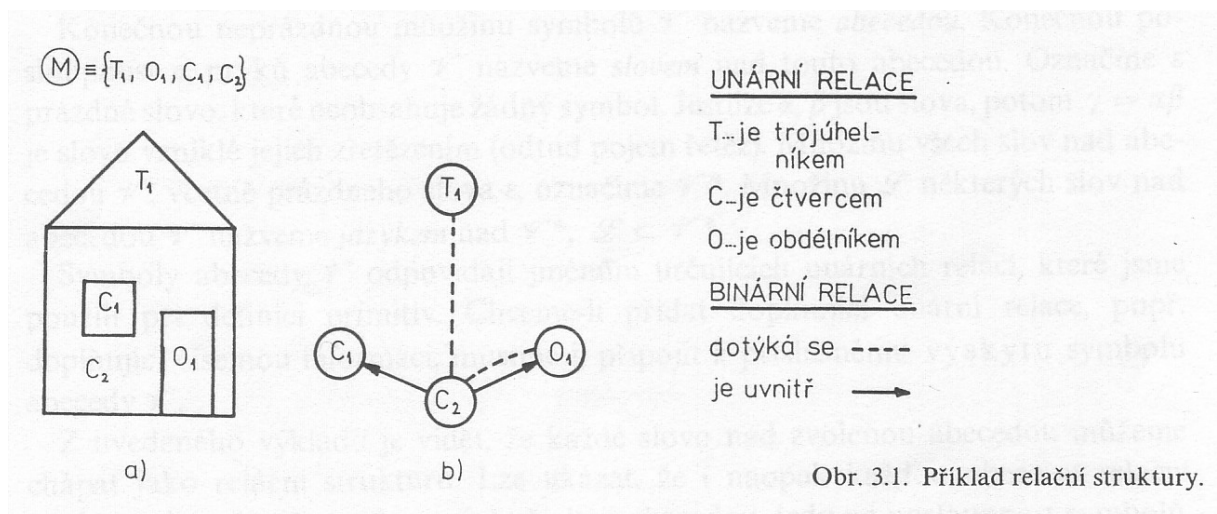


8 Syntaktické (štrukturálne) metódy

- Na rozdiel od príznakových metód pracujú syntaktické metódy s relačnými štruktúrami, ktoré sa skladajú z prvkov nosiča relačnej štruktúry (tie zodpovedajú primitívam (ako ďalej nedeliteľným častiam obrazu) a z relácií, ktoré sú nad nimi definované. Vo všeobecnosti môže ísť o k -árne relácie, ale k -árnu reláciu možno bez straty informácie previesť na relačnú štruktúru s nanajvyš binárnymi reláciami. Preto budeme v ďalšom uvažovať iba s unárnymi a binárnymi reláciami.
- Takéto relačné štruktúry možno znázorniť pomocou grafov. Prvky nosiča sa znázorňujú ako vrcholy grafu, prvky binárných symetrických relácií ako neorientované hrany, prvky binárných nesymetrických relácií ako orientované hrany. Prvky unárných relácií potom vyjadrujú mená a vlastnosti jednotlivých prvkov nosiča. Unárne relácie môžu byť určujúce, ktoré vyjadrujú definičné vlastnosti primitíva a doplnkové, ktoré primitívum popisujú detailnejšie.
- Príklad: ako primitíva uvažujeme elementárne geometrické útvary a relácie medzi nimi sú DOTÝKA SA a VNÚTRI. Potom relačnú štruktúru popíšeme grafom ako je uvedené na obr.

