerezett addicionális információ.

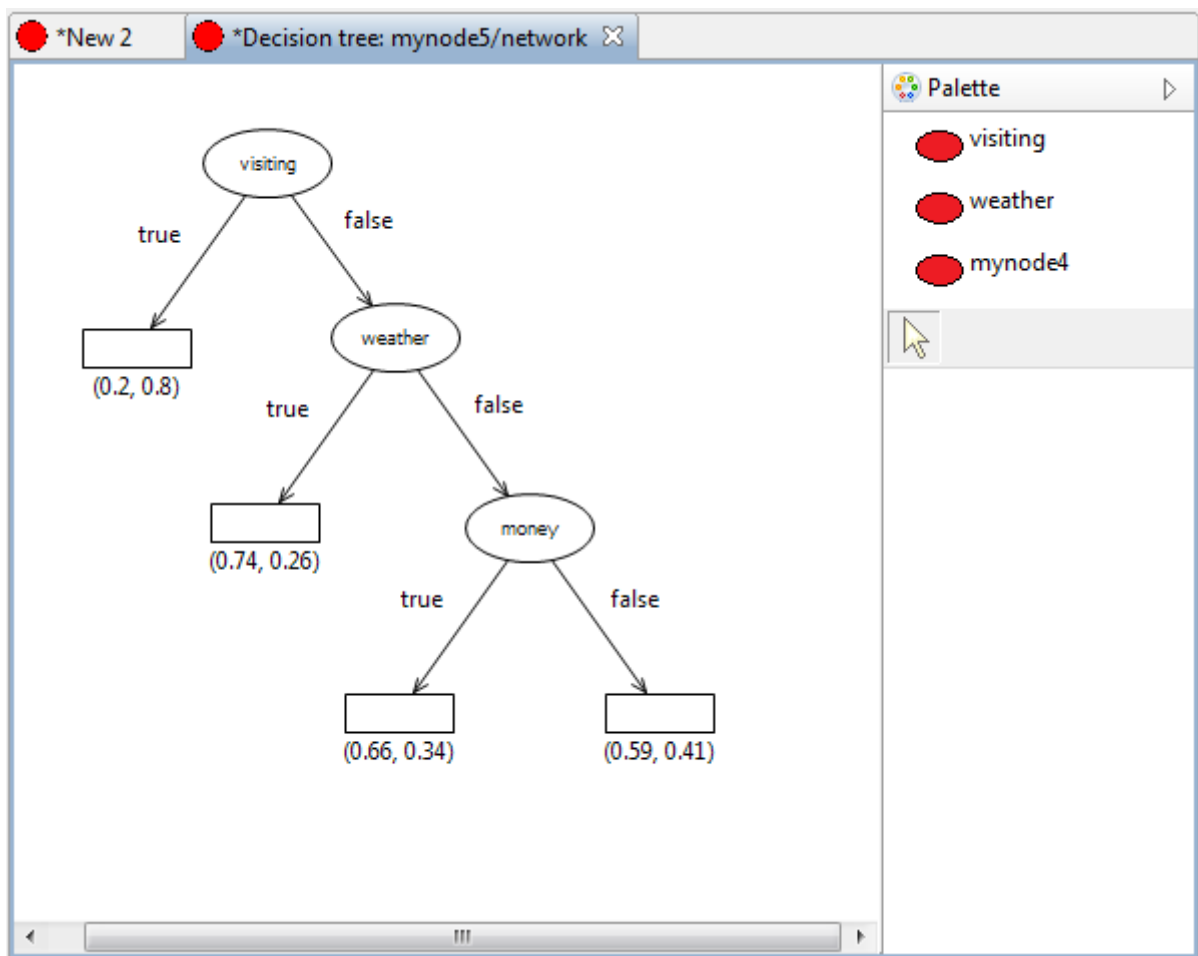
5. Döntési fa szerkesztő

A CPT mérete exponenciális nő a szülők számának és a változók értékészletének növekedésével ami viszont problémát jelent a struktúra- és paramétertanulás során, mivel nagyszámú paramétert kell megbízhatóan megbecsülnünk, ami több adatot igényel. A paraméterszám csökkentésére kétféle lehetőségünk van: egyik megközelítés szerint egy korlátozottabb reprezentációs képességű modellosztályt alkalmazunk, mint pl. a lineáris paraméterszámmal leírható a noisy-OR, vagy egy olyan modellosztályt keresünk, amely képes ábrázolni a kontextuális feltételes függetlenséggel kifejezhető összefüggéseket, nevezetesen amikor egy kontextusban, vagyis a szülőváltozók egy halmaza által felvett értékek mellett a változó feltételesen független egy szülőváltozójától. Ezzel a megközelítéssel nem csak tömörebb formában vagyunk képesek a feltételes valószínűség-eloszlást ábrázolni, hanem még a modell kifejezőképességéből sem veszítünk. Lokális struktúrák használatával főleg nagy méretű hálóknál sokat javíthatunk a struktúratanulás és a következtetés gyorsaságán.

Ilyen, a feltételes eloszlás leírásában a kontextuális feltételes függetlenséggel kifejezhető összefüggéseket ábrázolni képes lokális struktúra a döntési fa, amely felépítéséhez a vizsgált csomópont szüleit, mint tesztváltozókat használunk fel. A döntési fa belső, döntési csomópontjaihoz a változó egy szülőjét rendeljük, a döntési csomópontból kimenő élekhez az ennek a változónak egy értéke, a fa leveleihez pedig a változó egy eloszlása tartozik. A döntési csomópontnak annyi ága van ahány eltérő lehetséges értéket a vizsgált változó felvehet. A döntési csomópontokat ellipsziszekkel, a leveleket téglalapokkal jelöljük, az irányított élek melletti címkéken az él kezdőpontjaként szolgáló döntési csomópontokhoz rendelt változó egy felvehető értékét olvashatjuk. A fa gyökere az a csúcs,

