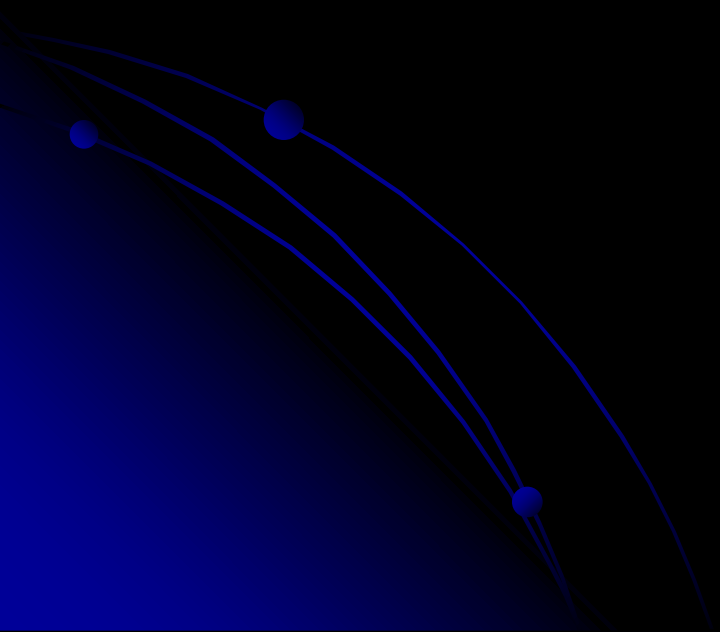
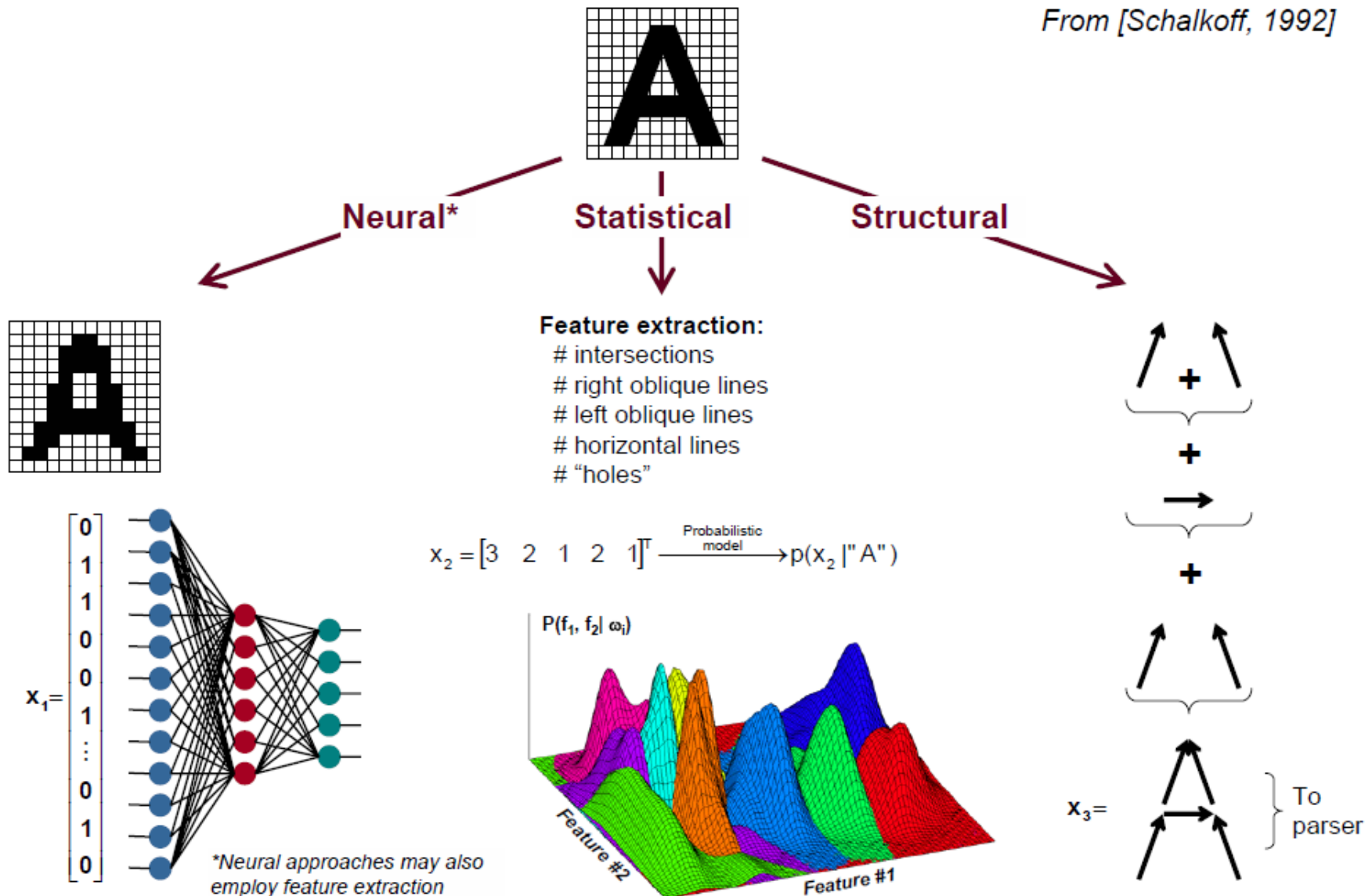


Štruktúrálné (syntaktické) rozpoznávanie



Example: neural, statistical and structural OCR

From [Schalkoff, 1992]



syntaktické metódy

pracujú s relačnými štruktúrami, ktoré sa skladajú

z prvkov nosiča relačnej štruktúry

zodpovedajú primitívam ako ďalej
nedeliteľným častiam obrazu

z relácií, ktoré sú nad nimi definované

n-árne relácie, ale *n*-árnu reláciu možno bez
straty informácie previesť na relačnú
štruktúru s nanajvýš binárnymi reláciami

relačné štruktúry

možno znázorniť pomocou grafov

prvky nosiča - vrcholy grafu

prvky binárnych symetrických relácií - neorientované hrany

prvky binárnych nesymetrických relácií - orientované hrany

prvky unárnych relácií - mená a vlastnosti prvkov nosiča

unárne relácie

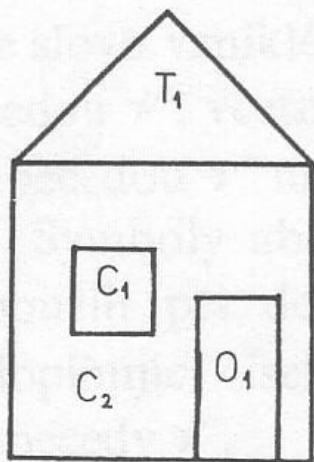
určujúce - vyjadrujú definičné vlastnosti primitíva

doplnkové - popisujú primitívum detailnejšie

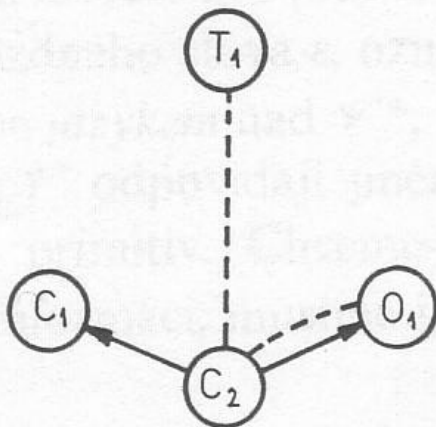
primitíva - elementárne geometrické útvary

relácie medzi nimi: DOTÝKA SA a VOVNÚTRI

$$\textcircled{M} \equiv \{T_1, O_1, C_1, C_2\}$$



a)



b)