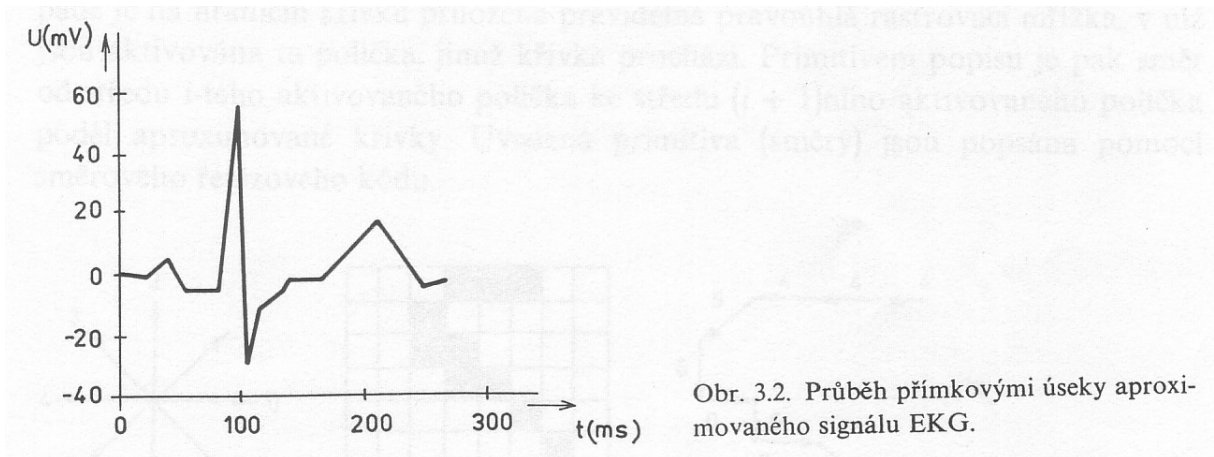


- Uvažujme špeciálny prípad relačnej štruktúry, ktorá má jedinú binárnu reláciu t . Označme symbolmi x , y a z tri rôzne prvky nosiča a predpokladajme, že t spĺňa vlastnosti (ostrého úplného usporiadania):
 - a) ak $\langle x, y \rangle \in t$ a $\langle y, z \rangle \in t$, potom $\langle x, z \rangle \in t$ (tranzitívnosť)
 - b) pre žiadny prvok nosiča x neplatí $\langle x, x \rangle \in t$
 - c) pre každé x, y , $x \neq y$, platí alebo $\langle x, y \rangle \in t$ alebo $\langle y, x \rangle \in t$.
 Reláciu t potom môžeme chápať takto: $\langle x, y \rangle \in t$ znamená x je vľavo od y a prvky nosiča môžeme usporiadať do postupnosti. Takýmito postupnosťami symbolov sa zaoberá teória formálnych jazykov.

- Základné pojmy teórie jazykov. Konečnú neprázdnu množinu symbolov V nazývame abecedou. Konečná postupnosť α prvkov abecedy sa nazýva slovom nad touto abecedou. Označme znakom ε prázdne slovo, ktoré neobsahuje žiadny symbol. Ak α, β sú slová, potom $\gamma = \alpha\beta$ je slovo, ktoré vzniklo ich zret'azením. Množinu všetkých slov nad abecedou V označíme ako V^* . Množinu L niektorých slov na abecedou V nazveme jazykom nad V^* , pričom $L \subset V^*$.
- Symboly abecedy V zodpovedajú menám určujúcich unárnych relácií, ktoré sme použili pri definícii primitív. Ak chceme pridať doplnkovú unárnu reláciu, napr. číselnú informáciu, musíme ju pripojiť k príslušnému výskytu symbolu abecedy V .
- Z tohto vyplýva, že každé slovo nad zvolenou abecedou možno chápať ako relačnú štruktúru. Dá sa ukázať aj opak, že každú všeobecnú relačnú štruktúru možno previesť na slovo nad nejakou abecedou, teda na postupnosť symbolov.

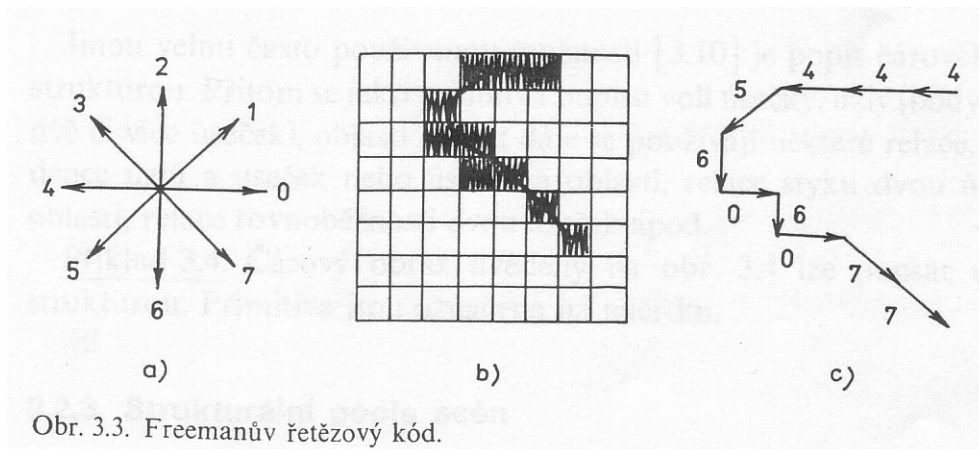
Niektoré metódy a techniky voľby primitív a relácií

