

Árbol de dependencias

Análisis de dependencias

Análisis de dependencias basado en grafos

Análisis de dependencias basado en transiciones

Processament del Llenguatge Humà 9. Anàlisi sintàctica de dependències



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Facultat d'Informàtica de Barcelona



Índice

Árbol de dependencias

Análisis de dependencias

Análisis de dependencias basado en grafos

Análisis de dependencias basado en transiciones

1 Árbol de dependencias

2 Análisis de dependencias

3 Análisis de dependencias basado en grafos

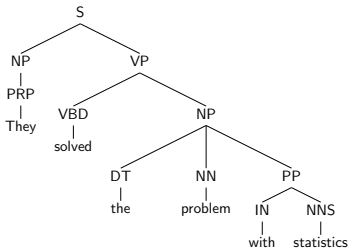
- Algoritmo basado en Árboles de Expansión Máxima

4 Análisis de dependencias basado en transiciones

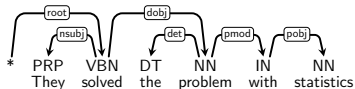
- Algoritmo arco-estandar

Teorías de estructuras sintácticas

Árbol de constituyentes



Árbol de dependencias



- Unidad: constituyente
- Constituyente: subsume una secuencia de palabras

Árbol de dependencias

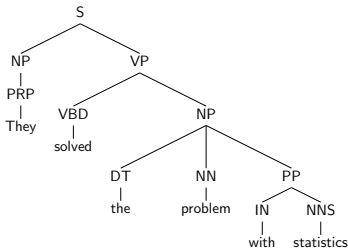
Análisis de dependencias

Análisis de dependencias basado en grafos

Análisis de dependencias basado en transiciones

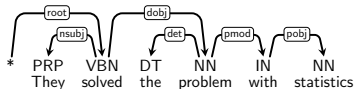
Teorías de estructuras sintácticas

Árbol de constituyentes



- Unidad: constituyente
- Constituyente: subsume una secuencia de palabras

Árbol de dependencias



- Unidad: dependencia
- Dependencia: una palabra tiene una función gramatical respecto otra

Árbol de dependencias

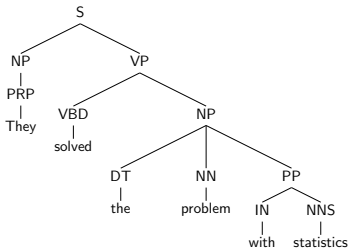
Análisis de dependencias

Análisis de dependencias basado en grafos

Análisis de dependencias basado en transiciones

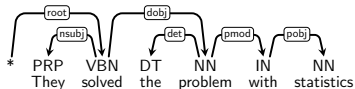
Teorías de estructuras sintácticas

Árbol de constituyentes



- Unidad: constituyente
- Constituyente: subsume una secuencia de palabras
- Rigidez en la composición
- Construye árboles anidados

Árbol de dependencias



- Unidad: dependencia
- Dependencia: una palabra tiene una función gramatical respecto otra

Árbol de dependencias

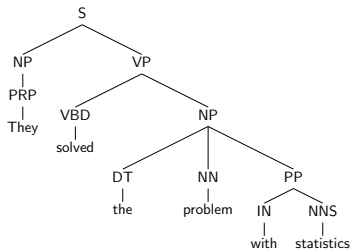
Análisis de dependencias

Análisis de dependencias basado en grafos

Análisis de dependencias basado en transiciones

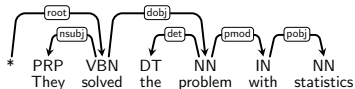
Teorías de estructuras sintácticas

Árbol de constituyentes



- Unidad: constituyente
- Constituyente: subsume una secuencia de palabras
- Rigidez en la composición
- Construye árboles anidados

Árbol de dependencias



- Unidad: dependencia
- Dependencia: una palabra tiene una función gramatical respecto otra
- Flexibilidad en el orden
- Construye grafos de dependencias

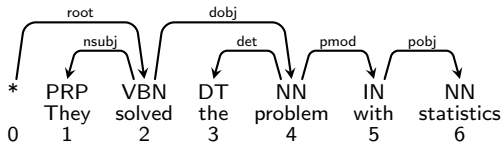
Árbol de dependencias

Análisis de dependencias

Análisis de dependencias basado en grafos

Análisis de dependencias basado en transiciones

Notación: Dependencia



- $*$: símbolo desde el que se indica la raíz
- Cada dependencia es una tupla (h, m, k) donde
 - h : posición de la palabra *head* (0 si es $*$)
 - m : posición de la palabra modificadora
 - k : etiqueta de la dependencia

e.g.: $(0, 2, \text{root})$, $(2, 1, \text{nsubj})$, $(2, 4, \text{dobj})$, $(4, 3, \text{det})$,
 $(4, 5, \text{pmod})$, $(5, 6, \text{pobj})$

- A veces se consideran dependencias sin etiquetas

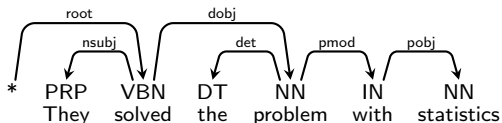
Árbol de dependencias

Análisis de dependencias

Análisis de dependencias basado en grafos

Análisis de dependencias basado en transiciones

Notación: Árbol de dependencias



- **y** es un árbol de dependencias si:
 - (a) $\mathbf{y} = \{(h, m, k)_i\}$: conjunto de dependencias
 - (b) Cada símbolo recibe exactamente un arco (un único padre), excepto *
 - (c) El grafo es conexo y sin ciclos

Árbol de dependencias

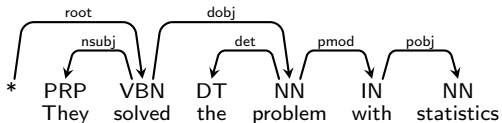
Análisis de dependencias

Análisis de dependencias basado en grafos

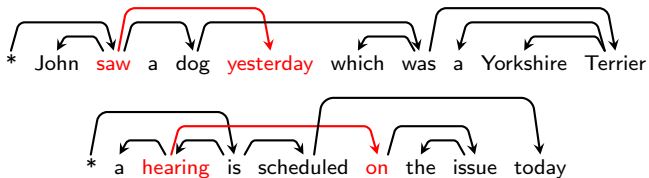
Análisis de dependencias basado en transiciones

Proyectividad

- Árbol de dependencias **proyectivo** sin dependencias cruzadas



- Árbol de dependencias **no proyectivo**: con dependencias cruzadas



Árbol de dependencias

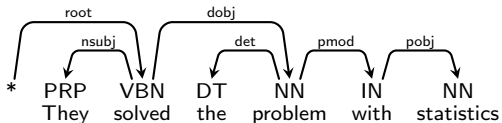
Análisis de dependencias

Análisis de dependencias basado en grafos

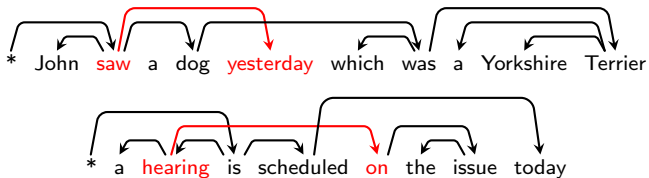
Análisis de dependencias basado en transiciones

Proyectividad

- Árbol de dependencias **proyectivo** sin dependencias cruzadas



- Árbol de dependencias **no proyectivo**: con dependencias cruzadas



El análisis de dependencias puede producir ambos tipos.
El de constituyentes sólo proyectivos.

