

7. GLOBALIZUJÚCE FORMY ODVODZOVANIA

7.1 Povrchové a hlbkové znalosti: expertné systémy 1. a 2. generácie

Expertné systémy 1. generácie

Expertné systémy, ktoré boli výsledkom poznávacieho aj realizačného úsilia vedy, výskumu, aj aplikácií približne do poslednej tretiny 80-tých rokov, bývajú klasifikované ako

expertné systémy 1. generácie.

Ich charakteristickým rysom bolo a je uplatňovanie iba **povrchových znalostí asertívneho typu reprezentovaných produkčnými pravidlami**.

a ich ohraňovania

Rozvoj aplikácií expertných systémov tohto druhu však pomerne rýchlo odhalil ohraňovania ich použiteľnosti, lebo pre riešenie prevažujúceho množstva praktických problémov reprezentácia iba asertívnych znalostí povrchového typu nie je postačujúca. Najmä v prípadoch, ktoré vyžadujú aspoň niektorú z nasledujúcich funkčných spôsobilosti ES:

☞ zdôvodniteľný výber alternatívy	☞ generovanie syntetizujúcich (integrujúcich) pohľadov na
<ul style="list-style-type: none"> ▪ náhradného (hypotetizovaného) údajaja alebo jeho modifikovania, ▪ počiatočného aj nadväzujúceho postupu (plánu) riešenia problému, ▪ cieleného získavania údajov a ich preferovanie pri rešpektovaní ohraňovania, ▪ rozkladu problému na podproblémy 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ riešiace (odvodzovacie) postupy vyvierajúce zo súvislostí a vzťahov medzi čiastkovými úlohami, ▪ syntézu čiastkových riešení a výsledkov do konzistentného celku
☞ zohľadňovanie	☞ cielené a zdôvodniteľné revidovanie riešiaceho postupu (odstupovanie od prebiehajúceho riešenia problému a zmeny riešiacej alternatívy
<ul style="list-style-type: none"> ▪ implikácií vzťahov všeobecného k špeciálnemu a naopak, ▪ alternatívnych príčinnno-dôsledkových vzťahov 	
☞ uplatňovanie a propagovanie ohraňujúcich vzťahov, väzieb	☞ dynamické zmeny úrovne detailnosti postupu riešenia (odvodzovania)
☞ rezolvovanie nekonzistentných/konfliktných situácií	☞ uplatňovanie kvalitatívneho usudzovania (odvodzovania)

Predpoklady vzniku ES 2. generácie

Postupne rozširované uplatňovanie reprezentácie znalostí **termového typu** zdokonaľovaným rámcovým formalizmom i snahy o reprezentovanie a využívanie štruktúr **hlbkových poznatkov a znalostí** vytvorili predpoklady k vzniku¹ expertných systémov 2. generácie.

V predošlom použitý termín **povrchový** nezamieňame s pojmom **povrchný!**

¹ Nadväzujúci vývoj týchto systémov je charakterizovateľný rozvojom metód reprezentácie znalostí aj súvisiacich prostriedkov odvodzovania. Napriek tomu sa dá naďalej uplatňujú ešte aj ES 1. generácie. Pretože jestvujú aplikačné oblasti, pre ktoré sú aj takéto systémy vyhovujúce.

Povrchové a hĺbkové štruktúry znalostí

Vyjadrujeme ním iba to, že použité poznatky a znalosti

- ☞ vznikli na základe skúseností či štatistickým sledovaním, nie sú však (zatiaľ) vôbec, alebo sú iba čiastočne zdôvodnené; neopierajú sa o poznanie štruktúry, organizovania, vnútorných funkcií daného systému, ich vzájomných väzieb a ohraničení,
- ☞ alebo, hoci sú dobre zdôvodniteľné – či už teoreticky alebo na základe dobre spoznanej "konštrukcie" reality - tvoria iba bežné "zhustené", nedetajlizované, avšak akceptovateľné vyjadrenie poznaných skutočností, sú teda povrchom (prejavom, dôsledkom) zodpovedajúcich hĺbkových znalostí tvoriacich ich pozadie.

Hĺbkové znalosti tvoria podstatu povrchových a umožňujú ich explicitne objasňovanie a zdôvodňovanie. Pokiaľ sú artikulovateľné, sú aj reprezentovateľné a začleniteľné do sústavy ostatných poznatkov. Najčastejšie sa s nimi stretávame vo forme reprezentovania

Formy reprezentácie hĺbkových štruktúr znalostí

- ✓ kauzálnych (príčinno-dôsledkových) závislostí,
- ✓ hierarchických (generalizačno-špecializačných) závislostí,
- ✓ analyticky vyjadrených – kvantitatívnych alebo kvalitatívnych – závislostí reprezentujúcich štruktúru a správanie (funkciu) systémov, vrátane zodpovedajúcich ohraničení.

Problematiku na tomto mieste priblížime niekoľkými ilustračnými produkčnými pravidlami reprezentujúcimi povrchové znalosti:

Ilustrácie povrchových znalostí

- AK materiálom je oceľ na odliatky
A ozubené kolesá, ktoré sa z nej majú vyrobiť, budú vystavené značnej námahe,
TAK súčiniteľ materiálu sa volí z intervalu 4.6 až 6.4.
- AK sa v hmotovom spektrograme súčasne pri hodnotách inverzného merného náboja 43, 71 a 86 vyskytujú vysoké maximá (píky), pričom pri hodnote 58 sa maximum nevyskytuje,
TAK sa vo vzorke skúmanej látky môže vyskytovať *n-propyl-3-ketónová skupina*.
- AK pacient má menej ako 8 rokov,
TAK nemá sa mu predpisovať *minocyklín*.

Výskyt takýchto pravidiel v BZ má bezpochyby oprávnenie a aj majú úspešné uplatnenie. Aj vtedy, keď ich formulácia neumožňuje odvodiť dôvod ich platnosti.

V kontexte doteraz predstavených stratégií a postpov vedúcich k aktivácii (interpretácii) produkčných pravidiel z predchádzajúcich kapitól, pristavme sa kvôli ilustrovaniu vysloveného napríklad pri poslednom z vyššie uvedených pravidiel. V prípade priameho chodu údaj o veku pacienta (nech sa jedná o 5 ročné dieťa) môže interpretáciu pravidla spustiť. K interpretácii môže však dôjsť aj na základe hradlovania, či komplementovania. Spätný chod, keď cieľom sa stáva uplatniteľnosť *Tetra-chelu*, tiež môže vyvolať interpretáciu tohto pravidla.

Ich opodstatnenie, potreba, užitočnosť až nevyhnutnosť

Minocyklín je jedným z liekov patriacich do triedy *tetracyklínov*. Všetky lieky patriace do tejto triedy majú nepriaznivý vedľajší účinok: negatívny dopad na vývoj kostných tkanív v detskom organizme. (Je ich čosi vyše dvadsať.) Keby

reprezentácia znalostí disponovala iba produkčnými pravidlami **bez možnosti ich vhodného začlenenia** (štruktúrovania v BZ), bolo by nevyhnutné uvedený prípad reprezentovať (nežiaducou) formuláciou vyše 20 prakticky rovnakých produkčných pravidiel.

Naviac, okrem ohraničenia použiteľnosti *Minocyklínu* vzhľadom na vek pacienta, môžu jestvovať aj iné faktory vedúce ku kontraindikácii (ohraničeniu) použiteľnosti tohto leku. Napr. alergia, funkčné zmeny niektorých orgánov, užívanie iných liekov atď. To by viedlo k ďalším neželaným dopadom na **efektívnosť reprezentácie** a potenciálne **aj odvodzovania** (najmä pri priamom chode, keď by potreba zisťovať či nie je splnená niektorá z podmienok vylučujúcich podávanie tohto preparátu).

Vieme však, že v porovnaní s jednoduchými konštruktami produkčných pravidiel, prostriedky **hierarchickej rámcovej reprezentácie** termových znalostí, **semafóry** a **akčná časť produkčných pravidiel** (*prostriedky začleňovania poznatkov*) umožňujú výrazné zvýšenie vyjadrovacej aj odvodzovacej účinnosti reprezentácie znalostí.

Majme situáciu, v ktorej pri zvažovanom ochorení by systém na základe reprezen-tovaných znalostí korektne odvodil, že pri zistenom infekčnom ochorení bakteriálneho pôvodu je *minocyklín* jedným z najvhodnejších odporúčateľných liekov. Avšak, keďže tento liek má vedľajšie účinky, ktoré za istých okolností sú škodlivé a teda neželané, je nevyhnutné buď predchádzajúci korektný výsledok odvodzovania zamietnúť alebo ani nepripustiť interpretáciu pravidiel, ktoré by (v danom prípade) nevhodný záver odvodili.

Práve na ilustrovanie tohto slúži uvažované pravidlo. Jeho interpretácia vedie k uplatneniu poznatku, ktoré aj napriek v predošlom korektne odvodenému záveru, pri detekcii ohraničujúcich podmienok (kontraindikácia) tento liek neodporučí. Uplatní sa poznatok o tom, že liek s názvom *minocyklín* sa nemá podávať deťom mladším ako 8 rokov.

Účinné uplatnenie príslušnej asercie sa dá zabezpečiť v zodpovedajúcich repre- zentačných štruktúrach znalostí viacerými spôsobmi:

✓ **V podobe semaforu, napr. pacient.vek ≤ 8.** Nesplnenie podmienky v semafore zabráni interpretácii všetkých pravidiel, v ktorých sa vyskytuje. Aj stratégiou hrad-lovania sa dá zabezpečiť "diskvalifikácia" všetkých rovnako podmienených pravi-diel. Problémom však zostáva, zdôvodnenie tejto "diskvalifikácie". Bez ďalších prostriedkov by vysvetlovací mechanizmus na otázku '*prečo nepredpísať minocyklín?*' by dokázal reagovať iba oznamom '*lebo nie je splnená podmienka v sema-fóre*'. Taký typ reakcie by v mnohých aplikáciách používateľa systému neuspoko-jilo.

Uvedené tiež poukazuje na výhodnosť uplatnenia vyjadrovacej aj odvodzo-va-cej účinnosti rámcovej reprezentácie znalostí spolu s reprezentáciou kauzálnych závislostí produkčnými pravidlami. Tie – hoci sa syntakticky neodlišujú od doteraz uvádzaných produkčných pravidiel – odlišujú sa svojim špecifickým poslaním, teda sú **sémanticky odlišné** (pozri v ďalšom). Uplatňuje sa pritom reprezentácia

- ✓ **hierarchických závislostí:** *minocyklín je antibiotikum, ktoré patrí do triedy tetra-cyklínov,*
- ✓ **kuzálnych závislostí:** *Tetracyklíny zasahujú do látkovej výmeny v organizme*

tak, že negatívne ovplyvňujú metabolizmus vápnika,

- ✓ **podmienenej kauzálnej závislosti:** *Negatívne ovplyvňovanie metabolizmu vápníka tetracyklínmi sa prejavuje najmä vo veku do 8 rokov, t.j. v období rýchleho rastu kostí a vývoja zubov.*

Je zrejmé, že dedenie vlastností tetracyklínov do svojich špecializácií je úsporný spôsob zabezpečujúci reprezentáciu potrebných súvislostí pre všetky prvky danej triedy (teda výrazná vyjadrovacia aj odvodzovacia účinnosť), vrátane výhodných podkladov pre mechanizmy vysvetľovania a zdôvodňovania.

Diskutovaný ilustračný príklad je demonštráciou možností reprezentovať nielen to čo treba efektívne odvodiť, ale aj to, čo je "skryté" pod povrchom uvažovaného pravidla. To sú práve **štruktúry kvalifikované ako hĺbkové znalosti** reprezentované prostredníctvom **hierarchizovaných termov a kauzálne viazaných asercií v úlohe "podpovrchových" znalostí.**

Rámcová reprezentácia, jej vyjadrovacia účinnosť a použiteľnosť, umožňuje vytvárať štruktúry rubriek čo umožňujú reprezentovať všeobecné (vrátane podmienkových a kauzálnych) vlastností liekov. Napríklad rubriky

- *uplatnenie* – nositeľ informácií o chorobných jednotkách, ktoré pri splnení špecifikovaných podmienok je vhodné daným liekom liečiť,
- *forma lieku* – napr. masť, prášok, granulát, šumienka, tabletky, kapsula, čípok, roztok, injekcia,
- *spôsob použitia* – špecificky podľa druhu a intenzity ochorenia sa volí forma aplikovania lieku (pozri v predošlom) a režim podávania (na lačno, pred či po jedle, pred spaním, pri zhoršenom stave atď.),
- *sila* – množstvo účinnej látky, napr. v miligramoch, mililitroch, koncentracii, počte jednotiek, atď. v jednej dávke (v tabletky, čípku, sáčku, roztoku, injekcii, ...),
- *dávkovanie* – počet dávok (tabletiiek, kvapiek, injekcií,...), frekvencia podávania (napr. každých x hodín, ráno – na obed – večer, každý druhý deň, v prípade potreby,...),
- *vedľajšie účinky* – spravidla neželané pôsobenie lieku,
- *kontraindikácie (ohraničujúce podmienky)* – okolnosti, za ktorých sa vylučuje/obmedzuje podávanie lieku – dajú sa vyjadriť aj v podobe podmienky či pravidla,
- *mechanizmus pôsobenia* – kauzálne účinky pôsobenia,
- *náhradné (zástupné) lieky* – zoznam liekov, ktorými sa dá práve uvažovaný v prípade potreby nahradiť (prvky zoznamu tvoria identifikátory rámcov, v ktorých sú ich atribúty špecifikované) atď.

Minocyklín patrí medzi vyše 20 liekov, ktoré sú prvkami triedy tetracyklínov. Ak nastane prípad identifikácie takého typu ochorenia bakteriálneho pôvodu, ktoré u daného pacienta s danými zdravotnými charakteristikami a reaktivitou na jednotlivé druhy liečby vedie k odvodu minocyklínu v roli vhodného lieku, tak sa aktivuje rámec, ktorý ho reprezentuje. V ňom by sa mala vyskytovať rubrika kontraindikácie a tá dedí obsah rovnomennej rubriky z nadradeného rámca reprezentujúceho tetracyklíny. Je to prípad uplatnenia efektivity hierarchickej reprezentácie termov a zároveň aj jedna z foriem reprezentácie hĺbkových znalostí.

V prípade reprezentácie kauzálnych (príčinných) vplyvov tetracyklínov na metabolizmus vápnika možno uplatniť asercie reprezentované produkčnými pravidlami. Vyhodnocovanie predpokladu týchto produkčných pravidiel podlieha už uvedeným všeobecným princípom.

Uplatňujú sa však dve odlišnosti:

- **pravidlá sa inicializujú len pri aplikovaní hĺbkových štruktúr znalostí** buď pre potreby zameriavania pozornosti - plánovania odvodzovacích akcií, alebo kvôli sofistikovanejšiemu vysvetľovaniu a zdôvodňovaniu prebiehajúceho od-

- vodzovaniu, resp. odvodených záverov,
- splnenie predpokladu pravidla podmieňuje **interpretáciu dôsledkovej/akčnej časti pravidla tak, že sa doplňujú, resp. modifikujú zodpovedajúce zložky agendy** s cieľom efektívneho traverzovania kauzálnu-hierarchickej siete, teda nevedie k bezprostrednému obohacovaniu obsahu bázy faktov.

Absencia štruktúr hĺbkových znalostí (najmä hierarchických a kauzálnych) **ohraničuje možnosti efektívneho uplatňovania poznatkov o vzájomných vzťahoch medzi reprezentovanými entitami**. Okrem iného má to za následok aj ohraničené možnosti realizovať odvodzovacie procesy **vyšších úrovní**, t.j. **inferenčné makrooperácie** - niektoré z nich sú predmetom pozornosti v nadväzujúcich kapitolách, vrátane intuitívneho uvedenia predkladov ich realizateľnosti.