- Štrukturálne metódy sa uplatňujú najčastejšie pri riešení týchto troch skupín úloh:
 - a) pri klasifikácii časových priebehov
 - b) pri rozpoznávaní dvojrozmerných útvarov
 - c) pri rozpoznávaní scény, t.j. pri súčasnom rozpoznávaní množiny 3D objektov a vzťahov medzi nimi, obvykle na základe 2D obrazu
- Pri ***štrukturálnom popise časových priebehov*** sa používa jediná relácia, a to zret'azenie, vyjadrujúce bezprostrednú časovú následnosť.
- Pri ekvidistantnom rozdelení signálu na úseky rovnakej časovej dĺžky sa každý úsek popisuje symbolom abecedy (signál v danom úseku tvorí primitívum). Na priradenie symbolu k danému úseku sa využívajú rôzne lokálne charakteristiky signálu v danom úseku. Často sa volia primitíva, ktoré vyjadrujú tvarové vlastnosti kriviek.
- Ak uvažujeme signál, ktorý aproximuje priamkovými úsekmi signál EKG, potom signál na obrázku zapíšeme tvarovým reťazcom $0 \setminus 0 \setminus / 00 \setminus 0$.



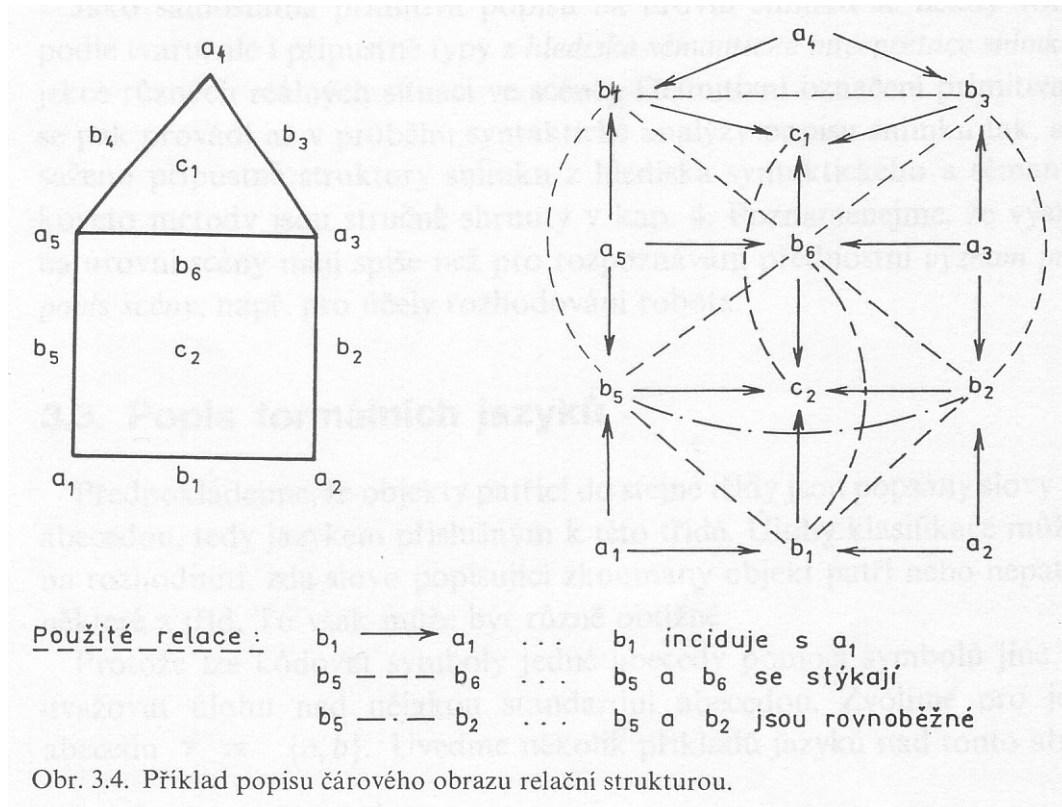
kde / znamená sklon úseku větší ako zvolený prah, \ sklon menší ako záporná hodnota prahu a 0 úsek so sklonom v intervale medzi nimi.