Árbol de dependencias

Análisis de dependencias

Análisis de dependencias basado en grafos

Análisis de dependencias basado en transiciones

Índice

Árbol de dependencias

Análisis de dependencias

Análisis de dependencias basado en grafos

Análisis de dependencias basado en transiciones

- 1 Árbol de dependencias
- 2 **Análisis de dependencias**
- 3 Análisis de dependencias basado en grafos
 - Algoritmo basado en Árboles de Expansión Máxima
- 4 Análisis de dependencias basado en transiciones
 - Algoritmo arco-estandar

Tipos de análisis de dependencias

Árbol de dependencias

Análisis de dependencias

Análisis de dependencias basado en grafos

Análisis de dependencias basado en transiciones

- Respecto a la proyectividad:
 - Análisis proyectivo: produce árboles de dependencia proyectivos
 - Análisis no proyectivo: produce árboles de dependencias proyectivos o no proyectivos (¿con qué frecuencia ocurren en una lengua o *treebank* particular?)

Tipos de análisis de dependencias

Árbol de dependencias

Análisis de dependencias

Análisis de dependencias basado en grafos

Análisis de dependencias basado en transiciones

- Respecto a la proyectividad:
 - Análisis proyectivo: produce árboles de dependencia proyectivos
 - Análisis no proyectivo: produce árboles de dependencias proyectivos o no proyectivos (¿con qué frecuencia ocurren en una lengua o *treebank* particular?)
- Respecto a las técnicas:
 - Análisis basado en grafos
 - Análisis basado en transiciones

Índice

Árbol de dependencias

Análisis de dependencias

Análisis de dependencias basado en grafos

Análisis de dependencias basado en transiciones

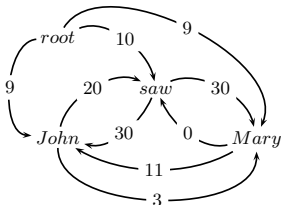
- 1 Árbol de dependencias
- 2 Análisis de dependencias
- 3 Análisis de dependencias basado en grafos
 - Algoritmo basado en Árboles de Expansión Máxima
- 4 Análisis de dependencias basado en transiciones
 - Algoritmo arco-estandar

Análisis de dependencias basado en grafos

- **Objetivo:** dada una oración vista como grafo conexo de dependencias entre sus palabras, producir el árbol de dependencia de mayor puntuación

$$\hat{\mathbf{y}} = \operatorname{argmax}_{\mathbf{y} \in \mathcal{Y}(w_{1:n})} \operatorname{Score}(\mathbf{y})$$

P.e: *John saw Mary*



Por simplicidad, las etiquetas de los arcos se han obviado

Árbol de dependencias

Análisis de dependencias

Análisis de dependencias basado en grafos

Análisis de dependencias basado en transiciones

Análisis de dependencias basado en grafos

- **Objetivo:** dada una oración vista como grafo conexo de dependencias entre sus palabras, producir el árbol de dependencia de mayor puntuación

$$\hat{\mathbf{y}} = \operatorname{argmax}_{\mathbf{y} \in \mathcal{Y}(w_{1:n})} \operatorname{Score}(\mathbf{y})$$

- La puntuación de un grafo puede ser calculada como suma de puntuaciones de sus partes (arcos, secuencias de 2 arcos, ...).
- Puntuación factorizada por arcos:

$$\hat{\mathbf{y}} = \operatorname{argmax}_{\mathbf{y} \in \mathcal{Y}(w_{1:n})} \sum_{(h,m,k) \in \mathbf{y}} \operatorname{score}(h, m, k)$$

Árbol de dependencias

Análisis de dependencias

Análisis de dependencias basado en grafos

Análisis de dependencias basado en transiciones

Análisis de dependencias basado en grafos

Puntuación factorizada por arcos:

$$\hat{\mathbf{y}} = \operatorname{argmax}_{\mathbf{y} \in \mathcal{Y}(w_{1:n})} \sum_{(h,m,k) \in \mathbf{y}} \operatorname{score}(h, m, k)$$

Diferentes algoritmos:

- Eisner: Análisis proyectivo, basado en CKY, $O(n^3)$
- McDonald et al.: Análisis no proyectivo, **basado en árboles de expansión máxima**, $O(n^3)$ - $O(n^2)$ versión mejorada
- Dozat-Manning: Análisis no proyectivo, basado en *deep learning*
- ...

Árbol de dependencias

Análisis de dependencias

Análisis de dependencias basado en grafos

Análisis de dependencias basado en transiciones

Índice

Árbol de dependencias

Análisis de dependencias

Análisis de dependencias basado en grafos

Algoritmo basado en Árboles de Expansión Máxima

Análisis de dependencias basado en transiciones

- 1 Árbol de dependencias
- 2 Análisis de dependencias
- 3 Análisis de dependencias basado en grafos
 - Algoritmo basado en Árboles de Expansión Máxima
- 4 Análisis de dependencias basado en transiciones
 - Algoritmo arco-estandar

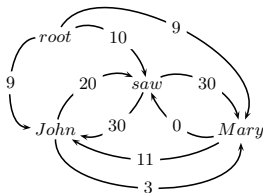
Algoritmo basado en Árboles de Expansión Máxima

1- Construir el grafo:

- Nodos = palabras
- Arcos dirigidos, etiquetados o no, con pesos asociados

$$w_{h,m} = \max_{1 \leq l \leq L} \text{score}(h, m, l) \quad L: \text{conjunto de etiquetas}$$

Ex: *John saw Mary*



Árbol de dependencias

Análisis de dependencias

Análisis de dependencias basado en grafos

Algoritmo basado en Árboles de Expansión Máxima

Análisis de dependencias basado en transiciones

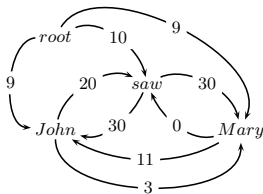
Algoritmo basado en Árboles de Expansión Máxima

1- Construir el grafo:

- Nodos = palabras
- Arcos dirigidos, etiquetados o no, con pesos asociados

$$w_{h,m} = \max_{1 \leq l \leq L} \text{score}(h, m, l) \quad L: \text{conjunto de etiquetas}$$

Ex: *John saw Mary*



2- Ejecutar **análisis no proyectivo** usando el algoritmo de Chu-Liu-Edmonds. Coste versión mejorada $O(n^2)$