Nosič:

$\{T_1, O_1, C_1, C_2\}$

Unárne relácie:

T .. byť trojuholník

C .. byť štvorec

O .. byť obdĺžnik

Binárne relácie:

T --- C .. T sa dotýka C

C --> O .. O je vovnútri C

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

štruktúrálňy popis časových priebehov

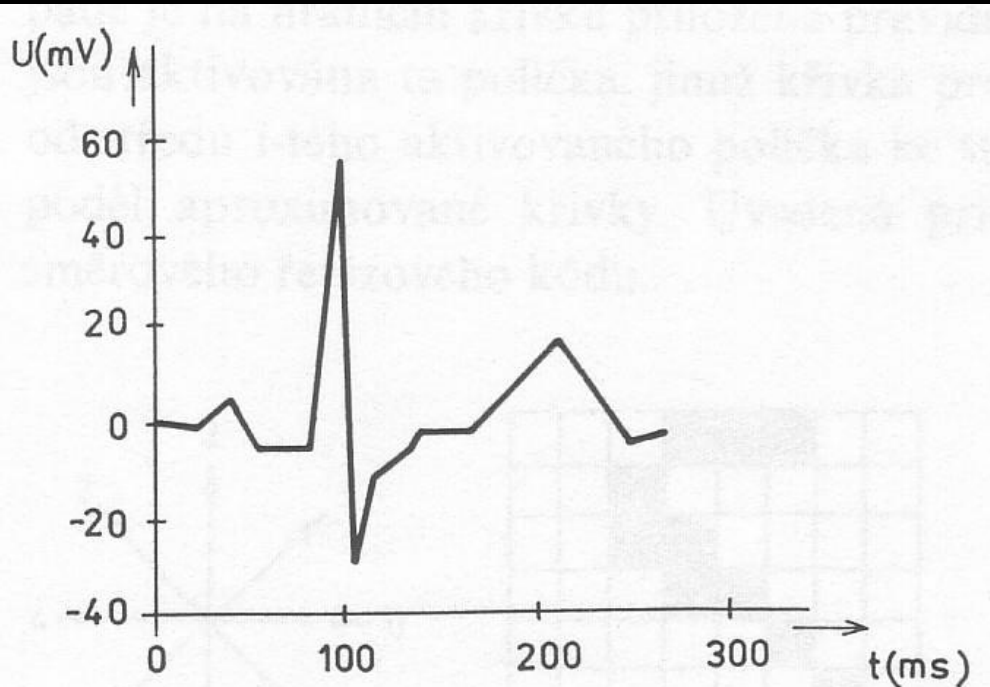
relácia - zreťazenie, vyjadrujúce bezprostrednú časovú
následnosť

ekvidištantné rozdelenie signálu na úseky rovnakej časovej
dĺžky

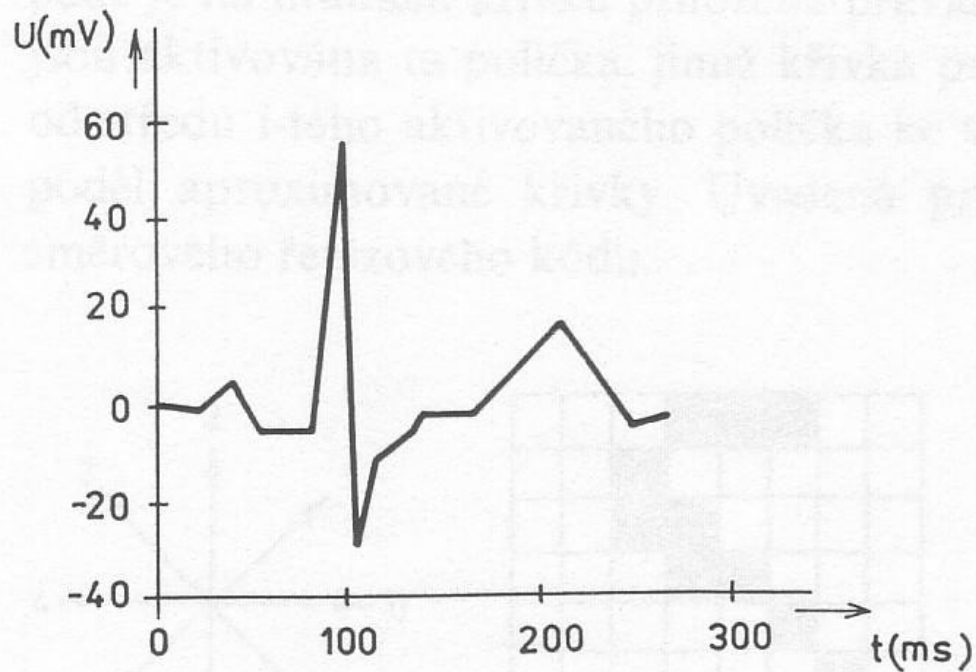
každý úsek - symbol abecedy (signál v danom úseku tvorí
primitívum)

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 $0 / \backslash 0 / \backslash / 00 / \backslash 0$.



$/$ znamená sklon
úseku väčší ako
zvolený prah
 $\backslash$ sklon menší ako
záporná hodnota
prahu
 0 úsek so sklonom v
intervale medzi nimi



tvarový reťazec

+ sémantický reťazec
symbolov, ktorý zachytáva
absolútnu hodnotu signálu
na začiatku jednotlivých
úsekov

