

5. Odvodzovanie (inferencia)

5.1 Základné princípy

Odvodzovanie, inferencia

Odvodzovanie - inferencia - je riadený proces vyvierajúci z uplatňovanej metódy nachádzania dôsledkov, ktoré vyplývajú z postupného vyhodnocovania a interpretácie dostupných údajov a ich dopĺňovania na základe dostupných znalostí a presvedčení.

Táto kapitola zameriava pozornosť na odvodzovanie, ktoré spočíva predovšetkým na metódach vyplývajúcich z uplatňovania produkčných pravidiel. Uplatňuje sa pritom skutočnosť, že výrazy, ktoré tvoria ich zložky, odkazujú na hodnoty rubriek rámcov, čo implikuje časté uplatňovanie pravidiel súvisiacich s rámcovou reprezentáciou sveta. V zásade však ide o uplatňovanie procesov, ktoré vyplývajú zo skutočnosti, že dôsledok jedného produkčného pravidla sa vyskytuje v podmienke iných pravidiel.

Podstatu tohto vymedzenia ilustrujeme na (o čosi obohatených) produkčných pravidlách z príkladu v článku 4.1.

AK farba jedinej svietiacej lampy semafóra je *zelená*
A v ceste nie je *prekážka*
TAK *pokračuj.* (P3.1)

AK farba jedinej svietiacej lampy semafóra je *červená*
A nie som v *mimoriadnej situácii,*
TAK *stoj.* (P3.2)

AK na križovatke je aspoň jedno z nasledujúcich:
chodec, dopravný prostriedok, porušená vozovka,
TAK *riziková situácia,*
prekážka. (P3.3)

AK na križovatke je aspoň jedno z nasledujúcich:
dym, veľmi zlá viditeľnosť, v blízkosti sa hrajúce deti, rýchlo sa približujúce vozidlo, klzká vozovka,
TAK *riziková situácia.* (P3.4)

AK som jedno z nasledujúcich:
policajné auto s činným výstražným zariadením, hasičské auto s činným výstražným zariadením, zdravotnícke auto s činným výstražným zariadením, súkromný dopravný prostriedok vydavajúci výstražné znamenie vezúce ohrozeného človeka,

TAK som v mimoriadnej situácii.

(P3.5)

Základné
postupy od-
vodzovania

Druhá z podmienok pravidla P3.1 je dôsledkom pravidla P3.3. V pravidle P3.3 je podmienka, ktorá je dôsledkom pravidla P3.4. Je teda zrejmé, že propozičná hodnota dôsledku P3.1 je podmienená interpretáciou pravidla P3.3, ktorého interpretácia môže požadovať aj interpretáciu pravidla P3.4.1

Príklad ilustruje princíp odvodzovacieho - inferenčného - procesu, ktorý je tvorený **POSTUPNÝM INTERPRETOVANÍM NADVÄZUJÚCICH PRODUKČNÝCH PRAVIDIEL.**

Spätný chod
a spätné
reťazenie

Rozlišujeme dva základné postupy odvodzovania
SPÄTNÉ A PRIAME REŤAZENIE
UPLATŇUJE SA AJ KOMBINOVANIE OBOCH

Spätné reťazenie spočíva na interpretácii produkčného pravidla procesom,
ktorý sa nazýva

SPÄTNÝ CHOD:

**POŽADUJE SA URČIŤ PROPOZIČNÚ HODNOTU DÔSLEDKU PRAVIDLA
TÝM, ŽE SA ZISŤUJE SPLNENIE JEHO PREDPOKLADOVEJ ČASTI.**

Je to postup v smere od dôsledku (hypotézy, cieľa) k predpokladu a k podmienkám, tým k údajom, ktoré dôsledok potvrdzujú alebo vylučujú.

Stratégia, ktorá sa nazýva

SPÄTNÉ REŤAZENIE

vzniká keď je

**VYHODNOCOVANÁ PODMIENKA V PREDOKLADE PRAVIDLA
A TÁ REFERENCUEJE DÔSLEDOK INÉHO PRAVIDLA
TO MÁ ZA NÁSLEDOK VYVOLANIE JEHO INTERPRETÁCIE**



**PRINCÍP VYVOLÁVA VZNIK POSTUPNÉHO INTERPRETOVANIA
NADVÄZUJÚCICH PRAVIDIEL,**

KTORÝ POKRAČUJE KÝM SA NENATRAFI NA PRAVIDLO

S UŽ VYHODNOTENÝM PREDPOKLADOM,

ALEBO TAKÝM, KTORÉHO

PODMIENKY ODKAZUJÚ LEN NA LEN NA PRIAMO ZÍSKATEĽNÉ ÚDAJE

Priamy chod
a

Priame reťazenie spočíva na interpretácii produkčného pravidla procesom,
ktorý sa nazýva

PRIAMY CHOD:

NA ZÁKLADE ZNÁMYCH ÚDAJOV

REFERENCovaných V PREDOKLADE PRAVIDLA

priame
reťazenie

1 Ako je zrejmé, sústava týchto ilustračných pravidiel si nenárokujú úplnosť, napokon ani zďaleka nevyčerpáva všetky situácie, s ktorými sa vodič na križovatke stretáva: ani jedna lampa nesvieti, bliká oranžová, bliká zelená (napr. v Rakúsku), bliká červená (napr. v USA), nie je zreteľne rozlíšiteľná farba svietiacej lampy (pri silnom slnečnom osvite), hoci sú semafory v činnosti - policajt, vojenská hliadka, alebo iná oprávnená osoba reguluje prejazd cez križovatku a množstvo iných.

ODVODÍ SA PROPOZIČNÁ HODNOTA DÔSLEDKU PRAVIDLA
Je to postup vychádzajúci z podmienok a teda predpokladu pravidla
a na základe jeho vyhodnotenia
sa potvrdzuje alebo vylučuje platnosť dôsledku.

Stratégia, ktorá sa nazýva
PRIAME REŤAZENIE

vzniká keď práve
VYHODNOTENÝ (ODVODENÝ) DÔSLEDOK PRAVIDLA
JE REFERENCOVANÝ V PRED-POKLADĚ INÉHO PRAVIDLA
ČÍM VYVOLÁ JEHO INTERPRETÁCIU



PRINCÍP VYVOLÁVA VZNIK POSTUPNÉHO INTERPRETOVANIA
NADVÄZUJÚCICH PRAVIDIEL,
KTORÝ POKRAČUJE KÝM ODVODENÝ DÔSLEDOK
UŽ NESPÔSOBUJE INTERPRETÁCIU ŽIADNÉHO NADVÄZUJÚCEHO PRAVIDLA,
ALEBO KÝM SA NESPLNÍ KRITÉRIUM UKONČENIA TOHTO PROCESU

Iniciovanie
odvodzova-
nia spätným
reťazením

K spusteniu hypotézou, cieľom, riadenému odvodzovaniu **spätným reťazením** dochádza po špecifikovaní jednej alebo niekoľkých **iniciálnych hypotéz** na základe

1. požiadavky používateľa ES (to je najbežnejší prípad),
2. štandardne preddefinovaného východiskového stavu (default inicializácia pre neskúseného používateľa),
3. vhodnou riadiacou stratégiou generovaného "zamerania pozornosti" na relevantné hypotézy na základe východiskových údajov (iniciálnych a zadaných hodnôt niektorých rubriík).

Tretí variant – generovanie hypotéz, pokiaľ nemá byť náhodilé a teda aj málo efektívne – musí tiež spočívať na uplatnení reprezentovaných znalostí. Predovšetkým reprezentácia znalostí **termového** typu je prostriedkom umožňujúcim zohľadňovanie

vzájomných súvislostí medzi hypotetizovateľnými entitami, najmä kauzálnymi, generalizačno-špecializačnými, diskriminačnými (čo zodpovedá poznatkom o špecifite a senzitivite vlastností a relácií medzi entitami). Z nich vyplývajú požiadavky účelného uprednostňovania akcií odvodzovania a výberu čiastkových cieľov, čo realizuje

- a) *výberom faktov, ktorých zisťovanie je vhodné uprednostniť,*
- b) *(dynamickým) preusporadúvaním a tým uprednostňovaním hypotéz, ktoré sa majú prioritne vylúčiť alebo potvrdiť,*
- c) *vyhodnocovaním a diskriminovaním skôr generalizovaných hypotéz a následne ich špecializácií.*

K odvodzovaniu **priamym reťazením** dochádza vtedy, keď sú k dispozícii východzie údaje a je potrebné odvodiť dôsledky, ktoré z nich vyplývajú. **Rigorózne poňaté priame reťazenie spočíva iba na zadaných a priamym chodom odvodných údajoch.** Nepripúšťa teda odvodenie chýbajúcich údajov spätným reťazením, čo pri nevhodných aplikáciách môže viesť k ukončeniu procesu odvo-

Príklad sú-
stavy pro-
dukčných

pravidiel

dzovania bez zistenia propozičných hodnôt dôsledkov iniciovaných pravidiel. Väčšina aplikácií pripúšťa však **odvodzovanie kombinujúce obe stratégie**: situačne sa uplatňujú oba "smery" odvodzovania.

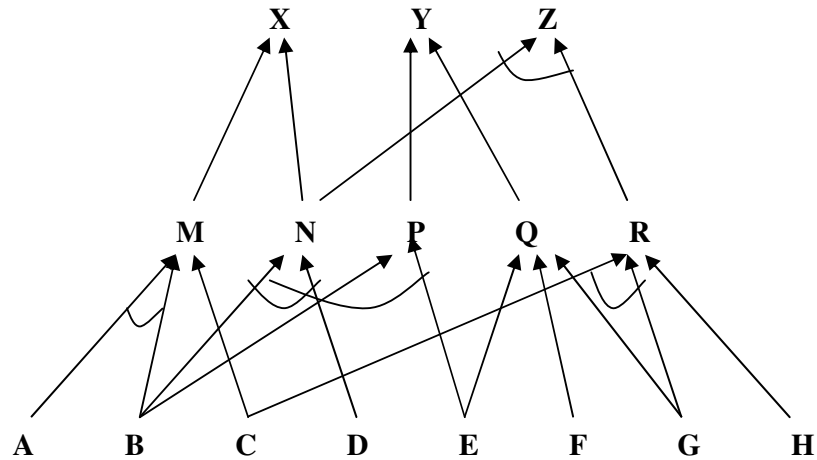
Obe uvedené inferenčné stratégie ilustrujeme na abstraktnom príklade produkčných pravidiel:

a
zodpovedajúci A/ALEBO graf

- | | | |
|---------------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| (1) $A \& B \rightarrow M$ | (2) $C \rightarrow M$ | (3) $D \& B \rightarrow N$ |
| (4) $E \& B \rightarrow P$ | (5) $C \& G \rightarrow R$ | (6) $H \rightarrow R$ |
| (7) $E \& F \& G \rightarrow Q$ | (8) $M \rightarrow X$ | (9) $N \rightarrow X$ |
| (10) $P \rightarrow Y$ | (11) $Q \rightarrow Y$ | (12) $N \& R \rightarrow Z$ |

Na nasledujúcom obr. 5.1 je znázornený A/ALEBO (AND/OR) graf zodpovedajúci väzbám medzi uvažovaným pravidlami.