amelynek nincs bemenő éle, minden más csomópontjának pontosan egy bemenő éle van. A döntési fa a faépítés kiinduló állapotában egyetlen levélből áll, ekkor ez egyúttal a fa gyökere is, más esetben a gyökér döntési csomópont típusú. A döntési csomópontoknak pontosan egy kimenő éle van, a leveleknek nincsen egy se.

A kifejlesztett szoftver lehetővé teszi ilyen döntési fás lokális modellel rendelkező valószínűségi csomópontok felvételét. A felhasználó a döntési fa szerkesztőben új döntési csomópont felvételéhez a palettáról válogathat a változócsomópont szülei, mint a döntési fa attribútumai közül. Ha a felhasználó az új döntési csomópontot egy levél fölé húzza, a levél döntési csomópontra változik át és annyi belőle kiinduló irányított él kerül felvételre a végükön egy-egy új levéllel, amennyi a döntési csomóponthoz rendelt változó felvehető értékeinek a száma. Az élek melletti címkéken az él kezdőpontjaként szolgáló döntési csomóponthoz rendelt változó egy felvehető értékét olvashatjuk.



6. A döntési fa szerkesztő felülete

Minden levélhez vezető irányított út mentén minden szülőváltozó maximum egyszer fordulhat elő. Ezen szabály érvényességét a program minden a gráf struktúráját érintő változáskor ellenőrzi, ha sérülne, a kurzor tiltó jelre vált, a művelet nem végrehajtható.

A programban a felhasználónak lehetősége van döntési csomópont vagy egy egész belőle kiinduló részfa törlésére, a levélbeli eloszlások szerkesztésére, döntési csomópontból kiinduló részfa áthelyezésére vagy másolására egy másik levélbe.

