Recurrent Neural Network Grammers

Chris Dyer, Adhiguna Kuncoro, Miguel Ballesteros,
Noah A. Smith

導入

Recurrent Neural Network Grammers (RNNGs)

- 文の確率的生成モデル
  - 単語や句の入れ子的・階層的構造を陽に表現
- 問題：構文解析，文生成
- 動機：Sequential な Recurrent Neural Networks (RNNs) は自然言語の潜在的な入れ子構造を考慮できていない
- 構成要素
  - 構文解析または文生成のアルゴリズム
  - NN による生成モデル

提案手法

RNNG の形式的な定義

$$RNNG := (N, \Sigma, \Theta)$$

$$\begin{cases} N : \text{非終端記号の有限集合} \\ \Sigma : \text{終端記号の有限集合} (N \cup \Sigma = \emptyset) \\ \Theta : \text{NN のパラメータ} \end{cases}$$

提案手法

構文解析のアルゴリズム

$$f : X \to Y$$

$$\begin{cases} x : \text{終端記号（単語）の列（入力）} \\ y : \text{構文木（出力）} \\ S : \text{スタック} \\ B : \text{入力バッファ} \end{cases}$$

- スタックの要素：終端記号，open または closed な非終端記号
- 入力バッファの要素：終端記号
- 初期状態

$$S = \emptyset$$

$$B = [T_1, \ldots, T_n]$$

提案手法

構文解析のアルゴリズム

- 遷移の制約
  - n: スタック内の open な非終端記号の数

遷移	制約
NT(X)	$B \neq \emptyset \wedge n < 100$
SHIFT	$B \neq \emptyset \wedge n \geq 1$
REDUCE	スタック内の一番上の要素が open な非終端記号でない $\wedge (n \geq 2 \vee B = \emptyset)$

提案手法

構文解析のアルゴリズム

Stack$_t$	**Buffer**$_t$	**Open NTs**$_t$	**Action**	**Stack**$_{t+1}$	**Buffer**$_{t+1}$	**Open NTs**$_{t+1}$
S	B	n	NT(X)	$S \mid (\mathrm{X}$	B	$n+1$
S	$x \mid B$	n	SHIFT	$S \mid x$	B	n
$S \mid (\mathrm{X} \mid \tau_1 \mid \ldots \mid \tau_\ell$	B	n	REDUCE	$S \mid (\mathrm{X}\ \tau_1\ \ldots\ \tau_\ell)$	B	$n-1$

Input: *The hungry cat meows .*

	Stack	**Buffer**	**Action**
0		*The* | *hungry* | *cat* | *meows* | .	NT(S)
1	(S	*The* | *hungry* | *cat* | *meows* | .	NT(NP)
2	(S | (NP	*The* | *hungry* | *cat* | *meows* | .	SHIFT
3	(S | (NP | *The*	*hungry* | *cat* | *meows* | .	SHIFT
4	(S | (NP | *The* | *hungry*	*cat* | *meows* | .	SHIFT
5	(S | (NP | *The* | *hungry* | *cat*	*meows* | .	REDUCE
6	(S | (NP *The hungry cat*)	*meows* | .	NT(VP)
7	(S | (NP *The hungry cat*) | (VP	*meows* | .	SHIFT
8	(S | (NP *The hungry cat*) | (VP *meows*	.	REDUCE
9	(S | (NP *The hungry cat*) | (VP *meows*)	.	SHIFT
10	(S | (NP *The hungry cat*) | (VP *meows*) | .		REDUCE
11	(S (NP *The hungry cat*) (VP *meows*) .)		

提案手法

文生成のアルゴリズム

$$\begin{cases} y : \text{終端記号（単語）の列（出力）} \\ S : \text{スタック} \\ \mathbf{T:}\ \text{出力バッファ} \end{cases}$$

- スタックの要素：終端記号，open または closed な非終端記号
- 出力バッファの要素：終端記号
- 初期状態

$$S = \emptyset$$
$$T = \emptyset$$

提案手法

文生成のアルゴリズム

- 遷移の制約
  - n: スタック内の open な非終端記号の数

遷移	制約
GEN(X)	$n \geq 1$
REDUCE	スタック内の一番上の要素が open な非終端記号でない $\wedge\ n \geq 1$

提案手法

文生成のアルゴリズム

Stack$_t$	**Terms**$_t$	**Open NTs**$_t$	**Action**	**Stack**$_{t+1}$	**Terms**$_{t+1}$	**Open NTs**$_{t+1}$
S	T	n	NT(X)	$S \mid (\mathrm{X}$	T	$n+1$
S	T	n	GEN(x)	$S \mid x$	$T \mid x$	n
$S \mid (\mathrm{X} \mid \tau_1 \mid \ldots \mid \tau_\ell$	T	n	REDUCE	$S \mid (\mathrm{X}\ \tau_1\ \ldots\ \tau_\ell)$	T	$n-1$