Vyzdvihovanou prednosťou hĺbkových štruktúr znalostí je ich potenciál vytvárať podmienky na integráciu lokálnych odvodzovacích krokov do globálnejších (makro) krokov. Je to dané tým, že

- **lokálne odvodzovacie kroky zohľadňujú požiadavky vyhodnocovania jednej či malého počtu tesne súvisiacich entít, alebo jediného či malého počtu tesne súvisiacich produkčných pravidiel bez zohľadňovania širších, najmä kauzálnych a hierarchických súvislostí,**
- **globálne kroky spočívajú na zohľadňovaní vzájomných súvislostí umožňujúcich z určitého nadhľadu dynamickú produkciu (usporiadanej) množiny cieľových entít, ktorých vyhodnocovanie sa stáva potrebným vzhl'adom na aktuálne známe fakty a ich vzájomné väzby.**

V súvislosti s niektorými konkrétnymi metódami obohacujúcimi doteraz spomenuté procesy odvodzovania sa vynára potreba rozšíriť uvažované formálne prostriedky reprezentácie a odvodzovania aj ďalšími, napr. *symbolizmom množín, analytickými vzťahmi (kvantitatívnymi aj kvalitatívnymi modelmi), vektormi, bitmapami a zodpovedajúcimi operáciami nad takými symbolovými štruktúrami*. Na záver týchto uvádzajúcich informácií formulujeme rozšírené vymedzenie ES 2. generácie:

Sú to systémy, ktoré svojimi **operáciami nad symbolovou reprezentáciou štruktúr hĺbkových znalostí vytvárajú potenciál umožňujúci realizovať aj inferenčné makrooperácie a tým zefektívňovať uplatňovanie ES**.

7.2 Kauzality a hierarchické taxonómie – východiská uvažovaných makrooperácií

Téma tejto kapitoly sa týka významného a často uplatňovaného rozšírenia funkčných spôsobilostí štandardného inferenčného procesu. Pôjde v ňom o rozšírený pohľad na už uvedené metódy reprezentácie **hierarchických závislostí**. V nadväznosti s tým sa vynára aj potreba a požiadavka rozšírenia doteraz uvedených operačných prostriedkov reprezentácie a uplatňovania poznatkov o hierarchických závislostiach reprezentovaných fenoménov.

Štandardný inferenčný proces sa obohacuje o procesy zohľadňujúce explicitnú reprezentáciu **kauzálnych závislostí**, ktoré sa dajú reprezentovať viacerými prostriedkami a nadväzne aj zodpovedajúcim spôsobom operacionalizovať. V každom prípade sa stáva nevyhnutným symbolové konštrukty procedurálne interpretovať v zmysle **hierarchizovateľných kauzalít**.²

² Ako to vyplynie z nasledujúceho, často vzniká aj potreba vytvoriť/využívať ďalšie zatiaľ ešte neuvádzané sym-

a plánovací
mecha-
nizmus

Na báze rozšíreného ponímania hierarchických závislostí a (sémantiky) produkčných pravidiel - uvádzame možný variant realizácie dvoch makroprocesov - nazve-
me ich

- ☞ MECHANIZMUS ZAMERIAVANIA POZORNOSTI - PLÁNOVACÍ MECHANIZMUS,
- ☞ MECHANIZMUS INTEGROVANIA/SYNTÉZY ČIASTKOVÝCH VÝSLEDKOV ODVO-
DZOVANIA.

Uplatňujú sa v nich hierarchické a kauzálne väzby pri

- ☞ **zdôvodniteľnom výbere (plánovaní) cieľových entít (hypotéz), na ktoré sa následne má zamerať pozornosť inferenčného mechanizmu,**
- ☞ **zdôvodniteľnej identifikácii súvisiacich cieľových entít odvodených inferenčným mechanizmom, ktoré spoločne objasňujú/zdôvodňujú výskyt pozorovaniu dostupné fakty.**

V oboch prípadoch sa jedná o ilustráciu toho, čo sa v kontexte tvorby ES považuje za možný variant **globalizujúcich makrokrokov - makrooperácií.**

7.2.1 Kauzálne závislosti a podmienené produkčné pravidlá

Typy pod-
mienených
produkč-
ných pra-
vidiel

- Vzťah *príčina-následok* medzi dvomi entitami môže byť
- ☞ **kategorický**, t.j. nevyhnutne vždy platný: *A vždy jednoznačne vyvolá/spôso-
bí/je príčinou B,*
 - ☞ **nekategorický**, t.j. vzťah platí iba s určitou vierohodnosťou: *A {zriedka, možno,
pravdepodobne, skoro vždy} vyvolá/spôsobí/je príčinou B,*
 - ☞ **podmienený vlastnosťami a okolnosťami pôsobenia príčiny**, t.j. daná entita sa stáva príčinou dôsledku iba ak niektoré jej vlastnosti či ich špecifické kombinácie nadobudnú požadované hodnoty - *napr. A vyvolá/spôsobí/je príčinou B iba keď jej intenzita je {vysokú a rastúca, nízka a klesajúca ...}, a keď jej pôsobenie je {konštantné, premenlivé, pulzné,...}, a prejavuje sa {náhle, postupne, nebadateľne, ...} a trvá {iba veľmi krátko, krátko, dlho, veľmi dlho, ...} a uplatňuje sa {prvý raz, tretí raz, opakovane,...} a pôsobí {bez súčasného vplyvu iných faktorov, iba za súčasného pôsobenia faktorov: ...}, a iné.*

Kauzálna
väzba

Vo všeobecnosti **kauzálna väzba je mnohorozmerná závislosť (zobrazenie) príčiny a následku vo vzťahu ku kontextu, t.j. podmienkám, za ktorých sa väzba ustanovuje**

Ak je potrebné zahrnúť do reprezentácie znalostí *kontextovo parametrizované funkcie zobrazovania príčin a ich charakteristík na možné inštancie dôsledkov a im prislúchajúcim špecifickým charakteristikám*, tak je nevyhnutné zvoliť k tomu vyhovujúci reprezentačný formalizmus. Príkladom sú **podmieňované produkčné pravidlá** (napr. pravidlá so semaformi). Ilustráciou je aj nasledujúci abstraktný príklad generickej povahy

Ilustrácia
podmiene-
ného pro-
dukčného
pravidla

- AK** *A*, (PODMIENKA TYPU SEMAFÓR SITUÁCNE REPREZENTUJÚCI KONTEXT)
- TAK** *AK relácia(B, Y), TAK C*, (PRVÁ ČASŤ JADRA PRAVIDLA)
AK relácia(B, Z), TAK D,
INAK E,
- INAK** *AK relácia(B, Y), TAK F*, (DRUHÁ ČASŤ JADRA PRAVIDLA)
AK relácia(B, Z), TAK G,

bolové a procedurálne konštrukcie.

INAK H.

Ide o štruktúrovanú sústavu pravidiel, v ktorej podmienka **A** je v roli semafora. Zo syntaktického hľadiska sa táto sústava samozrejme dá nahradiť šiestimi individuálnymi produkčnými pravidlami, na ktoré je uvažovaný konštrukt dekomponovateľný. Za to by sa však platilo stratou *vyjadrovacej aj odvodzovacej účinnosti* reprezentácie.

Treba zvýrazniť, že uvedená štruktúrovaná sústava pravidiel je ilustráciou. Vedie k intuícii možných viacnásobne vnorených pravidlových štruktúr.

V konkrétnych aplikáciach generické výrazy a symboly sa kvôli vyjadriteľnosti (zrozumiteľnosti) a odvodzovacej účinnosti (funkčnosti) nahrádzajú špecifickými výrazmi, napr.

AK *A.výskyt='opakovaný' a X.hodnota='vysoká',*

TAK

AK B.vlastnosť=Y, TAK to spôsobí C

a ilustrácia
ich séman-
tiky

Implikácia
sémantiky

Sémantika týchto pravidiel môže vyplývať z

- (1) **priradenia špecifického symbolového označenia**, napr. použitia špecifických výrazových prostriedkov (kľúčových slov v úlohe názvov rámcov a ich rubriék),
- (2) **ich začlenenía/zaradenia v symbolových štruktúrach reprezentácie znalostí**, čím by nadobudli zodpovedajúce špecifické poslanie,
- (3) **okolností, v ktorých je žiadúca aj prípustná ich interpretácia** (štruktúry hĺbkových znalostí sa využívajú situačne iba keď je to účelné, užitočné, potrebné),
- (4) **interpretácie pravidiel**: dôsledok, resp. akčná časť pravidla zabezpečuje operácie vkladania/modifikovania/rušenia prvkov do/v špecifických riadiacich štruktúrach agendy.

7.2.2 Kauzálna-hierarchická sieť

Sémantika
symbolov

Fakty

V ďalšom výklade použijeme nasledujúce symboly:

F **FAKTY (OBZERVÁCIE)** - *pozorovateľné/zistiteľné fenomény* (entity alebo ich vlastnosti) **referencované v produkčných pravidlách zodpovedajúcich povrchovým štruktúram poznatkov** – ide konkrétne dáta z bázy faktov, menovite o hodnoty rubriék rámcov, vrátane propozičných hodnôt formúl zodpovedajúcich aj produkčným pravidlám; sú to teda *pozorovaniu dostupné zistiteľné, merateľné, dotazovateľné skutočnosti*,

Kauzy

K - **KAUZY (PRÍČINY)** - fenomény (objekty, javy, procesy) potenciálne (teda nie vždy) spôsobujúce výskyt detekovaných faktov **F**, ich **verifikácia a falzifikácia sa iba odvodzuje** (teda nie sú bezprostredne pozorovateľné); sú iba prostriedkom (nie cieľom) odvodzovania *môžných príčin/dôsledkov iných fenoménov, javov, entít, vrátane cieľových*; kauzy nebývajú zvyčajne referencované v aserciách z oblasti povrchových znalostí;

Cieľové
fenomény

S - **CIEĽOVÉ ENTITY (STAVY)** – fenomény (objekty, javy, procesy) tvoriace potenciálny predmet či východisko riešenia úlohy, t.j. verifikáciu/falzifikáciu, dosiahnuteľnosť/realizáciu; sú referencované v aserciách z oblasti povrchových

znalostí – ide teda o *záležitosti, ktoré sú predmetom pozornosti v rámci riešení problémov*. Sú to zároveň potenciálne príčiny kauz **K**, teda aj potenciálne príčiny detekovaných faktov **F**.

Majme produkčné pravidlo reprezentujúce aserciu "pozorovateľný výskyt faktu F_i implikuje, že skúmaný systém zodpovedá objektu S_y (alebo) že systém sa môže nachádzať v stave S_y ":

AK F_i , TAK S_y

Asercia je formuláciou poznatku o tom, že pozorovaniu priamo nedostupný *objekt, resp. stav S_y systému môže viesť k percepcii pozorovateľného fenoménu F_i , resp. môže byť (hľadanou, skúmanou) príčinou vzniku tohto pozorovateľného fenoménu.*

Prirodzene, keďže – *symetricky* - F_i môže byť *vlastnosťou, resp. dôsledkom S_y* , popri tejto asercii by súčasne mohla existovať aj formulácia:

ak ide o objekt, resp. sa systém nachádza v stave S_y , tak sa očakáva, že bude pozorovateľný výskyt faktu F_i ,

v symbolovom vyjadrení

AK S_y , TAK F_i .

.....Vzťahy **F** a **S** fenoménov sú typickým obsahom reprezentácie povrchových znalostí. Symbolovo ich možno vyjadriť aj v tvare usporiadanej dvojice (F_i, S_y). O takej dvojici môže byť však navyše známe aj to, že

F_i môže byť prejavom (dôsledkom, vlastnosťou, charakteristikou, predpokladom) kauzy K_u , ktorá je prejavom (dôsledkom vlastnosťou, charakteristikou, predpokladom) kauzy K_v, \dots, K_w , ktorá je prejavom (spôsobená, dôsledkom, vlastnosťou, charakteristickou, predpokladom) objektu S_y ,

čo musí byť v BZ reprezentované v podobe siete závislostí. Najčastejšie ide **kauzálne, t.j. príčinnno-dôsledkové** závislosti.

Prirodzene, reprezentované môže byť aj to, že entity všetkých troch typov **F**, **S**, **K** majú svoje *generalizácie aj špecializácie*, t.j. napríklad asercií

$S_x (K_x, F_x)$ je špecializáciou $S_y (K_y, F_y)$, ktoré je špecializáciou $S_z (K_z, F_z)$.

Z týchto vzťahov vyplýva postavenie **S_y, K_u, F_i** v im zodpovedajúcich hierarchických taxonómiách. Z nich vyplýva veľmi významná skutočnosť:

- **zamietnutie (vylúčenie) niektorej generalizácie spôsobí zamietnutie aj jej špecializácií a naopak**
- **nezamietnutá špecializácia implikuje požiadavku nezamietnúť ani generalizáciu.**

Nezamietnutá generalizácia (v jej prospech, resp. v prospech jej špecializácii *svedčia* niektoré fakty **F**) vedie k dvom dôsledkom, k potrebe venovať pozornosť

- (1) **zodpovedajúcim kauzalitám aj**
- (2) **nevyľúčeným špecializáciám.**

Fakty a
cieľové
fenomény

a rola
kauzality

aj taxono-
mických
štruktúr
znalostí

Uvedené tvorí nosné princípy uskutočňovania uvažovaných **kognitívnych (makro)operácií**.

7.2.3 Nedeterminizmy v kauzálnno-hierarchických sieťach

Nedeterminizmy spôsobujúce zložitosť procesov zameriavania pozornost

Odvodzovanie v kauzálnno-hierarchických sieťach zodpovedá **usudzovaniu o kauzalitách v kontexte hierarchických taxonómií**. Spočíva v **zdôvodnitel'nom prehl'adávaní kauzálnno-taxonomickej siete** s cieľom nájsť entity, na ktoré je z vecného riešenia úlohy a vzhľadom na odvodzovaciu účinnosť výhodné prioritne zameriavať pozornosť.

Pre množstvo aplikačných oblastí vyhľadávanie entít (**objektov, stavov**), na ktoré je situačne výhodné zacieliť pozornosť, môže byť výrazne nedeterministický proces. Vyplýva to z inherentne nedeterministickej povahy kauzálnnych väzieb v kauzálnno-taxonomických sieťach. Je to faktor, ktorý môže vyvolávať náročné výpočtové procesy pretože

1. **ten istý fenomén sa môže situačne prejavovať/manifestovať rôznymi zoskupeniami faktov (pozorovaní, meraní), pričom nie všetky z nich sú špecifické, senzitívne, povinné, typické, stále (nemenné), spoľahlivé, ba ani zistiteľné;** preto **rozpoznávanie, porovnávanie, zaraďovanie, identifikácia fenoménov** v procesoch usudzovania spravidla ani nespočíva na ich exhaustívnom zisťovaní či overovaní, uprednostňujú sa postupy zhromažďujúce iba taký rozsah údajov, ktoré umožňujú s postačujúcou vieryhodnosťou zacieliť pozornosť,
2. **a naopak, jediný fakt/prejav sa môže zároveň vzťahovať k viacerým cieľovým fenoménom** - ich potvrdenie/vylúčenie spočíva následne na zisťovaní množstva ďalších faktov.

Poznámka: V tomto článku sa nezaobráme vieryhodnosťami relácií (F_i, K_j) , (K_i, K_j) , (K_i, S_k) , (F_i, S_k) , vieryhodnosťou faktov, či náročnosťou, nákladovosťou, časovými požiadavkami, spoľahlivosťou ani rizikovosťou získavania údajov. Je to však významná téma, ktorá si zaslúži osobitnú pozornosť.

Výskyt uvažovaných nedeterminizmov možno symbolovo zapísať v tvare

$$\{(F_i, F_j, \dots, F_k) : S_y\}, \text{ resp. } (F_i : \{S_x, S_y, \dots, S_z\}),$$

či ekvivalentne

$$\{(F_i, S_y) \mid F_i \in F_I\}, \text{ resp. } \{(F_i, S_y) \mid S_y \in S_Y\},$$

kde $F_I \equiv \{F_i, F_j, \dots, F_k\}$ je množina faktov, ktoré môžu byť prejavom fenoménu S_y a $S_Y \equiv \{S_x, S_y, \dots, S_z\}$ je množina fenoménov, ktoré sa môžu prejaviť faktorom F_i .