A döntési fa lokális modellel rendelkező valószínűségi változó csomópont eloszlását úgy tudjuk meghatározni, hogy a gyökérből indulva irányított úton haladunk egy levél felé, minden belső

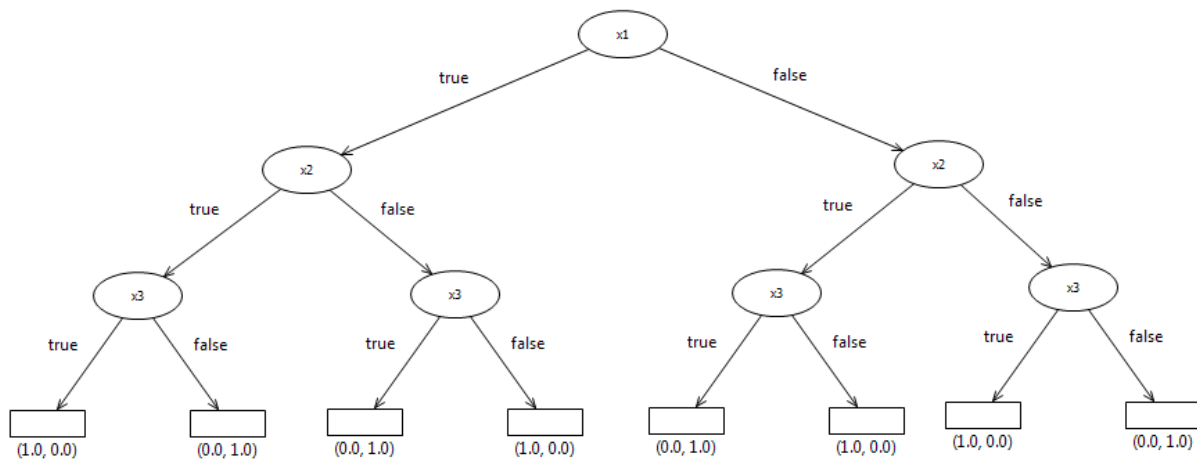
csomópontnál azt a kimenő élt választjuk amelyikhez rendelt változóérték megegyezik az adott szülőváltozó értékével, egészen addig, amíg levélhez nem érünk. A levélhez tartozó eloszlás lesz a változó eloszlása.

A döntési fa lokális modelles ábrázolás megfeleltethető egy CPT-nek is. A levélbe vezető utak mentén érintett szülőváltozó értékek egy vagy több sorát jelölik ki a feltételes valószínűség táblának, amelyben a levélben megadott valószínűségi eloszlás érvényes lesz.

A döntési fa felhasználja a kontextuális feltételes függetlenséget, hiszen a teljes fához képest kimetszett változók függetlenek az eredeti változótól a levélig vezető út által meghatározott szülői értékkonfiguráció kontextusában.

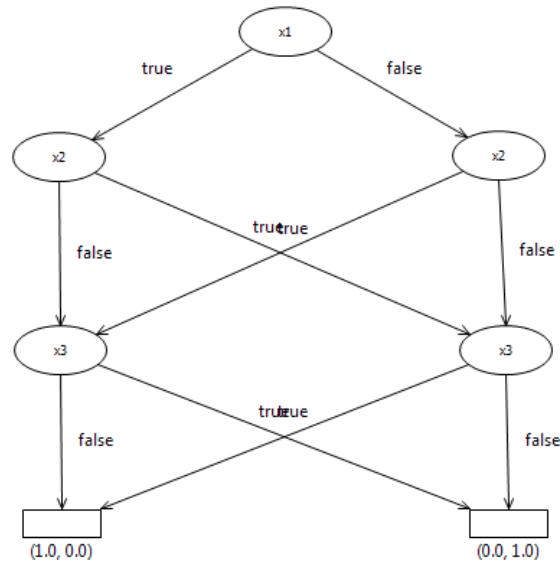
6. Döntési gráf szerkesztő

A döntési fák bármilyen logikai függvényt képesek reprezentálni, de nem azonos hatékonysággal: míg a konjunkciókat (AND) hatékonyan képesek leírni, a diszjunkciók (OR) leírása nagy méretű fákat igényel. A döntési fával nehezen kifejezhető függvényre jó példa a 3 bemenetű XOR függvénykapcsolat:



7. 3 bemenetű XOR függvény kifejezése döntési fával

A döntési gráf a döntési fa általánosítása, amelyben a döntési fáktól eltérően egy csomópontnak lehet több szülője is, ugyanabba a levélbe több irányított úton is eljuthatunk. A döntési fában minden a gyökértől levélbe vezető út egy az attribútumtesztekre vonatkozó konjunkciónak felel meg, a döntési gráfban viszont lehetőség van diszjunkciókkal a levélbe vezető irányított utak összekapcsolására is. Ezzel a kiterjesztéssel a döntési fához hasonlóan könnyen értelmezhető, de mégtömörebb ábrázolást kapunk.



8. 3 bemenetű XOR függvény kifejezése döntési gráffal

A szoftver döntési gráfos lokális modell-szerkesztő funkcionalitással is bír. A döntési fa szerkesztéséhez hasonlóan a felhasználó döntési csomópontokat hozhat létre a gráfban, csomópontot vagy belőle kiinduló egész irányított részgráfokat törölhet, áthelyezhet, másolhat. A döntési fa szerkesztőhöz képest új műveletként jelennek meg a két levél egyesítése, levél összevonása döntési csomóponttal, közös szülőből induló élek szétválasztása és az él leválasztása műveletek.

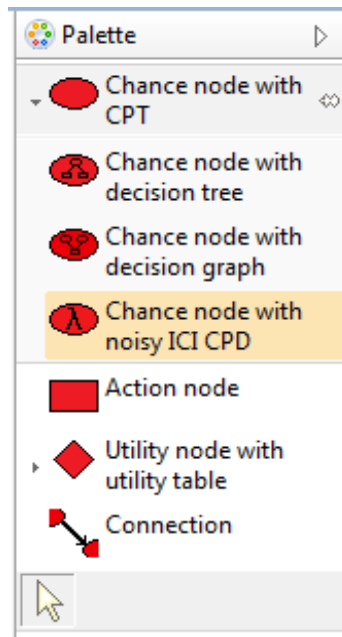
7. Részgráf duplikálás, copy/paste

A program lehetővé teszi a kijelölt csomópontok által alkotott feszített részgráf duplikálását a bemenő élekkel együtt a másolt valószínűségi csomópontok lokális modellparaméterezésének megosztásával vagy anélkül.

A kijelölt részgráfra elérhetőek a copy/paste parancsok is, amelyekkel a kijelölt struktúra másolható, beilleszthető ugyanazon háló egy kívánt pozíciójába vagy akár egy másik szerkesztőablakban megnyitott hálóba a kapcsolódó változó típusokkal együtt.

8. Noisy-OR CPD-jű valószínűségi változó csomópontok felvételének lehetősége a Bayes-háló modellbe

A Bayes-háló szerkesztő palettáján új felvehető elemként megjelent a Noisy-OR CPD-jű valószínűségi csomópont.



Bizonyos esetekben a változó szüleitől, mint feltételektől függő feltételes eloszlását célszerűbb tömörebben, korlátozottabb ábrázolóképeségű, de kevesebb paramétert igénylő modellosztállyal reprezentálni. Ilyen modellosztály kanonikus eloszlások osztálya. Ezek az eloszlások valamilyen szabályosságokat követnek, segítségükkel a teljes feltételes valószínűség tábla leírható a mintázat és esetleg néhány paraméter meghatározásával - sokkal könnyebben, mint exponenciális számú paraméter megadásával.