	Stack	**Terminals**	**Action**
0			NT(S)
1	(S		NT(NP)
2	(S | (NP		GEN(*The*)
3	(S | (NP | *The*	*The*	GEN(*hungry*)
4	(S | (NP | *The* | *hungry*	*The* | *hungry*	GEN(*cat*)
5	(S | (NP | *The* | *hungry* | *cat*	*The* | *hungry* | *cat*	REDUCE
6	(S | (NP *The hungry cat*)	*The* | *hungry* | *cat*	NT(VP)
7	(S | (NP *The hungry cat*) | (VP	*The* | *hungry* | *cat*	GEN(*meows*)
8	(S | (NP *The hungry cat*) | (VP *meows*	*The* | *hungry* | *cat* | *meows*	REDUCE
9	(S | (NP *The hungry cat*) | (VP *meows*)	*The* | *hungry* | *cat* | *meows*	GEN(.)
10	(S | (NP *The hungry cat*) | (VP *meows*) | .	*The* | *hungry* | *cat* | *meows* | .	REDUCE
11	(S (NP *The hungry cat*) (VP *meows*) .)	*The* | *hungry* | *cat* | *meows* | .	

提案手法

生成モデル

- 最大化: $p(X, Y; \Theta)$
- 単語列（x）と構文木（y）の結合確率

$$p(x,y) = \prod_{t=1}^{|a(x,y)|} p(a_t | a_{<t})$$

$$= \prod_{t=1}^{|a(x,y)|} \frac{\exp r_{a_t}^T u_t + b_{a_t}}{\sum_{a' \in A_G(T_t, S_t, n_t)} \exp r_{a'}^T u_t + b_{a'}}$$

$$\begin{cases} u_t : \text{アルゴリズムの状態を表す埋め込み} \\ r_a : \text{各遷移の埋め込み（パラメータ）} \\ b_a : \text{各遷移のバイアス（パラメータ）} \end{cases}$$

提案手法

生成モデル

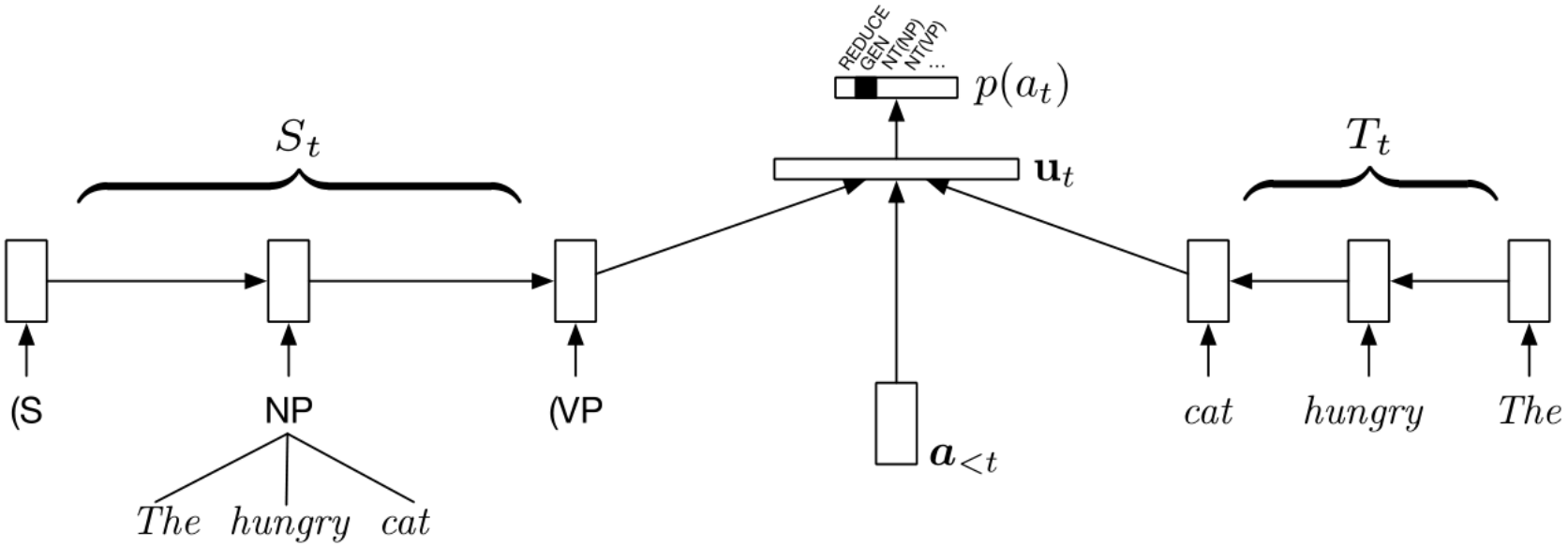
- u_t: アルゴリズムの状態を表す埋め込み

$$u_t = \tanh(W[o_t; s_t; h_t] + c)$$

$$\begin{cases} o_t : \text{出力バッファの状態を表す埋め込み} \\ s_t : \text{スタックの状態を表す埋め込み} \\ h_t : \text{遷移歴を表す埋め込み} \\ W, c : \text{パラメータ} \end{cases}$$