- Okrem tvarového reťazca sa v tomto prípade paralelne používa sémantický reťazec symbolov, ktorý zachytáva absolútnu hodnotu signálu na začiatku jednotlivých úsekov. Každému úseku je teda priradený ešte jeden symbol, a to A, ak úroveň signálu je väčšia ako zvolený prah, - ak je menšia ako záporná hodnota prahu a 0 ak je v intervale medzi nimi. Potom má sémantický reťazec pre priebeh EKG ako na obrázku tvar 000000A-000A0. Pri rozpoznávaní špičiek signálu sa hľadajú podreťazce v tvarovom reťazci, ktorým zodpovedajú definované podreťazce v sémantickom reťazci. Pri klasifikácii sa zaraďujú tieto signály do tried podľa drobných tvarových odchýliek.
- Pri **štruktúrnom popise dvojrozmerných útvarov** sa často používa ekvidistančná metóda popisu uzavretých čiarových obrazov (pomocou hranice útvaru) s využitím reťazcových kódov.



- Namiesto reťazcového kódu môžeme používať „prvú diferenciu“, t.j. iba zmenu smeru oproti predchádzajúcemu úseku. Takýto popis zachytáva tvar krivky, ale je invariantný voči natočeniu.

- Čiarové obrazy možno tiež reprezentovať jazykom PDL (Picture Description Language), kde sa za primitíva vyberajú orientované čiary rôznych tvarov, sklonov a dĺžok. Primitíva môžu byť spojené rôznym spôsobom.
- Inou možnosťou je popis čiarového obrazu relačnou štruktúrou. Ako primitíva popisu sa volia úsečky, uzly (ako body v ktorých sa dotýkajú dve a viaceré úsečky), oblasti apod. Ako relácie sa používajú relácia incidencie uzlov a úsečiek, alebo uzlov a oblastí, relácia styku dvoch úsečiek, alebo dvoch oblastí, relácia rovnobežnosti dvoch úsečiek apod. Príklad je uvedený na obr.



- Pri **štruktúrnem popise scény** vychádzame z dvojrozmerných obrazov, ktoré vzniknú zobrazením scény. Je to množina dvojrozmerných útvarov, ktoré možno popísať čiarovými obrazmi. Ale treba odlišovať štruktúrny popis obrazu (kde sa používajú primitíva a relácie rovnaké ako u dvojrozmerných útvarov) od štruktúrného popisu scény, kde sa ako primitíva určujú jednotlivé typy objektov (kocka, ihlan, trojboký hranol), relácie označujú vzájomnú polohu objektov apod.
- Úlohou syntaktickej analýzy na úrovni obrazu je odhaliť prvky popisu scény a to na základe informácie o prípustných štruktúrach, reprezentujúcich objekty scény na úrovni obrazu. Ako samostatné primitíva sa niekedy volia nielen uzly podľa tvaru, ale aj z hľadiska sémantickej interpretácie obrazu (ide o projekcie rôznych reálnych situácií v scéne). Výsledné popisy na úrovni scény skôr než pre rozpoznávanie prednostný význam pre deskriptívny popis scény, napr. pre účely rozhodovania robota.