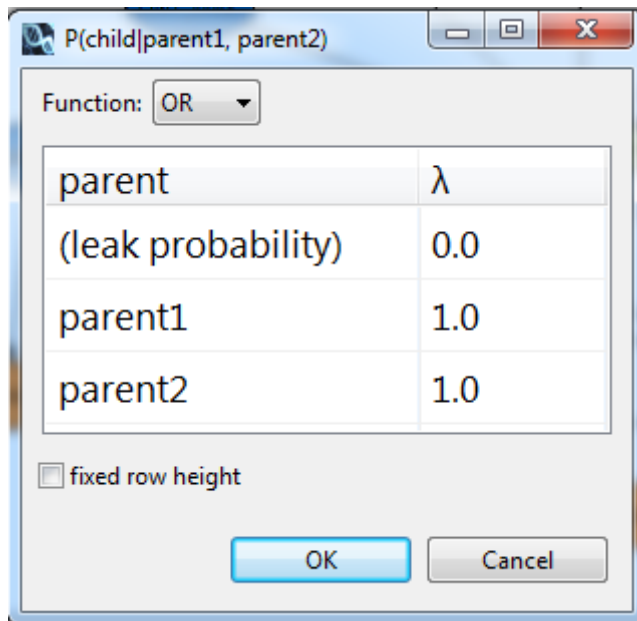
A kanonikus modellek körébe tartozó egyik legismertebb modell a noisy-OR, magyarul zajos-VAGY kapu. Bináris szülők esetén a noisy-OR kaput úgy értelmezhetjük, mint a szülőváltozók egymástól való független hatását a kérdéses változóra. Ez azt jelenti, hogy bármely szülőváltozó "igaz" értéke esetén a gyermek $1-p$ valószínűséggel lesz "igaz" értékű és p valószínűséggel "hamis". A gyakorlatban, szinte lehetetlen minden olyan lehetséges okot számításba venni, ami a modellünkben hathat. Ezért noisy-OR modellben bevezetésre került a leak probability (szivárgás valószínűség, λ_0) paraméter, ami lehetővé teszi az ilyen figyelembe nem vett tényezők modellezését is. A leak probability bevezetésével a "leaky noisy-OR" kapu bemeneteinek hamis értékei esetén, a hamis kimenet valószínűsége nem 1.0, hanem a noise paraméter értéke lesz.

Mivel a szülőváltozók függetlenül hatnak, a valószínűségek kiszámításának formulája:

$$P(Y = 0 | \mathbf{X}) = (1 - \lambda_0) \prod_{i: X_i=1} (1 - \lambda_i)$$

A szoftver a Noisy-OR CPD-jű változócsomópont szüleinek csak bináris változókat enged meg és magának a változónak is binárisnak kell lennie.

A Noisy-OR CPD-jű változócsomópont paramétereinek megadására a csomópontra duplakattintás után megjelenő dialógusablakban van lehetőség:



9. Paramétermegosztás

A hálóban használt paraméterek száma csökkenthető oly módon is, hogy egyes változók megosztják a modell paraméterezését, amit a háló más csomópontjai felhasználnak.

Egy valószínűségi csomópont átveheti egy másik valószínűségi csomópont lokális modelljének paraméterezését, ha

- azonos típusúak
- lokális modellje paraméterezését nem ő is egy másik valószínűségi csomóponttól veszi
- azonos számú szülőjük van
- és a szülők felvehető értékeinek száma is megegyezik.

10. Temporális csoportok

A programban a felhasználónak lehetősége van temporális csoportok létrehozására, a csoportok között időrendi sorrend megadása (a dialógus ablakbeli csoportosrend), valószínűségi csomópontok temporális csoportokba sorolására. Az egy csoportba tartozó csomópontok ezután egyszerre kijelölhetők, a temporális csoportból a "következő" temporális csoport automatikusan létrehozható (a duplikálni kívánt csoport után legyen üres legalább egy temporális csoport, ajánlott az összes temporális csoportot létrehozni). Ekkor a temporális csoportba tartozó csomópontok által alkotott feszített részgráf kerül duplikálásra a bemenő élekkel együtt, miközben az újonnan létrejött csomópontok mindegyike a következő temporális csoportba lesz besorolva, lokális modelljük paramétei a másolt csomópontok lokális modelljének megosztott paramétereire lesznek.