

Processament del Llenguatge Humà 4. Etiquetat morfosintàctic (POS tagging)

Etiquetado
morfo-
sintáctico

Etiquetadores
morfo-
sintácticos



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Facultat d'Informàtica de Barcelona



Índice

Etiquetado
morfo-
sintáctico

Etiquetadores
morfo-
sintácticos

- 1 Etiquetado morfosintáctico
 - Objetivo y motivación
 - Etiquetas morfosintácticas (POS)

- 2 Etiquetadores morfosintácticos
 - Etiquetadores estocásticos
 - Modelo oculto de Markov
 - Algoritmo de Viterbi

Índice

Etiquetado
morfo-
sintáctico

Objetivo y
motivación

Etiquetadores
morfo-
sintácticos

- 1 **Etiquetado morfosintáctico**
 - Objetivo y motivación
 - Etiquetas morfosintácticas (POS)
- 2 **Etiquetadores morfosintácticos**
 - Etiquetadores estocásticos
 - Modelo oculto de Markov
 - Algoritmo de Viterbi

Objetivo

Etiquetado morfo-sintáctico

Objetivo y motivación

Etiquetadores morfo-sintácticos

- El análisis morfológico proporciona información léxica de formas de palabras (POS, num, gen, tiempo, ...)
- Pueden resultar múltiples análisis

forma	análisis	ejemplo de uso
fish	NNS	'Cats eat fish'
	VBG	'I am fishing'
bass	NN	'I saw you play the bass'
	JJ	'Bass clarinets sound good'

- **Objetivo:** desambiguar la POS de las palabras de un texto

Motivación

Ejemplos de aplicaciones de etiquetado morfosintáctico:

- Análisis sintáctico: las palabras con la misma POS juegan un rol sintáctico similar

Ex: un determinante seguido de un nombre común es una frase nominal

- Traducción automática

P.e.: (POS de Penn Treebank)

'El hombre	bajo	toca el	bajo	bajo	el puente'
	NN		NN	NN	
	JJ		JJ	JJ	
	IN		IN	IN	
	VB		VB	VB	
	low		bass	under	
	small			below	
	short				
	poor				
'The	small	man plays the	bass	under	the bridge'

Índice

Etiquetado
morfo-
sintáctico

Etiquetas
morfosintácticas
(POS)

Etiquetadores
morfo-
sintácticos

- 1 **Etiquetado morfosintáctico**
 - Objetivo y motivación
 - **Etiquetas morfosintácticas (POS)**
- 2 **Etiquetadores morfosintácticos**
 - Etiquetadores estocásticos
 - Modelo oculto de Markov
 - Algoritmo de Viterbi

Etiquetas morfosintácticas (POS)

- Clases generales de palabras:
 - **Clases cerradas:** no se crean nuevas palabras (palabras funcionales)
Para lenguas indo-europeas:
preposiciones, conjunciones, determinantes, pronombres, verbos auxiliares o partículas (preposiciones o adverbios en *phrasal verbs*)
 - **Clases abiertas:** se pueden crear nuevas palabras
Para lenguas indo-europeas:
nombres, verbos principales, adjetivos y adverbios

Etiquetas morfosintácticas (POS)

- Clases generales de palabras:
 - **Clases cerradas:** no se crean nuevas palabras (palabras funcionales)
Para lenguas indo-europeas:
preposiciones, conjunciones, determinantes, pronombres, verbos auxiliares o partículas (preposiciones o adverbios en *phrasal verbs*)
 - **Clases abiertas:** se pueden crear nuevas palabras
Para lenguas indo-europeas:
nombres, verbos principales, adjetivos y adverbios
- Conjunto de etiquetas (categorías) según idioma y granularidad
 - P.e.: **Brown corpus:** anotado con 87 etiquetas POS diferentes
 - P.e.: **Penn Treebank corpus:** con 48

Conjunto de etiquetas del Penn Treebank

Etiquetado morfo-sintáctico

Etiquetas morfosintácticas (POS)

Etiquetadores morfo-sintácticos

CC	Coordinating conjunction	PP	Possessive pronoun
CD	Cardinal number	RB	Adverb
DT	Determiner	RBR	Adverb, comparative
EX	Existential there	RBS	Adverb, superlative
FW	Foreign word	RP	Particle
IN	Preposition	SYM	Symbol
JJ	Adjective	TO	to
JJR	Adjective, comparative	UH	Interjection
JJS	Adjective, superlative	VB	Verb, base form
LS	List item marker	VBD	Verb, past tense
MD	Modal	VBG	Verb, gerund
NN	Noun, singular	VBN	Verb, past participle
NNP	Proper noun, singular	VBP	Verb, non-3rd ps. sing. present
NNS	Noun, plural	VBZ	Verb, 3rd ps. sing. present
NNPS	Proper noun, plural	WDT	wh-determiner
PDT	Predeterminer	WP	wh-pronoun
POS	Possessive ending	WP\$	Possessive wh-pronoun
PRP	Personal pronoun	WRB	wh-adverb

12 etiquetas más relacionadas con marcas de puntuación

P.e.: to/TO give/VB priority/NN to/IN teacher/NN pay/NN rises/NNS

Índice

Etiquetado
morfo-
sintáctico

Etiquetadores
morfo-
sintácticos

- 1 Etiquetado morfosintáctico
 - Objetivo y motivación
 - Etiquetas morfosintácticas (POS)

- 2 Etiquetadores morfosintácticos
 - Etiquetadores estocásticos
 - Modelo oculto de Markov
 - Algoritmo de Viterbi

Etiquetadores morfosintácticos (POS taggers)

Etiquetado
morfo-
sintáctico

Etiquetadores
morfo-
sintácticos

Métodos usados frecuentemente:

- Métodos basados en reglas
 - Coste elevado de producción manual
 - Reglas aprendidas automáticamente a partir de corpus de entrenamiento
 - P.e.: etiquetador de Brill.

Etiquetadores morfosintácticos (POS taggers)

Etiquetado
morfo-
sintáctico

Etiquetadores
morfo-
sintácticos

Métodos usados frecuentemente:

- Métodos basados en reglas
 - Coste elevado de producción manual
 - Reglas aprendidas automáticamente a partir de corpus de entrenamiento
 - P.e.: etiquetador de Brill.
- Métodos estocásticos:
 - P.e.: Modelo Oculto de Markov (HMMs), Modelo de Máxima Entropía (ME), Conditional Random Fields (CRFs), redes neuronales estocásticas

Índice

Etiquetado morfo-sintáctico

Etiquetadores morfo-sintácticos

Etiquetadores estocásticos

- 1 Etiquetado morfosintáctico
 - Objetivo y motivación
 - Etiquetas morfosintácticas (POS)
- 2 Etiquetadores morfosintácticos
 - Etiquetadores estocásticos
 - Modelo oculto de Markov
 - Algoritmo de Viterbi

Etiquetadores estocásticos

objetivo: obtener la secuencia de etiquetas POS más probable para una secuencia de palabras

$W = w_1 \dots w_n$ (secuencia de palabras)

$T = t_1 \dots t_n$ (secuencia de etiquetas POS)

Resultado: $\hat{T} = \underset{T}{\operatorname{argmax}} P(T|W)$

Etiquetadores estocásticos

objetivo: obtener la secuencia de etiquetas POS más probable para una secuencia de palabras

$W = w_1 \dots w_n$ (secuencia de palabras)

$T = t_1 \dots t_n$ (secuencia de etiquetas POS)

Resultado: $\hat{T} = \underset{T}{\operatorname{argmax}} P(T|W)$

1 Cómo computar $P(T|W)$?

Etiquetado
morfo-
sintáctico

Etiquetadores
morfo-
sintácticos

Etiquetadores
estocásticos

Etiquetadores estocásticos

objetivo: obtener la secuencia de etiquetas POS más probable para una secuencia de palabras

$W = w_1 \dots w_n$ (secuencia de palabras)

$T = t_1 \dots t_n$ (secuencia de etiquetas POS)

Resultado: $\hat{T} = \underset{T}{\operatorname{argmax}} P(T|W)$

1 Cómo computar $P(T|W)$?

Aplicar un modelo estocástico. Nos centraremos en [HMM](#)

Etiquetadores estocásticos

objetivo: obtener la secuencia de etiquetas POS más probable para una secuencia de palabras

$W = w_1 \dots w_n$ (secuencia de palabras)

$T = t_1 \dots t_n$ (secuencia de etiquetas POS)

Resultado: $\hat{T} = \underset{T}{\operatorname{argmax}} P(T|W)$

1 Cómo computar $P(T|W)$?

Aplicar un modelo estocástico. Nos centraremos en [HMM](#)

2 Cómo computar \hat{T} ?

Etiquetadores estocásticos

objetivo: obtener la secuencia de etiquetas POS más probable para una secuencia de palabras

$W = w_1 \dots w_n$ (secuencia de palabras)

$T = t_1 \dots t_n$ (secuencia de etiquetas POS)

Resultado: $\hat{T} = \underset{T}{\operatorname{argmax}} P(T|W)$

1 Cómo computar $P(T|W)$?

Aplicar un modelo estocástico. Nos centraremos en [HMM](#)

2 Cómo computar \hat{T} ?

Aplicar el [algoritmo Viterbi](#)

Índice

Etiquetado morfo-sintáctico

Etiquetadores morfo-sintácticos

Modelo oculto de Markov

- 1 Etiquetado morfosintáctico
 - Objetivo y motivación
 - Etiquetas morfosintácticas (POS)
- 2 Etiquetadores morfosintácticos
 - Etiquetadores estocásticos
 - **Modelo oculto de Markov**
 - Algoritmo de Viterbi

Preliminares: modelo de Markov

- $X = (X_1, \dots, X_T)$ secuencia de variables aleatorias que toman valores de estados observados $S = \{s_1, \dots, s_N\}$

Etiquetado
morfo-
sintáctico

Etiquetadores
morfo-
sintácticos

Modelo oculto de
Markov

Preliminares: modelo de Markov

- $X = (X_1, \dots, X_T)$ secuencia de variables aleatorias que toman valores de estados observados $S = \{s_1, \dots, s_N\}$
- Inferencia: Probabilidad de la secuencia $P(X)$?

Etiquetado
morfo-
sintáctico

Etiquetadores
morfo-
sintácticos

Modelo oculto de
Markov

Preliminares: modelo de Markov

- $X = (X_1, \dots, X_T)$ secuencia de variables aleatorias que toman valores de estados observados $S = \{s_1, \dots, s_N\}$
- Inferencia: Probabilidad de la secuencia $P(X)$?

Regla bayesiana:

$$P(X_1, \dots, X_T) = P(X_1, \dots, X_{T-1}) * P(X_T | X_1..X_{T-1})$$

Preliminares: modelo de Markov

- $X = (X_1, \dots, X_T)$ secuencia de variables aleatorias que toman valores de estados observados $S = \{s_1, \dots, s_N\}$

- Inferencia: Probabilidad de la secuencia $P(X)$?

Regla bayesiana:

$$P(X_1, \dots, X_T) = P(X_1, \dots, X_{T-1}) * P(X_T | X_1..X_{T-1})$$

- Propiedades de Markov:

- Horizonte limitado:

$$P(X_{t+1} = s_k | X_1, \dots, X_t) = P(X_{t+1} = s_k | X_t)$$

- Tiempo invariante (Estacionario):

$$P(X_{t+1} = s_i | X_t = s_j) = P(X_2 = s_i | X_1 = s_j)$$

Preliminares: modelo de Markov

- $X = (X_1, \dots, X_T)$ secuencia de variables aleatorias que toman valores de estados observados $S = \{s_1, \dots, s_N\}$

- Inferencia: Probabilidad de la secuencia $P(X)$?

Regla bayesiana:

$$P(X_1, \dots, X_T) = P(X_1, \dots, X_{T-1}) * P(X_T | X_1..X_{T-1})$$

- Propiedades de Markov:

- Horizonte limitado:

$$P(X_{t+1} = s_k | X_1, \dots, X_t) = P(X_{t+1} = s_k | X_t)$$

- Tiempo invariante (Estacionario):

$$P(X_{t+1} = s_j | X_t = s_j) = P(X_2 = s_j | X_1 = s_j)$$

$$P(X_1, \dots, X_T) =$$

$$= P(X_1)P(X_2 | X_1)P(X_3 | X_1X_2) \dots P(X_T | X_1..X_{T-1})$$

$$= P(X_1)P(X_2 | X_1)P(X_3 | X_2) \dots P(X_T | X_{T-1})$$

$$= \pi_{X_1} \prod_{t=2}^T a_{X_{t-1}X_t}$$

Preliminares: modelo de Markov

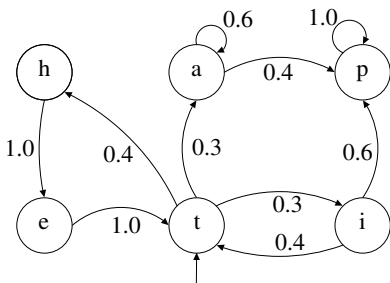
- Matriz de transición:

$$a_{ij} = P(X_{t+1} = s_j \mid X_t = s_i); \quad \forall i, j \ a_{ij} \geq 0; \quad \forall i \ \sum_{j=1}^N a_{ij} = 1$$

- Probabilidades iniciales (o estado extra s_0):

$$\pi_i = P(X_1 = s_i); \quad \sum_{i=1}^N \pi_i = 1$$

Ejemplo:



$$P(t, h, e, t, i, p, p) = 1 \cdot (0.4 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0.3 \cdot 0.6 \cdot 1) = 0.072$$

Modelo oculto de Markov

- $X = (X_1, \dots, X_T)$ secuencia de variables aleatorias que toman valores de **estados ocultos [no observados]** $S = \{s_1, \dots, s_N\}$ dada una secuencia de observaciones $O = (O_1, \dots, O_T)$

Etiquetado
morfo-
sintáctico

Etiquetadores
morfo-
sintácticos

Modelo oculto de
Markov

Modelo oculto de Markov

- $X = (X_1, \dots, X_T)$ secuencia de variables aleatorias que toman valores de **estados ocultos [no observados]** $S = \{s_1, \dots, s_N\}$ dada una secuencia de observaciones $O = (O_1, \dots, O_T)$
- Inferencia: Probabilidad de ...
 - un proceso: $P(O)$?
 - el estado final de un proceso: $P(X_T | O)$?
 - **la explicación de un proceso:** $P(X_1, \dots, X_T | O)$?