Záznam odvodzovania



Obr. 5.1

HYPO-TÉZA	BÁZA FAKTOV	KONFLIKTOVÁ MNOŽINA	VYBRANÉ PRAVIDLO
Y	-	$P \rightarrow Y$ $Q \rightarrow Y$	$Q \rightarrow Y$
Y Q	-	$E \& F \& G \rightarrow Q$	$E \& F \& G \rightarrow Q$
Y Q	E PRAVDA	$E \& F \& G \rightarrow Q$	$E \& F \& G \rightarrow Q$
Y	E PRAVDA F NEPRAVDA Q NEPRAVDA	$P \rightarrow Y$	$P \rightarrow Y$
Y P	E PRAVDA F NEPRAVDA Q NEPRAVDA	$B \& E \rightarrow P$	$B \& E \rightarrow P$
-	E PRAVDA	-	-

	F NEPRAVDA Q NEPRAVDA B PRAVDA P PRAVDA Y PRAVDA		
--	--	--	--

Tab. 5.1

Potreba
riadiacej
údajovej
štruktúry

Tabuľka 5.1 ilustruje záznam procesu zodpovedajúceho spätnému reťazeniu. Zároveň je ilustráciou potreby implementovať **riadiace údajové štruktúry**, ktoré evidujú dynamiku prebiehajúceho odvodzovacieho procesu.

Konfliktová
množina

V danom prípade spätné reťazenie vychádza z potreby potvrdiť hypotézu **Y**. Medzi uvažovanými pravidlami niektoré majú rovnaký dôsledok. To spôsobuje, že v jednotlivých krokoch odvodzovania môžu sa viaceré pravidlá súčasne stať predmetom interpretácie. Súčasne aktivované pravidlá vytvárajú obsah **konfliktovej množiny**. Množina je preto *konfliktová*, lebo iba jediné z pravidiel, ktoré sa stali kandidátmi interpretácie, je možné v nasledujúcom kroku naozaj interpretovať.

Tabuľka umožňuje vysledovať postup jednotlivých činností zodpovedajúcich spätnému reťazeniu (spätnému inferovaniu).

Ilustrácia
priameho
reťazenia

Tabuľka 5.2, analogicky, ilustruje záznam procesu zodpovedajúceho priamemu reťazeniu a zároveň aj potrebu zodpovedajúcej **riadiacej údajovej štruktúry**. V danom prípade priame reťazenie vychádza z faktu, že podmienka **B** je splnená. Opäť môže vzniknúť **konfliktová množina**, do ktorej majú šancu dostať sa pravidlá s predpokladmi obsahujúcimi rovnaké podmienky. Aj v tomto prípade tabuľka umožňuje vysledovať postup jednotlivých činností zodpovedajúcich priamemu reťazeniu.

prehodiť ZISTIŤ	BÁZA FAKTOV	KONFLIKTOVÁ MNOŽINA	VYBRANÉ PRAVIDLO
A	B PRAVDA	A&B → M B&D → N B&E → P	A&B → M
D	A NEPRAVDA M NEPRAVDA B PRAVDA	B&D → N B&E → P	B&D → N
E	M NEPRAVDA B PRAVDA A NEPRAVDA D NEPRAVDA N NEPRAVDA	B&E → P	B&E → P
-	M NEPRAVDA B PRAVDA A NEPRAVDA D NEPRAVDA N NEPRAVDA E PRAVDA P PRAVDA	P → Y E&F&G → Q	P → Y
-	M NEPRAVDA B PRAVDA	E&F&G → Q	Keďže Q je predpokladom pravidla, kto-

	A NEPRAVDA D NEPRAVDA N NEPRAVDA E PRAVDA P PRAVDA Y PRAVDA		rého dôsledok je známy, netreba vyhodnocovať
--	--	--	--

Tab.5.2

Termy =
prostriedok
efektivity
odvodzo-
vania

Uplatnenie **termových poznatkov** umožňuje v oboch prípadoch zefektívniť procesy odvodzovania na základe **vzájomných súvislostí medzi faktami a vzájomných súvislostí medzi hypotézami**. To je predpokladom uprednostňovania a rozvíjania (v zmysle podrobnejšieho špecifikovania ich vlastností) jednotlivých hypotéz v odvodzovacom procese, ako aj zohľadňovania ich vzájomných súvislostí a ich syntézy do globálnejších celkov.

Obojsmerné
odvodzo-
vanie

Nezávisle od používania znalosti termového typu, uplatňovanie **situačného kombinovania priameho a spätného reťazenia** je v mnohých aplikáciách veľmi výhodné. Hoci to kladie zvýšené nároky na **riadenie odvodzovania a zodpovedajúce riadiace infraštruktúry**, dobré vývojové prostredia tvorby ES to umožňujú. Poskytujú používateľovi možnosť určiť či kombinovanie oboch stratégií odvodzovania je prípustné, ako aj, v negatívnom prípade, ktorý z možných smerov je výhodný, či povolený.

Zhrňme:

Hypotézami
a faktami
riadené
odvodzo-
vanie

- ☞ **Spätný chod a spätné reťazenie sú hypotézami (cieľmi) riadené odvodzovacie procesy, v ktorých sa zisťuje a odvodzuje len nevyhnutný počet faktov potrebných pre potvrdenie alebo vyvrátenie určenej hypotézy.**
- ☞ **Priamy chod a priamé reťazenie sú údajmi (faktami) riadené odvodzovacie procesy, ktoré umožňujú generovať, potvrdzovať a vylučovať všetky možné plauzibilné hypotézy zo zadaných údajov.**

5.2 Základné stratégie odvodzovania

Každý prázdny expertný systém a aj vývojové prostredie tvorby ES poskytuje aspoň jednu z oboch základných stratégií odvodzovania. Spravidla však tieto základné stratégie samotné neposkytujú mnohé ďalšie prostriedky odvodzovania, ktoré pre efektívne riešenie problémovo zameraných (dedikovaných) expertných systémov sú žiadúce. Ale na druhej strane poskytujú možnosť tvorby rôznych ďalších (rozvinutých) stratégií odvodzovania. To je predpoklad toho, aby mohli adekvátne reagovať na

O potrebe
reflektovať
ďalšie požiadavky
kladené na str-
atégie odvo-
dzovania v
závislosti na
charakteris-
tikách rieše-
ných problé-
mov

- ☞ **charakteristiky riešených problémov**, ktoré vyplývajú
 - z povahy riešenej úlohy – líšia sa stratégie uplatňované napr. pri analytických úlohách, keď sa majú interpretovať fakty či potvrdzovať hypotézy, od tých úloh, ktoré majú generatívnu povahu (syntéza, konštruovanie, t.j. vytvorenie nového, ešte nereprezentovaného objektu, či vzťahu medzi objektami v súlade s danými požiadavkami a ohraničeniami),

- zo želaného spôsobu riešenia úlohy, napr. v interakcii alebo bez interakcie s používateľom - v prvom z uvedených prípadov napr. z pozície účinného asistenta alebo učiteľa aj hodnotiteľa, a v druhom, či sa jedná o znalostnú interpretáciu obsahu určitej databázy alebo o on-line monitorovanie stavov sledovaného externého systému, napr. chemickej procesu vyžadujúceho zásah odborníka,
- ☞ **požadovanú detailnosť riešeného problému**, ktoré vyplýva z
 - časových ohraničení kladených na vyriešenie úlohy,
 - odbornosti používateľa ES (ten môže byť v danej oblasti znalec, ktorému stačí náповeď, alebo menej skúsený profesionál vyžadujúci podrobnejšie vedenie, alebo dokonca úplny laik vyžadujúci až elementárne podrobnosti riešaceho postupu na osvojenie ponúkaného riešenia,
 - postavenia používateľa, ktorý môže byť v úlohe tvorcu systému, vo funkcii overovateľa spôsobilostí systému, či v postavení jeho finálneho používateľa s líšiace sa odbornosťou,
- ☞ **rozsah požadovaných/prípustných úkonov vyhovujúcich želanému správaniu sa systému**, ktoré môžu byť napr.
 - *technokratickej* povahy – vyžadujúce minimalizovanie "nákladov" na zisťovanie faktov, exhaustívneho vyhodnocovania produkčných pravidiel, neurčitostí v odvodzovaní dôsledkov, prípustných akcií,
 - *kognitívnej (poznávacej)* povahy - vyžadujúce maximálne priblížiť chovanie systému imitovanej predlohe, t.j. imitovaniu spôsobilostí človeka.

Rôznym druhom stratégií sa dajú priradiť líšiace sa priority a tým - aj situačne - zabezpečiť požadované správanie sa systému. V nadväzujúcom sa zaoberáme niektorými často používanými stratégiami, ktoré sa dajú pomerne jednoducho realizovať syntaktickými prostriedkami.

Základne stratégie reťazeného vyhodnocovania produkčných pravidiel, ako to vyplýva aj z Tab. 5.1 a 5.2, naznačujú **potrebu sústavného registrovania a sledovania všetkého čo**

- ✓ **BOLO VYKONAÉ,**
- ✓ **JE UŽ ZNÁME,**
- ✓ **JE MOŽNÉ VYKONAŤ,**
- ✓ **SA MÁ VYKONAŤ,**
- ✓ **SA MUSÍ VYKONAŤ.**

AGENDA

Dá sa to v širokom rozmedzí dosiahnúť za pomoci vhodnej **infraštruktúry** inferenčného mechanizmu, menovite jej významnej zložky, ktorú budeme nazývať **agenda**.

Poznámka: V mnohých domácich aj zahraničných literárnych prameňoch sa dá stretnúť s iným názvom: tabuľa, blackboard. Tento pojem vznikol zrejme z predstavy, že jednotlivé procesy inferencie si vymieňajú údaje a odkazy prostredníctvom "zápisu správ na vzájomne dostupné médium, napr. tabuľu"). Nami uprednostňovaný termín je pomenovaním funkčne totožnej alebo analogickej štruktúry.