A, ak úroveň signálu je väčšia ako zvolený prah

- ak je menšia ako záporná hodnota prahu

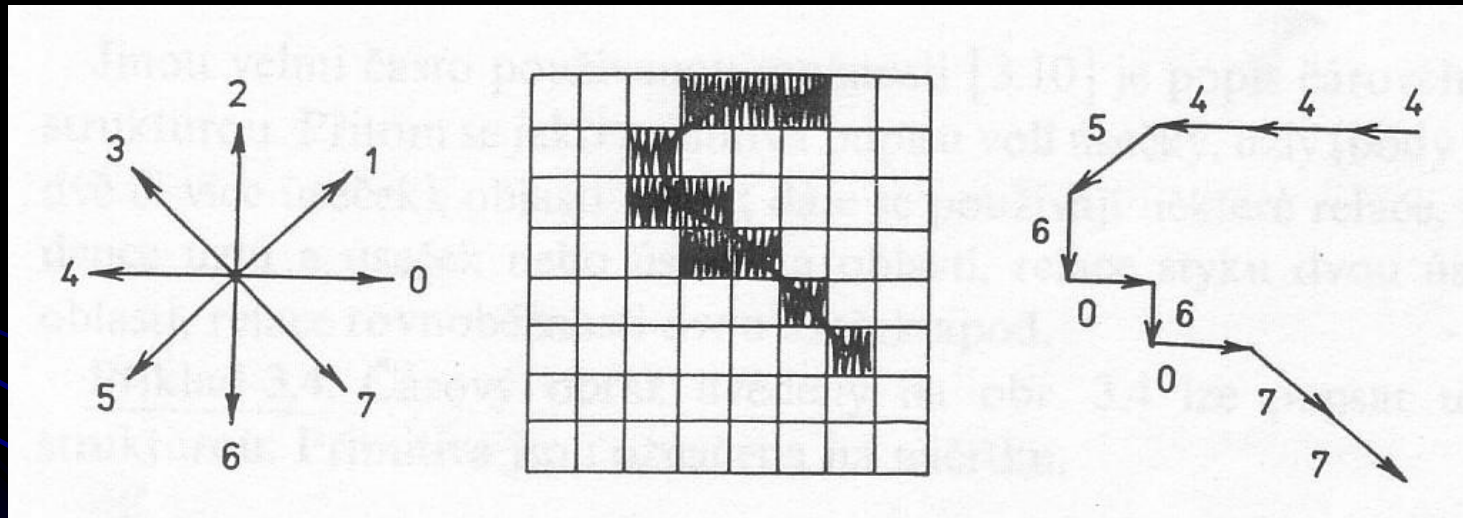
0 ak je v intervale medzi nimi

sémantický reťazec pre priebeh EKG ako na obrázku

000000A-000A0

štruktúrálny popis dvojrozmerných útvarov

ekvidištantná metóda popisu uzavretých čiarových obrazov (pomocou hranice útvaru) s využitím reťazcových kódov.

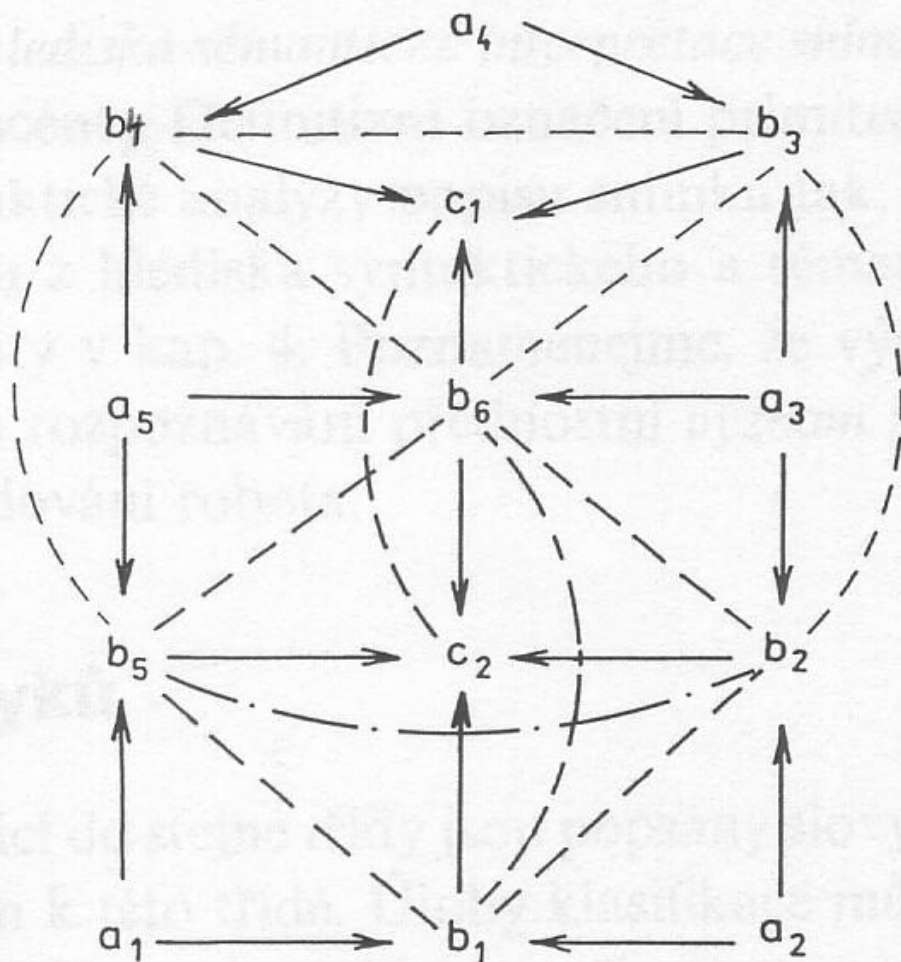
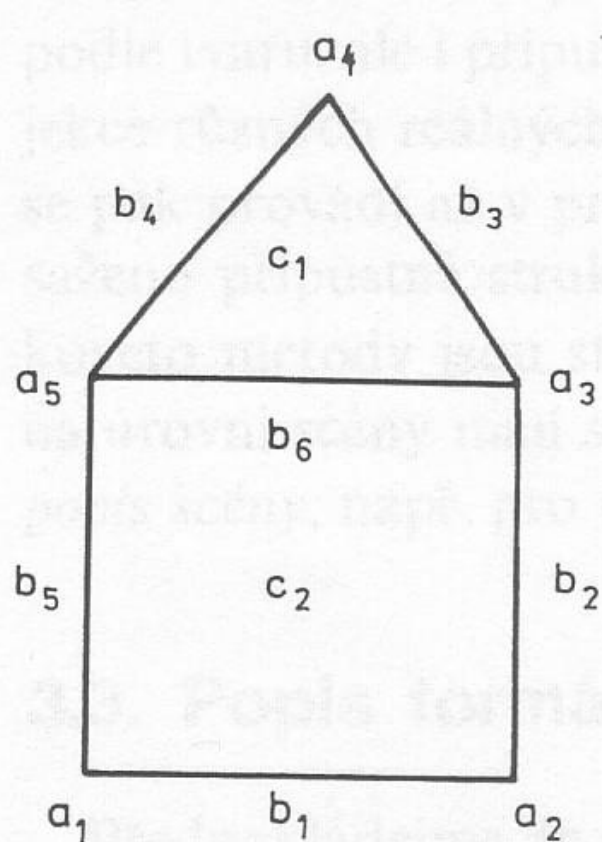


Namiesto reťazcového kódu môžeme používať diferenčný kód, t.j. iba zmenu smeru oproti predchádzajúcemu úseku. Takýto popis zachytáva tvar krivky, a je invariantný voči natočeniu.

popis čiarového obrazu relačnou štruktúrou

primitíva - úsečky, uzly (ako body v ktorých sa dotýkajú dve a viaceré úsečky), oblasti apod.

relácie - incidencia uzlov a úsečiek, alebo uzlov a oblastí, styk dvoch úsečiek, alebo dvoch oblastí, rovnobežnosť dvoch úsečiek apod.