Modelo oculto de Markov

- $X = (X_1, \dots, X_T)$ secuencia de variables aleatorias que toman valores de **estados ocultos [no observados]** $S = \{s_1, \dots, s_N\}$ dada una secuencia de observaciones $O = (O_1, \dots, O_T)$
- Inferencia: Probabilidad de ...
 - un proceso: $P(O)$?
 - el estado final de un proceso: $P(X_T | O)$?
 - **la explicación de un proceso:** $P(X_1, \dots, X_T | O)$?

Modelo generativo en vez de modelo condicional

$$P(X | O) = \frac{P(X, O)}{P(O)} \approx P(X, O)$$

$$P(X_1, \dots, X_T, O) = P(X_1, \dots, X_T) \cdot P(O | X_1 \dots X_T)$$

$$P(X_1, \dots, X_T) = \pi_{X_1} \prod_{t=2}^T a_{X_{t-1}X_t}$$

$$P(O | X_1 \dots X_T) = \prod_{t=1}^T b_{O_t X_t}$$

$$P(X_1, \dots, X_T, O) = \pi_{X_1} \cdot b_{O_1 X_1} \cdot \prod_{t=2}^T a_{X_{t-1}X_t} \cdot b_{O_t X_t}$$

Modelo oculto de Markov

Etiquetado
morfo-
sintáctico

Etiquetadores
morfo-
sintácticos

Modelo oculto de
Markov

- Matriz de transición:

$$a_{ij} = P(X_{t+1} = s_j | X_t = s_i); \quad \forall i, j \ a_{ij} \geq 0; \quad \forall i \ \sum_{j=1}^N a_{ij} = 1$$

- Probabilidades iniciales (o estado extra s_0):

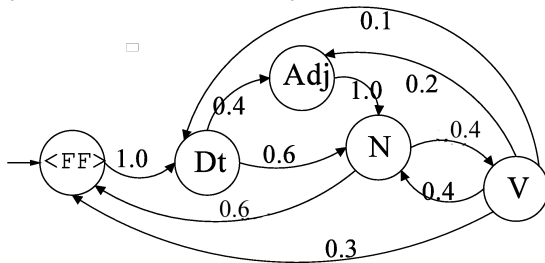
$$\pi_i = P(X_1 = s_i); \quad \sum_{i=1}^N \pi_i = 1$$

- Probabilidades de emisión:

$$b_{ik} = P(O_t = k | X_t = s_i) \quad \forall i, k \ b_{ik} \geq 0; \quad \forall i \ \sum_{k=1}^N b_{ik} = 1$$

Modelo oculto de Markov

Ejemplo (horizonte=1; bigramas)



b_{ik}	.	the	this	cat	kid	eats	runs	fish	fresh	little	big
<FF>	1.0										
Dt	0.6	0.4									
N			0.3	0.1		0.1	0.3	0.2			
V				0.1	0.5	0.3	0.1				
Adj				0.1				0.2	0.3	0.4	

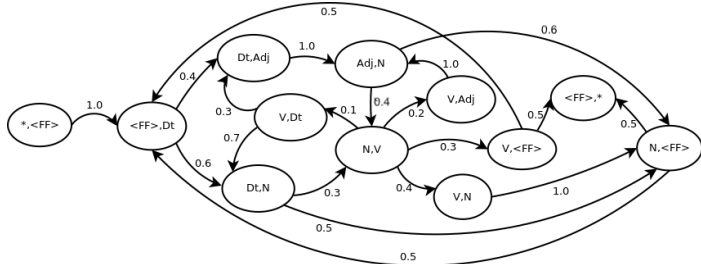
Etiquetado morfo-sintáctico

Etiquetadores morfo-sintácticos

Modelo oculto de Markov

Hidden Markov model

Ejemplo (horizonte=2; trigramas)



b_{ik}	.	the	this	cat	kid	eats	runs	fish	fresh	little	big
?,<FF>	1.0										
?,Dt	0.6	0.4									
?,N			0.3	0.1		0.1	0.3	0.2			
?,V				0.1	0.5	0.3	0.1				
?,Adj				0.1				0.2	0.3	0.4	

Etiquetado morfo-sintáctico

Etiquetadores morfo-sintácticos

Modelo oculto de Markov

Aprendizaje de parámetros

Etiquetado
morfo-
sintáctico

Etiquetadores
morfo-
sintácticos

Modelo oculto de
Markov

- Parámetros a_{ij} , b_{ik} y π_i pueden ser estimados usando un corpus de aprendizaje
- Uso de técnicas de suavizado
- Algoritmo no supervisado de Baum-Welch
fuera de este curso

Aprendizaje de parámetros

Ejemplo: estimador de máxima verosimilitud (MLE);
 u, v, w diferentes etiquetas POS en el corpus de entrenamiento

- HMM basado en bigramas

$$a(u, v) \approx P_{MLE}(v | u) = \frac{c(u, v)}{c(u)}$$

$$b(O_i, u) \approx P_{MLE}(O_i | u) = \frac{c(u, O_i)}{c(u)}$$

$$\pi(u) \approx P_{MLE}(u | *) = \frac{c(*, u)}{c(*)}$$

- HMM basado en trigramas

$$a(uv, vw) \approx P_{MLE}(vw | uv) = \frac{c(u, v, w)}{c(u, v)}$$

$$b(O_i, uv) = b(O_i, v) \approx P_{MLE}(O_i | v) = \frac{c(v, O_i)}{c(v)}$$

$$\pi(*u) \approx P_{MLE}(*u | **) = \frac{c(*, *, u)}{c(**)} \quad \pi(uv) \approx P_{MLE}(uv | *u) = \frac{c(*, u, v)}{c(*u)}$$

Ejercicio

Etiquetado
morfo-
sintáctico

Etiquetadores
morfo-
sintácticos

Modelo oculto de
Markov

Dado el siguiente corpus,

horse/NN flies/NNS time/VBP morning/NN rays/NNS ./.

eat/VB breakfast/NN at/IN morning/NN time/NN ./.

take/VB time/NN with/IN arrow/NN projects/NNS ./.

dinner/NN time/NN goes/VBZ before/IN sleep/NN ./.

flies/NNS smell/VBP an/DT arrow/NN drink/NN ./.

bees/NNS sting/VBP like/IN some/DT flies/NNS ./.

aplicar MLE para estimar los parámetros no nulos para las etiquetas POS de la siguiente oración usando bigramas:

"time flies like horse flies ."

Ejercicio

horse/NN flies/NNS time/VBP morning/NN rays/NNS ./.
eat/VB breakfast/NN at/IN morning/NN time/NN ./.
take/VB time/NN with/IN arrow/NN projects/NNS ./.
dinner/NN time/NN flies/VBZ before/IN sleep/NN ./.
flies/NNS smell/VBP an/DT arrow/NN drink/NN ./.
bees/NNS sting/VBP like/IN some/DT flies/NNS ./.

"time flies like horse flies ."

Etiquetado
morfo-
sintáctico

Etiquetadores
morfo-
sintácticos

Modelo oculto de
Markov

Matriz de transición A y probabilidades iniciales π :

$c(u)$	$c(u,v)$
*	NN NNS VBP VBZ IN .
NN	NN
NNS	NNS
VBP	VBP
VBZ	VBZ
IN	IN
.	

Ejercicio

- * horse/NN flies/NNS time/VBP morning/NN rays/NNS ./.
- eat/VB breakfast/NN at/IN morning/NN time/NN ./.
- take/VB time/NN with/IN arrow/NN projects/NNS ./.
- * dinner/NN time/NN flies/VBZ before/IN sleep/NN ./.
- flies/NNS smell/VBP an/DT arrow/NN drink/NN ./.
- bees/NNS sting/VBP like/IN some/DT flies/NNS ./.

"time flies like horse flies ."

Etiquetado
morfo-
sintáctico

Etiquetadores
morfo-
sintácticos

Modelo oculto de
Markov

Matriz de transición A y probabilidades iniciales π :

$c(u)$		$c(u,v)$	NN	NNS	VBP	VBZ	IN	.
*	6	*	2					
NN		NN						
NNS		NNS						
VBP		VBP						
VBZ		VBZ						
IN		IN						
.								

Ejercicio

horse/NN flies/NNS time/VBP morning/NN rays/NNS ./.
eat/VB breakfast/NN at/IN morning/NN time/NN ./.
take/VB time/NN with/IN arrow/NN projects/NNS ./.
dinner/NN time/NN flies/VBZ before/IN sleep/NN ./.
flies/NNS smell/VBP an/DT arrow/NN drink/NN ./.
bees/NNS sting/VBP like/IN some/DT flies/NNS ./.

"time flies like horse flies ."


Etiquetado
morfo-
sintáctico

Matriz de transición A y probabilidades iniciales π :

Etiquetadores
morfo-
sintácticos

Modelo oculto de
Markov

$c(u)$		$c(u,v)$	NN	NNS	VBP	VBZ	IN	.
*	6	*	2					
NN		NN						
NNS		NNS						
VBP		VBP						
VBZ		VBZ						
IN		IN						
.								

$1/3$  NN

*

Ejercicio

horse/NN flies/NNS time/VBP morning/NN rays/NNS ./.
 eat/VB breakfast/NN at/IN morning/NN time/NN ./.
 take/VB time/NN with/IN arrow/NN projects/NNS ./.
 dinner/NN time/NN flies/VBZ before/IN sleep/NN ./.
 * flies/NNS smell/VBP an/DT arrow/NN drink/NN ./.
 * bees/NNS sting/VBP like/IN some/DT flies/NNS ./.

"time flies like horse flies ."

Etiquetado morfo-sintáctico

Etiquetadores morfo-sintácticos

Modelo oculto de Markov

Matriz de transición **A** y probabilidades iniciales π :

$c(u)$		$c(u,v)$	NN	NNS	VBP	VBZ	IN	.
*	6	*	2	2				
NN		NN						
NNS		NNS						
VBP		VBP						
VBZ		VBZ						
IN		IN						
.		.						

*	↗	1/3	↘	NN
---	---	-----	---	----

Ejercicio

horse/NN flies/NNS time/VBP morning/NN rays/NNS ./.
eat/VB breakfast/NN at/IN morning/NN time/NN ./.
take/VB time/NN with/IN arrow/NN projects/NNS ./.
dinner/NN time/NN flies/VBZ before/IN sleep/NN ./.
flies/NNS smell/VBP an/DT arrow/NN drink/NN ./.
bees/NNS sting/VBP like/IN some/DT flies/NNS ./.

"time flies like horse flies ."

Etiquetado
morfo-
sintáctico

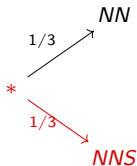
Etiquetadores
morfo-
sintácticos

Modelo oculto de
Markov

Matriz de transición **A** y probabilidades iniciales π :

$c(u)$	
*	6
NN	
NNS	
VBP	
VBZ	
IN	
.	

$c(u,v)$	NN	NNS	VBP	VBZ	IN	.
*	2	2				
NN						
NNS						
VBP						
VBZ						
IN						



Ejercicio

horse/NN flies/NNS time/VBP morning/NN rays/NNS ./.
 eat/VB breakfast/NN at/IN morning/NN time/NN ./.
 take/VB time/NN with/IN arrow/NN projects/NNS ./.
 dinner/NN time/NN flies/VBZ before/IN sleep/NN ./.
 flies/NNS smell/VBP an/DT arrow/NN drink/NN ./.
 bees/NNS sting/VBP like/IN some/DT flies/NNS ./.

"time flies like horse flies ."

Etiquetado morfo-sintáctico

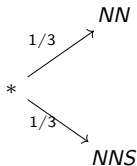
Etiquetadores morfo-sintácticos

Modelo oculto de Markov

Matriz de transición A y probabilidades iniciales π :

$c(u)$	
*	6
NN	12
NNS	
VBP	
VBZ	
IN	
.	

$c(u,v)$	NN	NNS	VBP	VBZ	IN	.
*	2	2				
NN						
NNS						
VBP						
VBZ						
IN						



Ejercicio

horse/NN flies/NNS time/VBP morning/NN rays/NNS ./.
 eat/VB breakfast/NN at/IN morning/NN time/NN ./.
 take/VB time/NN with/IN arrow/NN projects/NNS ./.
 dinner/NN time/NN flies/VBZ before/IN sleep/NN ./.
 flies/NNS smell/VBP an/DT arrow/NN drink/NN ./.
 bees/NNS sting/VBP like/IN some/DT flies/NNS ./.

"time flies like horse flies ."

Etiquetado morfo-sintáctico

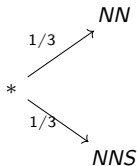
Etiquetadores morfo-sintácticos

Modelo oculto de Markov

Matriz de transición **A** y probabilidades iniciales π :

$c(u)$	
*	6
NN	12
NNS	
VBP	
VBZ	
IN	
.	