Analogicky aj medzi samotnými kauzálnymi závislosťami platia vzťahy (**vetvenia v sieťi**)

$$\{(K_u, K_v) \mid K_u \in K_U\}, \text{ resp. } \{(K_u, K_v) \mid K_v \in K_V\},$$

odborne ako medzi kauzami a cieľovými fenoménmi

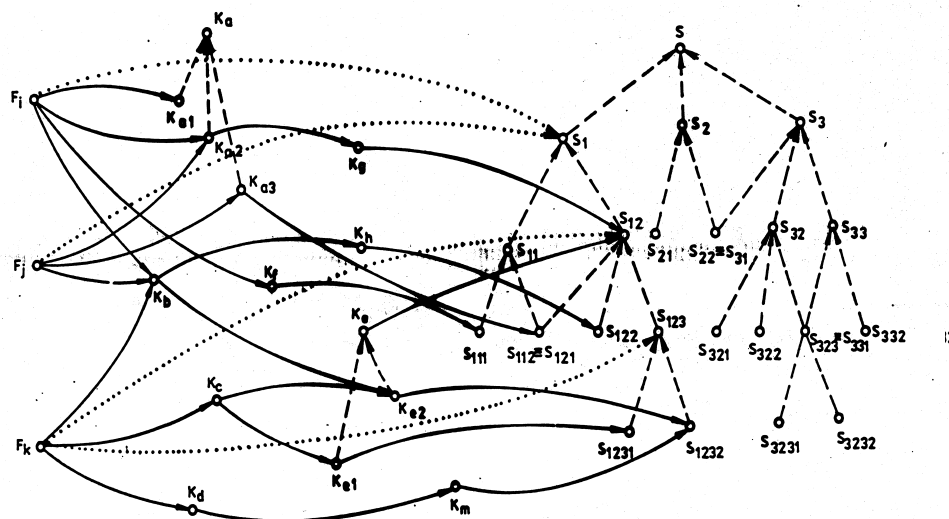
$$\{(K_r, S_u) \mid K_r \in K_R\}, \text{ resp. } \{(K_r, S_u) \mid S_u \in S_U\},$$

kde $K_U \equiv \{K_a, K_b, \dots, K_u, \dots, K_c\}$, $K_V \equiv \{K_e, K_f, \dots, K_v, \dots, K_g\}$, $K_R \equiv \{K_k, K_l, \dots, K_r, K_m\}$ sú množiny kauz a $S_U \equiv \{S_x, S_y, \dots, S_u, \dots, S_z\}$ je množina cieľových fenoménov.

Prirodzene, každá z uvedených entít $F_i, F_j, \dots, F_k, K_u, K_v, \dots, K_w, S_x, S_y, \dots, S_z$ môže byť zároveň prvkom určitej triedy, teda môže byť špecializáciou všeobecnejšej

entity napr. F_F , K_K , S_S .

Ilustrácia
kauzálno-
taxono-
mickej
siete



Ukážka kauzálnej a taxonomickej siete s plánovacími väzbami

Obr. 7

Ilustráciou kauzálno-hierarchickej siete je graf z obr. 7. Znázorňuje zjednodušený výsek kauzálno-taxonomickej siete. Spojité a prerušované hrany zodpovedajú kauzálnym a taxonomickým závislostiam. Umožňujú vytvoriť si predstavu na čo sa v závislosti od dostupných faktov a sústavy zodpovedajúcich znalostí môže zamerať pozornosť (hrany znázornené vybodkovanými čiarami). Znázorňuje výber entít, ktoré na základe prípustného *globalizujúceho* nadhľadu by sa potenciálne mohli stať prvkami množiny fenoménov vybraných na vyhodnocovanie.

7.2.4 Princípy zameriavania pozornosti - tvorby plánu vyhodnocovania entít

Princípy
prehľá-
dávania
kauzálno-
taxono-
mickej
siete

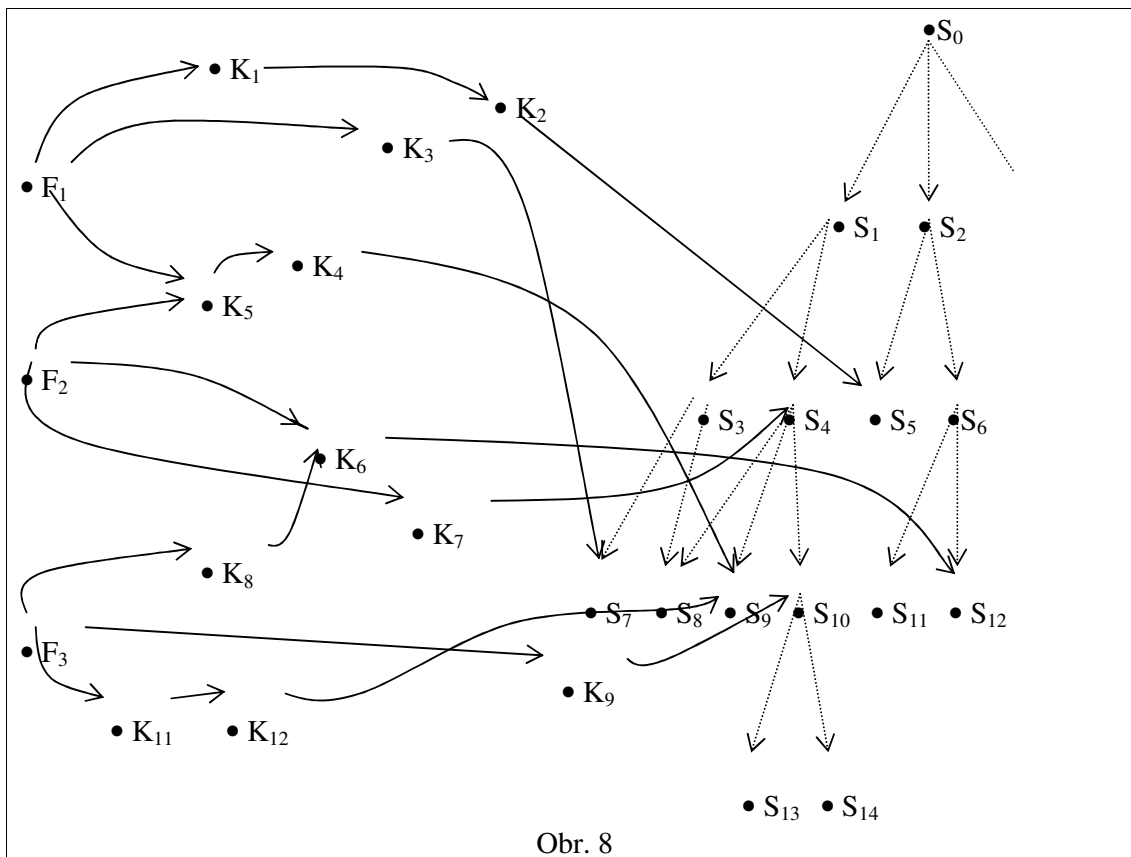
Nasleduje koncepčný variant podkladov pre tvorbu procedúr prehľadávania kauzálno-hierarchickej siete. Ide o procedúry, ktoré na základe (už) dostupných faktov a/alebo hypotetizovaných cieľových entít (aj faktov) účelne *zameriavajú pozornosť*, čím vytvárajú možnú alternatívu plánovacieho mechanizmu. Koncepcia spočíva na nasledujúcich princípoch:

- (1) **Východiskom je prehľadávanie kauzálnej siete, pričom je prípustné uplatňovať obe základné (*slepé*) stratégie (prehľadávanie do hĺbky aj do šírky).**
- (2) **Pri prehľadávaní sa vychádza z jednotlivých známych faktov; uprednostňujú sa špecifickejšie, vieryhodnejšie fenomény a také, ktorých zanedbanie môže viesť k rizikám. Pokiaľ tak vznikne zdôvodniteľný a vieryhodný proces zameriavania pozornosti (plánovania), nie je nevyhnutné zohľadňovanie všetkých faktov ako východiskových bodov prehľadávania kauzálit.**
- (3) **Na základe postupností kauzálnych väzieb sa k vybraným (prípadne všetkým) známym faktom vyhľadávajú v sieti najvzdialenejšie (cieľové) entity.**

Odvodzovanie najvzdialenejších entít po ceste v kauzálnej sieti (po "kauzálnych" hranách) sa však preruší akonáhle sa narazí na fenomén (reprezentovaný vrcholom v grafe), ktorý sa dá dostupnými faktami falzifikovať (neúspešnosť cesty sa registruje pre prípad vzniku revízií v odvodzovaní a aj pre potreby zábrania nevhodného prehl'adávania neúspešnej cesty, resp. jej časti).

- (4) **Vrcholy, ktoré sú prvkom taxonomickej hierarchie v kauzálnej sieti môžu ovplyvňovať jej prehl'adávanie:** (i) ak majú špecializácie, ktoré nie sú dostupnými faktami falzifikované, alebo (ii) majú aspoň s jedným nefalzifikovaným vrcholom bezprostrednú spoločnú generalizáciu, tak aj tieto špecializácie, resp. generalizácie sa stávajú východiskovými miestami prehl'adávania kauzálnej siete.
- (5) **Pokiaľ kauzálne najšpecifickejšie (najvzdialenejšie) odvodené entity** (tvoriace kandidátske prvky množiny zvažovaných objektov) **majú bezprostrednú spoločnú taxonomickú generalizáciu, alebo sa súčasne odvodila generalizácia aj špecializácia, pozornosť sa najprv sústreďí na generalizáciu – je to rekurzívny proces.** (Stratégia prispieva k zvýšenej odvodzovacej účinnosti: falzifikácia generalizácie vedie k falzifikácii jeho špecializácií a tým k ohraničeniu priestoru prehl'adávania.)
- (6) **Následne vzniknuté modifikované množiny z tých, ku ktorým vedú od faktorov cesty v kauzálnej sieti sa zjednotia, čím vznikne množina cieľových entít, ktorými sa dajú zdôvodniť/ozrejniť/pokryť všetky zistené fakty.**
- (7) **Keď sa generalizácie potvrdia s vieryhodnosťou prekračujúcou zvolený prah** (entity s nižšou hodnotou vieryhodnosti sa registrujú pre prípad revízie), **tak sa následne predmetom úvah stávajú ich špecializácie v smere po hierarchických hranách do hĺbky - ak sa dá až k listovým entitám. Pokiaľ sa však pri tomto postupe narazí na dostupnými faktami falzifikovateľnú nelistovú špecializáciu, tak sa nadväzujúce prehl'adávanie v hierarchii po z nej vychádzajúcich hranách už neuskutočňuje, pričom prehl'adávanie špecializácií po ceste vedúcej k falzifikovanej entite končí pri jej bezprostrednom nefalzifikovanom predchodcovi.**
- (8) **Predmetom zamerania pozornosti sa stáva množina takto nájdených entít. Do ohniska pozornosti (plánu odvodzovania) sa prioritne zaradia tie z nich, ktoré sú najsl'ubnejšie vzhľadom na zvolené kritéria uprednostňovania – vo všeobecnosti prednostne sa potvrdzujú/vylúčujú vzhľadom na množstvo, váhu (významnosť), špecifitu, vieryhodnosť už dostupných faktov, ako aj vzhľadom na riziká implikované ich oneskorenou identifikáciou.** *Ilustráciou pomerne jednoduchej stratégie je uprednostňovanie takej podmnožiny cieľových entít ktorým prislúchajú množiny faktov s najväčšou kardinalitou, t.j. v prospech ktorých svedčí najväčší počet faktov a zároveň sami objasňujú/zdôvodňujú najväčší počet faktov.*
- (9) **Pokiaľ sa nepreruší činnosť plánovacieho mechanizmu oprávnenou udalosťou, opakované bnovovanie jeho činnosti sa zastaví až keď je množina nájdených cieľových entít prázdna.**

Uplatnenie naznačeného postupu sa (sčasti) dá odsledovať na grafe z obr. 8.



Obr. 8

Zameriavanie pozornosti a odvodzovanie

Máme prípad, v ktorom ako východisko boli zistené fakty F_1 , F_2 , F_3 a zatiaľ žiadny z uvažovaných kauz K a cieľových objektov/stavov S nebol falzifikovaný. Na základe kroku (3) sa odvodí stavy-objekty, ktoré by sa mohli stať predmetom nadväzujúcich úvah. Symbolovo píšeme

$$(F_1:\{S_5, S_7, S_9\}), (F_2:\{S_4, S_9, S_{12}\}), (F_3:\{S_9, S_{10}, S_{12}\}).$$

Krok (4) sa v danom prípade neuplatní, aplikuje sa až krok (5), čím sa tieto množiny modifikujú

$$(F_1:\{S_5, S_7, S_9\}) \equiv (F_1:\{S_4, S_5, S_7\})$$

$$(F_2:\{S_4, S_9, S_{12}\}) \equiv (F_2:\{S_4, S_{12}\}),$$

$$(F_3:\{S_9, S_{10}, S_{12}\}) \equiv (F_3:\{S_4, S_{12}\}).$$

a krok (6), v ktorom sa zjednotia doteraz odvodené množiny, produkuje množinu zvažovania hodné cieľové entity, ktorými sa dajú zdôvodniť/zrejmiť/pokryť všetky doteraz známe fakty

$$\{S_4, S_5, S_7, S_{12}\}.$$

V zmysle kroku (7), teda keď by sa žiadna generalizovaná cieľová entita nefalzifikovala, prenáša sa pozornosť na všetky (ešte) nevyklúčené špecializácie, čím v danom prípade dostávame množinu

$$\{S_5, S_7, S_9, S_{12}, S_{13}, S_{14}\}.$$

Keď v kroku (8) pri vyhľadávaní najslubnejších entít na zameranie pozornosti uplatníme stratégiu uprednostnenia cieľových entít, v prospech ktorých svedčí najväčšie množstvo dostupných faktov, potom uplatňujeme nasledujúce množiny

$(S_5:\{F_1\})$, $(S_7:\{F_1\})$,
 $(S_{12}:\{F_2, F_3\})$, $(S_{13}:\{F_2, F_3\})$, $(S_{14}:\{F_2, F_3\})$,
 $(S_9:\{F_1, F_2, F_3\})$,

čím sa dá vygenerovať nasledujúci prioritný front (plán) odvodzovania spätným reťazením

$(\{S_9\}, \{S_{12}, S_{13}, S_{14}\}, \{S_5, S_7\})$.

Ako je zrejmé, operácie, ktoré sa v naznačenom procese uplatňujú, majú **syntetizujúci účinok tým, že**

- **súčasne zohľadňujú dostupné fakty a stavy, na ktoré fakty poukazujú (ktoré ich môžu vyvolať),**
- **zároveň reflektujú kritérium uprednostňovania cieľových entít umožňujúcich súčasne zdôvodniť/objasniť/zahrnúť/splniť/pokryť atď. najviac faktov (a ich väzieb)**
- **a prednostne zameriavajú pozornosť na najzovšeobecňujúcejšie fenomény, vedú teda ku GLOBALIZUJÚCEMU NADHLADU – VYMEDZUJÚ MAKRO-OPERÁCIU.**

K interpretovaniu produkčných pravidiel reprezentujúcich klasické asercie z domény povrchových znalostí dochádza až po realizácii vygenerovaného plánu, t.j. pri dokazovaní/falzifikácii entít, na ktoré sa zameriava pozornosť. Vo väčšine prípadov ide o entítu vystupujúcu v dôsledkovej časti jadra pravidiel – a preto sa následne **spúšťa inferenčný proces spätným reťazením**, ak však vzniká najprv potreba diskriminovať medzi entitami vyžaduje cielečné dopĺňovanie údajov a odvodenie ich implikácií, tak sa uplatňujú aj tomu zodpovedajúce aktivity.

Zameriava
nie sa na
fakty

Efektívnosť **dokazovania/falzifikovania** prvkov množiny vybraných cieľových entít je podmienená nadväzujúcim **cieleným a globálnymi hľadiskami ovplyvňovaným zhromažďovaním potrebných avšak ešte chýbajúcich faktov**. Pokiaľ tomu nebráni iné kritérium, prioritne sa zisťujú skutočnosti, ktoré **súčasne maximalizujú počet potvrdzovaných aj falzifikovaných cieľových fenoménov**. Uprednostňujú sa teda **fakty vystupujúce v komplementárnych literáloch s maximálnym diskriminujúcim účinkom**. Je to stratégia, ktorá umožňuje rýchle ohraničovanie priestoru prehľadávania. Nie je však vždy vyhovujúca. Realistické hľadiska vyžadujú jej modifikácie zohľadňujúce ohraničujúce faktory ako napríklad **náklady, pracovné nároky, rizikovosť, časové a materiálové požiadavky** súvisiace so zisťovaním faktov, ako aj **prípadné straty a riziká, ktoré by mohli vyplynúť zo zanedbania alebo oneskoreného zisťovania faktov s nižšou diskriminačnou účinnosťou**.³

Pokiaľ povaha riešeného problému to pripúšťa, plánovací mechanizmus a mechanizmus asociovania, spolu či osve, tvoria sémanticky dobre zdôvodniteľnú náhra-

³ Prístupy k tejto problematike presahujú rámec týchto textov a preto nie sú ani predmetom pozornosti. Záujemcom o hlbšie oboznámenie sa s problematikou možno odporučiť literatúru zaoberajúcu sa *rozhodovacími procesmi*.

du za priamy chod - sú rozšírením i obohatením zjednodušeného ponímaného inferenčného procesu.

Keď sa makrooperácia **zameriavania pozornosti** uplatňuje, vtedy najčastejšie po nadobudnutí východiskových údajov (faktov) **predchádza** vlastnému **procesu klasického odvodzovania**. Keď sa **umožní prelínanie oboch týchto procesov**, výsledný proces sa **spravidla môže až veľmi výrazne zefektívniť**. Podmienkou je však **vysoká efektivita (účinnosť)** procesu zameriavania pozornosti, alebo paralelizácia oboch procesov. Vzhľadom na výpočtovú zložitosť makrooperácie by nesplnenie týchto podmienok mohlo viesť k neželanému až neprijateľnému predĺženiu inferenčného procesu.