提案手法

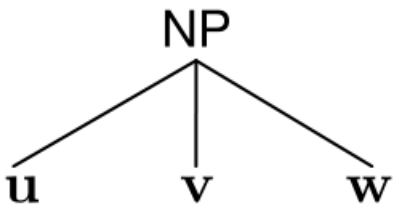
生成モデル

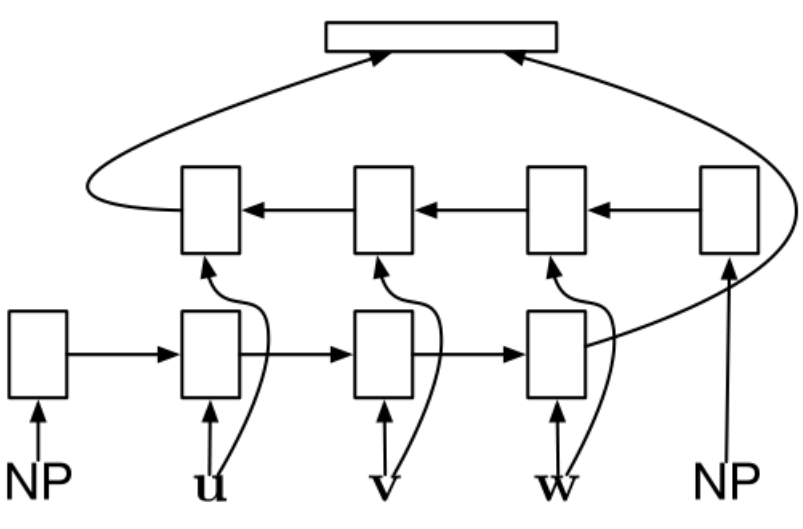

REDUCE
GEN
NT(NP)
NT(VP)
...
$p(a_t)$
$\mathbf{u}_t$
S_t
T_t
(S
NP
(VP
$\boldsymbol{a}_{<t}$
cat
$hungry$
The
The $hungry$ cat

提案手法

生成モデル

- Syntactic Composition Function
  - REDUCE 時に要素の埋め込みからその非終端記号の埋め込みを生成





提案手法

識別モデル

- 出力バッファ T を入力バッファ B に置き換えて学習

実験

実験設定

Table 1: Corpus statistics.

	PTB-train	PTB-test	CTB-train	CTB-test
Sequences	39,831	2,416	50,734	348
Tokens	950,012	56,684	1,184,532	8,008
Types	23,815	6,823	31,358	1,637
UNK-Types	49	42	1	1

実験

Penn Treebank での F 値

Table 2: Parsing results on PTB §23 (D=discriminative, G=generative, S=semisupervised).

Model	**type**	**F_1**
Henderson (2004)	D	89.4
Socher et al. (2013a)	D	90.4
Zhu et al. (2013)	D	90.4
Vinyals et al. (2015) – WSJ only	D	90.5
Petrov and Klein (2007)	G	90.1
Bod (2003)	G	90.7
Shindo et al. (2012) – single	G	91.1
Shindo et al. (2012) – ensemble	G	92.4
Zhu et al. (2013)	S	91.3
McClosky et al. (2006)	S	92.1
Vinyals et al. (2015) – single	S	92.5
Vinyals et al. (2015) – ensemble	S	92.8
Discriminative, $q(\boldsymbol{y} \mid \boldsymbol{x})$	D	89.8
Generative, $\hat{p}(\boldsymbol{y} \mid \boldsymbol{x})$	G	92.4

実験

Penn Chinese Treebank での F 値

Table 3: Parsing results on CTB 5.1.

Model	**type**	**F_1**
Zhu et al. (2013)	D	82.6
Wang et al. (2015)	D	83.2
Huang and Harper (2009)	D	84.2
Charniak (2000)	G	80.8
Bikel (2004)	G	80.6
Petrov and Klein (2007)	G	83.3
Zhu et al. (2013)	S	85.6
Wang and Xue (2014)	S	86.3
Wang et al. (2015)	S	86.6
Discriminative, $q(\boldsymbol{y} \mid \boldsymbol{x})$	D	80.7
Generative, $\hat{p}(\boldsymbol{y} \mid \boldsymbol{x})$	G	82.7

実験

言語モデルの perplexity

Table 4: Language model perplexity results.

Model	**test ppl** (PTB)	**test ppl** (CTB)
IKN 5-gram	169.3	255.2
LSTM LM	113.4	207.3
RNNG	102.4	171.9

まとめ

- RNN の重みによって定義される" 文法" を提案
- 遷移ベースの構文解析・文生成アルゴリズムで学習
- 生成モデルと識別モデルの 2 種類
  - 生成モデル：言語モデル，構文解析
  - 識別モデル：構文解析
- 特徴量の設計や Treebank データの変換が要らない

感想

- 構文解析はよく 知ら なかっ たので勉強になっ た
- SyntaxNet の論文等も 読みたく なっ た