Árbol de dependencias

Análisis de dependencias

Análisis de dependencias basado en grafos

Algoritmo basado en Árboles de Expansión Máxima

Análisis de dependencias basado en transiciones

1. Construir el grafo

$$w_{h,m} = \max_{1 \leq l \leq L} \text{score}(h, m, l) \quad L: \text{conjunto de etiquetas}$$

Árbol de dependencias

Análisis de dependencias

Análisis de dependencias basado en grafos

Algoritmo basado en Árboles de Expansión Máxima

Análisis de dependencias basado en transiciones

Requiere aprender un modelo de puntuación de arcos:

$$\text{score}(h, m, l) = \sum_i \lambda_i f_i(h, m, l)$$

- $\{f_i\}$: funciones de atributos binarios que representan una dependencia
- λ_i : relevancia de f_i (se aprenden automáticamente usando un *treebank* - queda fuera de este curso)

1. Construir el grafo

Información usada para representar $f_i(h, m, l)$:

- Palabras, lemas, PoS de h o m
- Palabras, lemas, PoS de tokens en el contexto de h or m
- Distancia en tokens entre h y m
- Dependencia l
- Dirección de la dependencia (derecha, izquierda)
- ...
- combinaciones de las anteriores

Se pueden diseñar plantillas de funciones de atributos, análogamente a las plantillas diseñadas para CRFs

Árbol de dependencias

Análisis de dependencias

Análisis de dependencias basado en grafos

Algoritmo basado en Árboles de Expansión Máxima

Análisis de dependencias basado en transiciones

1. Construir el grafo

Ejemplos de plantillas de funciones de atributos:

$$f_{1,a,b}(h, m, l) = \begin{cases} 1 & \text{if word}(h)=a \text{ and word}(m)=b \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$f_{2,a,b,c}(h, m, l) = \begin{cases} 1 & \text{if PoS}(h)=a \text{ and PoS}(m)=b \text{ and } l=c \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

Árbol de dependencias

Análisis de dependencias

Análisis de dependencias basado en grafos

Algoritmo basado en Árboles de Expansión Máxima

Análisis de dependencias basado en transiciones

1. Construir el grafo

Ejemplos de plantillas de funciones de atributos:

$$f_{1,a,b}(h, m, l) = \begin{cases} 1 & \text{if word}(h)=a \text{ and word}(m)=b \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$f_{2,a,b,c}(h, m, l) = \begin{cases} 1 & \text{if PoS}(h)=a \text{ and PoS}(m)=b \text{ and } l=c \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

Ejemplos de funciones de atributos:

$$f_{1,saw,man}(h, m, l) = \begin{cases} 1 & \text{if word}(h)=saw \text{ and word}(m)=man \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$f_{2,VB,NN,Obj}(h, m, l) = \begin{cases} 1 & \text{if PoS}(h)=VB \text{ and PoS}(m)=NN \text{ and } l=Obj \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$f_3(h, m, l) = \begin{cases} 1 & \text{if } h > m \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

Árbol de dependencias

Análisis de dependencias

Análisis de dependencias basado en grafos

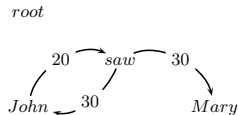
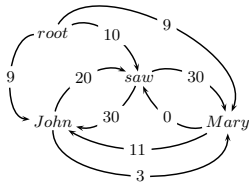
Algoritmo basado en Árboles de Expansión Máxima

Análisis de dependencias basado en transiciones

2. Ejecutar el algoritmo de Chu-Liu-Edmonds

Ejemplo

- Paso 1: para cada nodo, encontrar el arco entrante mejor puntuado



Árbol de dependencias

Análisis de dependencias

Análisis de dependencias basado en grafos

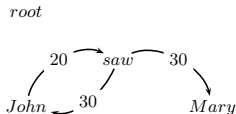
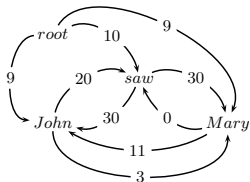
Algoritmo basado en Árboles de Expansión Máxima

Análisis de dependencias basado en transiciones

2. Ejecutar el algoritmo de Chu-Liu-Edmonds

Ejemplo

- Paso 1: para cada nodo, encontrar el arco entrante mejor puntuado



Si obtenemos un árbol, PARAMOS (hemos encontrado el árbol de expansión máxima)

Sinó, debe haber algún ciclo

Árbol de dependencias

Análisis de dependencias

Análisis de dependencias basado en grafos

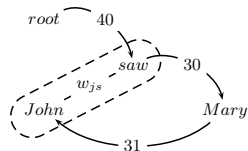
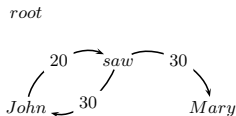
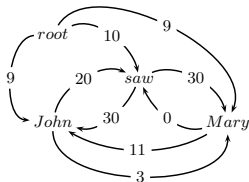
Algoritmo basado en Árboles de Expansión Máxima

Análisis de dependencias basado en transiciones

2. Ejecutar el algoritmo de Chu-Liu-Edmonds

Ejemplo

- Paso 2: identificar un ciclo y compactarlo en un nuevo nodo c



Árbol de dependencias

Análisis de dependencias

Análisis de dependencias basado en grafos

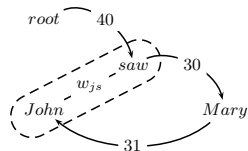
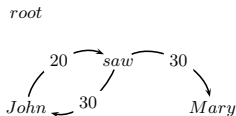
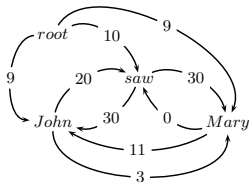
Algoritmo basado en Árboles de Expansión Máxima

Análisis de dependencias basado en transiciones

2. Ejecutar el algoritmo de Chu-Liu-Edmonds

Ejemplo

- Paso 2: identificar un ciclo y compactarlo en un nuevo nodo c



Calcular los pesos de arcos entre c y otros nodos:

Árbol de dependencias

Análisis de dependencias

Análisis de dependencias basado en grafos

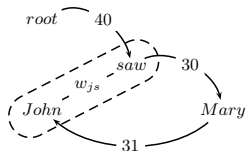
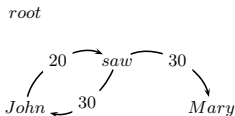
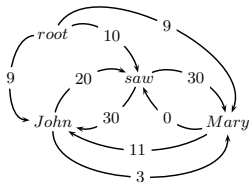
Algoritmo basado en Árboles de Expansión Máxima

Análisis de dependencias basado en transiciones

2. Ejecutar el algoritmo de Chu-Liu-Edmonds

Ejemplo

- Paso 2: identificar un ciclo y compactarlo en un nuevo nodo c



Calcular los pesos de arcos entre c y otros nodos:

- $c \rightarrow i$: max peso entre $x \in c$ e i
 $saw \rightarrow Mary$: 30

Árbol de dependencias

Análisis de dependencias

Análisis de dependencias basado en grafos

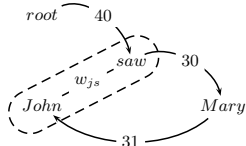
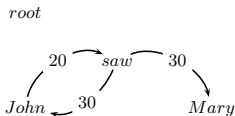
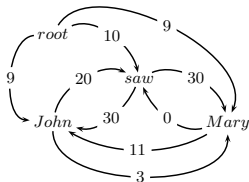
Algoritmo basado en Árboles de Expansión Máxima

Análisis de dependencias basado en transiciones

2. Ejecutar el algoritmo de Chu-Liu-Edmonds

Ejemplo

- Paso 2: identificar un ciclo y compactarlo en un nuevo nodo c



Calcular los pesos de arcos entre c y otros nodos:

- $c \rightarrow i$: max peso entre $x \in c$ e i
 $saw \rightarrow Mary$: 30
- $i \rightarrow c$: max peso de recorrido desde i que incluya los de c
 $root \rightarrow saw \rightarrow John$: 40
 $root \rightarrow John \rightarrow saw$: 29

Árbol de dependencias

Análisis de dependencias

Análisis de dependencias basado en grafos

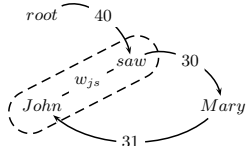
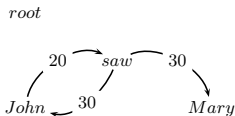
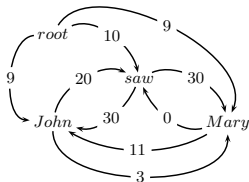
Algoritmo basado en Árboles de Expansión Máxima

Análisis de dependencias basado en transiciones

2. Ejecutar el algoritmo de Chu-Liu-Edmonds

Ejemplo

- Paso 2: identificar un ciclo y compactarlo en un nuevo nodo c



Calcular los pesos de arcos entre c y otros nodos:

- $c \rightarrow i$: max peso entre $x \in c$ e i
 $saw \rightarrow Mary$: 30
- $i \rightarrow c$: max peso de recorrido desde i que incluya los de c
 $root \rightarrow saw \rightarrow John$: 40
 $root \rightarrow John \rightarrow saw$: 29
 $Mary \rightarrow John \rightarrow saw$: 31
 $Mary \rightarrow saw \rightarrow John$: 30

Árbol de dependencias

Análisis de dependencias

Análisis de dependencias basado en grafos

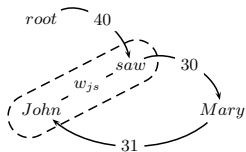
Algoritmo basado en Árboles de Expansión Máxima

Análisis de dependencias basado en transiciones

2. Ejecutar el algoritmo de Chu-Liu-Edmonds

Ejemplo

- Paso 3: llamar al algoritmo recursivamente con el nuevo grafo



Árbol de dependencias

Análisis de dependencias

Análisis de dependencias basado en grafos

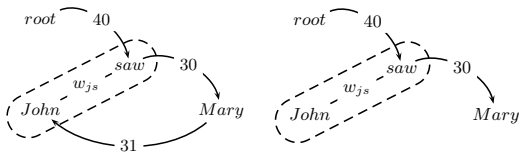
Algoritmo basado en Árboles de Expansión Máxima

Análisis de dependencias basado en transiciones

2. Ejecutar el algoritmo de Chu-Liu-Edmonds

Ejemplo

- Paso 3: llamar al algoritmo recursivamente con el nuevo grafo
 - Paso 1: para cada nodo, encontrar el arco entrante mejor puntuado



Árbol de dependencias

Análisis de dependencias

Análisis de dependencias basado en grafos

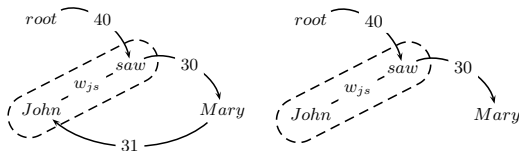
Algoritmo basado en Árboles de Expansión Máxima

Análisis de dependencias basado en transiciones

2. Ejecutar el algoritmo de Chu-Liu-Edmonds

Ejemplo

- Paso 3: llamar al algoritmo recursivamente con el nuevo grafo
 - Paso 1: para cada nodo, encontrar el arco entrante mejor puntuado



Si obtenemos un árbol, **PARAMOS** (hemos encontrado el árbol de expansión máxima)

Árbol de dependencias

Análisis de dependencias

Análisis de dependencias basado en grafos

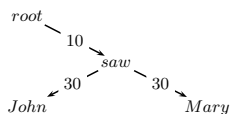
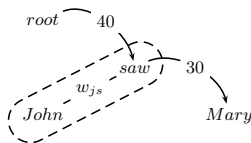
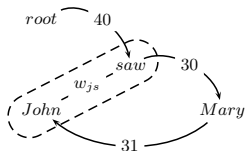
Algoritmo basado en Árboles de Expansión Máxima

Análisis de dependencias basado en transiciones

2. Ejecutar el algoritmo de Chu-Liu-Edmonds

Ejemplo

- Paso 3: llamar al algoritmo recursivamente con el nuevo grafo
 - Paso 1: para cada nodo, encontrar el arco entrante mejor puntuado



Si obtenemos un árbol, **PARAMOS** (hemos encontrado el árbol de expansión máxima)

- Paso 4: reconstruir el árbol de expansión máxima original deshaciendo las contracciones ($saw \xrightarrow{30} John$)
([\(McDonald et al 2005\)](#) para más detalles)

Árbol de dependencias

Análisis de dependencias

Análisis de dependencias basado en grafos

Algoritmo basado en Árboles de Expansión Máxima

Análisis de dependencias basado en transiciones

Índice

Árbol de dependencias

Análisis de dependencias

Análisis de dependencias basado en grafos

Análisis de dependencias basado en transiciones

- 1 Árbol de dependencias
- 2 Análisis de dependencias
- 3 Análisis de dependencias basado en grafos
 - Algoritmo basado en Árboles de Expansión Máxima
- 4 Análisis de dependencias basado en transiciones
 - Algoritmo arco-estandar

Analizadores basados en transiciones

- Configuración (estado actual)
 - pila de palabras seleccionadas y árbol obtenido hasta el momento
 - buffer de palabras no seleccionadas todavía
- A cada paso, se selecciona una transición para modificar la configuración
- Condición de parada: cuando se ha conseguido llegar a una configuración final
- No backtracking, coste es $\mathcal{O}(n)$

Diferentes conjuntos de posibles transiciones definen diferentes analizadores: modelo arco-estandar, modelo arco-eager, modelo basado en intercambio, ...