7.2.5 Mechanizmy integrovania/syntézy čiastkových výsledkov

O potrebe syntézy čiastkových výsledkov

Keď **proces odvodzovania produkuje viaceré čiastkové výsledky** vzniká prirodzená potreba zvažovať ich prípadné vzájomné súvislosti. Pokiaľ jestvujú, **môže sa stať žiaducim integrovať/syntetizovať ich do čo najucelenejšieho zhusteného a stručného výsledku**. Zodpovedajúci proces sa dá považovať za modifikáciu, či komplement procesu zameriavania pozornosti a tým aj plánovania. Nasleduje uvedenie jednej z možností prístupu k tejto téme.

Predmetom pozornosti sú prípady charakterizovateľné tým, že

✓ buď boli odvodené **vzájomne súvisiace výsledky**, teda **fenomény $\{S_i\}$ tvoriace predmet identifikácie – je to prípad existencie jediného súvislého podgrafu v kauzálno-hierarchickej sieti, ktorý pokrýva všetky odvodené $\{S_i\}$ aj zistené fakty $\{F_j\}$** - prejaví sa to tým, že množinou $\{S_i\}$ sa dajú ozrejmiť (zdôvodniť) všetky zistenia $\{F_j\}$, resp. že súhrn všetkých zistení (faktov) umožňujú súčasne splniť/zabezpečiť/vytvoriť prvky množiny $\{S_i\}$,

✓ alebo, v opačnom prípade, boli odvodené **vzájomne nesúvisiace výsledky – podmnožiny cieľových entít**

$\{S_p\} \in S_P, \{S_q\} \in S_Q, \dots, \{S_r\} \in S_R$, také že

$$S_P \cap S_Q = S_P \cap S_R = S_Q \cap S_R = \emptyset,$$

čo zodpovedá prípadu existencie **vzájomne odlišných súvislých podsietí pokrývajúcich disjunktné podmnožiny entít $\{S_i\}$ a neprázdne, nie nevyhnutne disjunktné podmnožiny zistení⁴ $\{F_u\}, \{F_v\}, \{F_w\}$, pričom ich zjednotením je možné pokryť (ozrejmiť) celú množinu zistení $\{F_j\}$ aj cieľových fenoménov $\{S_i\}$.**

Existencia uvedených súvislostí je motiváciou pre tvorbu dvoch *globalizujúcich* makrooperácií:

Globalizujúce postupy

✓ **integrácia (syntéza) odvodených čiastkových výsledkov do zahrňujúceho celku** – proces sa spravidla inicializuje po skončení (klasického) inferenčného procesu,

✓ **nadhl'adové (globalizujúce) zameriavanie pozornosti zohľadňujúce možné súvislosti medzi cieľovými objektami či stavmi a najmä účinný výber pozorovaní/meraní poskytujúcich diferencujúce zistenia (fakty) v priebehu inferencie.**

4 Sú to bežné prípady súvisiace s tým, že **zistenia sú nešpicifiké**.

V súvislosti s témou tohto a súvisiacich článkov predmetom pozornosti sú predovšetkým relácie typu

$$(\{F_i, F_j, \dots, F_k\}: S_y), \text{ resp. } (F_i: \{S_x, S_y, \dots, S_z\})$$

t.j. **bezprostredný vzťah medzi faktami a cieľovými fenoménmi**. Ide vlastne o relácie typu *fakty, ktoré môžu byť dôsledkom cieľového fenoménu* a naopak *cieľové fenomény, ktoré môžu byť príčinou faktu*. Okrem týchto kľúčových úlohu zohrávajú aj relácie

$$(S_k: \{S_x, S_y, \dots, S_z\}), (\{S_r, S_s, \dots, S_t\}: S_z),$$

ktoré umožňujú identifikovať cieľové entity spoločne syntetizujúce dostupné fakty.

Obr. 10a-d je ilustráciou identifikovateľných kauzálnych súvislosti medzi cieľovými entitami, ktorými sa dajú zdôvodniť určité zoskupenia faktov.

7.3 Princípy a zložky makrooperácii plánovania a syntézy

7.3.1 Vstupné úvahy

Heuristická
povaha
makro-
operácií

Efektívnosť procesu prehľadávania kauzálnu-hierarchickej siete je popri dobre volených reprezentačných formalizmoch výrazne podmienená aj účinnosťou vhodne zvolených **heuristických operácií**. Keďže, ako už bolo uvedené, samotné heuristiky nie sú zárukou odvodenia správnych výsledkov, systém riadenia tvorby plánu a aj syntézy čiastkových výsledkov, prirodzene aj inferenčného mechanizmu, musí zaručovať revízie procesov a modifikovateľnosť a obohacovanie ich predchádzajúcich postupov. Menovite o

- ✓ **odstúpenie od vybranej globálne zvažovanej množiny cieľových entít a jej nahradenie inou, konzistentnou s novozískanými faktami,**
- ✓ **revidovanie predpokladaných (default) údajov a tým aj nimi implikovaných odvodení podmienene platných dôsledkov.**

Makrooperácie vyhľadávania množín cieľových entít zopovedajúcich dostupným faktorom a, naopak, nachádzanie množín faktov, ktoré je možné zdôvodniť odvodenými alebo hypotetizovanými cieľovými entitami, to sú prostriedky dynamického vytvárania a modifikovania plánu pre odvodzovací proces, resp. syntézy (integrovania) čiastkových výsledkov. Generujú heuristické procesy zabezpečujúce efektívnosť pokusov zvyšovať účinnosť exhaustívneho prehľadávania rozsiahlych kauzálnu-taxonomických sietí a identifikácie faktov so situačne najvyššou diskriminujúcou (rozčleňovacou/rozlišovacou) účinnosťou.

7.3.2 Operátory traverzovania kauzálnu-hierarchickej siete

Operátory
prehľadá-
vania kau-
zálnu-hie-
rarchickej
siete

Makrooperácie sú produktom synergie jednoduchších operátorov a operácií - tým je venovaná pozornosť v nadväzujúcich textoch. Realizácia uvažovaných makrooperácií spočíva v identifikovaní a zohľadňovaní **kauzálnych, (prírodných-dôsledkových)** a **generalizačno-špecializačných vzťahov** a ich kombinácií. Uplatňujú sa pritom **jedno-** aj **viackrokové** a **kombinované** operácie.

Jednokrokový operátor príčiny

- ✓ **Jednokrokový operátor PRÍČINY** – $P_1(X_i)$ kde $[X_i]$ symbolizuje jeden z nasledujúcich argumentov F_i, K_i, S_i

V závislosti na význame X_i oborom definície operátora $P_1(X_i)$ v prípade

- F_i - sú **fakty** (podmienky) a oborom hodnôt je **množina kauzálnych entít K_j** a/alebo **cieľových fenoménov S_k** (tiež príčiny/zdôvodnenia),
- K_i - sú **kauzy** (príčiny) a oborom hodnôt je **množina kauzálnych entít K_j** a/alebo **cieľových fenoménov S_k** (tiež príčiny/zdôvodnenia),
- S_i - sú **cieľové fenomény** a oborom hodnôt je tiež **množina cieľových fenoménov S_k**

od argumentu X_i v kauzálnej sieti **vzdialené práve o cestu dĺžky 1**; ide teda o **bezprostredné príčiny/zdôvodnenia argumentu** - korešpondencia s reláciami $(F_i: \{K_r, K_s, \dots, K_t\} \cup \{S_u, S_v, \dots, S_w\})$ - vo všetkých prípadoch sa uskutočňuje **prehľadávanie** kauzálnej siete v smere **od faktov k cieľovým fenoménom**.

Jednokrokový operátor dôsledku

- ✓ **Jednokrokový operátor DÔSLEDKU** – $D_1(X_i)$ kde $[X_i = K_i | S_i]$

V závislosti na význame X_i oborom definície operátora $D_1(X_i)$ v prípade

- K_i - sú **kauzy** a oborom hodnôt je **množina kauzálnych entít K_j** a/alebo **fakty** (jej dôsledky/podmienky)
- S_i sú **cieľové fenomény** a oborom hodnôt je **množina kauzálnych entít K_j** a/alebo **cieľové entity S_j** (jej dôsledky/podmienky)

od argumentu X_i v kauzálnej sieti **vzdialené práve o cestu dĺžky 1**; korešpondencia s reláciami $(\{K_u, K_v, \dots, K_w\} \cup \{S_u, S_v, \dots, S_w\}: K_i)$ - vo všetkých prípadoch sa uskutočňuje **prehľadávanie** kauzálnej siete v smere **od cieľových fenoménov k faktom/podmienkám**.

Jednokrokový operátor špecializácie

- ✓ **Jednokrokový operátor ŠPECIALIZÁCIE** – $S_1(X_i)$, kde $[X_i = F_i | K_i | S_i]$

V závislosti na význame X_i oborom definície operátora $S_1(X_i)$ sú alternatívne **iba nelistové (generalizujúce) entity F_i, K_i, S_i** a oborom hodnôt sú (v uvedenom poradí) korešpondujúce množiny **faktov, kauz** a **cieľových entít - bez nelistové prostredné špecializácie argumentu** - korešpondencia s reláciami $(X_i: \{X_r, X_s, \dots, X_t\})$.

Jednokrokový operátor generalizácie

- ✓ **Jednokrokový operátor GENERALIZÁCIE** – $G_1(\{X_i\})$, kde $[X_i = F_i | K_i | S_i]$

V závislosti na sémantike argumentu tvoreného najmenej jednoprvkovou množinou $\{X_i\}$ oborom definície operátora $G_1(\{X_i\})$ sú alternatívne **iba generalizovateľné (nekoreňové) entity F_i, K_i, S_i** a oborom hodnôt sú (v uvedenom poradí) korešpondujúce **bezprostredné (spoločné) zovšeobecňujúce fakty, kauzy**, alebo **cieľové entity** (vo všeobecnosti ich pre ich počet platí ≥ 1) - korešpondencia s reláciami $(\{X_r, X_s, \dots, X_t\}: X_i)$. Keď kardinalita množiny v argumente je väčšia ako jedna, potom produktom operátora je prienik generalizácií zodpovedajúcich jednotlivým prvkom množiny.

Korešpondujúce **viackrokové operátory** vzniknú superpozíciou ich jednokrokových protajškov:

Viackrokový operátor príčiny

- ✓ **Viackrokový operátor PRÍČINY** – napr. $P_4(X_i)$ kde $[X_i = F_i | K_i | S_i]$

Jedná sa o rekurzívne uplatňovanie operátora $P_1(X_i)$ tak, aby sa identifikovali **všetky príčinné/zdôvodňujúce entity argumentu** v kauzálnej sieti vzdialené ces-

tu dlžky 4; píšeme

$$P_4(X_i) = P_1^{\circ}\{P_1^{\circ}\{P_1^{\circ}\{P_1(X_i)\}\}\}$$

Jednokrokový operátor P_1 sa opakovane uplatňuje vždy na všetky prvky množiny, ktorá bola vygenerovaná predchádzajúcou aplikáciou tohto operátora.

Viacro-
kový
operátor
dôsledku

- ✓ **Viacrokový operátor DÔSLEDKU** – napr. $D_n(X_i)$ kde $[X_i = K_i | S_i]$
Jedná sa o rekurzívne uplatňovanie jednokrokového operátora $D_1(X_i)$ tak, aby sa identifikovali všetky fakty/dôsledky/podmienky, ku ktorým vedie v kauzálnej sieti z argumentu X_i cesta dlžky n ; píšeme

$$D_n(X_i) = D_1^{\circ}\{D_1^{\circ}\{\dots D_1^{\circ}\{D_1(X_i)\}\dots\}$$

144444444244444443

n

Jednokrokový operátor D_1 sa opakovane uplatňuje vždy na všetky prvky množiny, ktorá bola vygenerovaná predchádzajúcou aplikáciou tohto operátora.

Viacro-
kový
ope-rátor
špecia-
lizácie

- ✓ **Viacrokový operátor ŠPECIALIZÁCIE** – napr. $S_3(X_i)$, kde $[X_i=F_i | K_i | S_i]$
Ide o trojnásobné rekurzívne uplatnenie operátora $S_1(X_i)$ čím sa dajú identifikovať všetky špecializácie v hierarchickej sieti vo vzdialenosti 3 od argumentu X_i ; píšeme

$$S_3(X_i) = S_1^{\circ}\{S_1^{\circ}\{S_1(X_i)\}\}$$

Jednokrokový operátor S_1 sa opakovane uplatňuje vždy na všetky prvky množiny, ktorá bola vygenerovaná predchádzajúcou aplikáciou tohto operátora. Smer postupu, v ktorom sa generuje podsieť v hierarchickej sieti s koreňovým vrcholom X_i , je od generalizácii k listovým špecializáciám.

Viacro-
kový ope-
rátor gene-
ralizácie

- ✓ **Viacrokový operátor GENERALIZÁCIE** – napr. $G_2(X_i)$, kde $[X_i=F_i | K_i | S_i]$
Ide o dvojnásobné rekurzívne uplatnenie operátora $G_1(X_i)$ čím sa dajú identifikovať všetky gneralizácie v hierarchickej sieti vo vzdialenosti 2 od argumentu X_i ; píšeme

$$G_2(X_i) = G_1^{\circ}\{G_1(X_i)\}$$

Ak argument a jeho nadväzujúce generalizácie majú viaceré nadradené entity v hierarchickej sieti, tak opakované uplatňovanie jedokrokového operátora G_1 sa vzťahuje na všetky prvky množiny, ktorá bola vygenerovaná predchádzajúcou aplikáciou tohto operátora. Smer postupu, v ktorom sa generuje podsieť v hierarchickej sieti vedie ku generalizáciám argumentu.

Maximálne
operátory

Zovšeobecnením viacrokových operátorov sú **maximálne operátory** vznikajú maximálnym prípustným počtom superpozícií jednokrokových operátorov:

Maximálny
operátor
príčiny

- ✓ **Maximálny operátor PRÍČINY** – $P(X_i)$ má dva varianty situačne podmienené typom argumentu.
 - Jeden z variantov sa týka aplikácií operátora $P(X_i)$ na argumenty typu F_i a K_i , pričom oborom hodnôt zodpovedajúceho procesu sú entity typu S_i . Operátor sa uplatňuje na identifikáciu najbližšej cieľovej entity, teda príčiny/zdôvodnenia argumentu. Proces zodpovedajúci maximálnemu operátoru $P(X_i)$ prehľadáva v kauzálnej sieti všetky cesty vychádzajúce z argumentu a vracia množinu cieľových entít S_i , ku ktorým vedie cesta najkratšej dlžky. Prirodzene, počet hrán na jednotlivých cestách môže byť rôzny, preto aj počet aplikácií jednokrokového operátora $P_1(X_i)$ na dosiahnutie **najbližšej entity** typu P_1 môže byť odlišný;

píšeme

$$P(X_i) = P_1^o\{P_1^o\{\dots P_1^o\{P_1(X_i)\}\dots\}\}$$

14444444244444443

n=počet hrán medzi X_i a najbližším S_j

Superpozícia jedнокrokových operátorov P_1 sa uplatňuje na všetky prvky množiny, ktorá bola vygenerovaná predchádzajúcou aplikáciou tohto operátora.

▪ Druhý z variantov sa týka aplikácií operátora P identifikujúce iba závislosti medzi entitami typu S_i , teda argument aj výsledok procesu sú cieľové entity (zapríčiňujúce či zdôvodňujúce stavy, resp. predpokladané cieľové objekty). Avšak, na rozdiel od predošlého variantu, zodpovedajúce rekurzívne uplatňovanie operátora P_1 na argument vedie k identifikovaniu **najvzdialenejších entít typu S_j** , ku ktorým z argumentu vedie v kauzálnej sieti cesta.

Poznámka: Kvôli odstraňovaniu možných nejednoznačností môže byť vhodné **maximálne operátory P** oboch typov odlišiť napríklad indexom, povedzme P_f , P_k , P_s .

Maximálny operátor dôsledku

✓ **Maximálny operátor DÔSLEDKU** – $D(X_i)$ má (tiež) dva varianty situačne podmienené typom argumentu.