5.2.1 Agenda

Funkcie

AGENDA

agendy	<ul style="list-style-type: none"> ➤ JE TVORENÁ SÚSTAVOU (rôznych) ÚDAJOVÝCH ŠTRUKTÚR (zásobník, prioritná fronta, zoznam položiek atď.), KTORÝCH OBSAH REFLEKTUJE - REGISTRUJE ŠPECIFICKÉ STAVY INFERENCIE ➤ V ZÁVISLOSTI NA (dynamicky) MENITEĽNÝCH PRIORITÁCH JEDNOTLIVÝCH ÚDAJOVÝCH ŠTRUKTÚR A ICH OBSAHU OVPLYVŇUJE RIADENIE ODVOZOVANIA ➤ JE URČUJÚCIM PROSTRIEDKOM REALIZÁCIE PROCESOV ZODPOVEDAJÚCICH ZOBRAZENIU $g(s_k)$ STAVU INFERENCIE NA MNOŽINU NÁSLEDNÝCH AKCIÍ (OPERÁCIÍ) A FUNKCIE $f(\{o_k\})$, KTORÁ NÁSLEDNE VYBERÁ JEDNU Z NICH (pozri článok 1.4). V závislosti na spôsobe konceptualizácie agenda môže obsahovať (okrem iného) informácie o.
Obsah agendy	<ul style="list-style-type: none"> • cieľoch/hypotézach, ktoré by sa mali dosiahnuť/potvrdiť ako dôsledok <i>požiadavky používateľa, potrieb odvodzovania (reťazenia), generalizácie, špecializácie, príčinnno-dôsledkového (kauzálného) usudzovania, určenia vlastností vyhodnocovaného objektu, alebo "doporučení" procesov imitujúcich upútanie, zameranie, presun pozornosti,</i> • známych a ešte nevyužitých faktoch (otvorených), umožňujúcich ďalšie odvodzovanie a rozhodovanie o uprednostňovaní niektorého z alternatívnych postupov odvodzovania. Tieto sémanticky odlišné prípady určovania cieľov a postupov majú odlišný dopad, t.j. riadiaci účinok na inferenčný proces. Preto je prirodzené a osvedčené organizovať/štruktúrovať agendu podľa významu v nej registrovaných položiek v špecializovaných, svojim určením i povahou líšiacich sa údajových štruktúrach, ktoré • vzhľadom na svoje charakteristické vlastnosti implicitne podmieňujú prípustné spôsoby ich použitia, • môžu byť vzájomne (aj dynamicky) prioritne usporiadané, <p>čo sa dá s výhodou uplatniť pri podmieňovaní procesov odvodzovania.</p>
Štruktúra agendy	<p>Agenda sa vo všeobecnosti skladá z viacerých údajovo-riadiacich štruktúr. Ich referencovanie inferenčným mechanizmom má podliehať situačne podmieneným pravidlám ovplyvňujúcim kedy a ktorú z nich uprednostniť. Rieši sa to priradením vzájomne sa líšiacich (dynamicky meniteľných) priorít jednotlivým štruktúram agendy. Uplatňuje sa riadiaci efekt tej z nich, ktorá má v aktuálnej situácii najvyššiu prioritu.</p> <p>Nasledujúce články sa zameriavajú na viaceré konkrétne štruktúry agendy. Okrem tých, ktoré sú uvádzané, dajú sa predstaviť aj rôzne ďalšie. (Vyplynie to aj z rozboru niektorých rozvinutých stratégií odvodzovania, ktoré sú predmetom pozornosti v druhej časti týchto textov.) Napr. v súvislosti s nemonotónnym odvodzovaním, rozkladom problémov na podproblémy, uplatňovaním kvalitatívnych modelov, propagovaním ohraničujúcich podmienok, riešením sústavy analytických rovníc, globalizáciou čiastkových výsledkov, uplatňovaním odvodzovacích makro-krokov a pod.</p>

5.2.2 Zásobník prerušení

Zásobník prerušení interpretácií produkčných pravidiel

ZÁSObNÍK PRERUŠENÍ MÁ NAJVÄČŠIE UPLATNENIE VTEDY, KEĎ PREBIEHAJÚCI PROCES NIE JE MOŽNÉ UKONČIŤ BEZ TOHO, ABY SA NAJPRV VYKONAL INÝ PROCES, KTORÝ PODMIEŇUJE SPÔSOB DOKONČENIA PREDOŠLÉHO. V tomto zmysle sa táto riadiaca údajová štruktúra uplatňuje najmä (ale nie len) pri riadení spätného reťazenia.

Prerušenia pri spätnom reťazení

K spätnému reťazeniu, ako už vieme, dochádza vtedy, keď

- sa propozične vyhodnocuje **podmienka** v predpoklade práve interpretovaného pravidla a v nej je **odkaz na dôsledok iného ešte nevyhodnoteného pravidla** (referencovaný dôsledok má ešte hodnotu NEZISTENÝ)
- a v danej situácii (podľa AP alebo inej aktuálnej stratégie) hodnotu môže nadobudnúť odvodením.

Spustí sa teda inferenčný proces spätným reťazením. Vyhodnocovanie predpokladu práve aktívneho pravidla **sa vtedy musí prerušiť. Skutočnosť prerušenia sa musí zapamätať a z hľadiska efektivity odvodzovania je výhodné pamätať aj miesto prerušenia (pozíciu v predpoklade).**

Jednou z možností je pamätanie

- dôsledku pravidla, ktorého predpoklad sa vyhodnocuje,
- vyhodnocovaný predpoklad, v ktorom došlo k prerušeniu (dôsledok sa môže odvodzovať na základe viacerých predpokladov), a
- podmienka, v ktorej sa natrafilo na nezistenú hodnotu.

Sú to informácie umožňujúce neskoršie obnovenie vyhodnocovania prerušeného pravidla.

Môže sa však stať, že dôsledok, ktorý sa práve zapamätal, nadobudne hodnotu na základe iného než prerušeného predpokladu (najmä keď sa dôsledok môže odvodiť na základe viacerých predpokladov). A to je prípad, ktorý ilustruje potenciálny zánik dokončiť vyhodnocovanie prerušeného predpokladu. Keď sa následne pri vynorovaní zo zásobníka zistí, že registrovaný dôsledok nadobudol už hodnotu, príslušná položka sa v súlade s práve aktuálnou stratégiou môže zo zásobníka odstrániť bez dokončenia interpretácie prerušeného predpokladu.

Rekurzivita prerušení

PROCES PRERUŠENÍ INTERPRETOVANÝCH PRAVIDIEL MÁ REKURZÍVNU POVAHU: aj následne vyhodnocované pravidlo môže vo svojom predpoklade referencovať nevyhodnotený dôsledok nadväzujúceho pravidla. Tejto rekurzii zodpovedá zaznamenávanie prerušení v zásobníku. Bezprostredne po ukončení rekurzívneho procesu prerušovaní **nasleduje postupné - od posledne prerušeného pravidla k prvému** (uplatňuje sa zásobník) - **dokončovanie vyhodnocovania** prerušených pravidiel.

Poradie jednotlivých položiek zásobníka zodpovedá postupnosti vnorovaných prerušení vyhodnocovania pravidiel ("prehľadávanie dohĺbky"). Prípustný postup odstraňovania týchto položiek zo zásobníka vynorovanie zodpovedá štandardne žiadúcej postupnosti dokončenia prerušenej interpretácie pravidiel.

priorita zásobníka

Zásobník prerušení interpretovaných pravidiel má štandardne najvyššiu prioritu spomedzi riadiacich údajových štruktúr agendy inferenčného mechanizmu. Neštandardne sa však dá pripustiť v súlade s potrebami aplikácie situačne voliť aj iná priorita.

Poznámky:

(1) Už spomínaný prípad neželaného procesu inferencie pri vyhodnocovaní pred-

pokladov podmieňujúcich vykonanie akcií v dôsledkovej časti pravidiel sa dá zabezpečiť **neprípustnosťou prerušovaní ich vyhodnocovania a teda aj zabránením vkladania príslušných položiek do zodpovedajúceho zásobníka prerušení.**

Z obsahu zásobníka prerušení je možné vysledovať niektoré významné skutočnosti. Príkladom je **opakovaný výskyt rovnakého identifikátora rubriky, čo je dôkazom vzniku cyklu a teda nevyhnutnosti buď hľadať alternatívny postup riešenia, alebo ukončiť riešenie daného problému** - prirodzene s príslušným vysvetlením.

5.3 Rozvíjajúce stratégie odvodzovania

5.3.1 Prioritné fronty a stratégia asociovania

Prioritné fronty

Inými typmi údajovo-riadiacich štruktúr agendy môžu byť **(prioritné) fronty**. Dajú sa využiť na registrovanie rôznych skutočností. Napríklad na zaznamenanie **požiadaviek používateľa systému vyhodnotiť ním zvolené a podľa významu prípadne uprednostňované hypotézy**. Inými možnosťami sú realizácia konfliktovej množiny, registrovanie všetkých tých faktov, ktoré sú dostupné, ale neboli ešte primeraným spôsobom využité. Ústrednou témou tohto odseku je iná možná aplikácia prioritnej fronty. Menovite, podpora **stratégie asociovania**.

Stratégia asociovania

Predtým však ešte stručná poznámka k registrovaniu používateľom určených hypotéz, ktoré má systém potvrdiť alebo vyvrátiť. Ich zoznam - špecifikovaný spravidla na začiatku činnosti ES a modifikovateľný aj v priebehu jeho činnosti - sa registruje buď v poradí určenom používateľom (poradie implikuje prioritu ich vyhodnocovania), alebo vyplývajúcom z priradených hodnôt priorít. V oboch prípadoch je (prioritný) **front** vhodnou štruktúrou registrujúcou daný zoznam. Táto štruktúra má mať **vždy nižšiu prioritu ako zásobník prerušení pravidiel**,

Uprednostňovanie

čím sa zabezpečuje konzistentnosť odvodzovacieho procesu. (V opačnom prípade by vznikali neprehľadné a neželané situácie: bez dokončenia prerušenej interpretácie niektorého z predtým aktivovaných pravidiel a bez zreteľnej súvislosti by sa inicializovalo vyhodnocovanie iného.) Pokiaľ iná časť agendy svojou prioritou tomu nebráni, až pri **prázdnom zásobníku prerušení môže byť prvou položkou tohto frontu vyvolaná nasledujúca činnosť inferenčného mechanizmu**.

Koncept asociovania

Asociovaním budeme rozumieť operáciu, ktorá vyplýva z poznatku, že niektoré **n-tice objektov (javov) ($n \geq 2$) sa zvyknú s väčšou či menšou frekvenciou spoločne (ne)vyskytovať**. To znamená, že medzi entitami môžu jestvovať **určité (neznáme, nedeterministické, či inak neurčené) súvislosti alebo závislosti**.

V prípade pozitívnej asociácie jediný prvok alebo ich zoskupenie v danej n-tici môže spôsobiť upriamenie pozornosti na iný alebo zoskupenie iných, ktoré sa v nej vyskytujú. V prípade negatívnej asociácie ide o obdobný proces s tým rozdielom, že od negatívne asociovaných entít sa naopak pozornosť odvracia.