Použité relace :

$b_1 \longrightarrow a_1$

...

b_1 inciduje s a_1

$b_5 \text{ --- } b_6$

...

b_5 a b_6 se stýkají

$b_5 \text{ ---} \cdot \text{ --- } b_2$

...

b_5 a b_2 jsou rovnoběžné

Obr. 3.4. Příklad popisu čárového obrazu relační strukturou.

štruktúrálňy popis scény

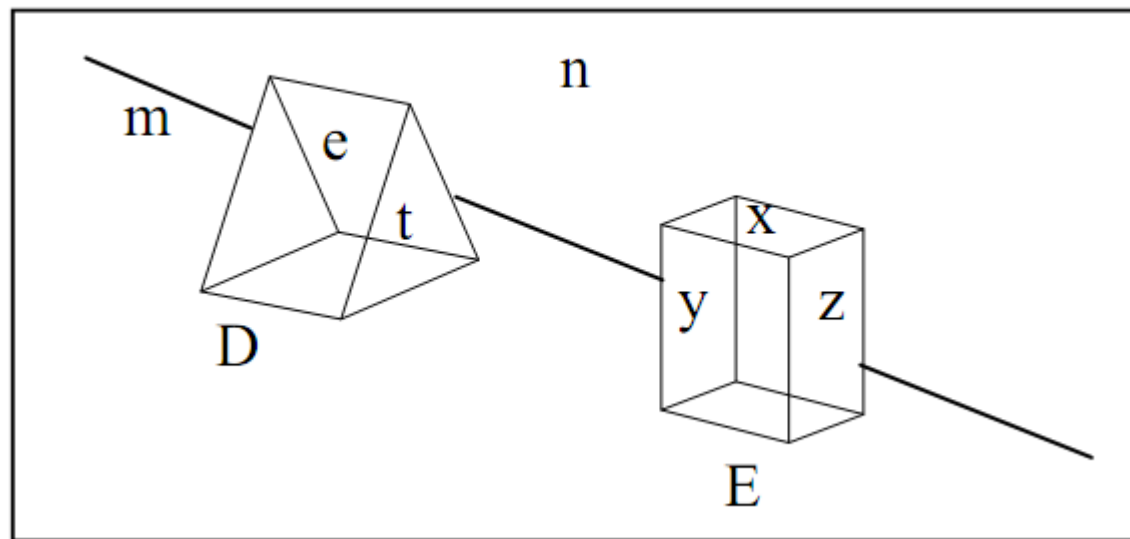
vychádzame z 2D obrazov, ktoré vzniknú
zobrazením scény

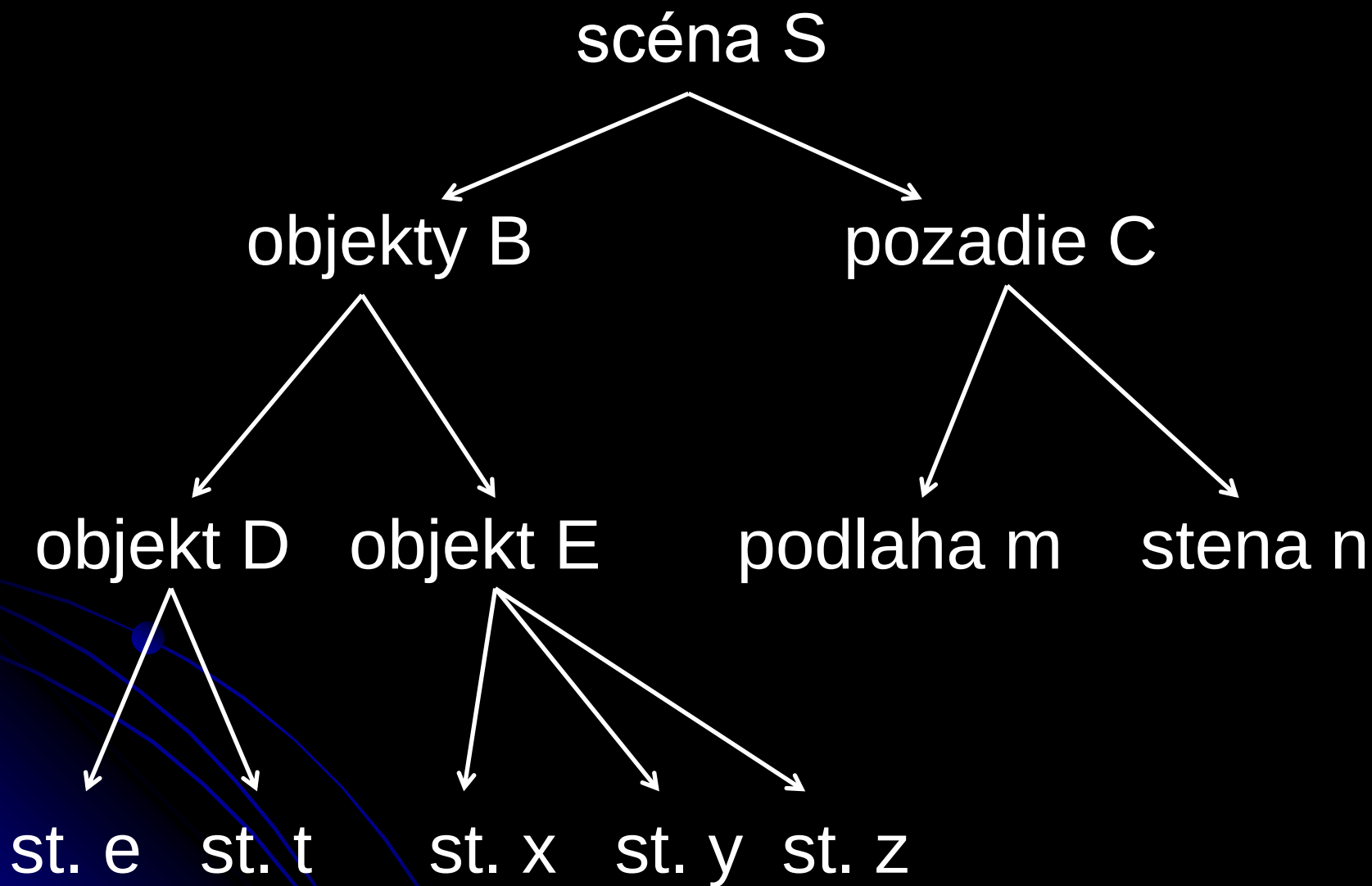
množina 2D útvarov, ktoré možno popísať čiarovými
obrazmi

- primitíva - jednotlivé typy objektov (kocka, ihlan,
trojboký hranol)

- relácie označujú vzájomnú polohu objektov apod.

scéna S





teória jazykov

abeceda

konečná neprázdna množina symbolov V

slovo nad touto abecedou

konečná postupnosť α prvkov abecedy

prázdne slovo

ε - neobsahuje žiadny symbol

ak α, β sú slová, potom $\gamma = \alpha\beta$ je slovo, ktoré vzniklo ich zret'azením

množina všetkých slov nad abecedou V - V^*

množina L niektorých slov nad abecedou V - jazyk nad V^* , pričom $L \subset V^*$

Rozpoznávanie

objekty patriace do jednej triedy - popísané slovami nad nejakou abecedou (jazykom príslušným k tejto triede)

klasifikácia - rozhodnutie, či slovo popisujúce neznámy objekt patrí alebo nepatrí do jazyka niektorej z tried

Jazyky - konečné a nekonečné.