Árbol de dependencias

Análisis de dependencias

Análisis de dependencias basado en grafos

Análisis de dependencias basado en transiciones

Índice

Árbol de dependencias

Análisis de dependencias

Análisis de dependencias basado en grafos

Análisis de dependencias basado en transiciones

Algoritmo arco-estandar

- 1 Árbol de dependencias
- 2 Análisis de dependencias
- 3 Análisis de dependencias basado en grafos
 - Algoritmo basado en Árboles de Expansión Máxima
- 4 Análisis de dependencias basado en transiciones
 - Algoritmo arco-estandar

Algoritmo arco-estandar

- Configuración (S, B, A) :
 - S : pila de palabras seleccionadas
 - B : buffer de palabras no seleccionadas todavía
 - A grafo de dependencias construido hasta ahora (no es un árbol hasta el final)
- Configuración inicial: $([], [0 \dots n], [])$
- Configuración final: $([0], [], A)$
- Posibles transiciones:
 - shift (sh): mueve la $B[0]$ a la S
 - left-arc (la-L): añade un arco etiquetado con L desde $S[0]$ a $S[1]$ y elimina $S[1]$
 - right-arc (ra-L): añade una arco etiquetado con L desde $S[1]$ a $S[0]$ y elimina $S[0]$

Árbol de dependencias

Análisis de dependencias

Análisis de dependencias basado en grafos

Análisis de dependencias basado en transiciones

Algoritmo arco-estandar

Algoritmo arco-estandar. Ejemplo

S	B	Transición (Oráculo)
	* the woman saw the man with glasses	

Árbol de dependencias

Análisis de dependencias

Análisis de dependencias basado en grafos

Análisis de dependencias basado en transiciones

Algoritmo arco-estandar

* the woman saw the man with glasses

Algoritmo arco-estandar. Ejemplo

S	B	Transición (Oráculo)
	* the woman saw the man with glasses	sh

Árbol de dependencias

Análisis de dependencias

Análisis de dependencias basado en grafos

Análisis de dependencias basado en transiciones

Algoritmo arco-estandar

* the woman saw the man with glasses

Algoritmo arco-estandar. Ejemplo

S	B	Transición (Oráculo)
* the	* the woman saw the man with glasses woman saw the man with glasses	sh

Árbol de dependencias

Análisis de dependencias

Análisis de dependencias basado en grafos

Análisis de dependencias basado en transiciones

Algoritmo arco-estandar

* the woman saw the man with glasses

Algoritmo arco-estandar. Ejemplo

S	B	Transición (Oráculo)
	* the woman saw the man with glasses	sh
* the	woman saw the man with glasses	sh

Árbol de dependencias

Análisis de dependencias

Análisis de dependencias basado en grafos

Análisis de dependencias basado en transiciones

Algoritmo arco-estandar

* the woman saw the man with glasses

Algoritmo arco-estandar. Ejemplo

S	B	Transición (Oráculo)
	* the woman saw the man with glasses	sh
* the	woman saw the man with glasses	sh
* the woman	saw the man with glasses	

Árbol de dependencias

Análisis de dependencias

Análisis de dependencias basado en grafos

Análisis de dependencias basado en transiciones

Algoritmo arco-estandar

* the woman saw the man with glasses

Algoritmo arco-estandar. Ejemplo

S	B	Transición (Oráculo)
	* the woman saw the man with glasses	sh
* the	woman saw the man with glasses	sh
* the woman	saw the man with glasses	la-det

Árbol de dependencias

Análisis de dependencias

Análisis de dependencias basado en grafos

Análisis de dependencias basado en transiciones

Algoritmo arco-estandar

* the woman saw the man with glasses

Algoritmo arco-estandar. Ejemplo

S	B	Transición (Oráculo)
	* the woman saw the man with glasses	sh
* the	woman saw the man with glasses	sh
* the woman	saw the man with glasses	la-det
* the woman * woman	saw the man with glasses	

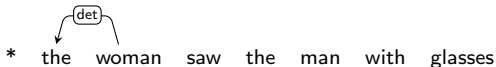
Árbol de dependencias

Análisis de dependencias

Análisis de dependencias basado en grafos

Análisis de dependencias basado en transiciones

Algoritmo arco-estandar



Algoritmo arco-estandar. Ejemplo

S	B	Transición (Oráculo)
	* the woman saw the man with glasses	sh
* the	woman saw the man with glasses	sh
* the woman	saw the man with glasses	la-det
* the woman * woman	saw the man with glasses	sh

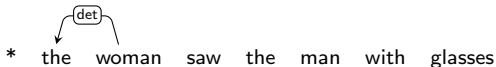
Árbol de dependencias

Análisis de dependencias

Análisis de dependencias basado en grafos

Análisis de dependencias basado en transiciones

Algoritmo arco-estandar



Algoritmo arco-estandar. Ejemplo

S	B	Transición (Oráculo)
	* the woman saw the man with glasses	sh
* the	woman saw the man with glasses	sh
* the woman	saw the man with glasses	la-det
* woman	saw the man with glasses	sh
* woman saw	the man with glasses	

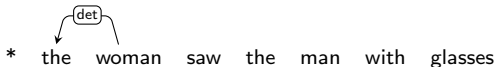
Árbol de dependencias

Análisis de dependencias

Análisis de dependencias basado en grafos

Análisis de dependencias basado en transiciones

Algoritmo arco-estandar



Algoritmo arco-estandar. Ejemplo

S	B	Transición (Oráculo)
	* the woman saw the man with glasses	sh
* the	woman saw the man with glasses	sh
* the woman	saw the man with glasses	la-det
* the woman	* woman saw the man with glasses	sh
* woman saw	the man with glasses	la-subj

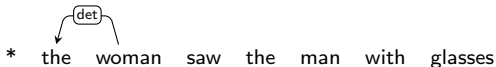
Árbol de dependencias

Análisis de dependencias

Análisis de dependencias basado en grafos

Análisis de dependencias basado en transiciones

Algoritmo arco-estandar



Algoritmo arco-estandar. Ejemplo

S	B	Transición (Oráculo)
	* the woman saw the man with glasses	sh
* the	woman saw the man with glasses	sh
* the woman	saw the man with glasses	la-det
* the woman * woman	saw the man with glasses	sh
* the woman saw	the man with glasses	la-subj
* the woman saw * the woman saw * woman saw * saw	the man with glasses	

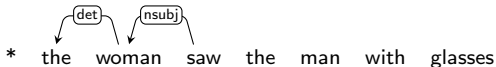
Árbol de dependencias

Análisis de dependencias

Análisis de dependencias basado en grafos

Análisis de dependencias basado en transiciones

Algoritmo arco-estandar



Algoritmo arco-estandar. Ejemplo

S	B	Transición (Oráculo)
	* the woman saw the man with glasses	sh
* the	woman saw the man with glasses	sh
* the woman	saw the man with glasses	la-det
* woman	saw the man with glasses	sh
* woman saw	the man with glasses	la-subj
* saw	the man with glasses	sh