A teraz k téme **asociovanie**.

Poznatky o asociatívnych väzbách sa dajú jednoducho reprezentovať:

Reprezentácia relácií asociovania

☞ **v špecifickej rubrike**

- **asociujúceho rámca (napríklad v rubrike ASOCIUJE_ČO) sa uvedie neprázdny zoznam asociovaných entít**, na ktoré je vhodné v spojitosti s práve aktivovaným rámcom s istou naliehavosťou *myslieť*, resp. z *uvažovania vylúčiť*; dá sa to

zabezpečiť napríklad **AZ akciami** jednak v rubrike GLOBAL, ale aj v iných rubrikách, pričom môže sa jednať aj o asociovanie, ktoré je podmieňované podmienkami odkazujúcimi na hodnoty viacerých rubrik toho istého alebo aj rôznych rámcov, prípadne aj podmienkami referencujúcimi obsah niektorej údajovo-riadiacej štruktúry,

- asociovného rámca (*napríklad v rubrike ASOCIOVANÝ_ČÍM*) sa uvedie **neprázdny zoznam asociujúcich entít**, ktoré za už uvedených okolností a podmienok môžu viesť k jeho asociovaniu,
- ☞ **produkčným pravidlom**, ktoré v prípade splnenia podmienky výskytu asociujúceho alebo asociujúcich entít, vyvolá proces pozitívnej alebo negatívnej asociácie; môže k tomu dôjsť tým, že **akt asociovania** buď tvorí priamo **dôsledkovú časť** jadra pravidla, alebo je obsahom **akčnej časti produkčného pravidla**.

V každom z uvedených prípadov operácia asociovania spôsobí zaradenie zodpovedajúcich entít do prioritného frontu v agende. Túto skutočnosť možno interpretovať ako

Asociovanie
ako
odporúčanie

kategorické (booleovské), či nekategorické ODPORÚČANIE

systému vyhodnocovať, resp. nevyhodnocovať entity na základe poznatku o ich asociatívnych väzbách.

V prípade kategorického pozitívneho asociovania sa asociovaná entita stáva predmetom potenciálneho neskoršieho vyhodnocovania, resp. pri negatívnom sa jej vyhodnocovanie stáva bezpredmetným, čo sa však môže zrušiť kvôli iným skutočnostiam, napr. uplatnením inej stratégie.

Naliehavosť
asociovania

Keď asociovanie nemá kategorickú povahu, t.j. keď súvislosť medzi asociujúcim a asociovaným má iba určitú vierohodnosť, vtedy sa jednotlivým asociovaným entitám priradí tzv.

váha asociovania.

Hodnota tejto váhy - spravidla z uzavretého intervalu $[-1,1]$ - musí byť prirodzene špecifikovaná v tých zložkách reprezentácie znalostí, ktoré asociovanie môžu vyvolať.

V procese inferencie tá istá entita môže byť **viacnásobne** asociovaná. Pri opakovanom iba pozitívnom alebo iba negatívnom kategorickom asociovaní postavenie asociovaného objektu sa v prioritnom fronte priebežne nemení. Jeho identifikátor je zaradený do zodpovedajúceho **zoznamu odporučených, resp. neodporučených** objektov. Keď však v priebehu inferencie dochádza aj k pozitívnemu aj k negatívne asociovaniu, vtedy je nevyhnutné - v závislosti na povahe aplikácie - rozhodnúť o výslednom postavení asociovaného objektu (zostane napr. odporučeným, keď hrozí prípadné nebezpečenstvo zo zanedbania aspoň raz pozitívne asociovaného objektu, resp. keď to používateľ vyžaduje, v opačnom prípade sa vyhodnotenie neodporučí).

Pri opakovanom nekategorickom asociovaní, bez ohľadu na to či pozitívnom alebo negatívnom, postavenie asociovaného objektu sa v prioritnom fronte môže priebežne meniť. Je to určované výsledkom vhodne navrhutej funkcie, ktorá postupne "kumuluje" hodnoty jednotlivých váh asociovania (zhora aj zdola limitova-

né hodnotami zodpovedajúcimi kategorickému asociovaniu). Okamžitá hodnota kumulovaných váh vyjadrujúcich naliehavosť, (silu, účinnosť) asociovania je určitou kombináciou postupne pribúdajúcich hodnôt individuálnych váh.

Výpočtový proces kumulovania váh asociovania môže byť založený na pomerne jednoduchých empirických funkčných závislostiach. Napr. keď sa tieto váhy vyjadrujú numerickou hodnotou z uzavretého intervalu $[-1,1]$, možno použiť nasledujúce iteračné závislosti:

Metóda
výpočtu
váhy
asociovania

$$\begin{aligned} w_i &:= w_i + w_j - (w_i * w_j) && \text{pre } w_i > 0, w_j > 0 \\ w_i &:= w_i + w_j + (w_i * w_j) && \text{pre } w_i < 0, w_j < 0 \\ w_i &:= (w_i + w_j) / (1 - \min(|w_i|, |w_j|)) && \text{pre } w_i > 0, w_j < 0, \text{ resp. } w_i < 0, w_j > 0, \end{aligned}$$

kde w_i na pravej strane priradenia je doterajšia hodnota kumulovanej váhy asociovania, w_j zodpovedá váhe, s ktorou entita bola práve asociovaná a w_i na ľavej strane je aktualizovaná kumulovaná váha asociovania.

V **prioritnom fronte** podľa **priebežnej kumulovanej váhy asociovania** sa vhodným mechanizmom mení poradie asociovaných entít.

Uprednostňovanie

Štandardne je prioritou frontu asociovaných objektov v agende **nižšia než štruktúra registrujúca hypotézy používateľa**. To znamená, že k vyhodnocovaniu asociovanej entity (veľmi často sú to hypotézy) dochádza iba keď sú zásobník prerušení a front používateľových hypotéz prázdne. Neštandardne, keď systém realizuje aj kognitívnu techniku **presunu zamerania pozornosti**, dá sa **dynamicky** zabezpečiť požadovaná **zmena priority** štruktúr slúžiacich odvodzovaniu na základe asociáciami odporučených hypotéz.

Filtrovanie
presunu
pozornosti

Presun pozornosti je jav, ktorý nastáva iba keď **naliehavosť vyhodnocovania určitých (asociáciou odporučených) hypotéz prekročí istú stanovenú medzu - prah**.

Prah
naliehavosti

Význam, či sila asociácie je vyjadrená zodpovedajúcou kumulovanou váhou, ktorá môže nadobudnúť vyššiu hodnotu než je definovaný **prah naliehavosti**. Vtedy - avšak len vzhľadom na naliehavé hypotézy - môže dôjsť k zvýšeniu priority príslušného frontu.

Prah
pozornosti

Opakom naliehavých sú asociované hypotézy, ktorým sa nepripisuje veľký význam - ich kumulovaná váha asociovania je nízka, neprekračuje hodnotu **prahu pozornosti**. V priebehu inferencie môže dochádzať k značnému množstvu asociovaní, pričom nie všetky asociované entity sa musia javiť zaujímavými. Prejaví sa to **nízkou hodnotou** ich kumulovanej **váhy asociovania**. Prah pozornosti, zdola ohraničujúci hodnoty týchto váh, slúži zabráneniu ich vyhodnocovania: slúži teda na racionálne **odfiltrovanie** málo významných objektov. (Na požiadanie používateľa by však systém mal predložiť informáciu o všetkých asociovaných objektoch a poskytnúť možnosť prípadne určiť z nich tie, ktoré si želá vyhodnotiť.)

5.3.2 Stratégia hradlovania

Metóda
hradlovania

Ďalšou stratégiou, s ktorou sa možno stretnúť v niektorých prázdnych ES, resp. vývojových prostrediach, je možnosť vytvárania iného účelného spôsobu aktivovania hypotéz (dôsledkov jadra pravidiel v zmysle ich zaradenia do plánu v agende,

podobne ako pri asociovaní) a tým spustenia zodpovedajúcej inferencie.
Ide o mechanizmus, ktorý nazveme

HRADLOVANIE.

(V anglickom názvosloví sa stretávame s pojmom **gating**.)

Princíp hradlovania ozrejmime na príklade. Majme v systéme produkčných pravidiel nasledovné tri navzájom sa líšiace pravidlá

Ilustrujúci
príklad

$$p_{1,1} \& p_{1,2} \& \dots \& p_{1,r} \rightarrow d_1$$

$$p_{2,1} \& p_{2,2} \& \dots \& p_{2,s} \rightarrow d_2$$

$$p_{3,1} \& p_{3,2} \& \dots \& p_{3,t} \rightarrow d_3.$$

Nech rovnaké alebo líšiace sa podmienky $p_{1,i}$, $p_{2,j}$, $p_{3,k}$, ktoré sú prvkami rôznych predpokladov, odkazujú na hodnotu tej istej rubriky rámca - označme ju $R.r$. Povedzme, že podmienky majú nasledovnú podobu

$$p_{1,i}: R.r > 100,$$

$$p_{2,j}: R.r > 150,$$

$$p_{3,k}: R.r > 200.$$

Nech sa proces inferencie nachádza v situácii, v ktorej všetky tri dôsledky majú hodnotu NEZISTENÝ a vyhodnocuje sa podmienka $p_{2,j}$ v predpoklade druhého pravidla. Nech hodnota $R.r$ je 175. V tom prípade sú podmienky $p_{1,i}$, $p_{2,j}$ splnené, kým podmienka $p_{3,k}$ nie je.

Stratégia hradlovania pri propozičnom vyhodnocovaní predpokladu druhého z pravidiel má v tomto prípade za následok vloženie dôsledku d_1 (nie však d_3 - zodpovedajúca podmienka v jeho predpoklade nie je splnená) do príslušnej riadiacej štruktúry agendy. Táto zložka agendy, obdobne ako pri asociovaní, registruje entity (hypotézy), ktoré by mohli byť vhodné na vyhodnotenie.

Na rozdiel od mechanizmu asociovania, ktorý vyžaduje zodpovedajúcu reprezentáciu poznatkov na úrovni termov alebo asercií, **mechanizmus hradlovania nevyžaduje deklarovanie** takých poznatkov. Hradlovanie, pokiaľ zodpovedajúci mechanizmus je vytvorený a jeho funkcia je povolená (v rámci voľby príslušných stratégií), zabezpečuje iný racionalizačný proces:

detekovanie splnenia všetkých podmienok v celom systéme produkčných pravidiel, ktoré odkazujú na hodnotu tej istej rubriky určitého rámca.