- konečné - porovnávanie skončí, keď sa nájde zhoda, alebo sa vyčerpali všetky slová jazyky

nekonečné – vyžívame formalizmus zápisu, a to gramatiky alebo automaty

gramatiky

$G = (V_T, V_N, S, P)$

$V_T \dots$ a finite set of terminal symbols

$V_N \dots$ a finite set of nonterminal symbols, $V_T \cup V_N = \emptyset$

$S \dots$ a start symbol $\in V_N$

$P \dots$ a finite set of production rules

$(V_T \cup V_N)^* V_N (V_T \cup V_N)^* \rightarrow (V_T \cup V_N)^*$

Množinu všetkých reťazcov generovaných gramatikou G a tvorených len terminálnymi symbolmi nazývame jazyk generovaný gramatikou G a označujeme ho $L(G)$.

- alphabet $A = \{a, b\}$,
- the start symbol is S
- production rules:
 1. $S \rightarrow aSb$
 2. $S \rightarrow ba$
- $S \Rightarrow aSb \Rightarrow aaSbb \Rightarrow aababb$.
- The language of the grammar is the set of all the strings that can be generated using this process: $\{ba, abab, aababb, aaababbb, \dots\} = \{a^n bab^n | n = 1, 2, \dots\}$.

Chomského hierarchia jazykov

gramatiky typu 0 – žiadne obmedzenia na prepisovacie pravidlá

gramatiky typu 1 – kontextové pravidlá sú typu $uXw \rightarrow uxw$

gramatiky typu 2 – bezkontextové pravidlá sú typu $X \rightarrow w$

gramatiky typu 3 – regulárne pravidlá sú typu $X \rightarrow w$ alebo $X \rightarrow wY$

• Potom platí $L_3 \subset L_2 \subset L_1 \subset L_0$

Typ gramatiky	Pravidlá tvaru $\alpha \rightarrow \beta$
0 frázová	$\alpha \in (N \cup T)^* N (N \cup T)^*, \beta \in (N \cup T)^*$
1 kontextová	$ \alpha \leq \beta $
2 bezkontextová	$\alpha \in N, \beta \in (N \cup T)^+$
3 regulárna	$\alpha \in N, \beta \in T^+ N$ alebo $\beta \in T^+$

$N = \{S, A, B\}$, začiatočný neterminál je S

$T = \{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9\}$

P sa skladá z pravidiel:

$S \rightarrow SB$ $S \rightarrow A$

$A \rightarrow 1$ $A \rightarrow 2$

$A \rightarrow 3$ $A \rightarrow 4$

$A \rightarrow 5$ $A \rightarrow 6$

$A \rightarrow 8$ $A \rightarrow 7$

$A \rightarrow 9$

$B \rightarrow 0$ $B \rightarrow A$

$S \rightarrow SB|A$

$A \rightarrow 1|2|3|4|5|6|7|8|9$

$B \rightarrow 0|A$

$S \Rightarrow SB \Rightarrow SSB \Rightarrow ABB \Rightarrow 1BB \Rightarrow 1AB \Rightarrow 12B \Rightarrow 120$

$N = \{S, A\}$, začiatočný neterminál je S

$T = \{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9\}$

P sa skladá z pravidiel:

$S \rightarrow 1|2|3|4|5|6|7|8|9$

$S \rightarrow 1A|2A|3A|4A|5A|6A|7A|8A|9A$

$A \rightarrow 1|2|3|4|5|6|7|8|9|0$

$A \rightarrow 1A|2A|3A|4A|5A|6A|7A|8A|9A|0A$

Stochastická gramatika

rozloženie pravdepodobnosti jednotlivých pravidiel

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

$$S \xrightarrow{1} aA$$

$$A \xrightarrow{0.7} bB$$

$$A \xrightarrow{0.3} a$$

$$B \xrightarrow{0.4} b$$

$$B \xrightarrow{0.6} aS$$

$$S \Rightarrow aA \Rightarrow abB \Rightarrow abaS \Rightarrow abaaA \Rightarrow abaabB \Rightarrow abaabb$$

$$p(abaabb) = 1 \cdot 0,7 \cdot 0,6 \cdot 1 \cdot 0,7 \cdot 0,4 = 0,1176$$

Inferencia

odvodenie vhodnej gramatiky na základe
trénovacej množiny štrukturálnych popisov

nie je to jednoznačná úloha a boli pri nej
dosiahnuté iba skromné výsledky

- všeobecný postup inferencie neexistuje
- existujú iba metódy inferencie pre
najjednoduchšie regulárne a bezkontextové
gramatiky

vstup: $T = \{x_1, \dots, x_t\}$

výstup: regulárna gramatika $G = (V_N, V_T, S, P)$

Krok 1

nájsť všetky terminály v $T \rightarrow$ vytvoriť V_T

Krok 2

pre každý vzor $x_i = a_{i1} \dots a_{in}$ ($x_i \in T$) vytvoriť pravidlá

$$S \rightarrow a_{i1} Z_{i1}$$

$$Z_{i1} \rightarrow a_{i2} Z_{i2}$$

.....