$c(u,v)$	NN	NNS	VBP	VBZ	IN	.
*	2	2				
NN	3					
NNS						
VBP						
VBZ						
IN						



Ejercicio

horse/NN flies/NNS time/VBP morning/NN rays/NNS ./.
 eat/VB breakfast/NN at/IN morning/NN time/NN ./.
 take/VB time/NN with/IN arrow/NN projects/NNS ./.
 dinner/NN time/NN flies/VBZ before/IN sleep/NN ./.
 flies/NNS smell/VBP an/DT arrow/NN drink/NN ./.
 bees/NNS sting/VBP like/IN some/DT flies/NNS ./.

"time flies like horse flies ."

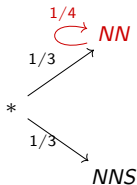
Etiquetado morfo-sintáctico

Etiquetadores morfo-sintácticos

Modelo oculto de Markov

Matriz de transición **A** y probabilidades iniciales π :

$c(u)$		$c(u,v)$	NN	NNS	VBP	VBZ	IN	.
*	6	*	2	2				
NN	12	NN	3					
NNS		NNS						
VBP		VBP						
VBZ		VBZ						
IN		IN						
.		.						



Ejercicio

horse/NN flies/NNS time/VBP morning/NN rays/NNS ./.
eat/VB breakfast/NN at/IN morning/NN time/NN ./.
take/VB time/NN with/IN arrow/NN projects/NNS ./.
dinner/NN time/NN flies/VBZ before/IN sleep/NN ./.
flies/NNS smell/VBP an/DT arrow/NN drink/NN ./.
bees/NNS sting/VBP like/IN some/DT flies/NNS ./.

"time flies like horse flies ."

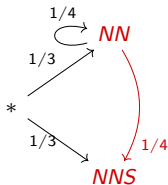
Etiquetado
morfo-
sintáctico

Etiquetadores
morfo-
sintácticos

Modelo oculto de
Markov

Matriz de transición **A** y probabilidades iniciales π :

$c(u)$		$c(u,v)$	NN	NNS	VBP	VBZ	IN	.
*	6	*	2	2				
NN	12	NN	3	3				
NNS		NNS						
VBP		VBP						
VBZ		VBZ						
IN		IN						
.		.						



Ejercicio

horse/NN flies/NNS time/VBP morning/NN rays/NNS ./.
 eat/VB breakfast/NN at/IN morning/NN time/NN ./.
 take/VB time/NN with/IN arrow/NN projects/NNS ./.
 dinner/NN **time/NN flies/VBZ** before/IN sleep/NN ./.
 flies/NNS smell/VBP an/DT arrow/NN drink/NN ./.
 bees/NNS sting/VBP like/IN some/DT flies/NNS ./.

"time flies like horse flies ."

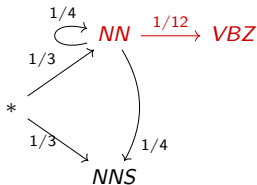
Etiquetado
 morfo-
 sintáctico

Etiquetadores
 morfo-
 sintácticos

Modelo oculto de
 Markov

Matriz de transición **A** y probabilidades iniciales π :

$c(u)$		$c(u,v)$	NN	NNS	VBP	VBZ	IN	.
*	6	*	2	2				
NN	12	NN	3	3		1		
NNS		NNS						
VBP		VBP						
VBZ		VBZ						
IN		IN						
.		.						



Ejercicio

horse/NN flies/NNS time/VBP morning/NN rays/NNS ./.
 eat/VB breakfast/NN at/IN morning/NN time/NN ./.
 take/VB time/NN with/IN arrow/NN projects/NNS ./.
 dinner/NN time/NN flies/VBZ before/IN sleep/NN ./.
 flies/NNS smell/VBP an/DT arrow/NN drink/NN ./.
 bees/NNS sting/VBP like/IN some/DT flies/NNS ./.

"time flies like horse flies ."

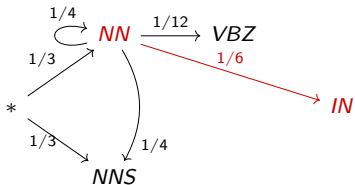
Etiquetado morfo-sintáctico

Etiquetadores morfo-sintácticos

Modelo oculto de Markov

Matriz de transición **A** y probabilidades iniciales π :

$c(u)$		$c(u,v)$	NN	NNS	VBP	VBZ	IN	.
*	6	*	2	2				
NN	12	NN	3	3		1	2	
NNS		NNS						
VBP		VBP						
VBZ		VBZ						
IN		IN						
.		.						



Ejercicio

horse/NN flies/NNS time/VBP morning/NN rays/NNS ./.
 eat/VB breakfast/NN at/IN morning/NN **time/NN** ./.
 take/VB time/NN with/IN arrow/NN projects/NNS ./.
 dinner/NN time/NN flies/VBZ before/IN **sleep/NN** ./.
 flies/NNS smell/VBP an/DT arrow/NN **drink/NN** ./.
 bees/NNS sting/VBP like/IN some/DT flies/NNS ./.

"time flies like horse flies ."

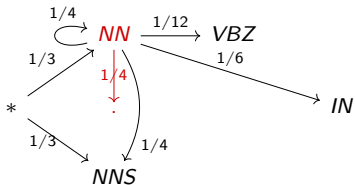
Etiquetado morfo-sintáctico

Etiquetadores morfo-sintácticos

Modelo oculto de Markov

Matriz de transición **A** y probabilidades iniciales π :

$c(u)$		$c(u,v)$	NN	NNS	VBP	VBZ	IN	.
*	6	*	2	2				
NN	12	NN	3	3		1	2	3
NNS		NNS						
VBP		VBP						
VBZ		VBZ						
IN		IN						
.		.						



Ejercicio

horse/NN flies/NNS time/VBP morning/NN rays/NNS ./.
 eat/VB breakfast/NN at/IN morning/NN time/NN ./.
 take/VB time/NN with/IN arrow/NN projects/NNS ./.
 dinner/NN time/NN flies/VBZ before/IN sleep/NN ./.
 flies/NNS smell/VBP an/DT arrow/NN drink/NN ./.
 bees/NNS sting/VBP like/IN some/DT flies/NNS ./.

"time flies like horse flies ."

Etiquetado morfo-sintáctico

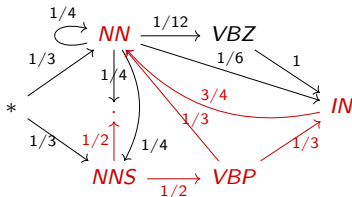
Etiquetadores morfo-sintácticos

Modelo oculto de Markov

Matriz de transición A y probabilidades iniciales π :

$c(u)$	
*	6
NN	12
NNS	6
VBP	3
VBZ	1
IN	4
.	6

$c(u,v)$	NN	NNS	VBP	VBZ	IN	.
*	2	2				
NN	3	3		1	2	3
NNS			3			3
VBP	1				1	
VBZ					1	
IN	3					



Ejercicio

horse/NN flies/NNS time/VBP morning/NN rays/NNS ./.
 eat/VB breakfast/NN at/IN morning/NN time/NN ./.
 take/VB time/NN with/IN arrow/NN projects/NNS ./.
 dinner/NN time/NN flies/VBZ before/IN sleep/NN ./.
 flies/NNS smell/VBP an/DT arrow/NN drink/NN ./.
 bees/NNS sting/VBP like/IN some/DT flies/NNS ./.

"time flies like horse flies."

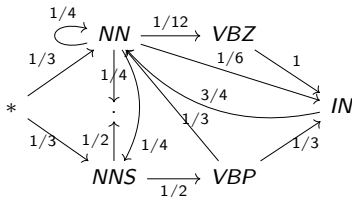
Etiquetado morfo-sintáctico

Etiquetadores morfo-sintácticos

Modelo oculto de Markov

Matriz de transición A y probabilidades iniciales π :

$c(u)$		$c(u,v)$	NN	NNS	VBP	VBZ	IN	.
*	6	*	2	2				
NN	12	NN	3	3		1	2	3
NNS	6	NNS			3			3
VBP	3	VBP	1				1	
VBZ	1	VBZ					1	
IN	4	IN	3					
.	6							



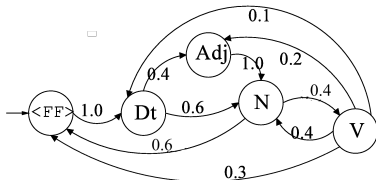
Matriz de emisión B:

$c(u)$		$c(u,O_i)$	time	flies	like	horse	.
*	6	NN	3			1	
NN	12	NNS		3			
NNS	6	VBP	1				
VBP	3	VBZ		1			
VBZ	1	IN			1		
IN	4	.					6
.	6						

$b_{i,k}$	time	flies	like	horse	.
NN	1/4			1/12	
NNS		1/2			
VBP	1/3				
VBZ			1		
IN				1/4	
.					1

Cuál es la mejor secuencia de etiquetas POS?

Volviendo al ejemplo anterior:



b_{ik}	.	this	cat	eats	fish	...
<FF>	1.0					
Dt		0.4				
N			0.3		0.3	
V				0.5	0.1	
Adj						

$P(X, O) = P(X, \text{., this, cat, eats, fish})$? 7 posibles secuencias X :

$X = \langle \text{FF} \rangle, \text{Dt}, \text{Adj}, \text{N}, \langle \text{FF} \rangle$

$X = \langle \text{FF} \rangle, \text{Dt}, \text{Adj}, \text{N}, \text{V}$

$X = \langle \text{FF} \rangle, \text{Dt}, \text{N}, \langle \text{FF} \rangle, \text{Dt}$

$X = \langle \text{FF} \rangle, \text{Dt}, \text{N}, \text{V}, \langle \text{FF} \rangle$

$X = \langle \text{FF} \rangle, \text{Dt}, \text{N}, \text{V}, \text{N}$

$P(X, O) = (1 \cdot 1) \cdot (1 \cdot 0.4) \cdot (0.6 \cdot 0.3) \cdot (0.4 \cdot 0.5) \cdot (0.4 \cdot 0.3) = 0.001728$

$X = \langle \text{FF} \rangle, \text{Dt}, \text{N}, \text{V}, \text{Adj}$

$X = \langle \text{FF} \rangle, \text{Dt}, \text{N}, \text{V}, \text{Dt}$

Etiquetado morfo-sintáctico

Etiquetadores morfo-sintácticos

Modelo oculto de Markov

Cuál es la mejor secuencia de etiquetas POS?

Etiquetado
morfo-
sintáctico

Etiquetadores
morfo-
sintácticos

Modelo oculto de
Markov

Queremos encontrar

$$\hat{X} = \underset{X}{\operatorname{argmax}} P(X | O) \approx \underset{X}{\operatorname{argmax}} P(X, O)$$

- Fuerza bruta, $O(N^T)$
 N estados (etiquetas POS) y T observaciones (longitud de la secuencia de palabras)
- **algoritmo de Viterbi**, programación dinámica, $O(T * N^2)$

Índice

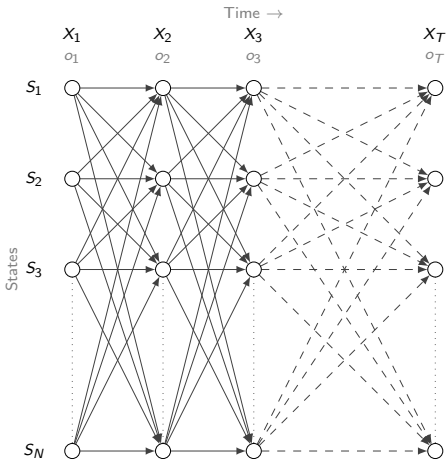
Etiquetado morfo-sintáctico

Etiquetadores morfo-sintácticos

Algoritmo de Viterbi

- 1 Etiquetado morfosintáctico
 - Objetivo y motivación
 - Etiquetas morfosintácticas (POS)
- 2 Etiquetadores morfosintácticos
 - Etiquetadores estocásticos
 - Modelo oculto de Markov
 - Algoritmo de Viterbi

Algoritmo de Viterbi



Etiquetado morfo-sintáctico

Etiquetadores morfo-sintácticos

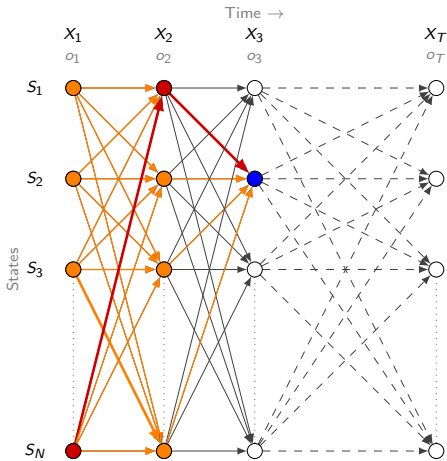
Algoritmo de Viterbi

Estructura auxiliar:

TRELLIS de un HMM totalmente conectado

El nodo (S_i, X_t) guarda información relativa al estado S_i sobre la secuencia parcial de X_1 a X_t : $\delta_t(i)$ y $\varphi_t(i)$

Algoritmo de Viterbi



Estructura auxiliar:

TRELLIS de un HMM totalmente conectado

El nodo (S_i, X_t) guarda información relativa al estado S_i sobre la secuencia parcial de X_1 a X_t : $\delta_t(i)$ y $\varphi_t(i)$

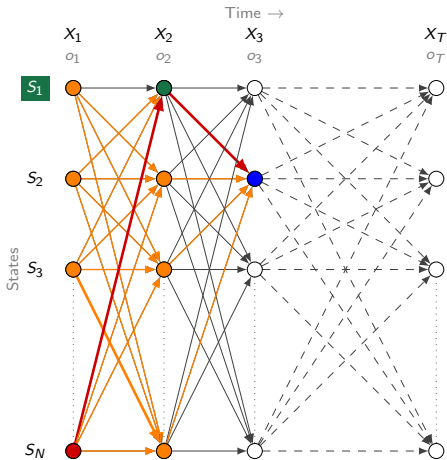
$$\delta_t(i) = \max_{X_1, \dots, X_{t-1}} P(X_1, \dots, X_{t-1}, X_t = S_i, O)$$