Uvažujme podmienku tvorenú výrazom, v ktorom sa vyskytuje niekoľko identifikátorov (aj rozličných rámcov), napr.

$$R_i.r_x * (R_j.r_y - R_k.r_z) > 100.$$

Pri zisťovaní možnosti hradlovania (zisťovaní, či sa dá vytvoriť priepust) medzi dvomi pravidlami na základe podmienok referencujúcich rovnaký identifikátor rubriky, povedzme $R_j.r_y$, k hradlovaniu dochádza iba pri splnení oboch nasledujúcich podmienok:

- **všetky referencované rubriky majú už hodnotu** (*pokus o hradlovanie*)

Podmienka

uplatnenia
hradlovania

nevyvoláva teda žiadny proces zisťovania ešte nezistených hodnôt) a

- **celá podmienka, v ktorej sa referencia vyskytuje, je splnená.**

Na záver tohto odseku ešte niekoľko poznámok.

Vyhodnocovanie hradlovacích podmienok sa uskutočňuje iba pre potreby prípadného zaradenia súvisiacich hypotéz do agendy. V čase, keď dôjde k vyhodnocovaniu takejto hypotézy môže však hodnota rubriky, ktorá spôsobila jej výber, byť už iná (zodpovedajúca podmienka už nemusí byť splnená). To ale neznamená, že v okamihu generovania (naplánovania) hypotézy nešlo o oprávnenú akciu.

Stratégia hradlovania slúži situačnému a cielenému rozširovaniu priestoru prehľadávania použiteľných pravidiel a zároveň znižuje rozsah exhaustívneho (v zmysle slepého, nezdôvodneného) postupu. Uplatňuje sa spravidla len pri vyhodnocovaní predpokladov v jadre produkčných pravidiel.

Zodpovedajúci mechanizmus spočíva na analýze štruktúry jednotlivých pravidiel, t.j. na zisťovaní toho, či sa v nich nevyskytujú referencie na rovnaké hodnoty vlastností objektov. V prípade rozsiahlych systémov produkčných pravidiel môže vyvolávať časovo náročné a v priebehu používania systému neželané procesy. Dá sa to obísť príslušným predspracovaním BZ, ktoré pre zbiehanie systému poskytuje informácie o výskyte rovnakých identifikátorov v produkčných pravidlách.

Zvyčajne, pokiaľ sa nešpecifikuje inak, priorita vyhodnocovania hradlovaných položiek je nižšia než frontu obsahujúceho entity určené na vyhodnocovanie používateľom systému².

Stratégia komplementovania je doplňujúcou obdobou mechanizmu hradlovania.

5.3.3 Stratégia komplementovania³

Stratégia
komplementovania

Poslaním

STRATÉGIE KOMPLEMENTOVANIA je detekovať v systéme produkčných pravidiel komplementárne podmienky (v konjunkcii tvorili nesplniteľný predpoklad).

Príklady nesplniteľných podmienok:

R.s & NON R.s,

R.s > 100 & R.s = 100 & R.s < 100,

R.s = "pravotočivý" & R.s = "ľavotočivý"

R.s = PRAVDA & R.s = NEPRAVDA.

a jej uplatňovanie

Uvažovaná stratégia sa uplatňuje pri

² Vzťah mechanizmu hradlovania a kognitívnych procesov je predmetom úvah odborníkov.

³ Akcia komplementovania sa javí reflexiou užitočného kognitívneho procesu - "**ak to neide tak, skúsme to opačne**".

Komplementárna podmienka

- ☞ **vyhodnocovaní predpokladu pravidla, v ktorom sa detekuje podmienka komplementárna k podmienke v predpoklade iného, resp. iných pravidiel:**



AK

referencovaná rubrika v aktivovanom pravidle už má hodnotu a podmienka, ktorá na ňu odkazuje, nie je splnená,

TAK

AK

komplementárna podmienka v predpoklade iného pravidla spôsobuje falzifikáciu predpokladu (tvoreného iba konjunkciami jednoduchých podmienok),

TAK

sa dôsledku v tom pravidle priradí hodnota zodpovedajúca falzifikovanému predpokladu,

INAK

dôsledok sa zaradí do štruktúry agendy, ktorá registruje pravidlá s komplementárnymi podmienkami,

Výber medzil'ahlej hypotézy

- ☞ **výbere medzil'ahľých** (nie cieľových, koreňových) **hypotéz** z niektorej údajovej štruktúry agendy (nie však zásobníka), ktorá má komplementárnu úlohu v predpoklade iných pravidiel:



prioritný výber a vyhodnocovanie hypotézy v roli komplementárnej podmienky v rôznych pravidlách **výrazne zefektívňuje inferenčný proces** (proces výberu sa stane efektívnejším keď sa v rámci, ktorý obsahuje rubriku zodpovedajúcu aktívnej hypotéze vytvorí špecifická rubrika obsahujúca zoznam rámcov (pravidiel), v ktorých hypotéza vystupuje v komplementárnej úlohe - rubriku vytvára tvorca BZ alebo program pri predspracovaní BZ),

Výber hypotézy komplementárnou podmienkou

- ☞ **výbere** dvoch alebo viacerých **hypotéz** z niektorej údajovej štruktúry agendy (nie však zásobníka), keď sa detekuje komplementarita podmienok v im zodpovedajúcich predpokladoch:



tento výber má spôsobiť **prioritné vyhodnotenie práve tej entity, ktorá vystupuje vo vzájomne komplementárnych podmienkách** - je to **diskriminujúca (rozlišujúca) entita** a jej prioritné vyhodnotenie tvorí veľmi **účinnú stratégiu rýchleho rozhodovania** medzi alternatívnymi hypotézami.

5.3.4 *Stratégie vyvolané akciami dôsledku pravidla*

Akcie dôsledkovej časti pravidiel

Akciami z pravej strany produkčných pravidiel je možné ovplyvňovať proces inferencie **bezprostredne, následne, alebo sprostredkovane**.

- ☞ **Bezprostredné ovplyvňovanie** spočíva v tom, že akcia priamo **vkladá**,

resp. **odstraňuje položky** v niektorej zo štruktúr agendy.

- ☞ **Následné ovplyvňovanie** spočíva v tom, že akcia spôsobí zmenu hodnoty rubriky niektorého rámca a tá je referencovaná v predpoklade niektorého, či niektorých pravidiel, následne potom - v závislosti alebo aj nezávisle (umožniť tvorcovi BZ voľbu!) od splnenia podmienky, v ktorej sa rubrika so zmenenou hodnotou referencuje, sa dôsledok pravidla vloží do agendy. (Jedná sa o stratégiu podobnú hradlovaniu s tým rozdielom, že sa môže uplatniť aj nezávisle na splnení podmienky a iba vtedy, keď akcia spôsobuje zmenu niektorej hodnoty.)
- ☞ **Sprostredkované ovplyvňovanie** sa dá vyvolať akciou vedúcou k zmene hodnoty rubriky niektorého rámca referencovanej v podmienke predpokladu niektor(ého/ých) pravid(la/iel), čo následne môže prostredníctvom hradlovacieho, komplementovacieho, alebo asociačného mechanizmu spôsobiť zodpovedajúce zmeny v obsahu príslušných štruktúr agendy.

Priorita vyhodnocovania aktivovaných hypotéz na základe akcií dôsledkovej časti pravidla je spravidla daná prioritou zodpovedajúcej štruktúry v agende, t.j. prioritou asociovania, komplementovania, alebo hradlovania (v poslednom prípade sa to týka bezprostredného, resp. sprostredkovaného ovplyvňovania inferencie).

Poznámka: Používateľ alebo vonkajšie programové prostredie systému môžu spontáne nastaviť hodnoty niektorých rubrik rámcov. Takáto skutočnosť môže podľa zvolenej stratégie vyvolať buď bezprostredné spustenie priameho reťazenia, alebo iniciovať podobný mechanizmus ako akcie na pravej strane pravidiel.

5.3.5 Stratégia vyvolaná spontánne zadanými/zmenenými údajmi

Spontánne
zadané
údaje

Niektoré aplikácie to vyžadujú a zodpovedajúce typy ES umožňujú v priebehu odvodzovania **spontánne zadávanie údajov** (na rozdiel od požadovaných na základe **AP**). Je to nevyhnutné predovšetkým v prípadoch, keď systém v reálnom čase a v spriahnutom režime spolupracuje s externým fyzickým prostredím, povedzme v roli monitora, či regulátora určitého procesu⁴. Aj v nespriahnutom (off-line) režime pri súčinnosti so svojim používateľom to môže byť výhodné a v niektorých aplikáciách až nevyhnutné. Bez tejto možnosti má používateľ iba tri štandardné možnosti zadávania údajov:

- (a) *spontánne* - pri inicializácii činnosti ES,
- (b) *na požiadanie systému*, keď v priebehu inferencie vyžaduje situačne zadať konkrétny/é údaj/e,
- (c) *spontánne*, keď sa používateľ rozhodne niektorý z predošle zadaných údajov z akýchkoľvek dôvodov modifikovať - k takej činnosti sa môže rozhodnúť spravidla vtedy, keď *namiesto systémom požadovaného údajja reaguje vhodným povelom oznamujúcim systému, že požaduje zmenu niektorého z pôvodne zadaných údajov*⁵.

⁴ Problematikou interakcie ES s vonkajším prostredím sa špecificky zaoberá podkapitola venovaná externým údajovým a programovým modulom.

⁵ Podrobnejšie v kapitole venovanom *komunikačnému modulu*.

Bez rozšírenia týchto štandardných možností, dodatočné zadávanie údajov by sa dalo uskutočniť až po ukončení inferenčného procesu.

Tým sa zamedzuje **spontánne** zadávanie údajov, hoci používateľ si v priebehu odvodzovania spomenul na istú skutočnosť, ktorú v predošlom systéme neoznámil, alebo ju rozpoznal v dynamicky sa meniacej realite.

V oboch prípadoch by zadanie zodpovedajúcich údajov mohlo významným spôsobom ovplyvniť riešiaci proces. Bola by to neželaná vlastnosť systému, ktorý má - v niektorých aplikáciách nevyhnutne - pripustiť spontánne zadávanie údajov prakticky kedykoľvek v priebehu inferencie. Najmä keď používateľ je pozorovateľom a sprostredkovateľom údajov z meniacej sa reality a neodkladne potrebuje spoznať doporučenia (riešenia) systému (povedzme prípad letového dispečera na letisku, lekára pri chirurgickom zákroku, operátor vo velíne výrobného procesu atď.).

V off-line režime spontánne zadávanie údajov je umožnené vhodným (prerušovacím) povelením, na ktorý systém má reagovať akonáhle mu to prebiehajúci proces umožní. Následne je pripravený zadávané údaje načítať.