▪ Jeden z variantov sa týka aplikácií maximálneho operátora $D(X_i)$ na argumenty typu K_i a S_i , pričom oborom hodnôt zodpovedajúceho procesu sú entity typu F_i . Operátor sa uplatňuje na identifikáciu všetkých entít typu F_i , ktorými sa entita z argumentu môže prejaviť, ktoré argument môže zapríčiniť, zdôvodniť, resp. ktoré tvoria predpoklady existencie/prítomnosti/dosiahnuteľnosti entity z argumentu. Proces zodpovedajúci maximálnemu operátoru $D(X_i)$ prehľadáva v kauzálnej sieti všetky cesty vychádzajúce z argumentu a vracia množinu entít typu F_i . Prirodzene, počet hrán na jednotlivých cestách môže byť rôzny, preto aj počet aplikácií jedнокrokového operátora $D_1(X_i)$ na dosiahnutie entít F_1 môže byť odlišný; píšeme

$$D(X_i) = D_1^o\{D_1^o\{\dots D_1^o\{D_1(X_i)\}\dots\}\}$$

14444444244444443

n=počet hrán medzi X_i a najbližším S_j

Superpozícia jedнокrokových operátorov D_1 sa uplatňuje na všetky prvky množiny, ktorá bola vygenerovaná predchádzajúcim operátorom D_1 – smer postupu, v ktorom sa generuje podstrom v kauzálnej sieti s koreňovým vrcholom X_i , je od kauz, resp. cieľových fenoménov k faktom/podmienkám.

▪ Druhý z variantov sa týka aplikácií operátora D na identifikovanie závislostí iba medzi entitami typu S_i , teda argument aj výsledok procesu sú cieľové entity (zapríčiňujúce či zdôvodňujúce stavy, resp. predpokladané cieľové objekty). Avšak, na rozdiel od predošlého variantu, zodpovedajúce rekurzívne uplatňovanie operátora D_1 na argument vedie k identifikovaniu **iba najvzdialenejších entít typu S_j** , ku ktorým z argumentu S_i vedie v kauzálnej sieti cesta.

Poznámka: Kvôli odstráneniu možných nejednoznačností môže byť vhodné **maximálne operátory D** oboch typov odlišiť napríklad indexom, povedzme D_f a D_s .

Maximálny operátor špecializácie

✓ **Maximálny operátor ŠPECIALIZÁCIE** – $S(X_i)$, kde $[X_i = F_i \mid K_i \mid S_i]$
Ide o rekurzívne uplatňovanie operátora $S_1(X_i)$ tak, aby sa identifikovali všetky

korešpondujúce listové entity (rovnakého typu) v hierarchickej sieti - tvoria najšpecifickejšie špecializácie argumentu X_i daného operátora; píšeme $S(X_i) = S_1^o\{S_1^o\{\dots S_1^o\{S_1(X_i)\}\dots\}\}$.

Superpozícia jedokrokového operátora S_1 sa uplatňuje na všetky prvky množiny, ktorá bola vygenerovaná predchádzajúcou aplikáciou tohto operátora. Kvôli jednoznačnosti listové entity sa dajú od ostatných vhodne odlíšiť, napr.

$X_i^l, X_j^l, \dots X_k^l$.

Poznámka: Operátor **operátor maximálnej generalizácie** $G(X_i)$ v danom kontexte nemá uplatnenie.

Kombinované operátory

Medzi uvažované operátory patria aj **kombinované operátory**. Uplatňujú sa napr. nasledujúce

Kauzálna operácia prieniku príčin

- ✓ **Operátor PRIENIK-PRÍČIN** - $P_p(X_a, X_b)$ pre $[X_a, X_b = F_i | K_i | S_i]$
Aplikuje sa pri zisťovaní (možných) bezprostredných spoločných príčin argumentov operátora; píšeme $P_p(X_a, X_b) = P_1(X_a) \cap P_1(X_b)$.
Entity, ktoré generuje tento operátor môžu "pútať pozornosť" pretože sú to fenomény prejavujúce sa v danej situácii viacerými zisteniami (faktami), resp. pre ich vznik/existenciu/dosiahnuteľnosť sú súčasne splnené viaceré predpoklady. Operácia je aplikovateľná iba na dvojice entít, ktoré nie sú prvkami tej istej cesty v kauzálnej sieti.
Na prvky z rôznych prienikov je možné opäť aplikovať operátor **prienik-príčin**.

Kauzálna operácia prieniku dôsledkov

- ✓ **Operátor PRIENIK-DÔSLEDKOV** - $D_p(X_a, X_b)$ pre $[X_a, X_b = K_i | S_i]$
Aplikuje sa pri zisťovaní spoločných dôsledkov entít reprezentovaných argumentami operátora; píšeme $D_p(X_a, X_b) = D_1(X_a) \cap D_1(X_b)$.
Entity, ktoré generuje tento operátor môžu indikovať potrebu zvažovať (prenášať pozornosť) na fenomény (fakty/podmienky/dôsledky) umožňujúce verifikáciu (potvrdzovanie/dokazovanie, ale aj spochybňovanie/vylúčenie) fenoménov reprezentovaných argumentami. Operátor sa aplikuje iba na dvojice entít, ktoré nie sú prvkami tej istej cesty v kauzálnej sieti.
Na prvky z rôznych prienikov je možné opäť aplikovať operátor **prienik-dôsledkov**.

Operácia prieniku špecializácií

- ✓ **Operátor PRIENIK-ŠPECIALIZÁCIÍ** - $S_p(X_a, X_b)$ pre $[X_a, X_b = F_i | K_i | S_i]$
Uplatňuje sa pri zisťovaní spoločných špecializácií dvoch rôznych entít z rôznych ciest v hierarchickej sieti – operátor sa uplatňuje na dvojice entít rovnakého typu pokiaľ nie sú prvkami tej istej cesty v sieti. Píšeme $S_p(X_a, X_b) = S_1(X_a) \cap S_1(X_b)$;
Na prvky z rôznych prienikov je možné opäť aplikovať operátor **prienik-špecializácií**.

Zlúčené operátory

Kombinovaním operácií **prienik-príčin** a **prienik-špecializácií** sa dajú vytvárať nasledujúce komplexnejšie zlúčené operátory:

- ✓ **Zlúčený operátor PRIENIK_PRÍČIN_A_ŠPECIALIZÁCIÍ** – $PS_p(X_a, X_b)$ pre

Kombinované operátory

$[X_a, X_b = F_i | K_i | S_i]$, čo sú entity neležiace na rovnakej ceste v kauzálnno-hierarchickej sieti.

Uplatňuje sa pri testovaní toho, či **špecializácie jednej entity sú príčinou druhej**. Ak sa uvažujú príčiny prvého argumentu X_a a špecializácie druhého nelisotového argumentu X_b , tak možno písať

$$PS_p(X_a, X_b) = P_1(X_a) \cap S_1(X_b).$$

- ✓ **Zlúčený operátor PRIENIK_DÔSLEDKOV_A_ŠPECIALIZÁCIÍ – $DS_p(X_a, X_b)$**

Ide o analógiu k predošlému zlúčenému operátoru:

$$DS_p(X_a, X_b) = D_1(X_a) \cap S_1(X_b).$$

Iný typ kombinovanej (kauzálnno-taxonomickej) operácie môže vzniknúť tým, že sa identifikujú špecializácie príčiny v roli príčiny inej entity.

- ✓ **Operátor PRIENIK_ŠPECIALIZÁCI_PRÍČINY_A_PRÍČIN – $PSP_p(X_a, X_b)$** pre $[X_a, X_b = F_i | K_i | S_i]$, čo sú entity neležiace na rovnakej ceste v kauzálnno-hierarchickej sieti.

Uplatňuje sa pri zisťovaní entít, ktoré sú špecializáciou príčiny prvého argumentu a zároveň tvoria príčiny druhého argumentu. Teda symbol X_a zodpovedá entite, ktorej príčiny môžu mať špecializácie a zisťuje sa, či tieto nie sú príčinou druhého argumentu. Možno písať

$$PSP_p(X_a, X_b) = S_1^\circ\{P_1(X_a)\} \cap P_1(X_b).$$

- ✓ **Operátor PRIENIK_ŠPECIALIZÁCIÍ_DÔSLEDKU_A_DÔSLEDKOV – analógia k predošlému operátoru**

$$DSD_p(X_a, X_b) = S_1^\circ\{D_1(X_a)\} \cap D_1(X_b).$$

7.3.3 Operátory zameriavania pozornosti

Alternatívne priority

Prípustnou a účelnou situačnou aplikáciou v predošlom uvedených operátorov sa dajú realizovať princípy prehľadávania kauzálnno-taxonomickej siete s cieľom nachádzať entity, ktoré sa - vzhľadom na aktuálny cieľ - majú stať predmetom pozornosti. Postup uplatňovania operáci má korešpondovať s krokmi (1) až (9) z článku 7.2.4.

Produktom tohto procesu je spravidla viacprvková množina fenoménov. Dôsledok: **nevyhnutnosť rozhodnúť sa pre**

☞ **niektorý z týchto fenoménov**, alebo, alternatívne,

☞ **zisťovanie ďalších faktov, ktoré by toto rozhodovanie mohli podporiť.**

Výber niektorého z cieľových fenoménov môže byť založený na náhodilom uprednostňovaní, či na postupnom preverovaní entít podľa ich nedeterministického usporiadania v množine odvodených entít. V oboch prípadoch hovoríme o neinformovanej metóde. Pre expertízu sú však príznačné skôr **uprednostňované výbery spočívajúce na zdôvodnitelných krokoch** podopretých situačne uplatňovateľnými kritériami – teda **informované metódy**. Medzi najjednoduchšie kritéria patrí napríklad počet faktov svedčiacich v prospech niektorej cieľovej entity. Pokiaľ však kvantita ukazovateľov neposkytuje toľko informácií ako ich kvalita, stáva sa potrebným uplatňovať výrazne zložitejšie (znalosťami podložené) kritéria. Také, čo sú reflexiou intuitívneho (skúsenostného) alebo dobre artikulovateľného poznania reality súvisiacej s riešenou problematikou. Tie umožňujú významne zvyšovať

vat' účinnosť zameriavania pozornosti na entity, či relácie, v ktorých sa entity vyskytujú. Tým sa následne zefektívňujú vlastné procesy odvodzovania.

Kritériálny výber cieľovej entity môže však najprv viesť k potrebe cieleného rozširovaniu už dostupných faktov. **Vtedy sa prioritne zisťujú fakty, ktorými sa dajú cieľové entity dokazovať či vylučovať.** Stratégia má za následok výber takých ešte neznámych faktov, ktoré, pokiaľ by boli známe, umožnili by **súčasne rozhodovať** medzi čo najväčším počtom cieľových entít. Ponúka sa úvaha o takých **faktoch, ktoré majú v rôznych predpokladoch alebo semaforoch komplementárne postavenie**, t.j. tvoria alebo sú elementami komplementárnych literálov, teda **v jedných predpokladoch/semaforoch majú potvrdzujúce/dokazujúce, v iných spochybňujúce/vylučujúce postavenie.** Sú to **diskriminujúce** fakty, ktorých uplatnenie v znalostných systémoch podlieha už spomenutým *realistickým hľadiskám* (článok 7.2.4, kde sa spomína *zameriavanie na fakty*), ako je napríklad zvažovanie "nákladov" na ich zisťovanie.

V súvislosti s výberom diskriminujúcich faktov sa dá uplatniť napr. nasledujúci

- ✓ **HEURISTICKÝ (MAKRO)OPERÁTOR DISKRIMINAČNEJ PREFERENCIE**
- najprv identifikujú také podmnožiny množiny cieľových entít, ku ktorým sa viažu spoločné fakty;
 - následne v týchto podmnožinách identifikuje fakty vystupujúce v roli komplementárnych literálov a zisťuje kardinalitu podmnožín entít, ktoré potvrdzuje a zároveň falzifikuje;
 - čím vyššie sú hodnoty týchto kardinalít a čím je menší rozdiel ich hodnôt, tým je vyššia *mohutnosť diskriminačnej účinnosti* daného faktu – $MDU(F)$;
 - pokiaľ sa nezohľadňujú *realistické hľadiská*⁵, prednostne sa zisťujú fakty podľa mohutnosti ich diskriminačnej účinnosti, v opačnom prípade uprednostňovanie je výsledkom rozhodovacieho procesu zohľadňujúceho *realistické hľadiská* zisťovania faktov a naliehavosti potvrdzovania/falzifikácie cieľových entít.

Nech $DP(F,C)$ je symbolové označenie *heuristického operátora diskriminačnej preferencie*, pričom symbol F zastupuje množinu skúmaných faktov a symbol C množinu cieľových entít. Výsledkom uplatnenia operátora je **postupnosť faktov** usporiadaná podľa ich diskriminačnej mohutnosti, možno písať

$$DP(F,C)=\{F_a, F_b, \dots, F_z\}.$$

Nech $C_i \subseteq C$, $C_j \subseteq C, \dots, C_k \subseteq C$, sú podmnožiny skúmaných cieľových entít, ktoré nie sú nevyhnutne disjunktné. Podmnožiny C_v , $v \in \{r, s, \dots, t\}$, vznikajú uplatňovaním **operácie dôsledku** typu $F \ni D(S_{vk})$, pričom $S_{vk} \in C_v$ a $1 \leq k \leq n$. V prípade, že cieľové entity viažu spoločné fakty z týchto podmnožín platí

$$D(S_{v1}) \cap D(S_{v2}) \cap \dots \cap D(S_{vm}) = \{F_p, F_q, \dots, F_r\} = F_v$$

Heuristický operátor diskriminačnej preferencie

Výpočtová zložitosť implikuje potrebu predkompilácie BZ

⁵ Článok 7.2.4 - *zameriavanie sa na fakty*.

Pokiaľ teda množina F_x je neprázdna iniciuje sa proces, ktorý spočíva v identifikácii tých faktov z prieniku, ktoré sa v podobe komplementárnych literálov viažu k dvom odlišným podmnožinám cieľových entít

$$C'_v \subseteq C_v, C''_v \subseteq C_v,$$

pričom sa zisťuje aj ich diskriminačná mohutnosť. Pri nachádzaní takých faktov sa dajú uplatniť operácie príčiny typu

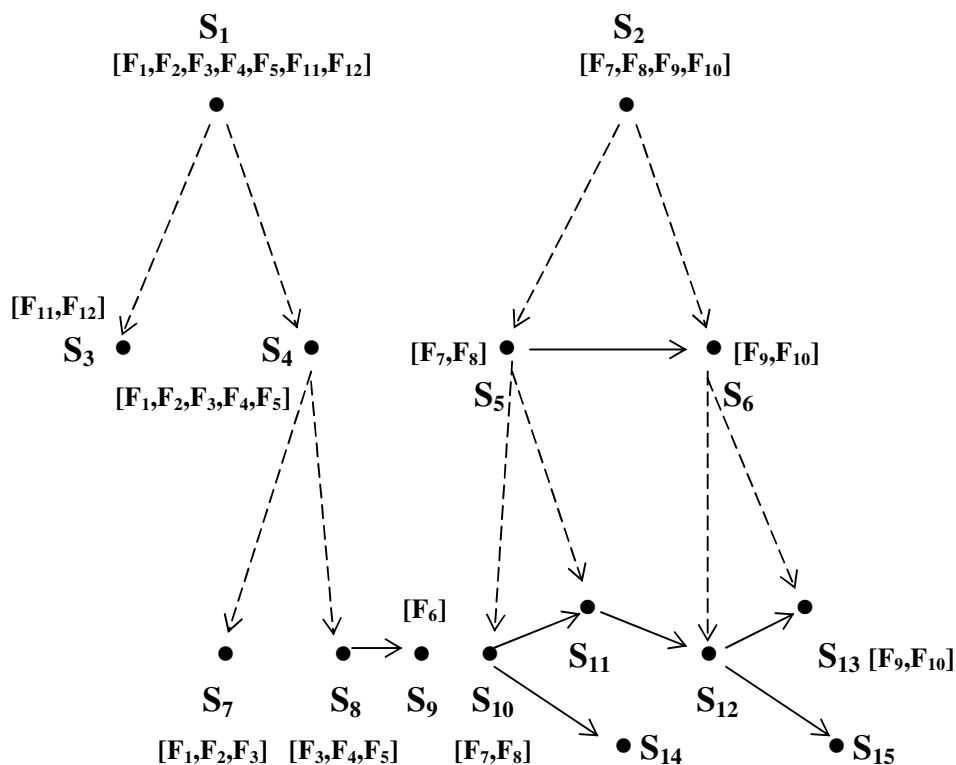
$$\text{Card}[P(F_i)] = \text{Card}(C'_v) \approx \text{Card}(C''_v) = \text{Card}[P(\neg F_i)],$$

pričom mohutnosť diskriminačnej účinnosti sa dá vyjadriť napr. v podobe

$$MDU(F_i) = \min(\text{Card}[P(F_i)], \text{Card}[P(\neg F_i)]) / (1 + |\text{Card}[P(F_i)] - \text{Card}[P(\neg F_i)]|).$$

Napokon v súlade s identifikovanými $MDU(F_x)$ sa zameria pozornosť na jednotlivé fakty z uvažovanej množiny.