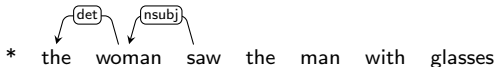
Árbol de dependencias

Análisis de dependencias

Análisis de dependencias basado en grafos

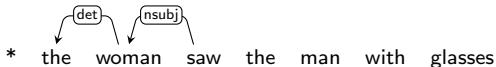
Análisis de dependencias basado en transiciones

Algoritmo arco-estandar



Algoritmo arco-estandar. Ejemplo

S	B	Transición (Oráculo)
	* the woman saw the man with glasses	sh
* the	woman saw the man with glasses	sh
* the woman	saw the man with glasses	la-det
* the woman * woman	saw the man with glasses	sh
* the woman * woman saw	the man with glasses	la-subj
* the woman * woman saw * saw	the man with glasses	sh
* the woman * woman saw * saw the	man with glasses	



Árbol de dependencias

Análisis de dependencias

Análisis de dependencias basado en grafos

Análisis de dependencias basado en transiciones

Algoritmo arco-estandar

Algoritmo arco-estandar. Ejemplo

S	B	Transición (Oráculo)
	* the woman saw the man with glasses	sh
* the	woman saw the man with glasses	sh
* the woman	saw the man with glasses	la-det
* woman	saw the man with glasses	sh
* woman saw	the man with glasses	la-subj
* saw	the man with glasses	sh
* saw the	man with glasses	sh

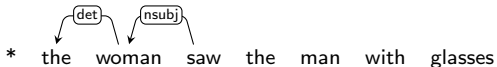
Árbol de dependencias

Análisis de dependencias

Análisis de dependencias basado en grafos

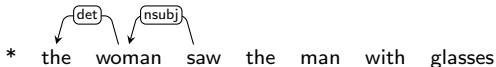
Análisis de dependencias basado en transiciones

Algoritmo arco-estandar



Algoritmo arco-estandar. Ejemplo

S	B	Transición (Oráculo)
	* the woman saw the man with glasses	sh
* the	woman saw the man with glasses	sh
* the woman	saw the man with glasses	la-det
* the woman * woman	saw the man with glasses	sh
* the woman * woman saw	the man with glasses	la-subj
* the woman * woman saw * saw	the man with glasses	sh
* the woman * woman saw * saw the	man with glasses	sh
* the woman * woman saw * saw the man	with glasses	



Árbol de dependencias

Análisis de dependencias

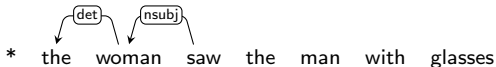
Análisis de dependencias basado en grafos

Análisis de dependencias basado en transiciones

Algoritmo arco-estandar

Algoritmo arco-estandar. Ejemplo

S	B	Transición (Oráculo)
	* the woman saw the man with glasses	sh
* the	woman saw the man with glasses	sh
* the woman	saw the man with glasses	la-det
* the woman	* woman saw the man with glasses	sh
* the woman saw	the man with glasses	la-subj
* the woman saw	* saw the man with glasses	sh
* the woman saw the	man with glasses	sh
* the woman saw the man	with glasses	la-det



Árbol de dependencias

Análisis de dependencias

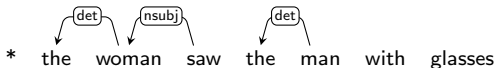
Análisis de dependencias basado en grafos

Análisis de dependencias basado en transiciones

Algoritmo arco-estandar

Algoritmo arco-estandar. Ejemplo

S	B	Transición (Oráculo)
	* the woman saw the man with glasses	sh
* the	woman saw the man with glasses	sh
* the woman	saw the man with glasses	la-det
* the woman * woman	saw the man with glasses	sh
* the woman * woman saw	the man with glasses	la-subj
* the woman * woman saw * saw	the man with glasses	sh
* the woman * woman saw * saw the	man with glasses	sh
* the woman * woman saw * saw the man	with glasses	la-det
* the woman * woman saw * saw the man * saw man	with glasses	



Árbol de dependencias

Análisis de dependencias

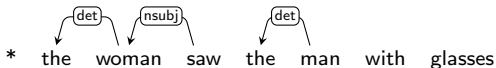
Análisis de dependencias basado en grafos

Análisis de dependencias basado en transiciones

Algoritmo arco-estandar

Algoritmo arco-estandar. Ejemplo

S	B	Transición (Oráculo)
	* the woman saw the man with glasses	sh
* the	woman saw the man with glasses	sh
* the woman	saw the man with glasses	la-det
* the woman * woman	saw the man with glasses	sh
* the woman * woman saw	the man with glasses	la-subj
* the woman * woman saw * saw	the man with glasses	sh
* the woman * woman saw * saw the	man with glasses	sh
* the woman * woman saw * saw the man	with glasses	la-det
* the woman * woman saw * saw the man * saw man	with glasses	ra-dobj



Árbol de dependencias

Análisis de dependencias

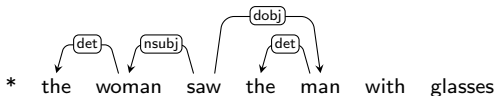
Análisis de dependencias basado en grafos

Análisis de dependencias basado en transiciones

Algoritmo arco-estandar

Algoritmo arco-estandar. Ejemplo

S	B	Transición (Oráculo)
	* the woman saw the man with glasses	sh
* the	woman saw the man with glasses	sh
* the woman	saw the man with glasses	la-det
* the woman	saw the man with glasses	sh
* the woman saw	the man with glasses	la-subj
* the woman saw	the man with glasses	sh
* the woman saw the	man with glasses	sh
* the woman saw the man	with glasses	la-det
* the woman saw the man	with glasses	ra-dobj
* the woman saw the man	with glasses	



Árbol de dependencias

Análisis de dependencias

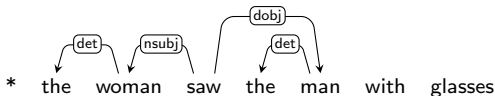
Análisis de dependencias basado en grafos

Análisis de dependencias basado en transiciones

Algoritmo arco-estandar

Algoritmo arco-estandar. Ejemplo

S	B	Transición (Oráculo)
	* the woman saw the man with glasses	sh
* the	woman saw the man with glasses	sh
* the woman	saw the man with glasses	la-det
* the woman * woman	saw the man with glasses	sh
* the woman * woman saw	the man with glasses	la-subj
* the woman * woman saw * saw	the man with glasses	sh
* the woman * woman saw * saw the	man with glasses	sh
* saw the man	with glasses	la-det
* saw the man * saw man	with glasses	ra-dobj
* saw the man * saw man * saw	with glasses	sh



Árbol de dependencias

Análisis de dependencias

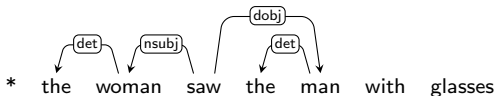
Análisis de dependencias basado en grafos