Reakcie
systému

Na spontánne zadané údaje musí byť ES spôsobilý situačne reagovať. V prípade požiadavky riešenia v reálnom čase jestvujú variantné možnosti a ich kombinácie:

- zodpovedajúce nastavenie/prestavenie priorit údajovo-riadiacich štruktúr agendy,
- priradiť najvyššiu prioritu stratégii priameho chodu a v kontexte s tým aj ostatným stratégiám odvodzovania,
- nastavenie/prestavenie semaforov produkčných pravidiel a prípadne aj priorit či podmienok akcií v akčnej časti pravidiel,

to všetko prirodzene s prihliadnutím na spôsoby nastavovania priorit AZ akcií v metarubrikách rámcov.

Spontánne zadané údaje, najmä tie, čo sa v priebehu riešenia menia, môže pre zachovanie konzistentnej činnosti ES vyvolať požiadavku rozsiahlych zmien v báze faktov a údajovo-riadiacich štruktúrach agendy.

5.3.6 *Stratégia voľnej väzby*

Voľné väzby

Pri predchádzajúcom rozbere stratégií priameho a spätného reťazenia ilustrovali sme väzby medzi podmienkami (a tým aj termami) v jednotlivých pravidlách prostredníctvom optiky **A/ALEBO grafu**. Použili sme k tomu **súvislý graf**. Realite však môže zodpovedať aj

reprezentácia aserívnych znalostí, ktorá korešponduje s

nesúvislým A/ALEBO grafom.

Má to dočinenia s tým, že realita pripúšťa a aj vyžaduje existenciu viacerých odlišných pohľadov na skutočnosť. Im zodpovedajú vzájomne dizjunktné zoskupenia súvisiacich aserív a tie korešpondujú s **dizjunktnými (“pod”)grafmi** danej problémovej oblasti. Tie sú prostriedkom reprezentácie výsekov sveta, im zodpovedajúcich objektov a ich vzájomných bezprostredných podmieneností, či iných súvislostí.

Oblasť
znalostí

Súvislý graf zodpovedajúci samostatnej asertívnej časti BZ nazveme

OBLASŤ ZNALOSTÍ

(v anglicky písaných textoch "knowledge island")

Opodstatnenosť vytvárania *oblastí znalostí* v BZ vyplýva z bežných skúseností. Napríklad jednotliví lekári – špecialisti sú typickými nositeľmi *oblastí znalostí*: jeden je odborník na (niektorú časť) detských ochorení, iný je odborníkom (pre niektoré) ochorenia vnútorných ochorení a iní zas operujú kosti, orgány v hrudníku alebo v brušnej dutine atď. atď. Keď nimi riešený problém presahuje ich vlastnú odbornosť, potom kooperujú s ďalšími odborníkmi, prípadne presúvajú pacienta do jeho starostlivosti. Nie je to inak ani s profesiou informatikov. Jeden je daabázista, iný sieťar, ďalší je odborníkom na matematické výpočty, alebo na matematické modelovanie, alebo na CAD systémy atď. atď. Aj tu vďaka špecializáciám je prirodzeným vzájomná konzultácia, či presun zákazníka príslušnému odborníkovi.

Nemalo by byť ťažké predstaviť si, že rôznym špecializovaným znalostiam zodpovedajú osibitné zoskupenia produkčných pravidiel a nimi referencovaných entít. Nie je nevyhnutné, aby medzi takými zoskupeniami jestvovali bezprostredné väzby, t.j. **hrany medzi zodpovedajúcimi grafmi**. Z toho následne plynie nesúvislosť grafov zodpovedajúcich autonómnym štruktúram BZ.

Pre precíznejšie vymedzenie problematiky *oblasti znalostí* označme množinu referencií na objekty, resp. ich vlastností v

- dôsledkoch produkčných pravidiel (hypotéz) symbolom **D**,
- podmienkach predpokladu pravidiel symbolom **P** a
- akciách dôsledkovej časti pravidiel symbolom **A**,
- semafóroch symbolom **S**,

potom **oblasť znalostí** je tvorená takým zoskupením produkčných pravidiel a rámcov, pre ktoré platí aspoň jeden z nasledujúcich vzťahov

Vymedzenie súvislej oblasti znalostí

$D \cap P \neq 0$, t.j. referencia v dôsledku niektorého pravidla vystupuje aj ako referencia v podmienke predpokladu niektorého iného pravidla,

$D \cap A \neq 0$, t.j. referencia v dôsledku niektorého pravidla vystupuje aj v akčnej časti niektorého iného pravidla,

$P \cap A \neq 0$, t.j. niektorá referencia v podmienke predpokladu jedného pravidla vystupuje aj v akčnej časti niektorého iného pravidla,

$D \cap S \neq 0$, t.j. niektorý dôsledok je referencovaný v semafóre,

$S \cap A \neq 0$, t.j. niektorá akcia referencuje semafór,

$P_i \cap P_j \neq 0$, t.j. niektorá referencia v podmienke predpokladu jedného pravidla vystupuje aj v podmienke predpokladu niektorého iného pravidla ($i \neq j$).

O oblasti znalostí možno tiež hovoriť ako o zoskupení pravidiel a hypotéz, medzi ktorými v čase činnosti systému vznikajú väzby na základe oboch smerov reťazení, hradlovania, asociovania, komplementovania, alebo vykonania akcií z dôsledkovej časti pravidiel.

Silné a

O pravidlách, ktoré sa nachádzajú v oblasti znalostí hovoríme, že sú **SILNE VIAZANÉ**.

Doteraz uvažované stratégie odvodzovania neumožňujú **prenos riadenia medzi jednotlivými oblasťami znalostí**. Napriek tomu sa dá stretnúť s aplikáciami, ktoré to môžu vyžadovať.

slabé väzby

Preto je účelné pripustiť vytvorenie určitej väzby

**aj medzi nesúvislými grafmi.
Hovoríme im SLABÉ (VOLNÉ) VÄZBY.**

- a ich účinky
- Slabé väzby
 - **sa definujú pri tvorbe BZ medzi dvomi alebo viacerými entitami (predovšetkým) z rôznych oblastí znalostí** (nesúvislých grafov),
 - pokiaľ sa uplatnia - **spôsobujú vloženie viazanej entity do zodpovedajúcej štruktúry agendy, ktorá štandardne má najnižšiu zo všetkých možných prirít** (táto stratégia voľnej väzby zodpovedá tomu, že až po vyhodnotení všetkých zmysluplných pravidiel z jednej oblasti znalosti sa pripúšťa prechod do inej oblasti - má to byť reflexiou sústredenia pozornosti, ktorá zabraňuje "tekavosti mysle", t.j. preskakovaniu z "témy na tému"),
 - **zabezpečujú jednosmerný mechanizmus (v zmysle "priamy chod") prenosu riadenia**, tým teda aj smer usudzovania (neuplatňujú sa pri spätnom reťazení),
 - **je možné definovať medzi oblastami v oboch smeroch** (medzi rovnakými aj rôznymi hypotézami), **aj v rámci jedinej oblasti, ba dokonca aj väzbu hypotézy na seba** (pretože voľná väzba má najnižšiu prioritu, význam tohto konštruktú spočíva v zabezpečení vyhodnotenia takejto hypotézy po tom, čo všetky ostatné významné entity v danej oblasti boli už vyhodnotené, má to dôležitý dopad pri zabezpečovaní nemonotónneho usudzovania - pozri v ďalšom).

Ilustračný príklad

Ilustračný príklad, v ktorom symbol **VV** reprezentuje voľnú väzbu, **VA** väzbu asociáciou a symbol **:=** zodpovedá priradovaciemu príkazu:

(1)	$A \& B \rightarrow M$	(7)	$T \& L \rightarrow W, Q1 := 4$
(2)	$A \& C \rightarrow N, F := 10$	(8)	$T \& V \rightarrow X$
(3)	$D \& E \rightarrow P, VV(X)$	(9)	$(Q1 > 2) \rightarrow Y$
(4)	$P \& (F = 10) \rightarrow Q, G := 5$	(10)	$X \& U \rightarrow Y, VA(Y3)$
(5)	$H \& G \rightarrow R, VA(S)$	(11)	$K1 \& K2 \rightarrow Y3$
(6)	$J \& K \rightarrow S$	(12)	$N \& R \rightarrow Z$

Táto sústava (abstraktných) produkčných pravidiel je tvorená z dvoch oblastí znalostí. Prvej zodpovedajú pravidlá (1) až (6) a (12), kým druhej pravidlá (7) až (11). Všimnime si: Medzi pravidlami (1) a (2) jestvuje väzba hradlovaním v dôsledku podmienky **A**, prítomnosť podmienky **T** v pravidlách (7) a (8) vytvára tiež hradlo. Akcia **F:=10** v pravidle (2) vytvára väzbu na pravidlo (4) a obdobne akcie v (4) a (7) vytvárajú väzby na (5), resp. (9). Pravidlo (6) je súčasťou prvej oblasti znalosti iba v dôsledku asociovania hypotézy **S** v pravidle (5), obdobne pravidlo (11) v dôsledku asociácie v pravidle (10) z druhej oblasti. Pravidlá (3) a (4) sú vo väzbe v dôsledku spätného (prípadne) aj priameho reťazenia. Obdobne sú viazané pravidlá (2) a (12) v prvej oblasti a (8) a (10) v druhej oblasti. Keby v pravidlách (1) a (2), resp. (7) a (8) spoločné podmienky mali povahu komplementov, väzby medzi nimi by vznikli v dôsledku stratégie komplementovania a zároveň by sa s vysokou prioritou uprednostňovalo vyhodnocovanie komplementárnych podmienok. Medzi prvou a druhou oblasťou znalosti je špecifikovaná jednosmerná voľná väzba zásluhou pravidla (3).

5.3.7 Priority štruktúr agendy a voliteľnosť stratégií

V priebehu riešenia problémov je v údajovo-riadiacich štruktúrach agendy registrovaných spravidla mnoho entít, najmä hypotéz (netriviálne BZ môžu obsahovať tisícky zložito previazaných pravidiel a objektov). *Po dokončení vyhodnocovania práve aktuálnej hypotézy, následný inferenčný proces vyžaduje výber ďalšej z nich.*

Keď má agenda viacero zložiek, je nevyhnutné rozhodnúť, z ktorej sa má nasledne vyhodnocovaná entita vybrať.

Priradením priorít štruktúram agendy sa tento problém rieši.