$$Z_{i,n-2} \rightarrow a_{i,n-1} Z_{i,n-1}$$

$$Z_{i,n-1} \rightarrow a_{in}$$

každé Z_{ij} predstavuje nový neterminál

príklad

regulárna gramatika G^* neznáma

$G^* = (\{S, A, B, C\}, \{a, b\}, S, P)$

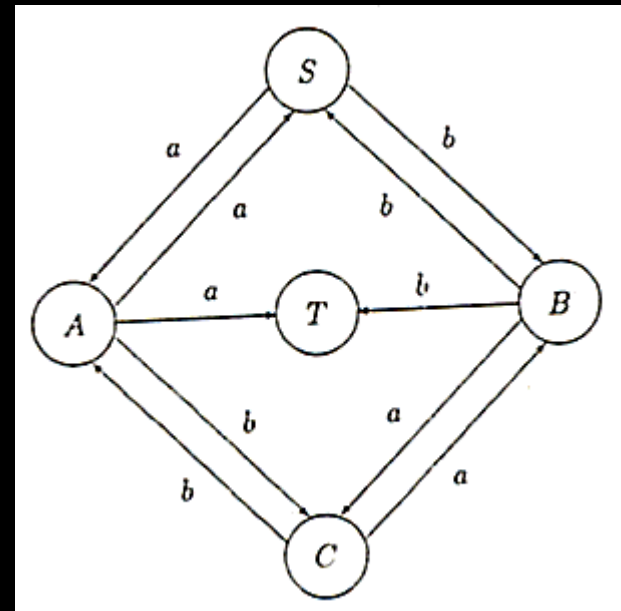
$S \rightarrow aA \mid bB$

$A \rightarrow a \mid aS \mid bC$

$B \rightarrow b \mid bS \mid aC$

$C \rightarrow aB \mid bA$

konečný automat tejto gramatiky G^*



trénovacia množina

$T = \{abab, bbaa, baba, aabb\}$

Odvozená gramatika

$$V_T = \{a, b\}$$

$$V_N = \{S, Z_1, Z_2, Z_3, Z_4, Z_5, Z_6, Z_7, Z_8, Z_9, Z_{10}, Z_{11}, Z_{12}\}$$

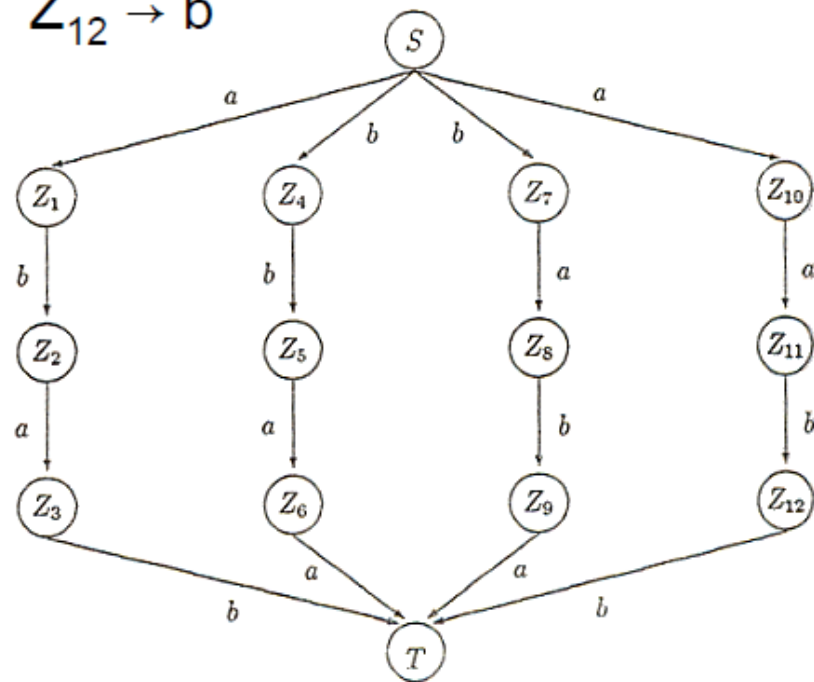
$S \rightarrow aZ_1$
$S \rightarrow bZ_4$
$S \rightarrow bZ_7$
$S \rightarrow aZ_{10}$

$Z_1 \rightarrow bZ_2$
$Z_4 \rightarrow bZ_5$
$Z_7 \rightarrow aZ_8$
$Z_{10} \rightarrow aZ_{11}$

$Z_2 \rightarrow aZ_3$
$Z_5 \rightarrow aZ_6$
$Z_8 \rightarrow bZ_9$
$Z_{11} \rightarrow bZ_{12}$

$Z_3 \rightarrow b$
$Z_6 \rightarrow a$
$Z_9 \rightarrow a$
$Z_{12} \rightarrow b$

trénovacia množina
 $T = \{abab, bbaa, baba, aabb\}$



Porovnanie

$L(G^*)$ – nekonečný jazyk

$L(G)$ – konečný jazyk

$$L(G) = T \subseteq L(G^*)$$

veľké množstvo neterminálov – niektoré neterminály sú ekvivalentné

- skupiny vzájomne ekvivalentných neterminálov nahradiť jedným

generuje len reťazce z T a žiadne iné (gramatika nevie zovšeobecňovať)

Použitie gramatík v úlohách rozpoznávania

Úlohou klasifikátora je rozhodnúť sa, že do ktorého gramatikou generovaného jazyka patrí skúmané slovo.

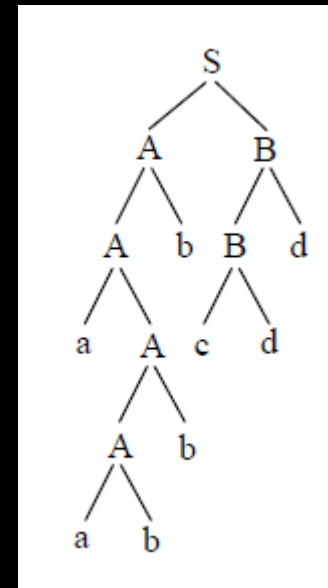
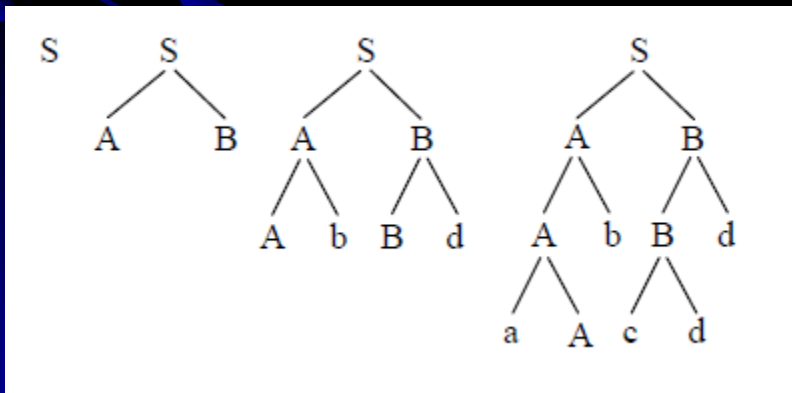
Ako prvý krok môže klasifikátor overiť, či slovo je nad abecedou terminálnych slov gramatiky.

Týmto spôsobom môžeme redukovať počet gramatík, ktoré treba otestovať.