Análisis de dependencias basado en transiciones

Algoritmo arco-estandar

Algoritmo arco-estandar. Ejemplo

S	B	Transición (Oráculo)
	* the woman saw the man with glasses	sh
* the	woman saw the man with glasses	sh
* the woman	saw the man with glasses	la-det
* the woman * woman	saw the man with glasses	sh
* the woman * woman * woman saw	the man with glasses	la-subj
* the woman * woman * woman saw * saw	the man with glasses	sh
* the woman * woman * woman saw * saw * saw the	man with glasses	sh
* the woman * woman * woman saw * saw * saw the * saw the man	with glasses	la-det
* the woman * woman * woman saw * saw * saw the * saw the man * saw man	with glasses	ra-dobj
* the woman * woman * woman saw * saw * saw the * saw the man * saw man * saw	with glasses	sh
* the woman * woman * woman saw * saw * saw the * saw the man * saw man * saw * saw with	glasses	



Árbol de dependencias

Análisis de dependencias

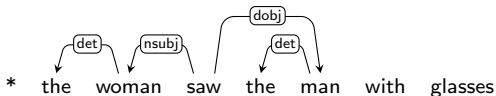
Análisis de dependencias basado en grafos

Análisis de dependencias basado en transiciones

Algoritmo arco-estandar

Algoritmo arco-estandar. Ejemplo

S	B	Transición (Oráculo)
	* the woman saw the man with glasses	sh
* the	woman saw the man with glasses	sh
* the woman	saw the man with glasses	la-det
* the woman * woman	saw the man with glasses	sh
* the woman * woman * woman	the man with glasses	la-subj
* the woman * woman * woman * woman	the man with glasses	sh
* the woman * woman * woman * woman * woman	man with glasses	sh
* the woman * woman * woman * woman * woman * woman	with glasses	la-det
* the woman * woman * woman * woman * woman * woman * woman	with glasses	ra-dobj
* the woman * woman * woman * woman * woman * woman * woman * woman	with glasses	sh
* the woman * woman * woman * woman * woman * woman * woman * woman * woman	glasses	sh



Árbol de dependencias

Análisis de dependencias

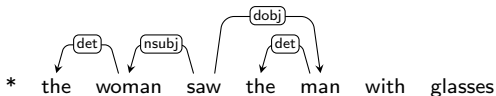
Análisis de dependencias basado en grafos

Análisis de dependencias basado en transiciones

Algoritmo arco-estandar

Algoritmo arco-estandar. Ejemplo

S	B	Transición (Oráculo)
	* the woman saw the man with glasses	sh
* the	woman saw the man with glasses	sh
* the woman	saw the man with glasses	la-det
* the woman * woman	saw the man with glasses	sh
* the woman * woman * woman saw	the man with glasses	la-subj
* the woman * woman * woman saw * saw	the man with glasses	sh
* the woman * woman * woman saw * saw * saw the	man with glasses	sh
* the woman * woman * woman saw * saw * saw the * saw the man	with glasses	la-det
* the woman * woman * woman saw * saw * saw the * saw the man * saw man	with glasses	ra-dobj
* the woman * woman * woman saw * saw * saw the * saw the man * saw man * saw	with glasses	sh
* the woman * woman * woman saw * saw * saw the * saw the man * saw man * saw * saw with	glasses	sh
* the woman * woman * woman saw * saw * saw the * saw the man * saw man * saw * saw with * saw with glasses		



Árbol de dependencias

Análisis de dependencias

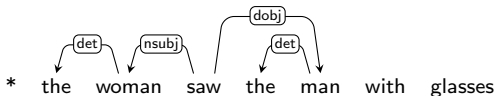
Análisis de dependencias basado en grafos

Análisis de dependencias basado en transiciones

Algoritmo arco-estandar

Algoritmo arco-estandar. Ejemplo

S	B	Transición (Oráculo)
	* the woman saw the man with glasses	sh
* the	woman saw the man with glasses	sh
* the woman	saw the man with glasses	la-det
* the woman * woman	saw the man with glasses	sh
* the woman * woman * woman saw	the man with glasses	la-subj
* the woman * woman * woman saw * saw	the man with glasses	sh
* the woman * woman * woman saw * saw * saw the	man with glasses	sh
* the woman * woman * woman saw * saw * saw the * saw the man	with glasses	la-det
* the woman * woman * woman saw * saw * saw the * saw the man * saw man	with glasses	ra-dobj
* the woman * woman * woman saw * saw * saw the * saw the man * saw man * saw	with glasses	sh
* the woman * woman * woman saw * saw * saw the * saw the man * saw man * saw * saw with	glasses	sh
* the woman * woman * woman saw * saw * saw the * saw the man * saw man * saw * saw with * saw with glasses		ra-pmod



Árbol de dependencias

Análisis de dependencias

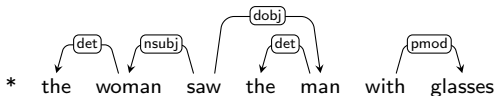
Análisis de dependencias basado en grafos

Análisis de dependencias basado en transiciones

Algoritmo arco-estandar

Algoritmo arco-estandar. Ejemplo

S	B	Transición (Oráculo)
	* the woman saw the man with glasses	sh
* the	woman saw the man with glasses	sh
* the woman	saw the man with glasses	la-det
* the woman * woman	saw the man with glasses	sh
* the woman * woman * woman saw	the man with glasses	la-subj
* the woman * woman * woman saw * saw	the man with glasses	sh
* the woman * woman * woman saw * saw * saw the	man with glasses	sh
* the woman * woman * woman saw * saw * saw the * saw the man	with glasses	la-det
* the woman * woman * woman saw * saw * saw the * saw the man * saw man	with glasses	ra-dobj
* the woman * woman * woman saw * saw * saw the * saw the man * saw man * saw	with glasses	sh
* the woman * woman * woman saw * saw * saw the * saw the man * saw man * saw * saw with	glasses	sh
* the woman * woman * woman saw * saw * saw the * saw the man * saw man * saw * saw with * saw with glasses		ra-pmod
* the woman * woman * woman saw * saw * saw the * saw the man * saw man * saw * saw with * saw with glasses * saw with		



Árbol de dependencias

Análisis de dependencias

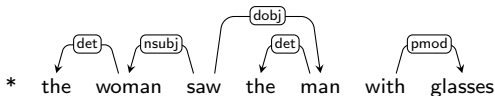
Análisis de dependencias basado en grafos