Medzi často uplatňované postupy riešenia problémov prostriedkami, ktoré ponúka umelá inteligencia, sa radí stratégia **generuj a testuj**. Produktom plánovacieho mechanizmu je práve **generovanie** cieľových entít načo nadväzuje alebo sa s ním prelína **testovanie**



Obr. 9

7.3.4 Operátory syntézy čiastkových výsledkov

V predošlom uvedené operátory uplatniteľné v súvislosti so syntézou čiastkových výsledkov priblížime najprv na ilustračnom prípade z grafu na obr. 9. Uvažuje sa v ňom 15 cieľových entít S_j , z ktorých niektoré sú vzájomne kauzálne viazané. Kvôli zjednodušeniu grafu nie sú v ňom znázornené kauzálne väzby medzi faktami a stavmi. Avšak pri jednotlivých cieľových entitách sú uvedené fakty, z ktorých k nim vedú kauzálne väzby.

V súvislosti s danou témou je žiaduce si všimnúť modifikované ponímanie **relácie generalizácie**. Uplatňuje sa v ňom *optika zjednotenia všetkých prejavov, vlastností, predpokladov špecializácií v generalizáciach*. Implikácia: Aj špecifické fakty charakteristické pre špecializácie sa tým stávajú smerníkmi na zodpovedajúce generalizácie. (Je to v kontraste s optikou *prieniku vlastností špecializácií*, ktoré sú vyčleňované do generalizácií a ktoré sa s výhodou sa uplatňujú pri klasickom odvodzovaní.)

Rozdielnosť uvedených optík možno ilustrovať na prípade troch objektov S_i, S_j, S_k takých, že S_k je generalizáciou S_i a S_j , pričom platí $S_i \neq S_j$. Nech F_p, F_q a F_t , resp. F_r, F_s a F_t sú trojice faktov (prejavov, vlastností, predpokladov) korešpondujúcich s entitami S_i , resp. S_j . Nech sa F_t viaže k obojm entitám, je ich spoločnou charakteristikou, t.j. obe môžu byť jeho príčinou, resp. zodpovedá predpokladu ich dosiahnuteľnosti. V procese klasického odvodzovania sa uplatňuje optika, podľa ktorej iba spoločný atribút oboch špecializácií sa prejaví v generalizácii:

$$\{F_p, F_q, F_t\} \cap \{F_r, F_s, F_t\} = \{F_t\}.$$

Priradenie spoločného atribútu F_t oboch entít S_i, S_j ich generalizácii S_k zvyšuje odvodzovaciu účinnosť. Kontrastujúci variant optiky generalizácie – uplatňovaný v procesoch rozoberaných v tomto článku – spočíva v zjednotení atribútov špecializácií:

$$\{F_p, F_q, F_t\} \cup \{F_r, F_s, F_t\} = \{F_p, F_q, F_r, F_s, F_t\}.$$

Pri tomto poňatí sa uplatňuje princíp dedenia vlastností, ich hodnôt, resp. metavlastností zdola-nahor. V prípade procesov plánovania (zameriavania pozornosti) a syntézy čiastkových výsledkov účinnosť makrooperácií sa zvyšuje globalizujúcim zohľadňovaním faktov.

Dopad druhej z uvedených optík generalizácie je naznačený v grafe z Obr. 9. Jednotlivým generalizujúcim objektom sú priradené fakty všetkých zodpovedajúcich špecializácií. V dôsledku toho napr. operátor $P(F_1)$ priradí svojmu argumentu množinu všetkých entít, ktoré môžu byť jeho príčinou (vedie z nich v kauzálno-hierarchickej sieti cesta k F_1):

$$P(F_1) = \{S_1, S_4, S_7\},$$

a naopak, funkcia D uplatnená napríklad na S_4 by produkovala

$$D(S_4) = \{F_1, F_2, F_3, F_4, F_5\}.$$

Uvádžeme symbolovú 'linearizáciu' grafu z Obr. 9 – v ňom prerušované hrany zodpovedajú generalizačno-špecializačnej relácii a súvislé hrany kauzálnym reláciám. Usporiadané množiny faktov pri jednotlivých entitách sa sú tými entitami zdôvodniteľné, sú to pozorovaniu dostupné prejavy (manifestácie) týchto entít, alebo

zodpovedajú podmienkam ich dosiahnuteľnosti). 'Linearizovaný' prepis grafu je produktom uplatnenia zavedených elementárnych funkcií.

$P(F_1)=\{S_1,S_4,S_7\}$	$P(F_5)=\{S_1,S_4,S_8\}$	$P(F_9)=\{S_2,S_6,S_{13}\}$
$P(F_2)=\{S_1,S_4,S_7\}$	$P(F_6)=\{S_9\}$	$P(F_{10})=\{S_2,S_6,S_{13}\}$
$P(F_3)=\{S_1,S_4,S_7,S_8\}$	$P(F_7)=\{S_2,S_5,S_{10}\}$	$P(F_{11})=\{S_1,S_3\}$
$P(F_4)=\{S_1,S_4,S_8\}$	$P(F_8)=\{S_2,S_5,S_{10}\}$	$P(F_{12})=\{S_1,S_3\}$
$P_1(S_1)=\{0\}$	$D_1(S_1)=\{0\}$	$S(S_1)=\{S_3,S_7,S_8\}$
$P_1(S_2)=\{0\}$	$D_1(S_2)=\{0\}$	$S(S_2)=\{S_{10},S_{11},S_{12},S_{13}\}$
$P_1(S_3)=\{0\}$	$D_1(S_3)=\{0\}$	$S(S_3)=\{0\}$
$P_1(S_4)=\{0\}$	$D_1(S_4)=\{0\}$	$S(S_4)=\{S_7,S_8\}$
$P_1(S_5)=\{S_6\}$	$D_1(S_5)=\{0\}$	$S(S_5)=\{S_{10},S_{11}\}$
$P_1(S_6)=\{0\}$	$D_1(S_6)=\{S_5\}$	$S(S_6)=\{S_{12},S_{13}\}$
$P_1(S_7)=\{0\}$	$D_1(S_7)=\{0\}$	$S(S_7)=\{0\}$
$P_1(S_8)=\{S_9\}$	$D_1(S_8)=\{0\}$	$S(S_8)=\{0\}$
$P_1(S_9)=\{0\}$	$D_1(S_9)=\{S_8\}$	$S(S_9)=\{0\}$
$P_1(S_{10})=\{S_{11},S_{14}\}$	$D_1(S_{10})=\{0\}$	$S(S_{10})=\{0\}$
$P_1(S_{11})=\{S_{12}\}$	$D_1(S_{11})=\{S_{10}\}$	$S(S_{11})=\{0\}$
$P_1(S_{12})=\{S_{13},S_{15}\}$	$D_1(S_{12})=\{S_{11}\}$	$S(S_{12})=\{0\}$
$P_1(S_{13})=\{0\}$	$D_1(S_{13})=\{S_{12}\}$	$S(S_{13})=\{0\}$
$P_1(S_{14})=\{0\}$	$D_1(S_{14})=\{S_{13}\}$	$S(S_{14})=\{0\}$
$P_1(S_{15})=\{0\}$	$D_1(S_{15})=\{S_{14}\}$	$S(S_{15})=\{0\}$

V nadväzujúcom rozbere operátorov slúžiacich integrovaniu čiastkových výsledkov odvodzovania majú svoje opodstatnenie niektoré ďalšie špecifické kombinácie operátorov známe z predchádzajúcich článkov:

Operátor DÔSLEDKY_ENTÍT_TVORIACICH_PRÍČINY_FAKTOV

vedie k procesu, ktorého symbolika je $D_s^\circ\{P_s^\circ\{P_f(F_i)\}\} \equiv D_s(P_s(P_f(F_i)))$ – teda na prvky množiny príčin $P_f(F_i)$ sa aplikuje najprv operátor P_s a na prvky odvodenej množiny sa aplikuje operátor dôsledku D_s a odvodené množiny satavov sa zjednotia:

$$D_s(P_s(P_f(F_i))) = D_s(P_s(S_u) \cup P_s(S_v) \cup P_s(S_w)) = D_s(S_x) \cup D_s(S_y) \cup \dots \cup D_s(S_z)$$

Operátor PRÍČINA(DÔSLEDOK)_GENERALIZOVANÝCH_LISTOVÝCH_CIEĽOVÝCH_OBJEKTOV

vedie k procesu, ktorého symbolika je

$$P_s^\circ\{S(S_i)\} \equiv P_s(S(S_i)), \text{ resp. } D_s^\circ\{S(S_i)\} \equiv D_s(S(S_i))$$

t.j. na každý listový objekt generalizovaný objektom S_i - teda na prvky množiny odvodený operátorom $S(S_i)$ - sa aplikuje operátor P_s , resp. D_s a odvodené množiny sa zjednotia.

Ilustrácia:

Nech platí $S(S_i)=\{S_p,S_q,S_u\}$. Potom máme buď

$$P_s^\circ\{S(S_i)\} = \{P_s(S_p) \cup P_s(S_q) \cup P_s(S_u)\}, \text{ alebo}$$

$$D_s^\circ\{S(S_i)\} = \{D_s(S_p) \cup D_s(S_q) \cup D_s(S_u)\}.$$

Prirodzene, ako už z predchádzajúceho vyplýva, operátory P, P_f, P_k, P_s, P_1 a D, D_k, D_s, D_1 - aj superponované - môžu byť priamo aplikované na **listové**, t.j. na **najšpecifickejšie entity**.

Dôsledok
príčin

Príčiny a
dôsledky
listových
objektov

Účinok aplikovania uvedených zložených operátorov na entity z ilustračného grafu na obr. 9 vyzerať nasledovne

$$\begin{aligned}
 P_1 \circ P(F_1) &= P_1 \circ P(F_2) = P_1(S_1) \cup P_1(S_4) \cup P_1(S_7) = \{0\} \cup \{0\} \cup \{0\} = \{0\} \\
 P_1 \circ P(F_3) &= P_1(S_1) \cup P_1(S_4) \cup P_1(S_7) \cup P_1(S_8) = \{0\} \cup \{0\} \cup \{0\} \cup \{S_9\} = \{S_9\} \\
 P_1 \circ P(F_4) &= P_1 \circ P(F_5) = P_1(S_1) \cup P_1(S_4) \cup P_1(S_8) = \{0\} \cup \{0\} \cup \{S_9\} = \{S_9\} \\
 P_1 \circ P(F_6) &= P_1(S_9) = \{0\} \\
 P_1 \circ P(F_7) &= P_1 \circ P(F_8) = P_1(S_2) \cup P_1(S_5) \cup P_1(S_{10}) = \{0\} \cup \{S_6\} \cup \{S_{11}, S_{14}\} = \{S_6, S_{11}, S_{14}\} \\
 P_1 \circ P(F_9) &= P_1 \circ P(F_{10}) = P_1(S_2) \cup P_1(S_6) \cup P_1(S_{13}) = \{0\} \cup \{0\} \cup \{0\} = \{0\} \\
 P_1 \circ P(F_{11}) &= P_1 \circ P(F_{12}) = P_1(S_1) \cup P_1(S_3) = \{0\} \cup \{0\} = \{0\}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 D_1 \circ P(F_1) &= D_1 \circ P(F_2) = D_1(S_1) \cup D_1(S_4) \cup D_1(S_7) = \{0\} \cup \{0\} \cup \{0\} = \{0\} \\
 D_1 \circ P(F_3) &= D_1(S_1) \cup D_1(S_4) \cup D_1(S_7) \cup D_1(S_8) = \{0\} \cup \{0\} \cup \{0\} \cup \{0\} = \{0\} \\
 D_1 \circ P(F_4) &= D_1 \circ P(F_5) = D_1(S_1) \cup D_1(S_4) \cup D_1(S_8) = \{0\} \cup \{0\} \cup \{0\} = \{0\} \\
 D_1 \circ P(F_6) &= D_1(S_9) = \{S_8\} \\
 D_1 \circ P(F_7) &= D_1 \circ P(F_8) = D_1(S_2) \cup D_1(S_5) \cup D_1(S_{10}) = \{0\} \cup \{0\} \cup \{0\} = \{0\} \\
 D_1 \circ P(F_9) &= D_1 \circ P(F_{10}) = D_1(S_2) \cup D_1(S_6) \cup D_1(S_{13}) = \{0\} \cup \{S_5\} \cup \{S_{12}\} = \{S_5, S_{12}\} \\
 D_1 \circ P(F_{11}) &= D_1 \circ P(F_{12}) = D_1(S_1) \cup D_1(S_3) = \{0\} \cup \{0\} = \{0\}
 \end{aligned}$$

Príčiny a
dôsledky
listových
stavov

V grafe na obr. 9 listovými entitami sú $S_3, S_7, S_8, S_9, S_{10}, S_{11}, S_{12}, S_{13}, S_{14}$ a S_{15} . Nasledujúce superponované funkcie sa aplikujú len na nelistové stavy.

$$\begin{aligned}
 P_1 \circ S(S_1) &= P_1(S_3) \cup P_1(S_7) \cup P_1(S_8) = \{0\} \cup \{0\} \cup \{S_9\} = \{S_9\} \\
 P_1 \circ S(S_2) &= P_1(S_{10}) \cup P_1(S_{11}) \cup P_1(S_{12}) \cup P_1(S_{13}) = \\
 &= \{S_{11}, S_{14}\} \cup \{S_{12}\} \cup \{S_{13}, S_{15}\} \cup \{0\} = \{S_{11}, S_{12}, S_{13}, S_{14}, S_{15}\} \\
 P_1 \circ S(S_4) &= P_1(S_7) \cup P_1(S_8) = \{0\} \cup \{S_9\} = \{S_9\} \\
 P_1 \circ S(S_5) &= P_1(S_{10}) \cup P_1(S_{11}) = \{S_{11}, S_{14}\} \cup \{S_{12}\} = \{S_{11}, S_{12}, S_{14}\} \\
 P_1 \circ S(S_6) &= P_1(S_{12}) \cup P_1(S_{13}) = \{S_{13}, S_{15}\} \cup \{0\} = \{S_{13}, S_{15}\}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 D_1 \circ S(S_1) &= D_1(S_3) \cup D_1(S_7) \cup D_1(S_8) = \{0\} \cup \{0\} \cup \{0\} = \{0\} \\
 D_1 \circ S(S_2) &= D_1(S_{10}) \cup D_1(S_{11}) \cup D_1(S_{12}) \cup D_1(S_{13}) = \\
 &= \{0\} \cup \{S_{10}\} \cup \{S_{11}\} \cup \{S_{12}\} = \{S_{10}, S_{11}, S_{12}\} \\
 D_1 \circ S(S_4) &= D_1(S_7) \cup D_1(S_8) = \{0\} \cup \{0\} = \{0\} \\
 D_1 \circ S(S_5) &= D_1(S_{10}) \cup D_1(S_{11}) = \{0\} \cup \{S_{10}\} = \{S_{10}\} \\
 D_1 \circ S(S_6) &= D_1(S_{12}) \cup D_1(S_{13}) = \{S_{11}\} \cup \{S_{12}\} = \{S_{11}, S_{12}\}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_s(S_3) &= \{0\}; \quad P_s(S_7) = \{0\}; \quad P_s(S_8) = \{S_9\}; \quad P_s(S_9) = \{0\}; \quad P_s(S_{10}) = \{S_{13}, S_{14}, S_{15}\}; \\
 P_s(S_{11}) &= \{S_{13}, S_{15}\}; \quad P_s(S_{12}) = \{S_{13}, S_{15}\}; \quad P_s(S_{13}) = \{0\}; \quad P_s(S_{14}) = \{0\}; \quad P_s(S_{15}) = \{0\}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 D_s(S_3) &= \{0\}; \quad D_s(S_7) = \{0\}; \quad D_s(S_8) = \{0\}; \quad D_s(S_9) = \{S_8\}; \quad D_s(S_{10}) = \{0\}; \\
 D_s(S_{11}) &= \{S_{10}\}; \quad D_s(S_{12}) = \{S_{10}\}; \quad D_s(S_{13}) = \{S_{10}\}; \quad D_s(S_{14}) = \{S_{10}\}; \quad D_s(S_{15}) = \{S_{10}\}
 \end{aligned}$$

Pri uvedenom linearizovanom prepise grafu z Obr. 9 bol uplatnený **množinový formalizmus a množinové operácie**. V prípade úspešne verifikovanej bázy znalostí **binárny vektorový prepis** uvedenej linearizácie výrazne zvyšuje odvodzovaciu aj výpočtovú účinnosť a znižuje pamäťovú zložitosť (nepochybne spolu so zníženou

vyjadrovaciu účinnosťou reprezentácie). **Binárny vektorový prepis** implikuje nahradenie množinových operácií efektívnymi **operáciami binárneho kalkulu**.