Na zistenie príslušnosti slova do jazyka máme nasledujúce možnosti:

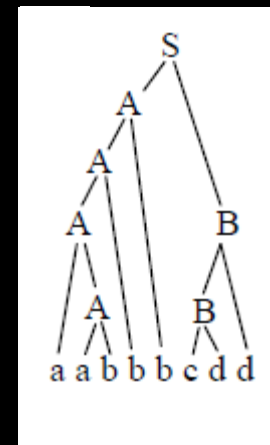
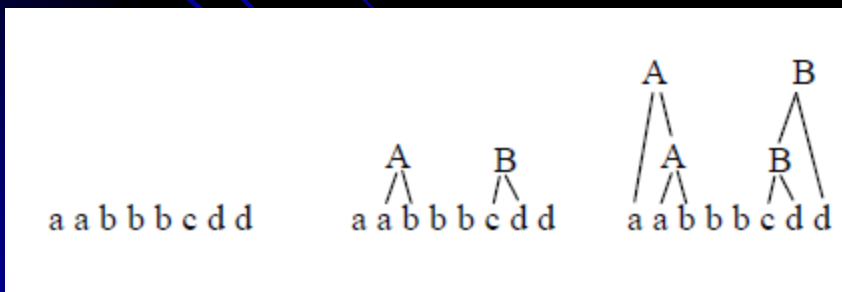
Výpočty zhora nadol

tieto metódy sa snažia odvodiť slovo od počiatočného symbolu až k terminálnemu slovu pomocou pravidiel gramatiky. Prehľadávajú strom odvodenia od koreňa až po listy.



Výpočty zdola nahor

tieto metódy sa snažia spätnou substitúciou odvodzovacích pravidiel určiť či slovo patrí do jazyka. V slove sa hľadajú časti, ktoré tvoria pravú stranu nejakého pravidla, ktoré sa nahradia ľavou stranou. Cieľom je dosiahnuť počiatočný symbol.



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).

heuristiky

Obmedzíme voľbu pravidiel podľa :

Dĺžky reťazca – ak dosiahneme dĺžku reťazca skončíme, lebo z každého neterminálu vznikne aspoň jeden terminál

Výskytu terminálneho symbolu – pravidlo, ktoré obsahuje terminál, ktorý nie je v analyzovanom reťazci zamietneme

Ľavých krajných terminálnych symbolov všetkých reťazcov, ktoré možno z daného neterminálneho symbolu odvodiť

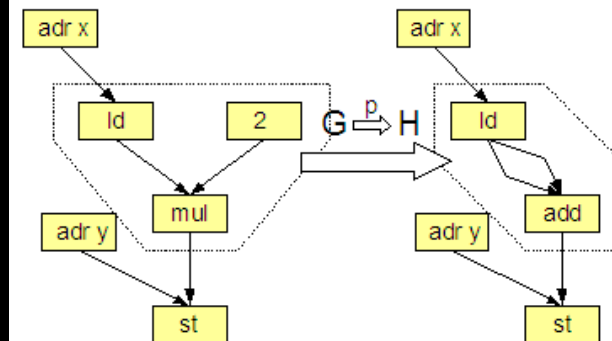
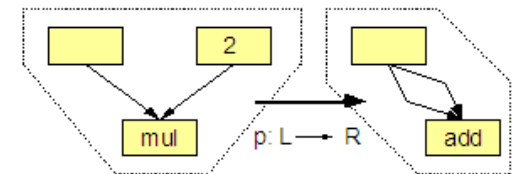
Niekedy sa používajú na efektívnejšiu reprezentáciu viacrozmerné gramatiky. Namiesto dvoch susedov v reťazci symbolov sa predpokladá n susedov.

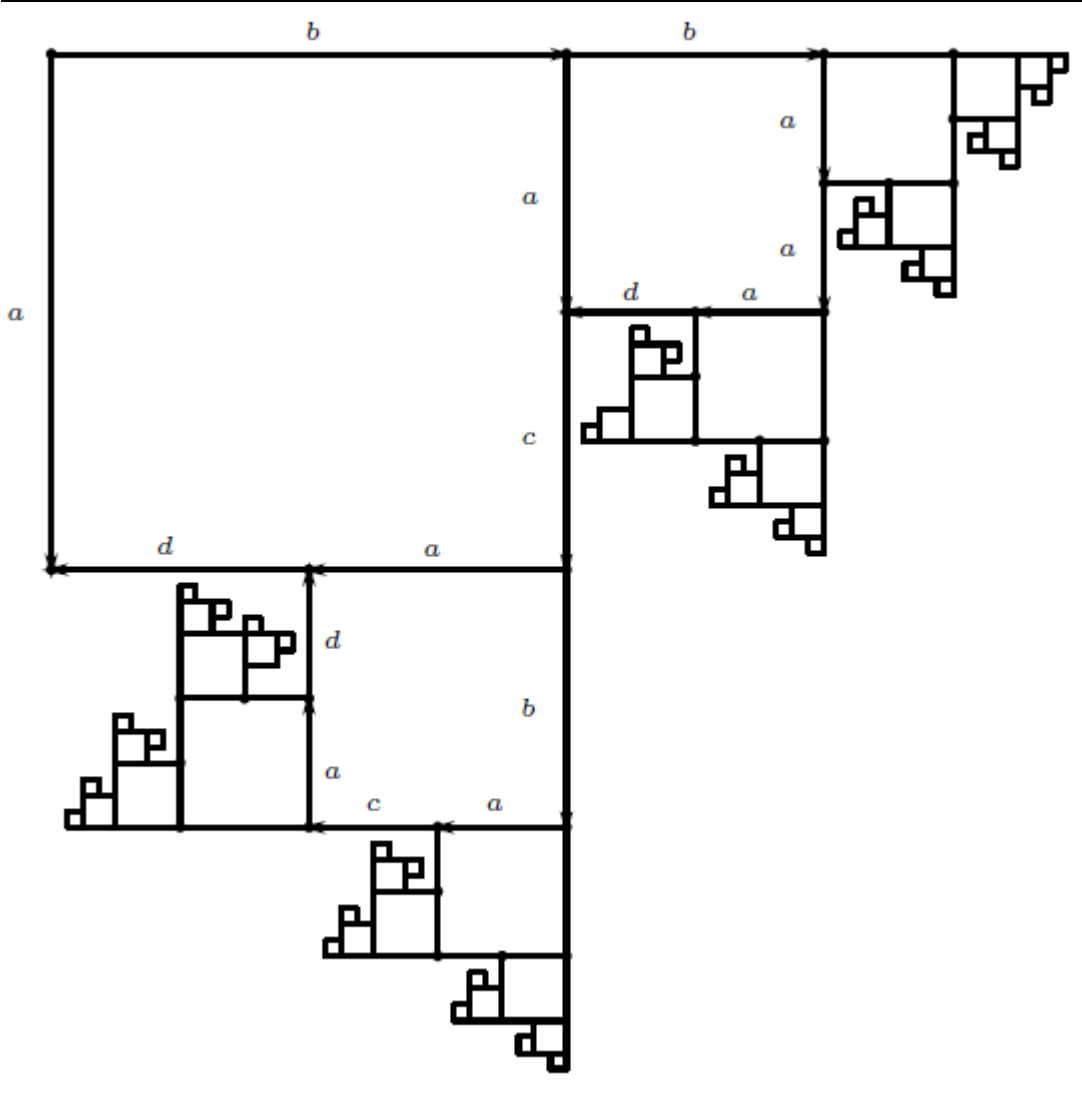
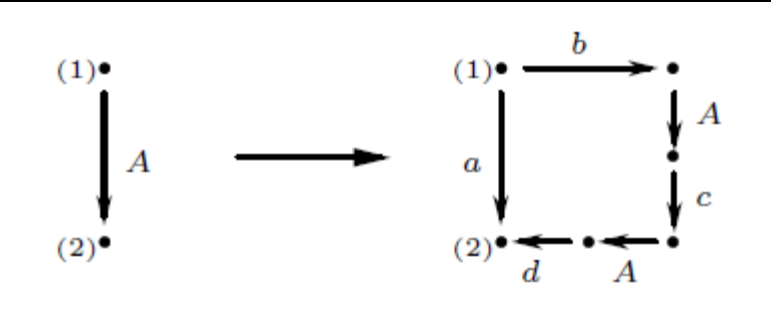
$$\begin{array}{ll}
 (1) & S^1 \rightarrow H \\
 (2) & \begin{array}{l} bb \rightarrow HH \\ Hb \rightarrow HH \end{array} \\
 (3) & \begin{array}{l} bbb \rightarrow bHH \\ HHb \rightarrow HHH \\ HHb \rightarrow HHb \end{array} \\
 (4) & \begin{array}{l} HH \rightarrow HH \\ Hb \rightarrow HH \end{array}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