Análisis de dependencias basado en transiciones

Algoritmo arco-estandar

Algoritmo arco-estandar. Ejemplo

S	B	Transición (Oráculo)
	* the woman saw the man with glasses	sh
* the	woman saw the man with glasses	sh
* the woman	saw the man with glasses	la-det
* the woman * woman	saw the man with glasses	sh
* the woman * woman * woman saw	the man with glasses	la-subj
* the woman * woman * woman saw * saw	the man with glasses	sh
* the woman * woman * woman saw * saw * saw the	man with glasses	sh
* the woman * woman * woman saw * saw * saw the * saw the man	with glasses	la-det
* the woman * woman * woman saw * saw * saw the * saw the man * saw man	with glasses	ra-dobj
* the woman * woman * woman saw * saw * saw the * saw the man * saw man * saw	with glasses	sh
* the woman * woman * woman saw * saw * saw the * saw the man * saw man * saw * saw with	glasses	sh
* the woman * woman * woman saw * saw * saw the * saw the man * saw man * saw * saw with * saw with glasses		ra-pmod
* the woman * woman * woman saw * saw * saw the * saw the man * saw man * saw * saw with * saw with glasses * saw with		ra-madj



Árbol de dependencias

Análisis de dependencias

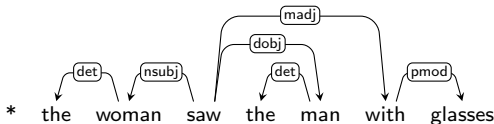
Análisis de dependencias basado en grafos

Análisis de dependencias basado en transiciones

Algoritmo arco-estandar

Algoritmo arco-estandar. Ejemplo

S	B	Transición (Oráculo)
	* the woman saw the man with glasses	sh
* the	woman saw the man with glasses	sh
* the woman	saw the man with glasses	la-det
* the woman * woman	saw the man with glasses	sh
* the woman * woman * woman saw	the man with glasses	la-subj
* the woman * woman * woman saw * saw	the man with glasses	sh
* the woman * woman * woman saw * saw * saw the	man with glasses	sh
* the woman * woman * woman saw * saw * saw the * saw the man	with glasses	la-det
* the woman * woman * woman saw * saw * saw the * saw the man * saw man	with glasses	ra-dobj
* the woman * woman * woman saw * saw * saw the * saw the man * saw man * saw	with glasses	sh
* the woman * woman * woman saw * saw * saw the * saw the man * saw man * saw * saw with	glasses	sh
* the woman * woman * woman saw * saw * saw the * saw the man * saw man * saw * saw with * saw with glasses		ra-pmod
* the woman * woman * woman saw * saw * saw the * saw the man * saw man * saw * saw with * saw with glasses * saw with glasses * saw with glasses * saw with glasses * saw with glasses * saw with glasses * saw with glasses		ra-madj



Árbol de dependencias

Análisis de dependencias

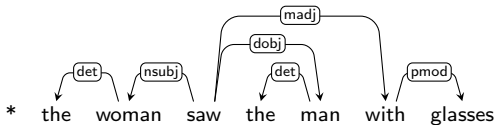
Análisis de dependencias basado en grafos

Análisis de dependencias basado en transiciones

Algoritmo arco-estandar

Algoritmo arco-estandar. Ejemplo

S	B	Transición (Oráculo)
	* the woman saw the man with glasses	sh
* the	woman saw the man with glasses	sh
* the woman	saw the man with glasses	la-det
* the woman * woman	saw the man with glasses	sh
* woman saw	the man with glasses	la-subj
* woman saw * saw	the man with glasses	sh
* saw the	man with glasses	sh
* saw the man	with glasses	la-det
* saw the man * saw man	with glasses	ra-dobj
* saw the man * saw	with glasses	sh
* saw with	glasses	sh
* saw with glasses		ra-pmod
* saw with glasses * saw with		ra-madj
* saw with glasses * saw		ra-root



Árbol de dependencias

Análisis de dependencias

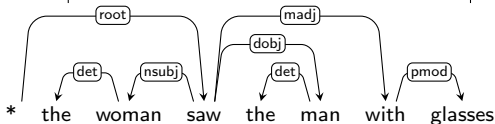
Análisis de dependencias basado en grafos

Análisis de dependencias basado en transiciones

Algoritmo arco-estandar

Algoritmo arco-estandar. Ejemplo

S	B	Transición (Oráculo)
	* the woman saw the man with glasses	sh
* the	woman saw the man with glasses	sh
* the woman	saw the man with glasses	la-det
* woman	saw the man with glasses	sh
* woman saw	the man with glasses	la-subj
* saw	the man with glasses	sh
* saw the	man with glasses	sh
* saw the man	with glasses	la-det
* saw man	with glasses	ra-dobj
* saw	with glasses	sh
* saw with	glasses	sh
* saw with glasses		ra-pmod
* saw with		ra-madj
* saw with glasses		ra-root



Árbol de dependencias

Análisis de dependencias

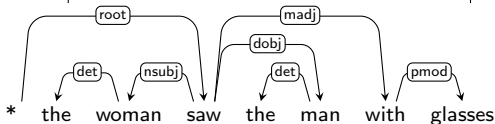
Análisis de dependencias basado en grafos

Análisis de dependencias basado en transiciones

Algoritmo arco-estandar

Algoritmo arco-estandar. Ejemplo

S	B	Transición (Oráculo)
	* the woman saw the man with glasses	sh
* the	woman saw the man with glasses	sh
* the woman	saw the man with glasses	la-det
* the woman * woman	saw the man with glasses	sh
* woman saw	the man with glasses	la-subj
* woman saw * saw	the man with glasses	sh
* saw the	man with glasses	sh
* saw the man	with glasses	la-det
* saw the man * saw man	with glasses	ra-dobj
* saw the man * saw	with glasses	sh
* saw with	glasses	sh
* saw with glasses		ra-pmod
* saw with glasses * saw with		ra-madj
* saw with glasses * saw		ra-root
* saw		stop



Árbol de dependencias

Análisis de dependencias

Análisis de dependencias basado en grafos

Análisis de dependencias basado en transiciones

Algoritmo arco-estandar

Selección automática de la transición

Árbol de dependencias

Análisis de dependencias

Análisis de dependencias basado en grafos

Análisis de dependencias basado en transiciones

Algoritmo arco-estandar

- ¿Cómo gestionar la ambigüedad? Búsqueda local
Usar **aprendizaje automático discriminativo** para aprender un modelo de selección de transiciones
- Se obtiene un árbol de dependencias proyectivo que **puede ser subóptimo** (a diferencia de los algoritmos basados en grafos)
- Coste $O(n)$

Selección automática de la transición

- Clasificador: predecir la siguiente transición (clase) dada la configuración actual
- Aprendizaje del modelo de clasificación:
 - Ejemplos: pares <configuración, transición> derivados de un *treebank*
 - Vector de atributos:
 - palabra/lema/PoS para $S[0]$, $S[1]$, $B[0]$, $B[1]$
 - atributos morfológicos (género, número, modo verbal, tiempo verbal, etc) en $S[0]$, $B[0]$
 - número de hijos en $S[0]$
 - etiquetas de dependencia entre $S[0]$ y sus hijos
 - ..etc
- Uso de SVM, perceptrones, DT, deep learning, ...

Árbol de dependencias

Análisis de dependencias

Análisis de dependencias basado en grafos

Análisis de dependencias basado en transiciones

Algoritmo arco-estandar