Popis formálnych jazykov

- Predpokladajme, že objekty patriace do jednej triedy, sú popísané slovami nad nejakou abecedou, teda jazykom príslušným k tejto triede. Úlohu klasifikácie potom môžeme previesť na rozhodnutie, či slovo popisujúce neznámy objekt patrí alebo nepatrí do jazyka niektorej z tried.
- Jazyky môžu konečné a nekonečné. Pri konečných je porovnávanie, či slovo patrí do jazyka, jednoduché. Porovnávanie skončí, keď sa nájde zhoda, alebo sa vyčerpali všetky slová jazyky. Pri nekonečných jazykoch sa to nedá urobiť. Preto sa využíva už definovaný formalizmus na reprezentáciu nekonečných jazykov, a to gramatiky alebo automaty.
- Gramatika je usporiadaná štvorica $G = (V_N, V_T, P, S)$, kde
 - V_N je konečná množina neterminálnych symbolov
 - V_T je konečná množina terminálnych symbolov ($V_T \cap V_N = \emptyset$)
 - P je konečná množina prepisovacích pravidiel v tvare $\alpha \rightarrow \beta$, kde α, β sú reťazce symbolov $\alpha \in (V_N \cup V_T)^* V_N (V_N \cup V_T)^*$, $\beta \in (V_N \cup V_T)^*$, to znamená, že ľavá strana pravidla musí obsahovať aspoň jeden neterminálny symbol
 - $S \in V_N$ je počiatočný symbol gramatiky.
- Množinu všetkých reťazcov generovaných gramatikou G a tvorených len terminálnymi symbolmi nazývame jazyk generovaný gramatikou G a označujeme ho $L(G)$.
- Chomského hierarchia jazykov:
 1. gramatiky typu 0 – žiadne obmedzenia na prepisovacie pravidlá.
 2. gramatiky typu 1 – prepisovacie pravidlá sú typu $uXw \rightarrow uxw$, nazývajú sa kontextové gramatiky
 3. gramatiky typu 2 – všetky pravidlá sú typu $X \rightarrow x$ a nazývajú sa bezkontextové gramatiky
 4. gramatiky typu 3 – všetky prepisovacie pravidlá sú typu $X \rightarrow v$ alebo $X \rightarrow vY$ a nazývame ich regulárne gramatiky.
- Potom platí $L_3 \subset L_2 \subset L_1 \subset L_0$.
- Základnú definíciu gramatiky možno modifikovať, so snahou usmerniť generatívnu schopnosť gramatiky.
- Stochastická gramatika je usporiadaná päťica $G = (V_N, V_T, P, S, D)$, kde D je rozloženie pravdepodobnosti jednotlivých pravidiel (každé pravidlo má číslo z intervalu $\langle 0,1 \rangle$, ktoré vyjadruje pravdepodobnosť jeho použitia). Ku každému

vygenerovanému slovu potom stochastická gramatika priradí pravdepodobnosť jeho vygenerovania, ako súčin pravdepodobnosti použitých pravidiel.

- Podobne sa dajú jazyky vyjadrovať pomocou automatov (konečných, deterministických alebo nedeterministických, zásobníkových), ktoré zodpovedajú príslušným triedam gramatík. Gramatiky sa dajú prevádzať na automaty a naopak. To ale presahuje rámec tejto prednášky.

Syntaktická analýza

- Proces syntaktickej analýzy je vo všeobecnosti nedeterministický a nejednoznačný. Pri analýze zhora nadol (a podobne naopak) sa vyskytujú nasledovné problémy:
 - a) jednému stromu odvodenia môže zodpovedať viacero spôsobov odvodenia s použitím pravidiel gramatiky. To sa rieši cez ľavé odvodenie, kde sa prepisuje vždy najľavejší neterminálny symbol.
 - b) aj pri ľavom odvodení existuje viacero pravidiel s rovnakou ľavou stranou, problém je, ktoré z nich vybrať – rieši sa to buď náhodným výberom alebo na základe informácie o doterajšom priebehu syntaktickej analýzy.
 - c) ďalším problémom u bezkontextových je tzv. viacznačnosť gramatiky – generuje aspoň jedno viacznačné slovo, také, pre ktoré existuje viacero stromov odvodenia.