Etiquetado morfo-sintáctico

Etiquetadores morfo-sintácticos

Algoritmo de Viterbi

Algoritmo de Viterbi



Estructura auxiliar:

TRELLIS de un HMM totalmente conectado

El nodo (S_i, X_t) guarda información relativa al estado S_i sobre la secuencia parcial de X_1 a X_t : $\delta_t(i)$ y $\varphi_t(i)$

$$\delta_t(i) = \max_{X_1, \dots, X_{t-1}} P(X_1, \dots, X_{t-1}, X_t = S_i, O)$$

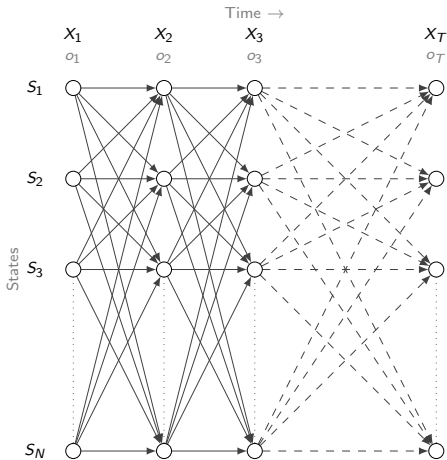
$$\varphi_t(i) = \text{last}(\arg\max_{X_1, \dots, X_{t-1}} P(X_1, \dots, X_{t-1}, X_t = S_i, O))$$

Etiquetado morfo-sintáctico

Etiquetadores morfo-sintácticos

Algoritmo de Viterbi

Algoritmo de Viterbi



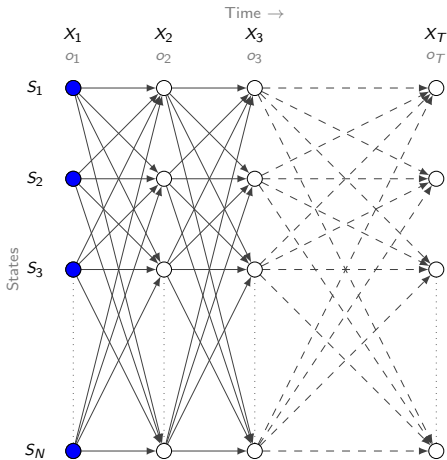
Algoritmo:

Etiquetado morfo-sintáctico

Etiquetadores morfo-sintácticos

Algoritmo de Viterbi

Algoritmo de Viterbi



Algoritmo:

1. Inicialización:

$$\forall j = 1 \dots N :$$

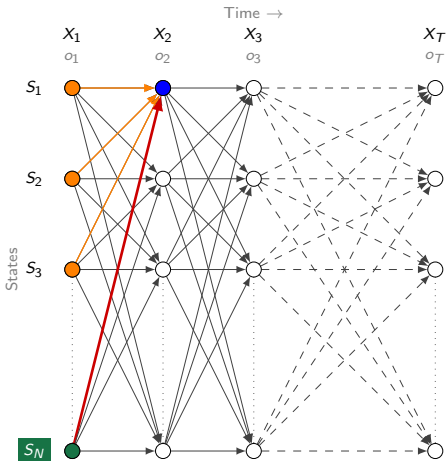
$$\delta_1(j) = \pi_j * b_{j,o_1}$$

Etiquetado morfo-sintáctico

Etiquetadores morfo-sintácticos

Algoritmo de Viterbi

Algoritmo de Viterbi



Etiquetado morfo-sintáctico

Etiquetadores morfo-sintácticos

Algoritmo de Viterbi

Algoritmo:

1. Inicialización:

$$\forall j = 1 \dots N :$$

$$\delta_1(j) = \pi_j * b_{j,o_1}$$

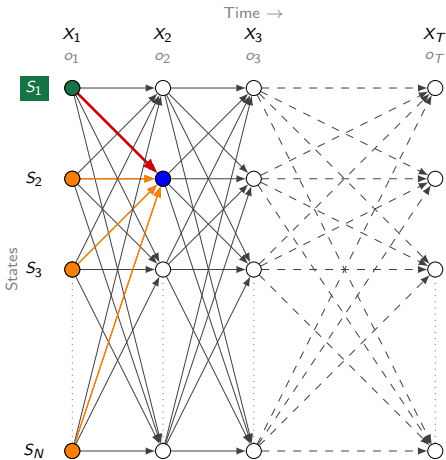
2. Inferencia:

$$\forall t = 2 \dots T : \forall j = 1 \dots N :$$

$$\delta_t(j) = \max_{1 \leq i \leq N} (\delta_{t-1}(i) * a_{i,j}) * b_{j,o_t}$$

$$\varphi_t(j) = \operatorname{argmax}_{1 \leq i \leq N} (\delta_{t-1}(i) * a_{i,j})$$

Algoritmo de Viterbi



Etiquetado morfo-sintáctico

Etiquetadores morfo-sintácticos

Algoritmo de Viterbi

Algoritmo:

1. Inicialización:

$$\forall j = 1 \dots N :$$

$$\delta_1(j) = \pi_j * b_{j,o_1}$$

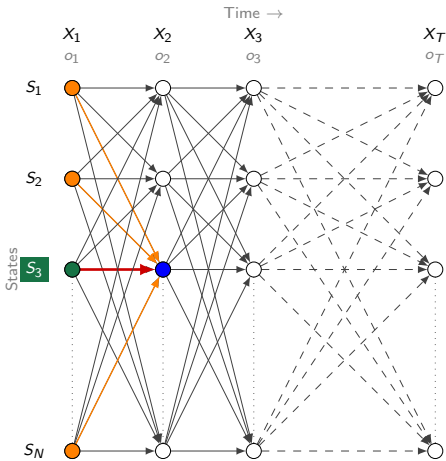
2. Inferencia:

$$\forall t = 2 \dots T : \quad \forall j = 1 \dots N :$$

$$\delta_t(j) = \max_{1 \leq i \leq N} (\delta_{t-1}(i) * a_{i,j}) * b_{j,o_t}$$

$$\varphi_t(j) = \operatorname{argmax}_{1 \leq i \leq N} (\delta_{t-1}(i) * a_{i,j})$$

Algoritmo de Viterbi



Etiquetado morfo-sintáctico

Etiquetadores morfo-sintácticos

Algoritmo de Viterbi

Algoritmo:

1. Inicialización:

$$\forall j = 1 \dots N :$$

$$\delta_1(j) = \pi_j * b_{j,o_1}$$

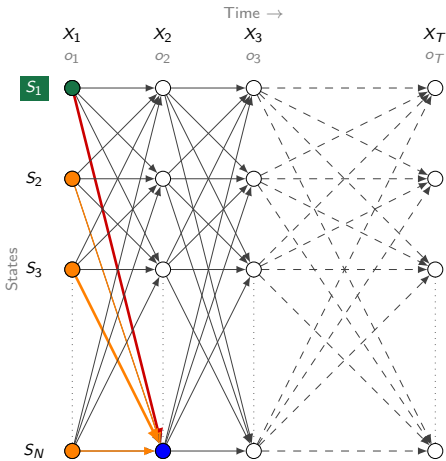
2. Inferencia:

$$\forall t = 2 \dots T : \forall j = 1 \dots N :$$

$$\delta_t(j) = \max_{1 \leq i \leq N} (\delta_{t-1}(i) * a_{i,j}) * b_{j,o_t}$$

$$\varphi_t(j) = \operatorname{argmax}_{1 \leq i \leq N} (\delta_{t-1}(i) * a_{i,j})$$

Algoritmo de Viterbi



Etiquetado morfo-sintáctico

Etiquetadores morfo-sintácticos

Algoritmo de Viterbi

Algoritmo:

1. Inicialización:

$$\forall j = 1 \dots N :$$

$$\delta_1(j) = \pi_j * b_{j,o_1}$$

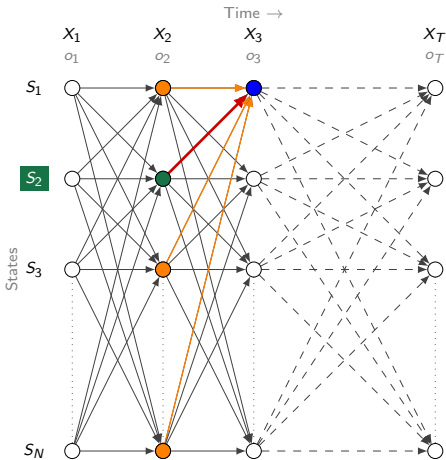
2. Inferencia:

$$\forall t = 2 \dots T : \forall j = 1 \dots N :$$

$$\delta_t(j) = \max_{1 \leq i \leq N} (\delta_{t-1}(i) * a_{i,j}) * b_{j,o_t}$$

$$\varphi_t(j) = \operatorname{argmax}_{1 \leq i \leq N} (\delta_{t-1}(i) * a_{i,j})$$

Algoritmo de Viterbi



Etiquetado morfo-sintáctico

Etiquetadores morfo-sintácticos

Algoritmo de Viterbi

Algoritmo:

1. Inicialización:

$$\forall j = 1 \dots N :$$

$$\delta_1(j) = \pi_j * b_{j,o_1}$$

2. Inferencia:

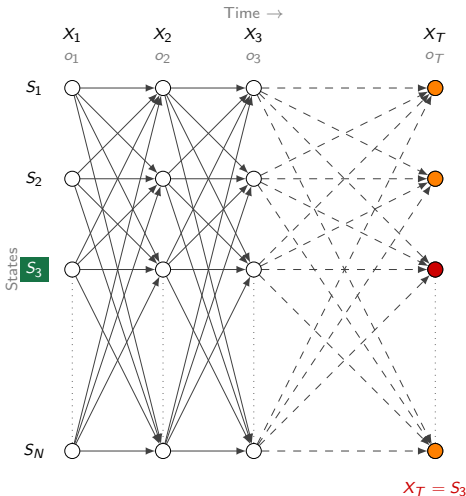
$$\forall t = 2 \dots T : \forall j = 1 \dots N :$$

$$\delta_t(j) = \max_{1 \leq i \leq N} (\delta_{t-1}(i) * a_{i,j}) * b_{j,o_t}$$

$$\varphi_t(j) = \operatorname{argmax}_{1 \leq i \leq N} (\delta_{t-1}(i) * a_{i,j})$$

Algoritmo de Viterbi

Etiquetado morfo-sintáctico
Etiquetadores morfo-sintácticos
Algoritmo de Viterbi



Algoritmo:

1. Inicialización:

$$\forall j = 1 \dots N : \\ \delta_1(j) = \pi_j * b_{j,o_1}$$

2. Inferencia:

$$\forall t = 2 \dots T : \quad \forall j = 1 \dots N :$$

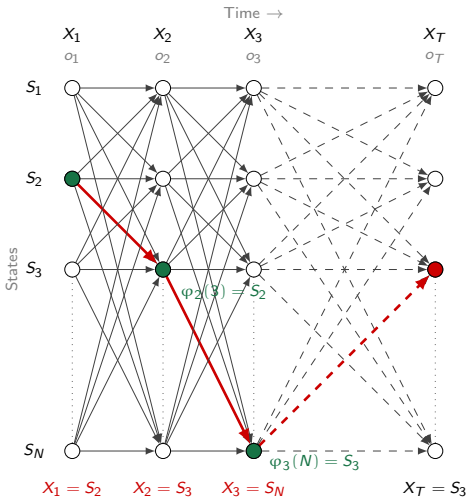
$$\delta_t(j) = \max_{1 \leq i \leq N} (\delta_{t-1}(i) * a_{i,j}) * b_{j,o_t}$$

$$\varphi_t(j) = \operatorname{argmax}_{1 \leq i \leq N} (\delta_{t-1}(i) * a_{i,j})$$

3. Finalización:

$$X_T = \operatorname{argmax}_i (\delta_T(i))$$

Algoritmo de Viterbi



Etiquetado morfo-sintáctico

Etiquetadores morfo-sintácticos

Algoritmo de Viterbi

Algoritmo:

1. Inicialización:

$$\forall j = 1 \dots N :$$

$$\delta_1(j) = \pi_j * b_{j,o_1}$$

2. Inferencia:

$$\forall t = 2 \dots T : \quad \forall j = 1 \dots N :$$

$$\delta_t(j) = \max_{1 \leq i \leq N} (\delta_{t-1}(i) * a_{ij}) * b_{j,o_t}$$

$$\varphi_t(j) = \operatorname{argmax}_{1 \leq i \leq N} (\delta_{t-1}(i) * a_{ij})$$

3. Finalización:

$$X_T = \operatorname{argmax}_i (\delta_T(i))$$

4. Reconstrucción del camino:

$$\forall t = 1 \dots T - 1 :$$

$$X_t = \varphi_{t+1}(X_{t+1})$$

Ejercicio

Aplica el algoritmo de Viterbi usando el siguiente HMM a

The	kid	fishes	fish
DT	NN	NNS	NN
	JJ	VBZ	NNS
			VBP

Etiquetado morfo-sintáctico

Etiquetadores morfo-sintácticos

Algoritmo de Viterbi

A	DT	JJ	NN	NNS	VBZ	VBP
DT		0.2	0.5	0.3		
JJ			0.8	0.2		
NN				0.1	0.9	
NNS						1
VBZ	0.5		0.2	0.3		
VBP	0.4		0.4	0.2		

π	
DT	0.4
JJ	0.2
NN	
NNS	0.3
VBZ	
VBP	0.1

B	the	big	kid	fish	time	fishes	times
DT	1						
JJ		0.8	0.2				
NN			0.3	0.4	0.3		
NNS				0.3		0.4	0.3
VBZ						0.6	0.4
VBP				0.7	0.3		