Pre odlišné charakteristiky aplikácií ES môžu byť vyhovujúce odlišné priradenia priorít zložkám agendy. Rozdiely sa prejavujú najmä v súvislosti s režimom práce, menovite, či **aplikácia vyžaduje promptnú odozvu na spontánne zadávané údaje**. Kým aplikácia má povahu konzultačnú/poradenskú a realizuje sa v dialógovom režime s aktívnym používateľom, často sa stretávame s klesajúcou postupnosťou priorít uvedených zložiek agendy ako je to uvedené v ľavom stĺpci nasledujúcej tabuľky. V prípade aplikácií ES v spriahnutom režime a v reálnom čase (napr. pri monitorovaní či riadení), teda keď sa vyžaduje promptná reakcia systému, zrejme sa stáva nevyhnutným predovšetkým zvýšenie priority spontánne zadaných údajov na, resp. nad úroveň zásobníka prerušení. Klesajúca postupnosť usporiadania priorít by mohla zodpovedať obsahu pravého stĺpca nasledujúcej tabuľky:

Uprednostňovanie zložiek agendy

súvisí aj s typom aplikácií

DIALÓGOVÝ REŽIM	MONITOROVACÍ REŽIM
<ul style="list-style-type: none"> ▪ zásobník prerušení (spätné reťazenie), ▪ komplementovanie, ▪ front používateľových požiadaviek (ním špecifikované (plánované) hypotézy), ▪ priame reťazenie, ▪ hradlovanie, ▪ akčná časť pravidiel, ▪ spontánne zadané údaje v priebehu inferencie, ▪ asociovanie, ▪ voľné väzby 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ spontánne zadané údaje v priebehu inferencie, ▪ priame reťazenie, ▪ zásobník prerušení (spätné reťazenie), ▪ akčná časť pravidiel, ▪ komplementovanie, ▪ hradlovanie

Hoci sa v prípade spriahnutého režimu v reálnom čase nie veľmi očakáva použitie iných než uvedených riadiacich stratégií, ani iné sa nevyklúčujú. Uvedené prípady priradovania priorít zložkám agendy, a tým prvkom stratégií odvodzovania, by sa dali považovať za štandardné. Ale obdobne ako v prípade všetkých doteraz spomínaných štandardov, aj priradovanie priorít zložkám agendy by malo byť v rukách tvorca BZ a malo by byť hoci aj dynamicky meniteľné na **globálnej** (pre celú

BZ) aj lokálnej (pre jednotlivé časti BZ až po jednotlivé entity) úrovni nastavením príпустnosti/nepriпустnosti uplatňovania jednotlivých vyššie spomínaných inferenčných stratégií.

Špecifické postavenie zásobníka prerušení je však potrebné zohľadňovať.

Keď niektorá iná zložka agendy nadobudne vyššiu prioritu, môže vzniknúť neželaný stav riešenia problému. Množstvo čiastočne interpretovaných pravidiel a v dôsledku toho aj aktivovaných entít zostáva v nedefinovanom stave. Navyše jestvuje potenciál pretečenia zásobníka a vzniku cyklu.

Viacnásobné
agendové
štruktúry

Jedným zo spôsobov ošetrenia takejto situácie je PRIPUSTENIE VIACNÁSOBNÝCH ŠTRUKTÚR AGENDY.

Princíp spočíva v tom, že sa vytvorí **hierarchizovaná sieť agend**, často len v podobe stromovej štruktúry. Každý vrchol siete (stromu) je lineárna prioritná štruktúra zložiek autonómnej agendy. Rôznym vrcholom môžu zodpovedať odlišné zložky a nerovnaké priority. Takto štruktúrovaná viacnásobná agenda má umožňovať situačné traverzovanie zodpovedajúceho grafu (napr. zmenou priorit vrcholov grafu) a tým aj zmenu priority riadiaceho účinku jednotlivých zásobníkov prerušení.

Stratégie inferencie ovplyvňujú vkladanie hypotéz do agendy (prípadne iných požiadaviek na získanie údajov) a tým **ovplyvňujú (zefektívňujú) mechanistické** metódy riadenia inferencie. Okrem toho, že zabezpečujú v určitom rozsahu **cílenosť** riešiacich postupov, sú aj prostriedkom imitovania účinných kognitívnych postupov človeka. Možno hovoriť, že umožňujú vytvárať k znalostiam termového aj asertívneho typu **operatívnu nadstavbu**, t.j. **racionálne ovplyvňovať činnosť inferenčného mechanizmu, a tým aj správania sa ES.**

Na záver tohto článku poznámka: Popri agende ďalšou veľmi významnou súčasťou infraštruktúry inferenčného mechanizmu je

PROTOKOL,

Protokol

ktorý by mal registrovať každý významnejší krok v celom procese inferencie. Je to téma, s ktorou sa zaoberáme v druhej časti týchto textov v súvislosti s témami, ktoré sa týkajú potenciálnej potreby odvolávať sa na predchádzajúci priebeh procesu odvodzovania (čo je napríklad problematika týkajúca sa nemonotónnej inferencie).

5.3.8 nemonotónne odvodzovanie: odstúpenie od prebiehajúceho riešenia a jeho revidovanie

V predchádzajúcom výklade vo viacerých článkoch a v rôznych súvislostiach sa vyskytli zmienky o nemonotónnom odvodzovaní. Tento spôsob odvodzovania (usudzovania) tvorí jednu z podstatných črt produktívnych riešiacich postupov (kognitívnych techník). Jeho potreba sa vynára predovšetkým v súvislosti s rozmanitými nedeterminizmami a udržovaním konzistentnej bázy faktov.

Nedeterminizmy súvisia najmä s

- **nedobrou formuláciou úlohy (nevyplýva z nej riešiaci postup),**
- **podurčenými úlohami (sú známe iba vzťahy medzi premennými, ale nie všetky ich hodnoty),**

- absenciou potrebných údajov a ich neistotami/neurčitostami,
- nesplniteľnosťou
 - protichodných požiadaviek,
 - všetkých súčasne požadovaných ohraničujúcich podmienok,,
 - všetkých súčasne požadovaných väzieb premenných,
- nerozhodnuteľnosťou zdôvodniteľného výberu nasledujúceho postupu.

V dôsledku uvedených faktorov je potom potrebné

nezáväzne voliť

- predpokladateľné náhradné údaje◀
- prípustný alternatívny riešiaci postup◀.

Inherentným dôsledkom nedeterminizmu je fakt, že voľba náhradného údaja či riešiaceho postupu nie je zárukou nadväzujúceho úspešného postupu. Preto musí byť nezáväzná. A v prípade, že

- zvolený náhradný údaj alebo údaje, ktoré boli na jeho základe odvodené sú nekonzistentné so spoľahlivými, resp. zadanými údajmi, ako aj tými, ktoré umožnili tieto odvodiť,
 - zvolené náhradné údaje a na ich základe odvodené údaje sú vzájomne nekonzistentné,
 - zvolený údaj alebo na jeho základe odvodené údaje sú nekonzistentné s danými ohraničeniami, alebo s údajmi reflektujúcimi realitu,
 - zvolený riešiaci postup naráža na barieru odvodzovacej/výpočtovej zložitosti,
 - zvolený riešiaci postup vedie k výsledkom, ktoré nevyhovujú ohraničeniam,
 - zvolený riešiaci postup vedie k nekonzistentným čiastkovým výsledkom, nevedie k požadovanému alebo vieryhodnému výsledku,
- je nevyhnutné

odstúpiť od prebiehajúceho riešenia a revidovať predchádzajúce nezáväzné voľby.

Mechanismy dstupovania od prebiehajúceho riešenia a revidovanie predchádzajúcich nezáväzných výberov tvorí podstatu procesov nazývaných NEMONOTÓNNE ODVODZOVANIE.

Realizácia nemonotónnej inferencie je pre množstvo aplikácií, najmä generatívneho typu nevyhnutnou funkčnou vlastnosťou. Je prostriedkom umožňujúcim uskutočňovať nezáväzné rozhodovania v nedeterministických situáciách a simulovať dôsledky vyplývajúce z jednotlivých rozhodnutí. V tejto súvislosti sa hovorí o tzv. **ČO-AK [WHAT-IF]** (sa uplatní zvolený default predpoklad, default postup) **METÓDE**, resp. komplementárnej **ČO-AK-NIE [WHAT-IF-NOT]** (neuplatní sa zvolený default predpoklad, default postup) **METÓDE**.

Uvažujme niekoľko ilustrácií umožňujúcich ujasniť si uplatňovanie náhradných údajov pri odvodzovaní/usudzovaní.

- Volí sa trasa autom z areálu MFF na autobusovú stanicu na Mlynských nivách. Je potrebné rozhodnúť medzi tromi možnými trasami:

- (1) *Brniansku, Pražskú, Šancovú, Legionársku, Karadžičovu na Mlynské nivy,*
- (2) *Nábr. L. Svobodu,, Rázusovo nábr., Vajanského nábr., Dostojevského rad na Mlynské nivy,*
- (3) *Most Lafranconi do Petržalky, popri Inchebe po Tyršovom nábr., cez Starý most, Šafárikovo nám., Dostojevského rad na Mlynské nivy.*

Vzhľadom na prehustenú premávku po trasách (1) a (2) volí sa trasa (3), pričom sa predpokladá, že oba mosty aj Tyršovo nábrežie sú prejazdné (mosty sa nezrútili, žiada havária, opravy, rozkopávky a pod.). Pracuje sa s týmto pomerne realistickým predpokladom, avšak ak sa ukáže, že nie je splnený, odstupuje sa od vybratej trasy a volí sa iná alternatíva.

(b) Uvažuje sa výber lákavých ponúk rôznych foriem ukladania finančných prostriedkov do peňažných ústavov alebo o investovaní (rôzna doba viazanosti vkladov na vkladné knižky, bežné účty, vkladové listy, alebo nákup akcií akciových spoločností). Možnosti sa odlišujú potenciálnymi výnosmi aj rizikami. Úvahy o investovaní do akcií spočívajú zväčša na odhadovaní perspektívnej prosperity akciových spoločností vo vzťahu k ich súčasnej aj predpokladateľnú budúcu úspešnosti vzhľadom na očakávateľný vývoj domácej aj zahraničnej politickej a ekonomickej situácie, ekologických požiadaviek, sociálnych a demografických aspektov, inovačných požiadaviek, ohraničených materiálových a finančných zdrojov a pod. Dajú sa pritom uplatňovať určité systavy matematických závislostí, v ktorých však je nevyhnutné bez záruk voliť rad konštant a odhadovať hodnoty premenných aj možné trendy ich vývoja.