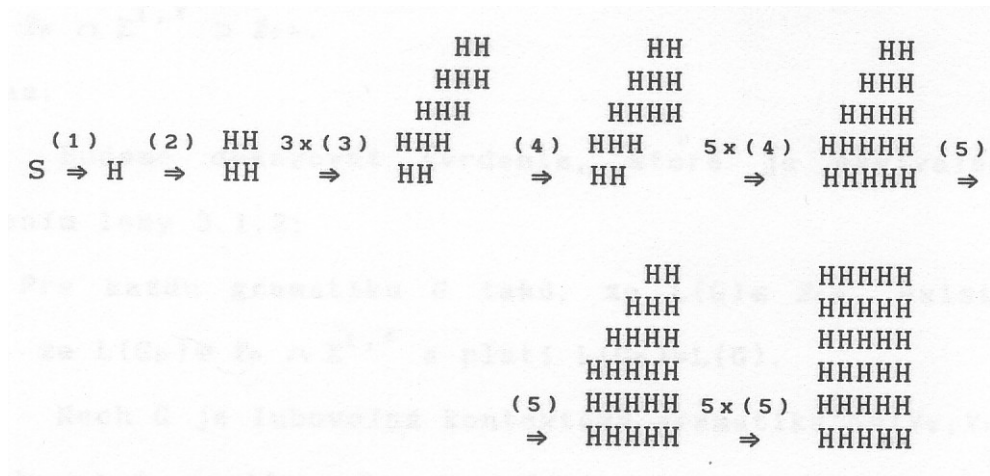
Inferencia

- Inferencia je odvodenie vhodnej gramatiky na základe trénovacej množiny štruktúrnych popisov. To tiež nie je jednoznačná úloha a boli pri nej dosiahnuté iba skromné výsledky. Všeobecný postup inferencie neexistuje. Existujú iba metódy inferencie pre najjednoduchšie regulárne a bezkontextové gramatiky.
- Jazyk generovaný inferovanou gramatikou je obvykle (omnoho) mohutnejší ako trénovacia množina – čo je do istej miery žiaduce, ale ak je príliš mohutný, snažíme sa generatívnu silu gramatiky obmedziť.
- Gramatiku G_1 označíme za všeobecnejšiu ako G_2 , ak platí $L(G_1) \supset L(G_2)$. Potom najšpeciálnejšia gramatika bude generovať iba trénovaciu množinu slov, najvšeobecnejšia všetky slová nad danou abecedou. Niekde medzitým je hľadaná gramatika. Všeobecnejšiu gramatiku z danej gramatiky vytvoríme tým, že nahradíme dva neterminálne symboly A, B jedným neterminálnym symbolom C . Špeciálnejšiu gramatiku vytvoríme tým, že zvolený neterminálny symbol A nahradíme v niektorých prepisovacích pravidlách neterminálnym symbolom B a v niektorých neterminálnym symbolom C .
- Ak do procesu inferencie zapojíme človeka, ten dokáže rozhodnúť, či slovo vygenerované všeobecnejšou gramatikou patrí do jazyka alebo nie, podľa toho postupujeme smerom k všeobecnejšej gramatike alebo k špeciálnejšej. Tak sa na základe príkladov a protipríkladov obmedzujú gramatiky, ktoré pripadajú do úvahy.

Použitie gramatík v úlohách rozpoznávania

- Pri štruktúrnom rozpoznávaní uvažujeme o množine ideálnych, nezašumených etalónov, a z nich odvodených gramatík etalónov. Potom sa hľadá etalón, ktorý je k danému reálnemu popisu najbližší. To sa dá previesť na exaktnú syntaktickú analýzu cez tzv. rozširujúcu gramatiku, ktorá okrem etalónov obsahuje aj prípustné deformácie slov.
- Snaha o obmedzenie nadmernej generatívnej sily gramatík viedla ku špeciálnym typom gramatík:
 - a) stochastické gramatiky
 - b) programové gramatiky
 - c) atribútové gramatiky – pomocou príkazov v pravidlách sa menia parametre použitia iných pravidiel dynamicky počas odvodzovania alebo syntaktickej analýzy
- Snaha o skrátenie časovej náročnosti syntaktickej analýzy viedla k tomu, že sa bezkontextové gramatiky často aproximujú regulárnymi gramatikami. Stochastické gramatiky umožňujú urýchliť analýzu tým, že vylúčia málo pravdepodobné reťazce. Proces syntaktickej analýzy sa dá urýchliť aj heuristickým prehľadávaním stavového priestoru (namiesto slepého prehľadávania do hĺbky s návratom) s využitím ohodnocujúcich funkcií.
- Niekedy sa používajú na efektívnejšiu reprezentáciu viacrozmerné gramatiky. Namiesto dvoch susedov v reťazci symbolov sa predpokladá n susedov. Špeciálnym prípadom je gramatika polí, v ktorej ľavé aj pravé strany pravidiel obsahujú plošnú informáciu. Ukážka takej gramatiky a jednoduchého odvodenia je na obr.

(1)	$S^1 \rightarrow H$
(2)	$\begin{matrix} bb & HH \\ Hb & \rightarrow HH \end{matrix}$
(3)	$\begin{matrix} bbb & bHH \\ HHb & \rightarrow HHH \\ HHb & HHb \end{matrix}$
(4)	$\begin{matrix} HH & HH \\ Hb & \rightarrow HH \end{matrix}$
(5)	$\begin{matrix} bH & HH \\ HH & \rightarrow HH \end{matrix}$



- podobne sú definované tzv. pavučinové gramatiky, grafové gramatiky či stromové gramatiky
- čistá syntaktická analýza s čistými nezašumenými etalónmi sa v praxi nevyskytuje, skôr sa používajú hybridné metódy, t.j. kombinácia štruktúrálnych a príznakových metód.