Ejercicio

π	
DT	0.4
JJ	0.2
NN	
NNS	0.3
VBZ	
VBP	0.1

A	DT	JJ	NN	NNS	VBZ	VBP
DT		0.2	0.5	0.3		
JJ			0.8	0.2		
NN				0.1	0.9	
NNS						1
VBZ	0.5		0.2	0.3		
VBP	0.4		0.4	0.2		

B	the	kid	fish	fishes
DT	1			
JJ		0.2		
NN		0.3	0.4	
NNS			0.3	0.4
VBZ				0.6
VBP			0.7	

Etiquetado morfo-sintáctico

Etiquetadores morfo-sintácticos

Algoritmo de Viterbi

Trellis del Viterbi:

$O_1 = \text{the}$
 X_1

$O_2 = \text{kid}$
 X_2

$O_3 = \text{fishes}$
 X_3

$O_4 = \text{fish}$
 X_4

$\bar{S}_1 = \bar{DT}$

$\bar{S}_2 = \bar{JJ}$

$\bar{S}_3 = \bar{NN}$

$\bar{S}_4 = \bar{NNS}$

$\bar{S}_5 = \bar{VBZ}$

$\bar{S}_6 = \bar{VBP}$

Ejercicio

π	
DT	0.4
JJ	0.2
NN	0
NNS	0.3
VBZ	
VBP	0.1

A	DT	JJ	NN	NNS	VBZ	VBP
DT		0.2	0.5	0.3		
JJ			0.8	0.2		
NN				0.1	0.9	
NNS						1
VBZ	0.5		0.2	0.3		
VBP	0.4		0.4	0.2		

B	the	kid	fish	fishes
DT	1			
JJ		0.2		
NN	0	0.3	0.4	
NNS			0.3	0.4
VBZ				0.6
VBP			0.7	

Etiquetado morfo-sintáctico

Etiquetadores morfo-sintácticos

Algoritmo de Viterbi

Trellis del Viterbi: Inicialización: $\delta_1(i) = \pi_i * b_{i,o_1}$

$O_1 = \text{the}$ X_1	$O_2 = \text{kid}$ X_2	$O_3 = \text{fishes}$ X_3	$O_4 = \text{fish}$ X_4
$\bar{S}_1 = \bar{DT}$	$\bar{S}_2 = \bar{JJ}$	$\bar{S}_3 = \bar{NN}$	$\bar{S}_4 = \bar{NNS}$
$\bar{S}_5 = \bar{VBZ}$	$\bar{S}_6 = \bar{VBP}$		

$\bar{\pi} = 0.4$ $\bar{b} = 1$
 $\bar{\delta} = 0.4$

$\bar{\pi} = 0$ $\bar{b} = 0$
 $\bar{\delta} = 0$

Ejercicio

π	
DT	0.4
JJ	0.2
NN	
NNS	0.3
VBZ	
VBP	0.1

A	DT	JJ	NN	NNS	VBZ	VBP
DT		0.2	0.5	0.3		
JJ			0.8	0.2		
NN				0.1	0.9	
NNS						1
VBZ	0.5		0.2	0.3		
VBP	0.4		0.4	0.2		

B	the	kid	fish	fishes
DT	1			
JJ		0.2		
NN		0.3	0.4	
NNS	0		0.3	0.4
VBZ				0.6
VBP			0.7	

Etiquetado morfo-sintáctico

Etiquetadores morfo-sintácticos

Algoritmo de Viterbi

Trellis del Viterbi: Inicialización: $\delta_1(i) = \pi_i * b_{i,o_1}$

	$O_1 = \text{the}$ X_1	$O_2 = \text{kid}$ X_2	$O_3 = \text{fishes}$ X_3	$O_4 = \text{fish}$ X_4
$\bar{S}_1 = \bar{DT}$	$\bar{\pi} = 0.4$ $\bar{b} = 1$			
	$\delta = 0.4$			
$\bar{S}_2 = \bar{JJ}$				
$\bar{S}_3 = \bar{NN}$				
$\bar{S}_4 = \bar{NNS}$	$\bar{\pi} = 0.3$ $\bar{b} = 0$			
	$\delta = 0$			
$\bar{S}_5 = \bar{VBZ}$				
$\bar{S}_6 = \bar{VBP}$				

Ejercicio

π	
DT	0.4
JJ	0.2
NN	
NNS	0.3
VBZ	0
VBP	0.1

A	DT	JJ	NN	NNS	VBZ	VBP
DT		0.2	0.5	0.3		
JJ			0.8	0.2		
NN				0.1	0.9	
NNS						1
VBZ	0.5		0.2	0.3		
VBP	0.4		0.4	0.2		

B	the	kid	fish	fishes
DT	1			
JJ		0.2		
NN		0.3	0.4	
NNS			0.3	0.4
VBZ	0			0.6
VBP			0.7	

Etiquetado morfo-sintáctico

Etiquetadores morfo-sintácticos

Algoritmo de Viterbi

Trellis del Viterbi: Inicialización: $\delta_1(i) = \pi_i * b_{i,o_1}$

	$O_1 = \text{the}$ X_1	$O_2 = \text{kid}$ X_2	$O_3 = \text{fishes}$ X_3	$O_4 = \text{fish}$ X_4
$\bar{S}_1 = \bar{DT}$	$\bar{\pi} = 0.4$ $\bar{b} = 1$			
$\bar{S}_2 = \bar{JJ}$	$\bar{\delta} = 0.4$			
$\bar{S}_3 = \bar{NN}$				
$\bar{S}_4 = \bar{NNS}$				
$\bar{S}_5 = \bar{VBZ}$	$\bar{\pi} = 0$ $\bar{b} = 0$			
$\bar{S}_6 = \bar{VBP}$	$\bar{\delta} = 0$			

Ejercicio

π	
DT	0.4
JJ	0.2
NN	
NNS	0.3
VBZ	
VBP	0.1

A	DT	JJ	NN	NNS	VBZ	VBP
DT		0.2	0.5	0.3		
JJ			0.8	0.2		
NN				0.1	0.9	
NNS						1
VBZ	0.5		0.2	0.3		
VBP	0.4		0.4	0.2		

B	the	kid	fish	fishes
DT	1			
JJ		0.2		
NN		0.3	0.4	
NNS			0.3	0.4
VBZ				0.6
VBP	0		0.7	

Etiquetado morfo-sintáctico

Etiquetadores morfo-sintácticos

Algoritmo de Viterbi

Trellis del Viterbi: Inicialización: $\delta_1(i) = \pi_i * b_{i,o_1}$

	$O_1=the$ X_1	$O_2=kid$ X_2	$O_3=fishes$ X_3	$O_4=fish$ X_4
$\bar{S}_1=\bar{DT}$	$\bar{\pi}=0.4$	$\bar{b}=1$		
$\bar{S}_2=\bar{JJ}$	$\delta=0.4$			
$\bar{S}_3=\bar{NN}$				
$\bar{S}_4=\bar{NNS}$				
$\bar{S}_5=\bar{VBZ}$				
$\bar{S}_6=\bar{VBP}$	$\bar{\pi}=0.1$	$\bar{b}=0$		
	$\delta=0$			

Ejercicio

π	
DT	0.4
JJ	0.2
NN	
NNS	0.3
VBZ	
VBP	0.1

A	DT	JJ	NN	NNS	VBZ	VBP
DT	0	0.2	0.5	0.3		
JJ			0.8	0.2		
NN				0.1	0.9	
NNS						1
VBZ	0.5		0.2	0.3		
VBP	0.4		0.4	0.2		

B	the	kid	fish	fishes
DT	1	0		
JJ		0.2		
NN		0.3	0.4	
NNS			0.3	0.4
VBZ				0.6
VBP			0.7	

Etiquetado morfo-sintáctico

Etiquetadores morfo-sintácticos

Algoritmo de Viterbi

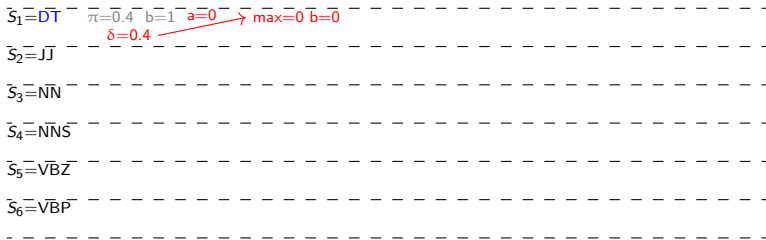
Trellis del Viterbi: Inferencia: $\delta_t(j) = \max(\delta_{t-1}(i) * a_{i,j}) * b_{j,o_t}$; $\varphi_t(j) = \operatorname{argmax}(\delta_{t-1}(i) * a_{i,j})$

$O_1 = \text{the}$
 X_1

$O_2 = \text{kid}$
 X_2

$O_3 = \text{fishes}$
 X_3

$O_4 = \text{fish}$
 X_4



Ejercicio

π	
DT	0.4
JJ	0.2
NN	
NNS	0.3
VBZ	
VBP	0.1

A	DT	JJ	NN	NNS	VBZ	VBP
DT		0.2	0.5	0.3		
JJ	0		0.8	0.2		
NN				0.1	0.9	
NNS						1
VBZ	0.5		0.2	0.3		
VBP	0.4		0.4	0.2		

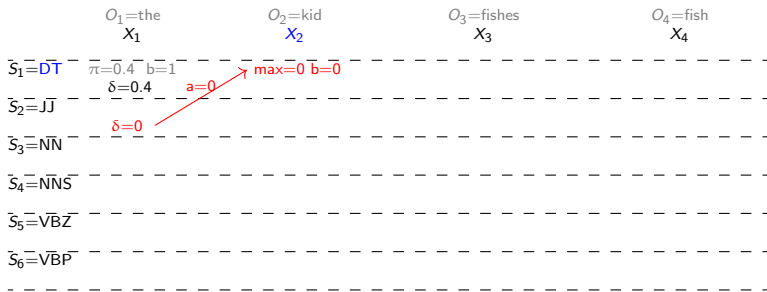
B	the	kid	fish	fishes
DT	1	0		
JJ		0.2		
NN		0.3	0.4	
NNS			0.3	0.4
VBZ				0.6
VBP			0.7	

Etiquetado morfo-sintáctico

Etiquetadores morfo-sintácticos

Algoritmo de Viterbi

Trellis del Viterbi: Inferencia: $\delta_t(j) = \max(\delta_{t-1}(i) * a_{ij}) * b_{j,o_t}$ $\varphi_t(j) = \operatorname{argmax}(\delta_{t-1}(i) * a_{ij})$



Ejercicio

π	
DT	0.4
JJ	0.2
NN	
NNS	0.3
VBZ	
VBP	0.1

A	DT	JJ	NN	NNS	VBZ	VBP
DT		0.2	0.5	0.3		
JJ			0.8	0.2		
NN	0			0.1	0.9	
NNS						1
VBZ	0.5		0.2	0.3		
VBP	0.4		0.4	0.2		

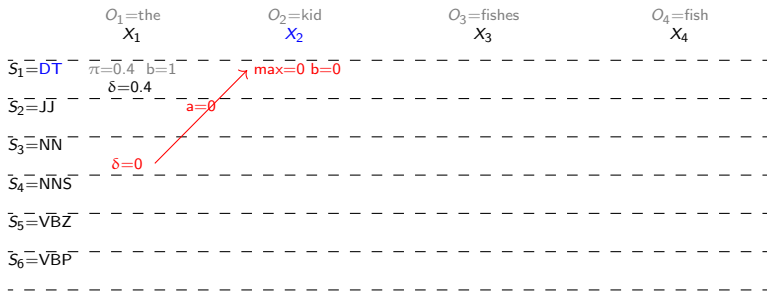
B	the	kid	fish	fishes
DT	1	0		
JJ		0.2		
NN		0.3	0.4	
NNS			0.3	0.4
VBZ				0.6
VBP			0.7	

Etiquetado morfo-sintáctico

Etiquetadores morfo-sintácticos

Algoritmo de Viterbi

Trellis del Viterbi: Inferencia: $\delta_t(j) = \max(\delta_{t-1}(i) * a_{i,j}) * b_{j,o_t}$ $\varphi_t(j) = \operatorname{argmax}(\delta_{t-1}(i) * a_{i,j})$



Ejercicio

π	
DT	0.4
JJ	0.2
NN	
NNS	0.3
VBZ	
VBP	0.1

A	DT	JJ	NN	NNS	VBZ	VBP
DT		0.2	0.5	0.3		
JJ			0.8	0.2		
NN				0.1	0.9	
NNS	0					1
VBZ	0.5		0.2	0.3		
VBP	0.4		0.4	0.2		

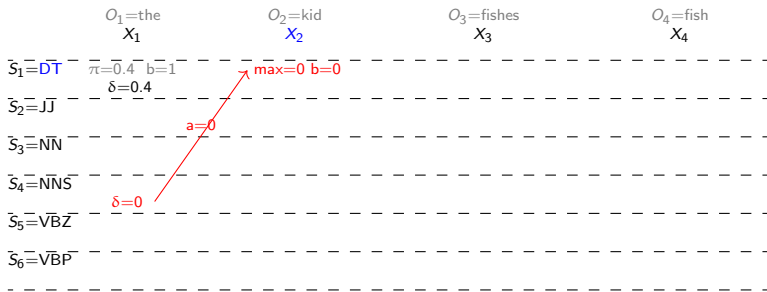
B	the	kid	fish	fishes
DT	1	0		
JJ		0.2		
NN		0.3	0.4	
NNS			0.3	0.4
VBZ				0.6
VBP			0.7	