Špeciálnym prípadom je gramatika polí, v ktorej ľavé aj pravé strany pravidiel obsahujú plošnú informáciu.

grafové gramatiky

- formal grammar $G = (V_T, V_N, S, P)$ with
- $V_T \dots$ a finite set of (attributed) vertices
- $V_N \dots$ non-terminals
- $S \dots$ start symbol
- $P \dots$ production rules $L \mapsto R$ where
 - L is a subgraph
 - which is replaced by subgraph R in the production.





Syntaktické deformácie

poruchy, šum, nepresnosti

deformácie v štruktúre rozpoznávaných
obrazcov

Hľadáme obrazce najviac podobné
skúmanému

Metrika podobnosti: napr. Levenshteinova
vzdialenosť (počet transformácií potrebných
na zmenu reťazca A na B)

Ked' v slove LÁSKA zmeníme 4 písmená
a jedno uberieme, dostaneme slovo
PIVO, čo isto stojí za povšimnutie.

Ale pozor!

Ked' v slove LÁSKA zmeníme 3 písmená,
vznikne slovo VODKA. To už nemôže byť
náhoda!

Syntaktická analýza s opravou chýb

rozšírenie pôvodnej gramatiky o deformačné pravidlá

Vstup

gramatika G , deformovaný vzory
(vloženie/vypustenie/zámena symbolu)

Výstup

$x \in L(G)$ kde $\text{edit}(x,y) = \min \{ \text{edit}(z,y), z \in L(G) \}$

Krok 1

$$G \rightarrow G'$$

G' generuje $L(G)$ + deformované reťazce

Krok 2

syntaktický analyzátor pracuje s G'

hľadanie odvodenia deformovaného vzoru y s
najmenším počtom deformačných pravidiel

Krok 3

x získame z odvodenia y vypustením
deformačných pravidiel

Krok 1

$$V'_N = V_N \cup \{S'\} \cup \{E_b \text{ pre } b \in V_T\}$$

$$V'_T = V_T$$

Krok 2

ak je v P pravidlo $A \rightarrow \alpha_0 b_1 \alpha_1 \dots b_m \alpha_m \Rightarrow$

pridaj do P' pravidlo $A \rightarrow \alpha_0 E_{b_1} \alpha_1 \dots E_{b_m} \alpha_m, \alpha_i \in V_N^*, b_i \in V_T$

Krok 3

do P' pridaj nové pravidlá

$$S' \rightarrow S$$

$$(D) S' \rightarrow Sa \quad \text{pre } a \in V_T$$

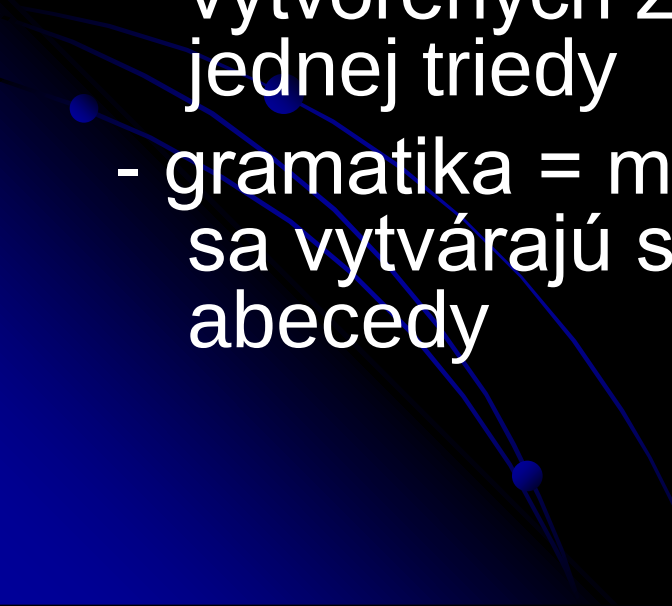
$$E_a \rightarrow a \quad \text{pre } a \in V_T$$

$$(D) E_a \rightarrow b \quad \text{pre } a \in V_T, b \in V_T, b \neq a$$

$$(D) E_a \rightarrow \lambda \quad \text{pre } a \in V_T$$

$$(D) E_a \rightarrow bE_a \quad \text{pre } a \in V_T, b \in V_T$$

Zhrnutie

- charakteristický je kvalitatívny popis objektov
- primitíva = elementárne vlastnosti syntakticky popísaných objektov
 - abeceda = množina všetkých primitív
 - popisný jazyk = množina všetkých slov vytvorených z abecedy, ktoré opisujú objekt z jednej triedy
 - gramatika = množina pravidiel, podľa ktorých sa vytvárajú slová nejakého jazyka z prvkov abecedy
- 

Syntaktické rozpoznávanie obrazcov pozostáva z nasledovných krokov:

- definuj primitíva a vzťahy medzi nimi
- zostroj gramatiku pre každú triedu objektov
- pre každý objekt vytiahni primitíva a rozpoznaj ich a vzťahy medzi nimi
- a zostroj slovo reprezentujúce objekt
- na základe syntaktickej analýzy zarad' predmet do tej triedy, ktorej gramatika ho generuje

vytvorenie gramatiky si obyčajne vyžaduje výraznú ľudskú interakciu

automatický proces vytvárania gramatiky na základe príkladov sa nazýva inferencia gramatiky (treba predpokladať pozitívne aj negatívne príklady)

- rozhodnutie, či neznáme slovo môže alebo nemôže byť generované danou gramatikou sa robí syntaktickou analýzou (buď zhora nadol alebo opačne)