(c) Podstatu problematiky v predošlej mnohodimenzionalnej úlohe možno priblížiť na neporovnateľne jednoduchších, aj keď vôbec nie triviálnych úlohách, pri riešení ktorých je nevyhnutné odgadovať, voliť hodnoty konštant aj premenných. Dá sa to ilustrovať na príklade konštrukčného návrhu viacstupňovej prevodovky, ktorá má (povedzme) desaťnásobne redukovať vstupné otáčky pri minimálnej strate prenášaného výkonu, pričom musí vyhovieť požiadavkám výrobných nákladov, zachovania prípustných rozmerov, životnosti (materiálové požiadavky) pri predpokladaných prevádzkových podmienkach, právnych a materiálových nákladov na údržbu. Úspešné riešenie úlohy spočíva na uplatňovaní znalostí spočívajúcich na poznatkoch z fyziky, materiálov, konštrukčných a prevádzkových technológií, prirodzene aj matematiky. Už pri uplatňovaní iba elementárnych fyzikálnych vzťahov medzi dvomi ozubenými kolesami (zodpovedajú jedinému prevodovému stupňu):

$$\mathbf{p} = \mathbf{n}_1/\mathbf{n}_2 = \mathbf{w}_1/\mathbf{w}_2 = \mathbf{d}_2/\mathbf{d}_1 = \mathbf{z}_2/\mathbf{z}_1,$$

kde \mathbf{p} je požadovaná zmena vstupných otáčok (v danom prípade desaťnásobná redukcia), \mathbf{n} je počet otáčok, \mathbf{w} je uhlová rýchlosť, \mathbf{d} je priemer ozubených kolies a \mathbf{z} je počet zubov na obvode. Formulácia úlohy špecifikuje vstupné otáčky \mathbf{n}_1 , redukčný pomer $\mathbf{p} = 10$ a maximálny rozmer prevodovky \mathbf{d}_{\max} . Počet výstupných otáčok \mathbf{n}_2 je výslednicou triviálneho výpočtu. Hodnoty ostatných premenných je

nevyhnutné aspoň čiastočne odhadovať. Priemer väčšieho ozubeného kolesa d_2 sa dá voliť odhadom $d_2 \leq d_{\max}$. Zvolená hodnota priamo implikuje priemer menšieho kolesa a sprostredkovane aj hodnoty uhlových rýchlostí. Voľba hodnoty d_2 implikuje aj dĺžku obvodov oboch ozubených kolies a tým sa vymedzujú intervaly, v ktorých sa dajú voliť celočíselné počty ozubených zubov. V závislosti na prenášanom výkone a voľbe materiálu ozubených kolies musí hrúbka a tvar ozubov vyhovovať fyzikálnym a technologickým požiadavkám. (Analogicky je potrebné uvažovať o priemeroch hriadeľov ozubených kolies.) Počet ozubov musí byť prirodzene celočíselný. Nie je ťažké si predstaviť, že môže nastať prípad, keď požadovaný tvar zubu neumožňuje na danom obvode umiestniť ich celočíselný počet. To následne vedie k potrebe voliť novú hodnotu $d_2 \leq d_{\max}$. Množstvo predchádzajúcich výpočtov a voliteľností stráca tým relevantnosť a je nevyhnutné celý predchádzajúci proces odvodzovania opakovane vykonať. Úspešné odhady jedného prevodového stupňa vôbec nezaručujú uplatniteľnosť výsledkov pri nadväzujúcom prevodovom stupni, do ktorého sa odvodené výsledky propagujú. A tak reiterovanie predchádzajúcich odhadov a výpočtov sa môže opakovať.

Uvedené príklady ilustrujú potrebu nemonotónneho odvodzovania a tretí z nich aj povahu odstupovania od prebiehajúceho riešenia a revidovania odhadov. V danom prípade nemonotónne odvodzovanie je aj nositeľom **ČO-AK ČO-AK-NIE METÓD**.

Vo všeobecnosti odvodzovanie založené na zvolených odhadoch/predpokladoch/defaultoch pokračuje kým sa nenarazí na nežiaduci KONFLIKT.

Kým absencia konfliktu je nepriamym potvrdením oprávnenosti nezáväzne zvoleného odhadu/predpokladu, konflikt má opačný účinok. Vylučuje odhad/predpoklad a vedie k požiadavke jeho revízie. To implikuje odstúpenie od prebiehajúceho odvodzovania a výber nového nezáväzného odhadu a tým aj riešiaceho postupu.

Realizácia mechanizmov nezáväznej voľby údajov a operácií a ich revidovania kladie špecifické požiadavky na reprezentáciu znalostí aj na infraštruktúru ovplyvňujúcu riadenie odvodzovacieho procesu. Pravdepodobne sa nedajú uvažovať účinné univerzálne metódy realizácie týchto mechanizmov. Preto v ďalšom uvádzané vybrané techniky uplatňujúce sa v jednotlivých aplikáciách je užitočné považovať za užitočné príklady, ale opodstatnenosť ich uplatňovania v jednotlivých aplikačných oblastiach je potrebné podrobiť starostlivej analýze.

Nezáväzný odhad náhradného údajja je v mnohých prípadoch možné realizovať obsahom metarubrík atribútov rámcov, menovite prostredníctvom **AP** metód. V tejto položke sa dajú uviesť

- očakávateľné náhradné údaje, napr. diskkrétne alebo intervalové hodnoty daného atribútu, ich výber sa uskutočňuje podľa postupnosti ich uvedenia, na základe ich statických, či dynamických hodnôt priorít, alebo tiež na základe vyhodnocovania podmienok, ktoré sú im priradené,
- odvolávky na výpočtové procesy (prípadne aj samotné procedúry), ktoré umožňujú výpočet nezáväzného – aj spojitého - náhradného údajja.

V oboch prípadoch uvažované náhradné hodnoty alebo spôsoby ich výpočtu (odvo-denia) sa dajú oprieť o reprezentáciu poznatkov umožňujúcich

zdôvodnitelným spôsobom uprednostňovať ich výber. Môže pritom ísť napríklad o

- konštruktérské tabuľky pre jednotlivé triedy úloh s odporúčanými hodnotami, resp. návodmi na ich výpočet,
- zoznamy často uplatňovaných osvedčených hodnôt vyhovujúcich určitým ohraničeniam alebo konfliktným situáciám,
- vhodné štatistické, či pravdepodobnostné metódy, prípadne priamo údaje odvodené na základe týchto metód.

Doplňkový alebo odlišný prístup k voľbe náhradného údajja, resp. výberu nasledujúcej operácie môže spočívať na *optimistickom alebo pesimistickom princípe modelu uzavretého sveta*. V prvom prípade sa všetko **to čo nebolo vyvrátené sa považuje za pravdivé, za prípustné**. Ak teda nie sú k dispozícii argumenty o neprejazdnosti určitej cesty, či mosta, tak sa predpokladá ich prejazdnosť. Všeobecne možno uvedené formulovať takto: **Ak nie je známy dôvod, pre ktorý nie je možné vykonať X, tak vykonaj X**. Komplementárny prípad spočíva na heuristike: **To, čo nie je dokázané, či aspoň pozitívne potvrdené považuje sa za nepravdivé, neprípustné**.

Je užitočné mať na mysli, že najmä v zložitejších prípadoch je poslaním odhadov, t.j. nezáväzných voliteľností, zisťovať

- dôsledky vyplývajúce zo zvolených odhadov,
- rozsah prípustných hodnôt pripúšťajúcich riešiteľnosť danej úlohy,
- dosiahnuteľnosť daného cieľa pri uvažovanom predpoklade.

Realizácia týchto metód vyžaduje podporné prostriedky. V prípade modelov uzavretého sveta ide o

- procedúru, ktorá rozhoduje o postačujúcom potvrdení danej propozície, resp. potvrdení toho, že nie je v protirečení s inými,
- mechanizmus monitorujúci dynamiku reprezentovaného sveta, ktorý stráži sleduje vývoj (ne)konzistentnosti bázy faktov najmä v súvislosti s postupnou voľbou náhradných údajov.

Situácie vyžadujúce revíziu zvolených či odhadnutých hodnôt je zvyčajne omnoho častejší ako opačný prípad, najmä správny odhad na prvý ráz. Preto nemonotónne odvodzovanie vyžaduje mechanizmus nahradzovania predošlých neúspešných odhadov a vhodného revidovania prebiehajúceho odvodzovacieho postupu. Rozlišujú sa dva druhy revízií: **slepé** a **zdôvodnitelné**.

Slepé nahradzovanie údajov a revidovanie spočíva na

POSTUPNOM CHRONOLOGICKOM ODSUPOVANÍ

od náhradných údajov, ich nahradzovanie novými, a odstupovanie od dosiahnutých čiastkových výsledkov. Ide o **rekurzívny proces prehľadávania možných alternatív do hĺbky**: odstupuje sa od posledného k prvému zo zvolených náhradných údajov, resp. operácií. V rozsiahlejších prípadoch je to výpočtovo zložitý a neefektívny postup. Jeho realizácia vyžaduje infraštruktúru zabezpečujúcu

- **evidovanie všetkých aktívnych náhradných údajov a postupnosť ich výberu – to umožňuje postupné návraty k nim a ich revidovanie,**
- **evidovanie postupností odvodzovacích krokov a vykonaných akcií zodpovedajúcich jednotlivým náhradným údajom v postupnosti ich aktivovania – potrebné pre odstúpenie a revidovanie prebiehajúcich riešiacich postupností,**

- **registrovanie všetkých odskúšaných aj neodskúšaných náhradných údajov, čo má zabezpečiť vylúčenie opakovanej voľby nevhodného odhadu a zužovanie množiny ešte prípustných odhadov.**

Prehľadávanie do hĺbky vedie k použitiu zásobníka registrujúceho aktívne náhradné údaje. Táto riadiaca údajová štruktúra sama osebe nemusí byť postačujúca. Vznik konfliktné situácie pri danom náhradnom údají vedie k odstúpeniu od neho, čo má za následok vynáranie sa zo zásobníka a teda "zabudnutie" nevhodného náhradného údajja, ktorý spôsobil konflikt, a jeho neželaného opakovaného použitia. To je dôvod, pre ktorý je nevyhnuté zásobník náhradných údajov doplniť o štruktúry evidujúce aktívne, prijaté, zamietnuté a ešte neodskúšané náhradné údaje. Sú to prostriedky, ktoré zabraňujú "strate pamäte" pri dynamických zmenách obsahu zásobníka aktívnych náhradných údajov.

Iný, racionálnejšia, ale nie dostatočne prebádaný princíp sa nazýva **ZDÔVODNENÉ A CIELENÉ ODSŤUPOVANIE A REVIDOVANIE.**

Jedná sa o nechronologický výber miesta návratu v riešiacom postupe a revidovanie náhradného údajja. Metóda vyžaduje uplatnenie náročných techník, napr.

- **vyhodnocovanie príčin vzniku konfliktov a ich vzájomných podmieneností,**
- **pamätanie všetkých odstúpení a revidovaní, spolu s dôvodom týchto javov, najmä pamätanie všetkých definitívne zamietnutých hodnôt a postupov,**
- **evidovanie dôvodu výberu jednotlivých konkrétnych náhradných hodnôt,**
- **registrovanie súvislostí, ktoré viedli ku konfliktu (globalizujúci pohľad).**