Etiquetado morfo-sintáctico

Etiquetadores morfo-sintácticos

Algoritmo de Viterbi

Trellis del Viterbi: Inferencia: $\delta_t(j) = \max(\delta_{t-1}(i) * a_{i,j}) * b_{j,o_t}$ $\varphi_t(j) = \operatorname{argmax}(\delta_{t-1}(i) * a_{i,j})$



Ejercicio

π	
DT	0.4
JJ	0.2
NN	
NNS	0.3
VBZ	
VBP	0.1

A	DT	JJ	NN	NNS	VBZ	VBP
DT		0.2	0.5	0.3		
JJ			0.8	0.2		
NN				0.1	0.9	
NNS						1
VBZ	0.5		0.2	0.3		
VBP	0.4		0.4	0.2		

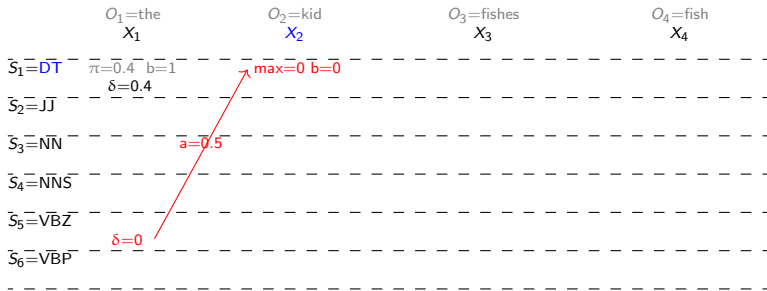
B	the	kid	fish	fishes
DT	1	0		
JJ		0.2		
NN		0.3	0.4	
NNS			0.3	0.4
VBZ				0.6
VBP			0.7	

Etiquetado morfo-sintáctico

Etiquetadores morfo-sintácticos

Algoritmo de Viterbi

Trellis del Viterbi: Inferencia: $\delta_t(j) = \max(\delta_{t-1}(i) * a_{ij}) * b_{j,o_t}$ $\varphi_t(j) = \operatorname{argmax}(\delta_{t-1}(i) * a_{ij})$



Ejercicio

Etiquetado morfo-sintáctico

Etiquetadores morfo-sintácticos

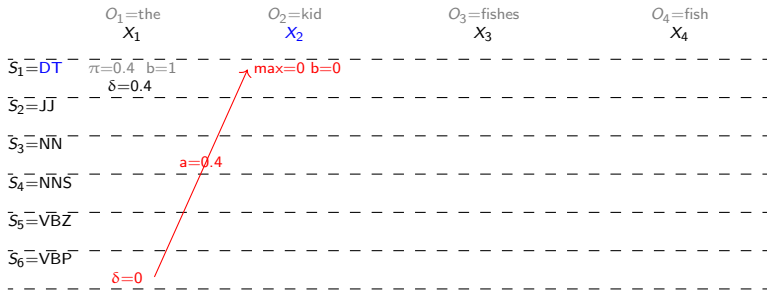
Algoritmo de Viterbi

π	
DT	0.4
JJ	0.2
NN	
NNS	0.3
VBZ	
VBP	0.1

A	DT	JJ	NN	NNS	VBZ	VBP
DT		0.2	0.5	0.3		
JJ			0.8	0.2		
NN				0.1	0.9	
NNS						1
VBZ	0.5		0.2	0.3		
VBP	0.4		0.4	0.2		

B	the	kid	fish	fishes
DT	1	0		
JJ		0.2		
NN		0.3	0.4	
NNS			0.3	0.4
VBZ				0.6
VBP			0.7	

Trellis del Viterbi: Inferencia: $\delta_t(j) = \max(\delta_{t-1}(i) * a_{ij}) * b_{j,o_t}$ $\varphi_t(j) = \operatorname{argmax}(\delta_{t-1}(i) * a_{ij})$



Ejercicio

π	
DT	0.4
JJ	0.2
NN	
NNS	0.3
VBZ	
VBP	0.1

A	DT	JJ	NN	NNS	VBZ	VBP
DT		0.2	0.5	0.3		
JJ			0.8	0.2		
NN				0.1	0.9	
NNS						1
VBZ	0.5		0.2	0.3		
VBP	0.4		0.4	0.2		

B	the	kid	fish	fishes
DT	1			
JJ		0.2		
NN		0.3	0.4	
NNS			0.3	0.4
VBZ				0.6
VBP			0.7	

Etiquetado morfo-sintáctico

Etiquetadores morfo-sintácticos

Algoritmo de Viterbi

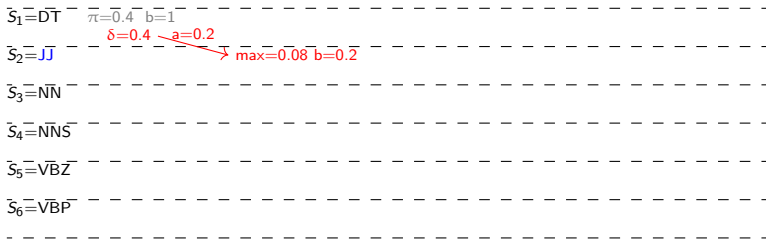
Trellis del Viterbi: Inferencia: $\delta_t(j) = \max(\delta_{t-1}(i) * a_{ij}) * b_{j,o_t}$; $\varphi_t(j) = \operatorname{argmax}(\delta_{t-1}(i) * a_{ij})$

$O_1 = \text{the}$
 X_1

$O_2 = \text{kid}$
 X_2

$O_3 = \text{fishes}$
 X_3

$O_4 = \text{fish}$
 X_4



Ejercicio

π	
DT	0.4
JJ	0.2
NN	
NNS	0.3
VBZ	
VBP	0.1

A	DT	JJ	NN	NNS	VBZ	VBP
DT		0.2	0.5	0.3		
JJ		0	0.8	0.2		
NN		0		0.1	0.9	
NNS		0				1
VBZ	0.5	0	0.2	0.3		
VBP	0.4	0	0.4	0.2		

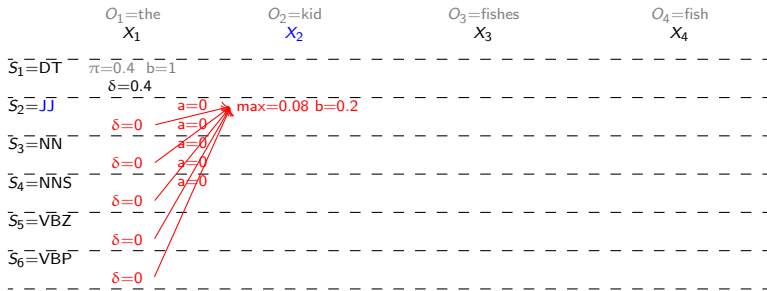
B	the	kid	fish	fishes
DT	1			
JJ		0.2		
NN		0.3	0.4	
NNS			0.3	0.4
VBZ				0.6
VBP			0.7	

Etiquetado morfo-sintáctico

Etiquetadores morfo-sintácticos

Algoritmo de Viterbi

Trellis del Viterbi: Inferencia: $\delta_t(j) = \max(\delta_{t-1}(i) * a_{ij}) * b_{j,o_t}$ $\varphi_t(j) = \operatorname{argmax}(\delta_{t-1}(i) * a_{ij})$



Ejercicio

π	
DT	0.4
JJ	0.2
NN	
NNS	0.3
VBZ	
VBP	0.1

A	DT	JJ	NN	NNS	VBZ	VBP
DT		0.2	0.5	0.3		
JJ			0.8	0.2		
NN				0.1	0.9	
NNS						1
VBZ	0.5		0.2	0.3		
VBP	0.4		0.4	0.2		

B	the	kid	fish	fishes
DT	1			
JJ		0.2		
NN		0.3	0.4	
NNS			0.3	0.4
VBZ				0.6
VBP			0.7	

Etiquetado morfo-sintáctico

Etiquetadores morfo-sintácticos

Algoritmo de Viterbi

Trellis del Viterbi: Inferencia: $\delta_t(j) = \max(\delta_{t-1}(i) * a_{ij}) * b_{j,o_t}$ $\varphi_t(j) = \operatorname{argmax}(\delta_{t-1}(i) * a_{ij})$

$O_1 = \text{the}$
 X_1

$O_2 = \text{kid}$
 X_2

$O_3 = \text{fishes}$
 X_3

$O_4 = \text{fish}$
 X_4

$\bar{S}_1 = \bar{DT}$	$\bar{\pi} = 0.4$ $\bar{b} = 1$				
	$\delta = 0.4$				
$\bar{S}_2 = \bar{JJ}$		$\max = 0.08$ $\bar{b} = 0.2$			
		$\delta = 0.016$, $\varphi = \text{DT}$			
$\bar{S}_3 = \bar{NN}$					
$\bar{S}_4 = \bar{NNS}$					
$\bar{S}_5 = \bar{VBZ}$					
$\bar{S}_6 = \bar{VBP}$					

Ejercicio

π	
DT	0.4
JJ	0.2
NN	
NNS	0.3
VBZ	
VBP	0.1

A	DT	JJ	NN	NNS	VBZ	VBP
DT		0.2	0.5	0.3		
JJ			0.8	0.2		
NN				0.1	0.9	
NNS						1
VBZ	0.5		0.2	0.3		
VBP	0.4		0.4	0.2		

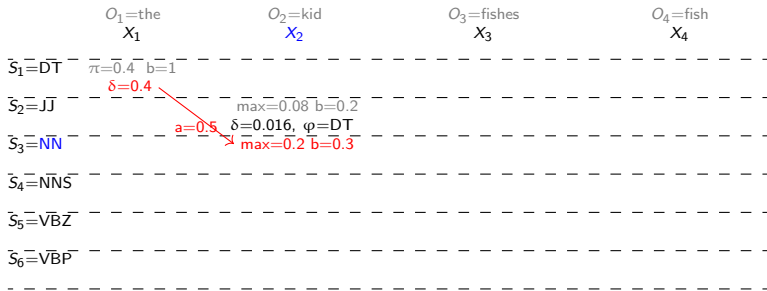
B	the	kid	fish	fishes
DT	1			
JJ		0.2		
NN		0.3	0.4	
NNS			0.3	0.4
VBZ				0.6
VBP			0.7	

Etiquetado morfo-sintáctico

Etiquetadores morfo-sintácticos

Algoritmo de Viterbi

Trellis del Viterbi: Inferencia: $\delta_t(j) = \max(\delta_{t-1}(i) * a_{ij}) * b_{j,o_t}$ $\varphi_t(j) = \operatorname{argmax}(\delta_{t-1}(i) * a_{ij})$



Ejercicio

π	
DT	0.4
JJ	0.2
NN	
NNS	0.3
VBZ	
VBP	0.1

A	DT	JJ	NN	NNS	VBZ	VBP
DT		0.2	0.5	0.3		
JJ			0.8	0.2		
NN				0.1	0.9	
NNS						1
VBZ	0.5		0.2	0.3		
VBP	0.4		0.4	0.2		

B	the	kid	fish	fishes
DT	1			
JJ		0.2		
NN		0.3	0.4	
NNS			0.3	0.4
VBZ				0.6
VBP			0.7	

Etiquetado morfo-sintáctico

Etiquetadores morfo-sintácticos

Algoritmo de Viterbi

Trellis del Viterbi: Inferencia: $\delta_t(j) = \max(\delta_{t-1}(i) * a_{ij}) * b_{j,o_t}$ $\varphi_t(j) = \operatorname{argmax}(\delta_{t-1}(i) * a_{ij})$

$O_1 = \text{the}$
 X_1

$O_2 = \text{kid}$
 X_2

$O_3 = \text{fishes}$
 X_3

$O_4 = \text{fish}$
 X_4

$\bar{S}_1 = \overline{\text{DT}}$	$\bar{\pi} = 0.4$ $\bar{b} = 1$		
	$\delta = 0.4$		
$\bar{S}_2 = \overline{\text{JJ}}$		$\max = 0.08$ $\bar{b} = 0.2$	
		$\delta = 0.016$ $\varphi = \text{DT}$	
$\bar{S}_3 = \overline{\text{NN}}$		$\max = 0.2$ $\bar{b} = 0.3$	
		$\delta = 0.06$ $\varphi = \text{DT}$	
$\bar{S}_4 = \overline{\text{NNS}}$			
$\bar{S}_5 = \overline{\text{VBZ}}$			
$\bar{S}_6 = \overline{\text{VBP}}$			

Ejercicio

π	
DT	0.4
JJ	0.2
NN	
NNS	0.3
VBZ	
VBP	0.1

A	DT	JJ	NN	NNS	VBZ	VBP
DT		0.2	0.5	0.3		
JJ			0.8	0.2		
NN				0.1	0.9	
NNS						1
VBZ	0.5		0.2	0.3		
VBP	0.4		0.4	0.2		

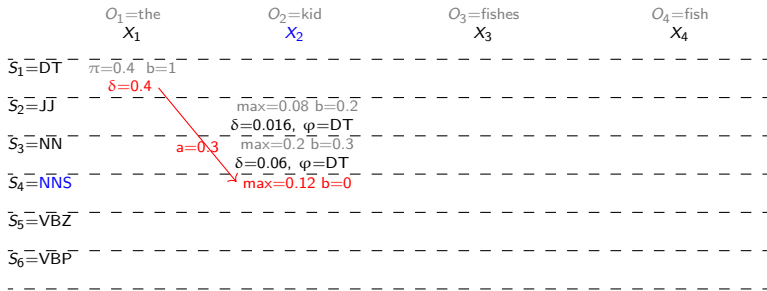
B	the	kid	fish	fishes
DT	1			
JJ		0.2		
NN		0.3	0.4	
NNS		0	0.3	0.4
VBZ				0.6
VBP			0.7	