Kvôli ilustrácii nasledujú ukážky prepisu množinového do vektorového formalizmu

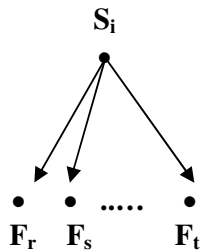
$$\begin{aligned} P(F_1) &= [1\ 0\ 0\ 1\ 0\ 0\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0] \\ P(F_3) &= [1\ 0\ 0\ 1\ 0\ 0\ 1\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0] \\ P(F_5) &= [1\ 0\ 0\ 1\ 0\ 0\ 0\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0] \\ P(F_7) &= [0\ 1\ 0\ 0\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0] \\ P(F_9) &= [0\ 1\ 0\ 0\ 0\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 1\ 0\ 0] \\ P(F_{11}) &= [1\ 0\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P(F_2) &= [1\ 0\ 0\ 1\ 0\ 0\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0] \\ P(F_4) &= [1\ 0\ 0\ 1\ 0\ 0\ 0\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0] \\ P(F_6) &= [0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0] \\ P(F_8) &= [0\ 1\ 0\ 0\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0] \\ P(F_{10}) &= [0\ 1\ 0\ 0\ 0\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 1\ 0\ 0] \\ P(F_{12}) &= [1\ 0\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0] \end{aligned}$$

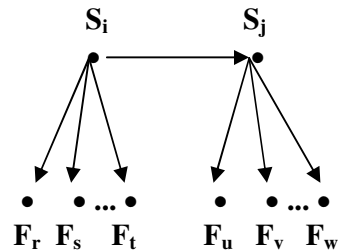
Ako je zrejmé, vektorový zápis implikuje možnosť nahradit' množinové operácie binárnymi vektorovými. V danom ilustračnom príklade operáciu zjednotenia binárnou operáciou **alebo**

$$\begin{aligned} P_1 \circ P(F_7) &= [0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0] \\ &\vee [0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 1\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0] \\ &\vee [0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 1\ 0\ 0\ 0\ 1\ 0] = \\ &= [0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 1\ 1\ 1\ 0\ 0\ 1\ 0] \end{aligned}$$

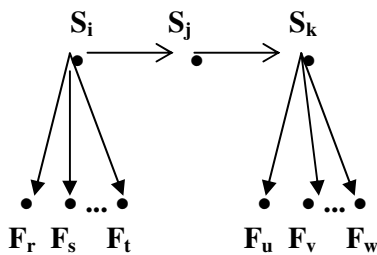
$$\begin{aligned} D_1 \circ P(F_9) &= [0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0] \\ &\vee [0\ 0\ 0\ 0\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0] \\ &\vee [0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 1\ 0\ 0\ 0] = \\ &= [0\ 0\ 0\ 0\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 1\ 0\ 0\ 0] \end{aligned}$$



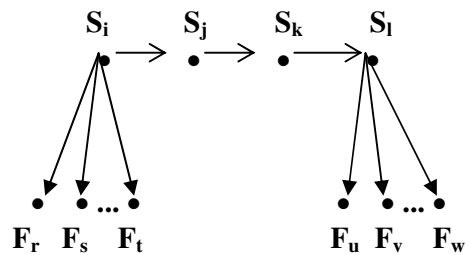
Obr. 10a



Obr. 10b



Obr. 10c



Obr. 10d

Operácie prehľadávania kauzálnu-hierarchickej siete, ktoré boli doteraz uvedené, sú prostriedkom realizácie generických typov syntézy (kombinovania) entít (objektov, fenoménov) spolu so zodpovedajúcimi faktami. V nasledujúcom je uvedená ilustrácia uplatňovaného procesu takých syntéz (pozri grafy na Obr. 10). Spočíva vo

vyhľadání všetkých súvislých podgrafov,

- (a) v ktorých jediná odvoditeľná (cieľová) entita bez kauzálnej väzby k iným odvoditeľným entitám - obr. 10a - viaže všetky zistené fakty, alebo aspoň ich podmnožinu;
- (b) v ktorých sa ku každému prvku vzájomne kauzálne bezprostredne súvisiacej dvojice odvodených cieľových entít - obr. 10b – viažu zistené fakty;
- (c) ktoré obsahujú kauzálne vzájomne viazané *n-tice* odvodených cieľových entít - obr. 10c,d - pričom aspoň ku každému prvku najvzdialenejšej dvojice sa viažu všetky zistené fakty, alebo aspoň ich podmnožina.

Poznámka: Keď poslaním odvodených entít je zdôvodniť/ozrejmiť zistené fakty, vtedy je snahou maximalizovať ich množinu, keď fakty zodpovedajú podmienkám dosiahnuteľnosti či zostrojiteľnosti cieľovej entity, vtedy môže vyhovovať iba ich postačujúci počet.

Tieto typy vzťahov sa dajú identifikovať a teda odvodiť nasledujúcimi postupmi:

Identifikovanie individuálnych stavov: SINGLETOV

- (1) Najprv sa vyhľadajú všetky **individuálne stavy** (Obr. 10a), ktorými sa dá zdôvodniť určitá neprázdna podmnožina faktov:

- (1.1) Vytvorí sa dve dočasné pracovné množiny

ALL – obsahujúca cieľové entity individuálne viažuce zistené fakty,

LIST – tvorí podmnožinu **ALL** - obsahuje listové entity typu S_i individuálne viažuce zistené fakty.

V ilustračnom príklade z obr. 9 máme

$ALL = \{S_1[F_1, F_2, F_3, F_4, F_5, F_{11}, F_{12}], S_2[F_7, F_8, F_9, F_{10}], S_3[F_{11}, F_{12}], S_4[F_1, F_2, F_3, F_4, F_5], S_5[F_7, F_8], S_6[F_9, F_{10}], S_7[F_1, F_2, F_3], S_8[F_3, F_4, F_5], S_9[F_6], S_{10}[F_7, F_8], S_{13}[F_9, F_{10}]\}$

$LIST = \{S_3[F_{11}, F_{12}], S_7[F_1, F_2, F_3], S_8[F_3, F_4, F_5], S_9[F_6], S_{10}[F_7, F_8], S_{13}[F_9, F_{10}]\}$

- (1.2) Uplatnením operátorov P_s , D_s testuje sa výskyt všetkých entít $S_i \in ALL$ a $S_i \in LIST$ na ich postavenie v niektorom príčinnno-dôsledkovom vzťahu. Negatívny výsledok testu vedie k odstráneniu nelistových entít S_i z množiny **ALL**. Zároveň pozitívny výsledok testu vedie k odstráneniu takých entít z množiny **LIST**. Zostávajúci obsah množiny **LIST** tvorí prvú zo skúmaných výsledných množín – jej prvky patria medzi **SINGLETY**. Prvky z tejto množiny sa napokon tiež odstránia z množiny **ALL**.

Odvodenie SINGLETOV

Odvodenie prázdnej hodnoty pri aplikovaní oboch operátorov P_s a D_s na nelistové prvky množiny **ALL** v uvažovanom ilustračnom príklade z obr. 9 vedie k ich odstráneniu z tejto množiny, takže dostávame

$ALL = \{S_3[F_{11}, F_{12}], S_5[F_7, F_8], S_6[F_9, F_{10}], S_7[F_1, F_2, F_3], S_8[F_3, F_4, F_5], S_9[F_6], S_{10}[F_7, F_8], S_{13}[F_9, F_{10}]\}$.

Súčasne odvodenie neprázdnej hodnoty hociktorým z uvedených operátorov aplikovaných na prvky množiny **LIST** indikuje ich kauzálne väzby. Dôsledkom je odstránenie entít S_8 , S_9 , S_{10} a S_{13} z tejto množiny, čím dostávame $LIST = \{S_3[F_{11}, F_{12}], S_7[F_1, F_2, F_3]\}$.

Prvky tejto množiny tvoria prvky množiny **SINGLETOV**, máme teda

SINGLETY = { S_3, S_7 }.

Aj prvky tejto množiny sa následne odstránia z množiny **ALL**, čím táto množina nadobúda modifikovaný obsah

ALL={ $S_5[F_7,F_8]$, $S_6[F_9,F_{10}]$, $S_8[F_3,F_4,F_5]$, $S_9[F_6]$, $S_{10}[F_7,F_8]$, $S_{13}[F_9,F_{10}]$ }.

- (2) Nadväzujúci proces je tvorený krokmi, ktoré zisťujú väzby ilustrované grafom z obr. 10b – vyhľadáva **DUBLETY (dvojice stavov)** schopných objasniť korešpondujúce fakty:

- (2.1) Nad každým F_i sa vykoná operácia $P_1 \circ P(F_i)$, t.j. vyhľadajú sa bezprostredné príčiny príčin faktov.

Ilustrujeme:

$$P_1 \circ P(F_1) = P_1 \circ P(F_2) = P_1(S_1) \cup P_1(S_4) \cup P_1(S_7) = \{0\}$$

$$P_1 \circ P(F_3) = P_1(S_1) \cup P_1(S_4) \cup P_1(S_7) \cup P_1(S_8) = \{S_9\}$$

$$P_1 \circ P(F_4) = P_1 \circ P(F_5) = P_1(S_1) \cup P_1(S_4) \cup P_1(S_8) = \{S_9\}$$

$$P_1 \circ P(F_6) = P_1(S_9) = \{0\}$$

$$P_1 \circ P(F_7) = P_1 \circ P(F_8) = P_1(S_2) \cup P_1(S_5) \cup P_1(S_{10}) = \{S_6, S_{11}, S_{14}\}$$

$$P_1 \circ P(F_9) = P_1 \circ P(F_{10}) = P_1(S_2) \cup P_1(S_6) \cup P_1(S_{13}) = \{0\}$$

$$P_1 \circ P(F_{11}) = P_1 \circ P(F_{12}) = P_1(S_1) \cup P_1(S_3) = \{0\}$$

Predmetom nasledujúcej pozornosti sú iba prípady, v ktorých sa odvodili neprázdne množiny stavov:

$$P_1 \circ P(F_3) = \{S_9\} \quad (S_9[F_6])$$

$$P_1 \circ P(F_4) = \{S_9\} \quad (S_9[F_6])$$

$$P_1 \circ P(F_5) = \{S_9\} \quad (S_9[F_6])$$

$$P_1 \circ P(F_7) = \{S_6, S_{11}, S_{14}\} \quad (S_6[F_9, F_{10}], S_{11}[], S_{14}[])$$

$$P_1 \circ P(F_8) = \{S_6, S_{11}, S_{14}\}. \quad (S_6[F_9, F_{10}], S_{11}[], S_{14}[])$$

- (2.2) Dôsledkom kroku (2.1) sú dve množiny: explicitná množina entít $\{S_k\}$ a implicitná množina k nim sa viažucich faktov $\{F_i\}$. Nasleduje aplikovanie operátora P na všetky F_i . Medzi takto odvodenou množinou príčin jednotlivých argumentov operátora a neprázdnyimi množinami príčin, ktoré boli odvodené v kroku (2.1) sa vykoná operácia prieniku. Objekty tvoriace výslednicu prienikov sa stávajú predmetom nadväzujúcej pozornosti. Príslušnosť do množiny **DUBLETOV** vyplýva zo splnenia oboch nasledujúcich podmienok: (a) absencia nadväzujúcich príčin týchto entít a (b) z existencie dôsledkových entít vzdialených práve o dĺžku jednej hrany.

Pokračujúca ilustrácia zhodou okolností vedie k triviálnym výsledkom:

$$\{S_9\} \cap P(F_6) = \{S_9\} \cap \{S_9\} = \{S_9\}$$

$$\{S_6, S_{11}, S_{14}\} \cap P(F_9) = \{S_6, S_{11}, S_{14}\} \cap \{S_6\} = \{S_6\}$$

Teda entity $\{S_6\}$ a $\{S_9\}$ by mohli byť potenciálnymi prvkami **DUBLETOV**. V nadväzujúcich krokoch sa preveruje splnenie vyššie uvedených podmienok (a) a (b).

- (2.3) Nasleduje pokus vyhľadať príčiny objektov identifikovaných v kroku (2.2).

Ak také boli detekované, tak sa zjednotia s množinami objektov odvodených v kroku (2.2).

V danom ilustračnom príklade platí $P(S_6)=\{0\}$, $P(S_9)=\{0\}$, tým je splnená vyššie uvedená podmienka (a) - *absencia nadväzujúcich príčin* – príslušnosti do množiny **DUBLETOV**.

Pokračuje sa zisťovaním splnenia podmienky (b) – zisťovanie či k objektom potenciálne patriacim do množiny **DUBLETOV** existujú dôsledky vo vzdialenosti práve dĺžky jednej hrany. Ide o aplikovanie operácií z krokov (2.1), (2.2) a (2.3) v opačnom smere.

- (2.4) Nad každým F_i sa vykoná zložená operácia $D_s^\circ P(F_i)$.

Pokračovanie ilustrácie

$$\begin{aligned} D_s^\circ P(F_1) &= D_s^\circ P(F_2) = D_s(S_1) \cup D_s(S_4) \cup D_s(S_7) = \{0\} \\ D_s^\circ P(F_3) &= D_s(S_1) \cup D_s(S_4) \cup D_s(S_7) \cup D_s(S_8) = \{0\} \\ D_s^\circ P(F_4) &= D_s^\circ P(F_5) = D_s(S_1) \cup D_s(S_4) \cup D_s(S_8) = \{0\} \\ D_s^\circ P(F_6) &= D_s(S_9) = \{S_8\} \\ D_s^\circ P(F_7) &= D_s^\circ P(F_8) = D_s(S_2) \cup D_s(S_5) \cup D_s(S_{10}) = \{0\} \\ D_s^\circ P(F_9) &= D_s^\circ P(F_{10}) = D_s(S_2) \cup D_s(S_6) \cup D_s(S_{13}) = \{S_5, S_{12}\} \\ D_s^\circ P(F_{11}) &= D_s^\circ P(F_{12}) = D_s(S_1) \cup D_s(S_3) = \{0\} \end{aligned}$$

Predmetom pozornosti sa opäť stávajú iba prípady, v ktorých sa odvodili neprázdne množiny cieľových objektov.

$$\begin{aligned} D_s P(F_6) &= D_s(S_9) = \{S_8\} & S_8[F_3, F_4, F_5] \\ D_s^\circ P(F_9) &= D_s^\circ P(F_{10}) = D_s(S_2) \cup D_s(S_6) \cup D_s(S_{13}) = \{S_5, S_{12}\} & S_5[F_7, F_8], S_{12}[] \end{aligned}$$

- (2.5) Dôsledkom kroku (2.4) sú dve množiny: explicitná množina entít $\{S_k\}$ a implicitná množina k nim sa viažucich faktov $\{F_i\}$. Analogicky s krokom (2.2), sa na všetky tieto F_i aplikuje operátor $P(F_i)$ a medzi odvodenou množinou príčin faktov F_i a neprázdny množinami príčin, ktoré boli odvodené v kroku (2.4), sa vykoná operácia prieniku. Objekty tvoriace výslednicu prienikov sa stávajú predmetom nadväzujúcej pozornosti.

Pokračujúca ilustrácia. Máme $S_8[F_3, F_4, F_5]$, $S_5[F_7, F_8]$, $S_{12}[]$:

$$\begin{aligned} \{S_8\} \cap P(F_3) &= \{S_8\} \cap \{S_7, S_8\} = \{S_8\} \\ \{S_8\} \cap P(F_4) &= \{S_8\} \cap \{S_8\} = \{S_8\} \\ \{S_8\} \cap P(F_5) &= \{S_8\} \cap \{S_8\} = \{S_8\} \\ \{S_5, S_{12}\} \cap P(F_7) &= \{S_5, S_{12}\} \cap \{S_2, S_5, S_{10}\} = \{S_5\} \\ \{S_5, S_{12}\} \cap P(F_8) &= \{S_5, S_{12}\} \cap \{S_2, S_5, S_{10}\} = \{S_5\} \end{aligned}$$

- (2.6) Ku všetkým stavom obsiahnutým vo vzniknutých množinách sa vyhľadajú ich dôsledky. Ak také stavy existujú, tak sa zjednotia s množinami odvodenými v kroku (2.5).

