部分構造の分布情報に基づいた弱文脈依存文法の学習

吉仲　亮

科学技術振興機構　ERATO湊離散構造処理系プロジェクト

文　法　推　論

・形式言語のアルゴリズム的学習
・母語獲得メカニズムの数理モデル化
・自然言語処理，生物情報 etc...
・豊かな言語族を合理的な枠組みで効率的に学習
・例からの学習，質問による学習，確率的学習 ...

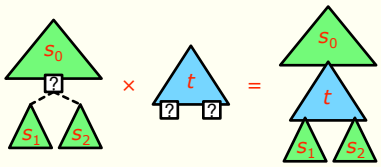
部分構造の分布情報に基づく学習

・文を，部分文字列と文脈（接頭辞と接尾辞の対）の合成として捉え，その関係に注目する
・ $(u, v) \times w = uwv \in L$?

可代入文脈自由言語

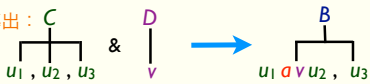
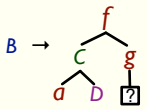
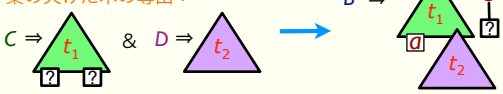
・Clark & Eyraud (2007)

$$u_1w_1v_1,\ u_1w_2v_1,\ u_2w_1v_2 \in L \Rightarrow u_2w_2v_2 \in L$$

言語族	注目する部分構造と文脈構造
右線形文法	$u \times v = uv$
文脈自由文法	$(u,v) \times w = uwv$
多重文脈自由文法	$(u_0, u_1, u_2) \times (v_1, v_2) = u_0v_1u_1v_2u_2$
単純文脈自由木文法	

弱文脈依存文法

・自然言語の表現に文脈自由文法はよく使われる
・文脈自由文法では表現しきれない自然言語現象
（例）スイスドイツ語の従属節における交差依存

・複雑な RNA 塩基対の構造表現 (シュードノット)
・**弱文脈依存文法**：
　・穏やかな文脈自由文法の拡張
　　ex. $\{ a^mb^nc^md^n \mid n,m > 0 \}$, $\{ ww \mid w \in \Sigma^* \}$
　・多項式時間解析可能
・多重文脈自由文法
　・各非終端記号は文字列の組を導出する
　・文法規則：$B \to \varphi(C,D)$ with $\varphi(\langle x_1,x_2,x_3\rangle, \langle y\rangle) = \langle x_1 y x_2, x_3\rangle$
　・文字列の組の導出： 
・単純文脈自由木文法
　・各非終端記号は葉の欠けた木を導出する
　・文法規則： 
　・葉の欠けた木の導出： 

例）多次元可代入多重文脈自由言語の学習

・p次元可代入性：

$$\boldsymbol{x}\times\boldsymbol{u},\ \boldsymbol{x}\times\boldsymbol{v},\ \boldsymbol{y}\times\boldsymbol{u} \in L \Rightarrow \boldsymbol{y}\times\boldsymbol{v} \in L$$

ただし，$\boldsymbol{u},\boldsymbol{v}$ は$m(\leq p)$個組文字列，$\boldsymbol{x},\boldsymbol{y}$ はm重文脈

・正例からの学習
＜アルゴリズム＞
・各正例 $w = u_0v_1u_1\ldots v_mu_m$ の部分多重語 $\boldsymbol{v} = (v_1,\ldots,v_m)$ でラベルづけされた非終端記号 $[\boldsymbol{v}]$ をつくる
・各非終端記号 $[\boldsymbol{u}],[\boldsymbol{v}_1],\ldots,[\boldsymbol{v}_m]$ について $\boldsymbol{u} = f(\boldsymbol{v}_1,\ldots,\boldsymbol{v}_m)$ ならば次の規則を持つ

$$[\boldsymbol{u}] \to f([\boldsymbol{v}_1],\ldots,[\boldsymbol{v}_m])$$

・$\boldsymbol{x}\times\boldsymbol{u}$, $\boldsymbol{x}\times\boldsymbol{v}$ がともに正例ならば次の規則を持つ

$$[\boldsymbol{u}] \to [\boldsymbol{v}]$$

・w が正例ならば次の規則を持つ

$$S \to [w]$$

（例）

$$L = \{a^m\#b^n\$c^m\#d^n \mid m,n \geq 0\}$$

は次の正例から学習可能

$$\{a\#\$c\#,\ a\#b\$c\#d,\ aa\#b\$cc\#d\}$$

成果

	言語族	正　例	所属性質問と等価性質問	正例と所属性質問
既存研究	文脈自由	可代入言語	合同性言語	有限核言語・有限文脈言語
新しい結果	多重文脈自由	多次元可代入言語	多次元合同性言語	多次元有限核言語
	単純文脈自由木	可代入木言語	合同性木言語	多次元有限核言語・多次元有限文脈言語

ZDD/SeqDDによる大規模データの処理

・Concept Lattice (Clark '09)
・言語 L, 文脈有限集合 C, 文字列有限集合 W
・飽和対 $(C',W') \subseteq (C,W)$：
　・ $(u,v) \in C'$ iff $(u,v)\times W \subseteq L$
　・ $w \in W'$ iff $C' \times w \subseteq L$
・非終端記号を飽和対で特徴付ける
　→　語句分布情報による学習
・可能な飽和対の数は指数的
・飽和対の集合は疎
・seqBDD を利用した部分構造／文脈に関する計算
・ZDDによる文法表現