Etiquetado morfo-sintáctico

Etiquetadores morfo-sintácticos

Algoritmo de Viterbi

Trellis del Viterbi: Inferencia: $\delta_t(j) = \max(\delta_{t-1}(i) * a_{ij}) * b_{j,o_t}$ $\varphi_t(j) = \operatorname{argmax}(\delta_{t-1}(i) * a_{ij})$



Ejercicio

π	
DT	0.4
JJ	0.2
NN	
NNS	0.3
VBZ	
VBP	0.1

A	DT	JJ	NN	NNS	VBZ	VBP
DT		0.2	0.5	0.3		
JJ			0.8	0.2		
NN				0.1	0.9	
NNS						1
VBZ	0.5		0.2	0.3		
VBP	0.4		0.4	0.2		

B	the	kid	fish	fishes
DT	1			
JJ		0.2		
NN		0.3	0.4	
NNS			0.3	0.4
VBZ				0.6
VBP			0.7	

Etiquetado morfo-sintáctico

Etiquetadores morfo-sintácticos

Algoritmo de Viterbi

Trellis del Viterbi: Inferencia: $\delta_t(j) = \max(\delta_{t-1}(i) * a_{ij}) * b_{j,o_t}$ $\varphi_t(j) = \operatorname{argmax}(\delta_{t-1}(i) * a_{ij})$

$O_1 = \text{the}$
 X_1

$O_2 = \text{kid}$
 X_2

$O_3 = \text{fishes}$
 X_3

$O_4 = \text{fish}$
 X_4

$\bar{S}_1 = \overline{\text{DT}}$	$\bar{\pi} = 0.4$ $\bar{b} = 1$			
	$\delta = 0.4$			
$\bar{S}_2 = \overline{\text{JJ}}$		$\max = 0.08$ $\bar{b} = 0.2$		
		$\delta = 0.016$ $\varphi = \text{DT}$		
$\bar{S}_3 = \overline{\text{NN}}$		$\max = 0.2$ $\bar{b} = 0.3$		
		$\delta = 0.06$ $\varphi = \text{DT}$		
$\bar{S}_4 = \overline{\text{NNS}}$		$\max = 0.12$ $\bar{b} = 0$		
		$\delta = 0$ $\varphi = \text{DT}$		
$\bar{S}_5 = \overline{\text{VBZ}}$				
$\bar{S}_6 = \overline{\text{VBP}}$				

Ejercicio

π	
DT	0.4
JJ	0.2
NN	
NNS	0.3
VBZ	
VBP	0.1

A	DT	JJ	NN	NNS	VBZ	VBP
DT		0.2	0.5	0.3	0	
JJ			0.8	0.2		
NN				0.1	0.9	
NNS						1
VBZ	0.5		0.2	0.3		
VBP	0.4		0.4	0.2		

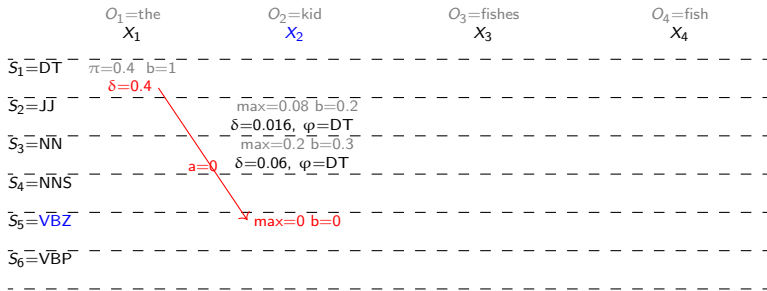
B	the	kid	fish	fishes
DT	1			
JJ		0.2		
NN		0.3	0.4	
NNS			0.3	0.4
VBZ		0		0.6
VBP			0.7	

Etiquetado morfo-sintáctico

Etiquetadores morfo-sintácticos

Algoritmo de Viterbi

Trellis del Viterbi: Inferencia: $\delta_t(j) = \max(\delta_{t-1}(i) * a_{ij}) * b_{j,o_t}$ $\varphi_t(j) = \operatorname{argmax}(\delta_{t-1}(i) * a_{ij})$



Ejercicio

Etiquetado morfo-sintáctico

Etiquetadores morfo-sintácticos

Algoritmo de Viterbi

π	
DT	0.4
JJ	0.2
NN	
NNS	0.3
VBZ	
VBP	0.1

A	DT	JJ	NN	NNS	VBZ	VBP
DT		0.2	0.5	0.3		
JJ			0.8	0.2		
NN				0.1	0.9	
NNS						1
VBZ	0.5		0.2	0.3		
VBP	0.4		0.4	0.2		

B	the	kid	fish	fishes
DT	1			
JJ		0.2		
NN		0.3	0.4	
NNS			0.3	0.4
VBZ				0.6
VBP			0.7	

Trellis del Viterbi: Inferencia: $\delta_t(j) = \max(\delta_{t-1}(i) * a_{ij}) * b_{j,o_t}$ $\varphi_t(j) = \operatorname{argmax}(\delta_{t-1}(i) * a_{ij})$

$O_1 = \text{the}$
 X_1

$O_2 = \text{kid}$
 X_2

$O_3 = \text{fishes}$
 X_3

$O_4 = \text{fish}$
 X_4

$\bar{S}_1 = \bar{DT}$	$\bar{\pi} = 0.4$ $\bar{b} = 1$		
	$\delta = 0.4$		
$\bar{S}_2 = \bar{JJ}$		$\max = 0.08$ $\bar{b} = 0.2$	
		$\delta = 0.016$, $\varphi = \text{DT}$	
$\bar{S}_3 = \bar{NN}$		$\max = 0.2$ $\bar{b} = 0.3$	
		$\delta = 0.06$, $\varphi = \text{DT}$	
$\bar{S}_4 = \bar{NNS}$			
$\bar{S}_5 = \bar{VBZ}$		$\max = 0$ $\bar{b} = 0$	
		$\delta = 0$, $\varphi = \text{DT}$	
$\bar{S}_6 = \bar{VBP}$			

Ejercicio

π	
DT	0.4
JJ	0.2
NN	
NNS	0.3
VBZ	
VBP	0.1

A	DT	JJ	NN	NNS	VBZ	VBP
DT		0.2	0.5	0.3		0
JJ			0.8	0.2		
NN				0.1	0.9	
NNS						1
VBZ	0.5		0.2	0.3		
VBP	0.4		0.4	0.2		

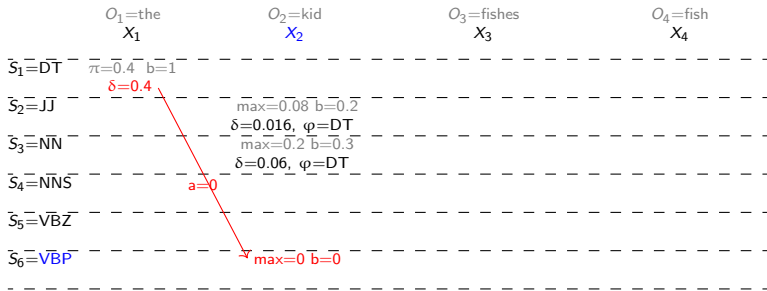
B	the	kid	fish	fishes
DT	1			
JJ		0.2		
NN		0.3	0.4	
NNS			0.3	0.4
VBZ				0.6
VBP		0	0.7	

Etiquetado morfo-sintáctico

Etiquetadores morfo-sintácticos

Algoritmo de Viterbi

Trellis del Viterbi: Inferencia: $\delta_t(j) = \max(\delta_{t-1}(i) * a_{ij}) * b_{j,o_t}$ $\varphi_t(j) = \operatorname{argmax}(\delta_{t-1}(i) * a_{ij})$



Ejercicio

π	
DT	0.4
JJ	0.2
NN	
NNS	0.3
VBZ	
VBP	0.1

A	DT	JJ	NN	NNS	VBZ	VBP
DT		0.2	0.5	0.3		
JJ			0.8	0.2		
NN				0.1	0.9	
NNS						1
VBZ	0.5		0.2	0.3		
VBP	0.4		0.4	0.2		

B	the	kid	fish	fishes
DT	1			
JJ		0.2		
NN		0.3	0.4	
NNS			0.3	0.4
VBZ				0.6
VBP			0.7	

Etiquetado morfo-sintáctico

Etiquetadores morfo-sintácticos

Algoritmo de Viterbi

Trellis del Viterbi: Inferencia: $\delta_t(j) = \max(\delta_{t-1}(i) * a_{ij}) * b_{j,o_t}$ $\varphi_t(j) = \operatorname{argmax}(\delta_{t-1}(i) * a_{ij})$

$O_1 = \text{the}$ X_1	$O_2 = \text{kid}$ X_2	$O_3 = \text{fishes}$ X_3	$O_4 = \text{fish}$ X_4
$\bar{S}_1 = \bar{DT}$ $\bar{\pi} = 0.4$ $\bar{b} = 1$			
$\bar{S}_2 = \bar{JJ}$ $\delta = 0.4$	$\bar{\max} = 0.08$ $\bar{b} = 0.2$		
$\bar{S}_3 = \bar{NN}$	$\delta = 0.016$, $\varphi = \text{DT}$	$\bar{\max} = 0.2$ $\bar{b} = 0.3$	
$\bar{S}_4 = \bar{NNS}$	$\delta = 0.06$, $\varphi = \text{DT}$		
$\bar{S}_5 = \bar{VBZ}$			
$\bar{S}_6 = \bar{VBP}$	$\bar{\max} = 0$ $\bar{b} = 0$		
	$\delta = 0$, $\varphi = \text{DT}$		

Ejercicio

π	
DT	0.4
JJ	0.2
NN	
NNS	0.3
VBZ	
VBP	0.1

A	DT	JJ	NN	NNS	VBZ	VBP
DT		0.2	0.5	0.3		
JJ			0.8	0.2		
NN				0.1	0.9	
NNS						1
VBZ	0.5		0.2	0.3		
VBP	0.4		0.4	0.2		

B	the	kid	fish	fishes
DT	1			0
JJ		0.2		0
NN		0.3	0.4	0
NNS			0.3	0.4
VBZ				0.6
VBP			0.7	0

Etiquetado morfo-sintáctico

Etiquetadores morfo-sintácticos

Algoritmo de Viterbi

Trellis del Viterbi: Inferencia: $\delta_t(j) = \max(\delta_{t-1}(i) * a_{ij}) * b_{j,o_t}$ $\varphi_t(j) = \operatorname{argmax}(\delta_{t-1}(i) * a_{ij})$

	$O_1 = \text{the}$ X_1	$O_2 = \text{kid}$ X_2	$O_3 = \text{fishes}$ X_3	$O_4 = \text{fish}$ X_4
$\bar{S}_1 = \text{DT}$	$\bar{\pi} = 0.4$ $\bar{b} = 1$		$\bar{b} = 0$	
$\bar{S}_2 = \text{JJ}$	$\bar{\delta} = 0.4$	$\bar{\max} = 0.08$ $\bar{b} = 0.2$	$\bar{\delta} = 0, \bar{\varphi} = \text{DT}$	$\bar{b} = 0$
$\bar{S}_3 = \text{NN}$		$\bar{\delta} = 0.016, \bar{\varphi} = \text{DT}$	$\bar{\delta} = 0, \bar{\varphi} = \text{DT}$	$\bar{b} = 0$
$\bar{S}_4 = \text{NNS}$		$\bar{\max} = 0.2$ $\bar{b} = 0.3$	$\bar{\delta} = 0, \bar{\varphi} = \text{DT}$	$\bar{b} = 0$
$\bar{S}_5 = \text{VBZ}$		$\bar{\delta} = 0.06, \bar{\varphi} = \text{DT}$	$\bar{\delta} = 0, \bar{\varphi} = \text{DT}$	
$\bar{S}_6 = \text{VBP}$			$\bar{b} = 0$	
			$\bar{\delta} = 0, \bar{\varphi} = \text{DT}$	

Ejercicio

π	
DT	0.4
JJ	0.2
NN	
NNS	0.3
VBZ	
VBP	0.1

A	DT	JJ	NN	NNS	VBZ	VBP
DT		0.2	0.5	0.3		
JJ			0.8	0.2		
NN				0.1	0.9	
NNS						1
VBZ	0.5		0.2	0.3		
VBP	0.4		0.4	0.2		

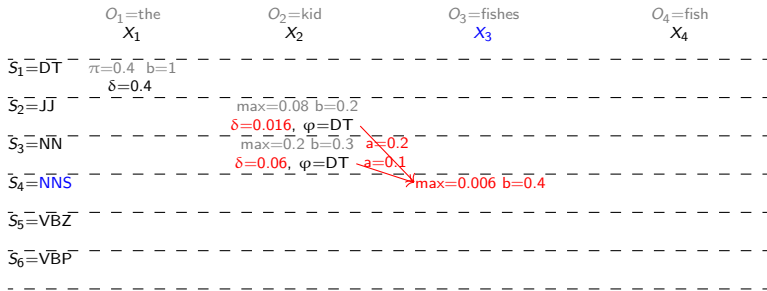
B	the	kid	fish	fishes
DT	1			
JJ		0.2		
NN		0.3	0.4	
NNS			0.3	0.4
VBZ				0.6
VBP			0.7	

Etiquetado morfo-sintáctico

Etiquetadores morfo-sintácticos

Algoritmo de Viterbi

Trellis del Viterbi: Inferencia: $\delta_t(j) = \max(\delta_{t-1}(i) * a_{ij}) * b_{j,o_t}$ $\varphi_t(j) = \operatorname{argmax}(\delta_{t-1}(i) * a_{ij})$