V danom prípade platí $D(S_5)=\{0\}$, $D(S_8)=\{0\}$ a tým je splnená podmienka (b) pre identifikovanie oboch **DUBLETOV**. Je tomu tak lebo platí

$P(S_5)=\{S_6\}$ a symetricky $D(S_6)=\{S_5\}$, pričom $P(S_6)=\{0\}$ a $D(S_5)=\{0\}$,
 $P(S_8)=\{S_9\}$ a symetricky $D(S_9)=\{S_8\}$, pričom $P(S_9)=\{0\}$ a $D(S_8)=\{0\}$.

Tým dostávame dvojice $\{S_5, S_6\}$ a $\{S_8, S_9\}$ ozrejmujúce (zdôvodňujúce, syntetizujúce) výskyt dvoch korešpondujúcich zoskupení faktov

$\{F_3, F_4, F_5, F_6\}$ a $\{F_7, F_8, F_9, F_{10}\}$.

- (2.7) Pokiaľ sa v krokoch (2.1) až (2.6) odvodí dvojice entít splňujúce obe podmienky (a) a (b) špecifikované v kroku (2.2), v tomto kroku sa vytvorí množina **DUBLETY**, ktorého prvkami sú dvojprvkové množiny odvodené v predchádzajúcich krokoch.

V danom prípade máme teda **DUBLETY** = $\{\{S_5, S_6\}, \{S_8, S_9\}\}$. Ich odstránením z množiny **ALL** máme jej nasledujúci modifikovaný obsah

ALL = $\{S_{10}[F_7, F_8], S_{13}[F_9, F_{10}]\}$.

Identikovanie
TRIPLETOV

- (3) Proces pokračuje zisťovaním väzieb zodpovedajúcich prípadom, v ktorých sa hľadajú fakty objasňované trojicami stavov - obr 10c - S_i, S_j, S_k viazaných tým, že S_j je príčinou S_i a S_k je príčinou S_j , resp. S_i je následkom S_j a S_j je následkom S_k . Pôjde teda o vytváranie množiny **TRIPLETOV**:

a postup
ich odvodzovania

- (3.1) Do pracovnej množiny M_P sa vložia entity S_i , ku ktorým operátor $P_2(S_i)$ nájde objekty tvoriace jej príčinu práve vo vzdialenosti 2 hrán v kauzálnej sieti. Do množiny M_D sa vložia objekty S_j , ku ktorým operátor $D_2(S_j)$ nájde entity tvoriace jej dôsledok práve vo vzdialenosti 2 hrán v kauzálnej sieti.

Ilustrujeme: $\{S_{10}[F_7, F_8], S_{13}[F_9, F_{10}]\}$ je množina entít, ktoré zostáva ešte preveriť. Na základe operácií v tomto kroku sa identifikujú stavy patriace do množiny M_P , resp. M_D . Máme

$P_2(S_{10})=\{S_{12}\}$ a $P_2(S_{11})=\{S_{13}, S_{15}\}$.

Teda stavy S_{10} a S_{11} jedine vyhovujú požiadavke mať príčinu príčiny a preto sa stávajú prvkami množiny $M_P = \{S_{10}, S_{11}\}$. Obdobne, pretože platí

$D_2(S_{13})=\{S_{11}\}$ a $D_2(S_{12})=\{S_{10}\}$,

entity S_{13} a S_{12} splňujú požiadavku a tým sa stávajú prvkami množiny $M_D=\{S_{12}, S_{13}\}$.

- (3.2) Prvkom množín M_P a M_D sa priradia také odvodené dvojprvkové množiny, ktoré sú prvkami tej istej cesty v kauzálnej sieti

$\{P^l_1(S_i) \cup P^l_2(S_j)\}$, resp. $\{D^l_1(S_i) \cup D^l_2(S_j)\}$.

Medzi dvojicami množín, z ktorých jedna je prvkom množiny M_P a druhá množiny M_D sa postupne vykoná operácia prieniku. Všetky stavy, ktoré zodpovedajú neprázdny prienikom sa stávajú kandidátmi medziľahlej príčiny, resp. dôsledku (stav S_j v grafe na obr. 10c).

Pokračujúca ilustrácia, v ktorej sa identifikujú kandidáti medziľahlých sta-

VOV:

$$\{P'_1(S_{10}) \cup P'_2(S_{10})\} = \{S_{11}, S_{12}\}$$
$$\{P'_1(S_{11}) \cup P'_2(S_{11})\} = \{S_{12}, S_{13}\}, \{S_{12}, S_{15}\}$$

a

$$\{D'_1(S_{12}) \cup D'_2(S_{12})\} = \{S_{10}, S_{11}\}$$
$$\{D'_1(S_{13}) \cup D'_2(S_{13})\} = \{S_{11}, S_{12}\}$$

a následne sa zisťujú neprázdne prieniky

$$\{S_{11}, S_{12}\} \cap \{S_{10}, S_{11}\} = \{S_{11}\}$$
$$\{S_{11}, S_{12}\} \cap \{S_{11}, S_{12}\} = \{S_{11}, S_{12}\}$$
$$\{S_{12}, S_{13}\} \cap \{S_{10}, S_{11}\} = \{S_{12}\}$$
$$\{S_{12}, S_{13}\} \cap \{S_{11}, S_{12}\} = \{S_{12}\}$$
$$\{S_{12}, S_{15}\} \cap \{S_{10}, S_{11}\} = \{0\}$$
$$\{S_{12}, S_{15}\} \cap \{S_{11}, S_{12}\} = \{S_{12}\}$$

z čoho plynie, že S_{11} a S_{12} sú kandidátmi medziľahlých stavov k stavom S_{10} a S_{13} .

- (3.3) Vzhľadom na zistené fakty, úlohu medziľahlej príčiny, resp. dôsledku medzi dvojicami entít S_i, S_k zohrávajú iba také entity z množiny kandidátov $\{S_j\}$, ktoré spĺňujú nasledujúce dve podmienky

(a) medzi entitami S_i, S_j, S_k jestvuje závislosť P , resp. D ,

(b) medzi aktuálne zistenými faktmi jestvujú také, ku ktorým existuje aspoň jedna dvojica $p \neq q$ taká, že platí $S_i \in P(F_p)$ a zároveň $S_k \in P(F_q)$.

Ukončenie ilustrácie odvodzovania **TRIPLETOV**: Ani entita S_{11} ako medziľahlý v trojici entít S_{10}, S_{11}, S_{12} , ani entita S_{12} ako medziľahlý v trojici stavov S_{11}, S_{12}, S_{13} sa však neuvažujú lebo neboli zistené fakty, ktorými by sa manifestovali entity S_{12} , resp. S_{11} . **TRIPLETY** S_{10}, S_{11}, S_{12} , resp. S_{11}, S_{12}, S_{13} by sa odvodili iba ak by sa k entite S_{12} , resp. S_{11} viazali zistené fakty. Teda, keďže žiadna z podmienok z kroku (3.3) nie je splnená, neexistuje v danom prípade integrujúca trojica stavov a preto je množina **TRIPLETY** prázdna.

Ako by malo byť zrejmé, množina **ALL** v tomto prípade nemení svoj obsah $ALL = \{S_{10}[F_7, F_8], S_{13}[F_9, F_{10}]\}$.

- (4) Z teoretických pohľadov sa nedá namietat' proti vyhľadávaniu vzdialenejších kauzálnych vzťahov ako sú **DUBLETY** a **TRIPLETY**. Iné sú praktické hľadiská: odvodzovacia zložitost' determinuje rozsah prehľadávania kauzálnu-hierarchickej siete a tým aj rozsah uvažovaných syntéz – preto sa obvykle tento proces končí pri odvodzovaní **štvoric** kauzálnu súvisiacich vzťahov. Výsledky odvodzovania tvoria prvky množiny **KVADRUPLETY** - graf 10d. Uplatňuje sa pritom nasledujúci postup:

- (4.1) Opäť sa uvažujú dve pracovné množiny: M_P obsahujúca objekty S_i , ktorým závislosť typu $P'_3(S_i)$ priradí neprázdnu množinu entít, a M_D obsahujúca objekty S_j , ktorým závislosť typu $D'_3(S_j)$ priradí neprázdnu množinu entít (v

oboch prípadoch sa teda v kauzálnej sieti uvažujú cesty o vzdialenosti 3).

Ilustrujeme: Entity, ktoré zostáva preveriť, sú zostávajúcimi prvkami množiny $ALL = \{S_{10}[F_7, F_8], S_{13}[F_9, F_{10}]\}$. Na základe operácií uplatňovaných v tomto kroku sa identifikujú entity patriace do množiny M_P , resp. M_D . Keďže pre S_{10} máme

$$P_2^\circ\{P_1^l(S_{10})\} = P_2(S_{11}) \cup P_2(S_{14}) = \{S_{13}, S_{15}\},$$

teda S_{10} je entita vyhovujúca požiadavke mať príčinu príčiny bezprostrednej príčiny a preto tvorí prvok množiny $M_P = \{S_{10}\}$. Obdobne pre S_{13} máme

$$D_2^\circ\{D_1^l(S_{13})\} = D_2(S_{12}) = \{S_{10}\}$$

a teda S_{13} je entita vyhovujúca požiadavke mať dôsledok, ktorý je dôsledkom bezprostredného dôsledku a preto tvorí prvok množiny $M_D = \{S_{13}\}$.

- (4.3) Prvkom množiny M_P , resp. M_D sa priradia množiny

$$P_1^l(S_i) \cup P_2^l(S_i) \cup P_3^l(S_i), \text{ resp. } D_1^l(S_j) \cup D_2^l(S_j) \cup D_3^l(S_j).$$

Medzi dvojicami množín, z ktorých jedna korešponduje s M_P a druhá s M_D sa postupne vykoná operácia prieniku. Všetky entity, ktoré zodpovedajú neprázdny prienikom, sa stávajú kandidátmi medziľahlých príčin, resp. následkov (stavy S_j, S_k v grafe na obr. 10d).

Pokračovanie ilustrácie – jedinými možným kandidátom medziľahlých entít je dvojica množín $\{S_{11}, S_{12}, S_{13}\} \cap \{S_{11}, S_{12}, S_{13}\} = \{S_{11}, S_{12}\}$.

- (4.4) Vzhľadom na zistené fakty, úlohu medziľahlých príčin, resp. dôsledkov, medzi dvojicami stavov S_i, S_l zohrávajú iba také entity z množiny kandidátov $\{S_j, S_k\}$, ktoré splňujú nasledovné dve podmienky: (a) medzi stavmi S_i, S_j, S_k a S_l jestvuje príčinná, resp. dôsledková závislosť o ceste dĺžky 3, (b) medzi zistenými faktmi sú také, pre ktoré jestvuje aspoň jedna dvojica $p \neq q$ také, že platí $S_i \in P(F_p)$ a zároveň $S_l \in P(F_q)$.

Záver: v tomto prípade je zrejmé, že vzhľadom na $S_{10} \in P(F_7)$ a $S_{10} \in P(F_8)$ je podmienka (a) splnená a vzhľadom na $S_{13} \in P(F_9)$ a $S_{13} \in P(F_{10})$ je zároveň splnená aj podmienka (b). Teda, ako to bolo možné sledovaním grafu na Obr. 9 očakávať, medzi S_{10} a S_{13} jestvuje prostredníctvom medziľahlých entít S_{11}, S_{12} príčinnno-dôsledkový vzťah, ktorým je možné globalizovať súčasný výskyt faktov $\{F_7, F_8, F_9, F_{10}\}$. Je to v súlade aj s príčinnno-dôsledkovou závislosťou (DUBLET) medzi všeobecnejšími entitami S_5, S_6 .

Záverom kapitoly niekoľko poznámok:

1. Požiadavky jednoduchého a prirodzeného používania ES vedú k rôznym variantom prípustných hodnôt vlastností entít, t.j. artikulácii faktov. Okrem iného sa často používajú aj bežné výrazy prirodzeného jazyka. Z implementačného hľadiska to vedie k nevyhnutnosti zabezpečiť detekovanie komplementárnych fak-

- tov (literálov) na lexikálnej úrovni. Nie je to triviálny problém⁶. Možnou alternatívou riešenia súvisiaceho problému je udržovať v rámci infraštruktúry BZ tabuľku komplementárnych výrazov vyskytujúcich sa v úlohe hodnôt atribútov.
2. Uvedená metóda syntézy čiastkových výsledkov ponúka variant metódy globalizujúceho zameriavania pozornosti v procese klasickej inferencie: Zohľadňovanie možných súvislostí medzi uvažovanými objektami pri výbere faktov umožňujúcich potvrdzovať/dokázať, resp. spochybňovať/vylúčiť globalizujúce hypotézy.
 3. Analyzovaný postup syntézy čiastkových výsledkov, resp. istého nadhľadu nad riešeným úlohám, je príkladom jedného z možných prístupov k tejto problematike. Realisticky možno očakávať výrazné rozvinutie a prehĺbenie takých metód do podoby účinných makrooperácií. Sú to očakávania vyplývajúce jednak z praktických implementačných potrieb, ako aj výsledkov poznávacích procesov kognitívnych vied.
 4. Operátory (nezávisle od spôsobu ich implementácie), ktoré súvisia s identifikovaním zdôvodniteľných kombinácií čiastkových výsledkov, môžu mať významný pozitívny dopad na kvalitu expertízy v procese riešenia úloh. Avšak uplatniteľnosť a spoľahlivosť metódy môže byť ohraničovaná povahou pozorovateľných faktov. Ide o to, že súčasný výskyt entít, ktoré sú predmetom syntézy (kombinovania), sa môže prejavovať inak ako v prípade ich individuálneho výskytu. Napríklad sa niektoré fakty môžu radikálne zvýrazniť, keď sa entity vzájomne potencujú, alebo naopak, niektoré pôvodne pozorovateľné prejavy vymiznú, keď entity pôsobia navzájom kompenzačne. Preto potvrdzujúca/spochybňujúca úloha faktov v doteraz uvádzaných operátoroch predpokladá, že
 - pri súčasnom odvodení viacerých entít zostava príslušných faktov neobsahuje také, ktoré majú inú podobu, ako pri samostatnom výskyte týchto entít,
 - v prípade zmenenej podoby faktov pri súčasnom výskyte viacerých objektov sú dobre známe (reprezentovateľné) zmeny, teda že zmenené fakty navodzujú úvahu o kombinovaní entít.
 Treba ešte poznamenať, že v druhom z týchto prípadov, rozsah možných kombinácií stavov a z toho vyplývajúcich alternatív ich prípadných spoločných prejavov by mohol naraziť na problém bariery pamäteovej a výpočtovej zložitosti. Je to problém, ktorý by sa dal úspešne prekonať pokiaľ by BZ obsahoval taký model skúmanej reality, ktorý by umožňoval identifikovať dopady kombinovaných fenoménov na pozorovateľné fakty, a naopak, zo zmien faktov oproti očakávaným identifikovať možnú kombináciu fenoménov v modeli.
 5. Hoci uvedené operátory sú vzhľadom na štandardné inferenčné procesy ich obohatením, nie sú bezproblémové. Najvýraznejším ohraničením sa môže stať bariera výpočtovej zložitosti. Preto sa ponúka úvaha o predpríprave (predkompilácii)

⁶ Je pomerne málo takých výrazových prostriedkov prirodzeného jazyka, ktorých negovanie má zo sémantického hľadiska jednoznačný výrazový ekvivalent. V niektorých prípadoch sa jedná o logickú ekvivalenciu medzi príslušnými výrazmi, napr. "nie muž" a "žena", resp. "nie žena" a "muž", či "nie jednosmerné napätie" a "napätie striedavé", resp. "nie striedavé napätie" a "napätie jednosmerné". V iných iba o logickú implikáciu, napr. "horúci" implikuje "nie studený", avšak "nie studený" neimplikuje "horúci", alebo "dehydratovaný" (osoba s veľkou stratou telesných tekutín) implikuje "nie edematózný" (opuchnutá osoba), avšak "needematózný" neimplikuje "dehydratovaný". Najfrekvencovanejšie sa však vyskytujú výrazy, ktorých negácie majú vo všeobecnosti mnohoznačný význam. Napr. výraz "nie modrý" nie je implikáciou žiadnej inej farby, obdobne "nie sladký" neimplikuje žiadnu inú chuť.

zodpovedajúcich údajových štruktúr reprezentácie hĺbkových štruktúr znalostí. Nejde však o jednoduchú záležitosť. Okrem iného aj preto, že kauzálne súvislosti môžu mať cyklickú povahu (aj charakteru pozitívnej alebo negatívnej spätnej väzby), čo sa v kauzálných sieťach prejaví výskytom cyklov.

6. Problematika reprezentácie a uplatňovania hĺbkových štruktúr znalostí je živá, otvorená, oprávnene pútajúca pozornosť teoretického aj aplikačného výskumu.