Ejercicio

π	
DT	0.4
JJ	0.2
NN	
NNS	0.3
VBZ	
VBP	0.1

A	DT	JJ	NN	NNS	VBZ	VBP
DT		0.2	0.5	0.3		
JJ			0.8	0.2		
NN				0.1	0.9	
NNS						1
VBZ	0.5		0.2	0.3		
VBP	0.4		0.4	0.2		

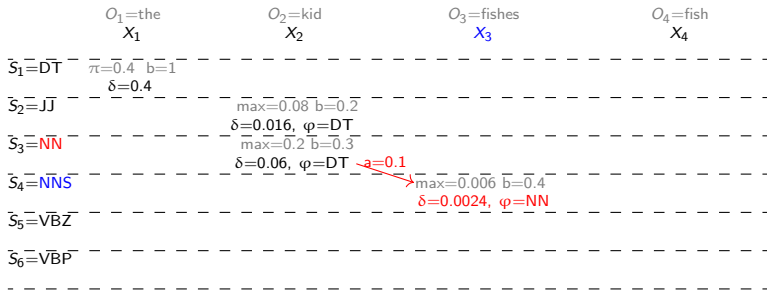
B	the	kid	fish	fishes
DT	1			
JJ		0.2		
NN		0.3	0.4	
NNS			0.3	0.4
VBZ				0.6
VBP			0.7	

Etiquetado morfo-sintáctico

Etiquetadores morfo-sintácticos

Algoritmo de Viterbi

Trellis del Viterbi: Inferencia: $\delta_t(j) = \max(\delta_{t-1}(i) * a_{ij}) * b_{j,o_t}$ $\varphi_t(j) = \operatorname{argmax}(\delta_{t-1}(i) * a_{ij})$



Ejercicio

π	
DT	0.4
JJ	0.2
NN	
NNS	0.3
VBZ	
VBP	0.1

A	DT	JJ	NN	NNS	VBZ	VBP
DT		0.2	0.5	0.3		
JJ			0.8	0.2	0	
NN				0.1	0.9	
NNS						1
VBZ	0.5		0.2	0.3		
VBP	0.4		0.4	0.2		

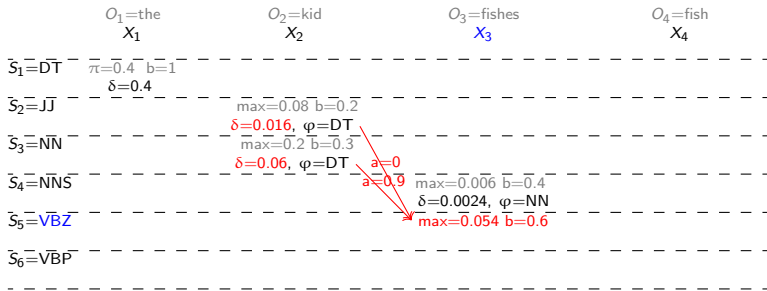
B	the	kid	fish	fishes
DT	1			
JJ		0.2		
NN		0.3	0.4	
NNS			0.3	0.4
VBZ				0.6
VBP			0.7	

Etiquetado morfo-sintáctico

Etiquetadores morfo-sintácticos

Algoritmo de Viterbi

Trellis del Viterbi: Inferencia: $\delta_t(j) = \max(\delta_{t-1}(i) * a_{ij}) * b_{j,o_t}$ $\varphi_t(j) = \operatorname{argmax}(\delta_{t-1}(i) * a_{ij})$



Ejercicio

Etiquetado morfo-sintáctico

Etiquetadores morfo-sintácticos

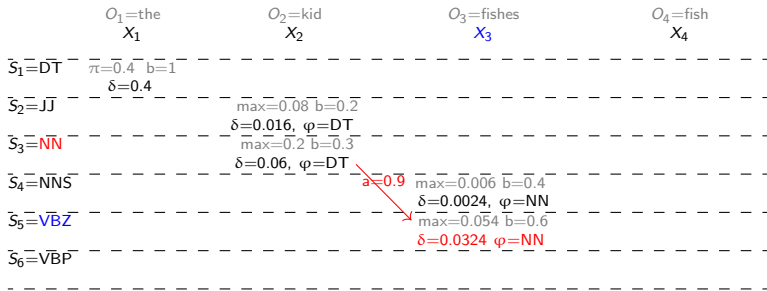
Algoritmo de Viterbi

π	
DT	0.4
JJ	0.2
NN	
NNS	0.3
VBZ	
VBP	0.1

A	DT	JJ	NN	NNS	VBZ	VBP
DT		0.2	0.5	0.3		
JJ			0.8	0.2		
NN				0.1	0.9	
NNS						1
VBZ	0.5		0.2	0.3		
VBP	0.4		0.4	0.2		

B	the	kid	fish	fishes
DT	1			
JJ		0.2		
NN		0.3	0.4	
NNS			0.3	0.4
VBZ				0.6
VBP			0.7	

Trellis del Viterbi: Inferencia: $\delta_t(j) = \max(\delta_{t-1}(i) * a_{ij}) * b_{j,o_t}$ $\varphi_t(j) = \operatorname{argmax}(\delta_{t-1}(i) * a_{ij})$



Ejercicio

Etiquetado morfo-sintáctico

Etiquetadores morfo-sintácticos

Algoritmo de Viterbi

π	
DT	0.4
JJ	0.2
NN	
NNS	0.3
VBZ	
VBP	0.1

A	DT	JJ	NN	NNS	VBZ	VBP
DT		0.2	0.5	0.3		
JJ			0.8	0.2		
NN				0.1	0.9	
NNS						1
VBZ	0.5		0.2	0.3		
VBP	0.4		0.4	0.2		

B	the	kid	fish	fishes
DT	1		0	
JJ		0.2	0	
NN		0.3	0.4	
NNS			0.3	0.4
VBZ			0	0.6
VBP			0.7	

Trellis del Viterbi: Inferencia: $\delta_t(j) = \max(\delta_{t-1}(i) * a_{ij}) * b_{j,o_t}$ $\varphi_t(j) = \operatorname{argmax}(\delta_{t-1}(i) * a_{ij})$

	$O_1 = \text{the}$ X_1	$O_2 = \text{kid}$ X_2	$O_3 = \text{fishes}$ X_3	$O_4 = \text{fish}$ X_4
$\bar{S}_1 = \text{DT}$	$\bar{\pi} = 0.4$ $\bar{b} = 1$			$\bar{b} = 0$
$\bar{S}_2 = \text{JJ}$	$\delta = 0.4$	$\bar{\max} = 0.08$ $\bar{b} = 0.2$		$\delta = 0, \varphi = \text{DT}$ $\bar{b} = 0$
$\bar{S}_3 = \text{NN}$		$\delta = 0.016, \varphi = \text{DT}$ $\bar{\max} = 0.2$ $\bar{b} = 0.3$		$\delta = 0, \varphi = \text{DT}$
$\bar{S}_4 = \text{NNS}$		$\delta = 0.06, \varphi = \text{DT}$	$\bar{\max} = 0.006$ $\bar{b} = 0.4$	
$\bar{S}_5 = \text{VBZ}$			$\delta = 0.0024, \varphi = \text{NN}$ $\bar{\max} = 0.054$ $\bar{b} = 0.6$	$\bar{b} = 0$
$\bar{S}_6 = \text{VBP}$			$\delta = 0.0324, \varphi = \text{NN}$	$\delta = 0, \varphi = \text{DT}$

Ejercicio

π	
DT	0.4
JJ	0.2
NN	
NNS	0.3
VBZ	
VBP	0.1

A	DT	JJ	NN	NNS	VBZ	VBP
DT		0.2	0.5	0.3		
JJ			0.8	0.2		
NN				0.1	0.9	
NNS			0			1
VBZ	0.5		0.2	0.3		
VBP	0.4		0.4	0.2		

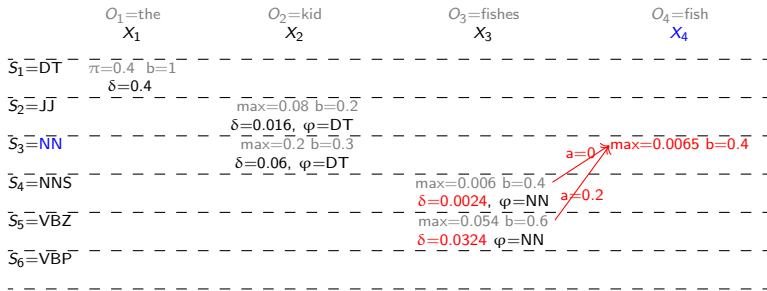
B	the	kid	fish	fishes
DT	1			
JJ		0.2		
NN		0.3	0.4	
NNS			0.3	0.4
VBZ				0.6
VBP			0.7	

Etiquetado morfo-sintáctico

Etiquetadores morfo-sintácticos

Algoritmo de Viterbi

Trellis del Viterbi: Inferencia: $\delta_t(j) = \max(\delta_{t-1}(i) * a_{ij}) * b_{j,o_t}$ $\varphi_t(j) = \operatorname{argmax}(\delta_{t-1}(i) * a_{ij})$



Ejercicio

Etiquetado morfo-sintáctico

Etiquetadores morfo-sintácticos

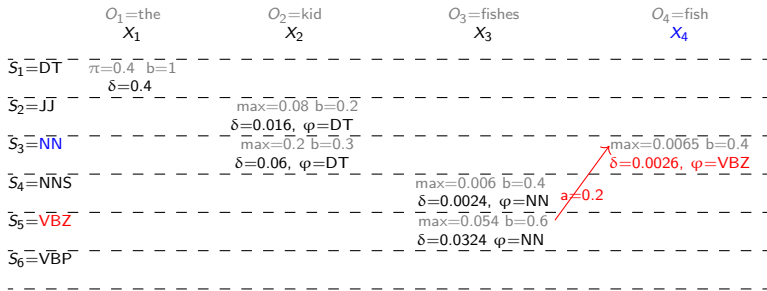
Algoritmo de Viterbi

π	
DT	0.4
JJ	0.2
NN	
NNS	0.3
VBZ	
VBP	0.1

A	DT	JJ	NN	NNS	VBZ	VBP
DT		0.2	0.5	0.3		
JJ			0.8	0.2		
NN				0.1	0.9	
NNS						1
VBZ	0.5		0.2	0.3		
VBP	0.4		0.4	0.2		

B	the	kid	fish	fishes
DT	1			
JJ		0.2		
NN		0.3	0.4	
NNS			0.3	0.4
VBZ				0.6
VBP			0.7	

Trellis del Viterbi: Inferencia: $\delta_t(j) = \max(\delta_{t-1}(i) * a_{ij}) * b_{j,o_t}$ $\varphi_t(j) = \operatorname{argmax}(\delta_{t-1}(i) * a_{ij})$



Ejercicio

π	
DT	0.4
JJ	0.2
NN	
NNS	0.3
VBZ	
VBP	0.1

A	DT	JJ	NN	NNS	VBZ	VBP
DT		0.2	0.5	0.3		
JJ			0.8	0.2		
NN				0.1	0.9	
NNS				0		1
VBZ	0.5		0.2	0.3		
VBP	0.4		0.4	0.2		

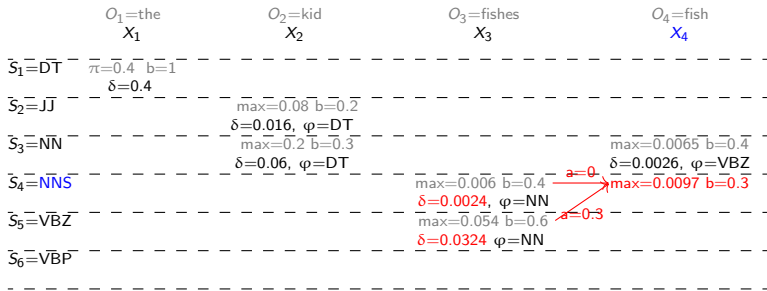
B	the	kid	fish	fishes
DT	1			
JJ		0.2		
NN		0.3	0.4	
NNS			0.3	0.4
VBZ				0.6
VBP			0.7	

Etiquetado morfo-sintáctico

Etiquetadores morfo-sintácticos

Algoritmo de Viterbi

Trellis del Viterbi: Inferencia: $\delta_t(j) = \max(\delta_{t-1}(i) * a_{ij}) * b_{j,o_t}$ $\varphi_t(j) = \operatorname{argmax}(\delta_{t-1}(i) * a_{ij})$



Ejercicio

π	
DT	0.4
JJ	0.2
NN	
NNS	0.3
VBZ	
VBP	0.1

A	DT	JJ	NN	NNS	VBZ	VBP
DT		0.2	0.5	0.3		
JJ			0.8	0.2		
NN				0.1	0.9	
NNS						1
VBZ	0.5		0.2	0.3		
VBP	0.4		0.4	0.2		

B	the	kid	fish	fishes
DT	1			
JJ		0.2		
NN		0.3	0.4	
NNS			0.3	0.4
VBZ				0.6
VBP			0.7	

Etiquetado morfo-sintáctico

Etiquetadores morfo-sintácticos

Algoritmo de Viterbi

Trellis del Viterbi: Inferencia: $\delta_t(j) = \max(\delta_{t-1}(i) * a_{ij}) * b_{j,o_t}$ $\varphi_t(j) = \operatorname{argmax}(\delta_{t-1}(i) * a_{ij})$

	$O_1 = \text{the}$ X_1	$O_2 = \text{kid}$ X_2	$O_3 = \text{fishes}$ X_3	$O_4 = \text{fish}$ X_4
$\bar{S}_1 = \bar{DT}$	$\bar{\pi} = 0.4$ $\bar{b} = 1$ $\delta = 0.4$			
$\bar{S}_2 = \bar{JJ}$		$\bar{\max} = 0.08$ $\bar{b} = 0.2$ $\delta = 0.016$, $\varphi = \text{DT}$		
$\bar{S}_3 = \bar{NN}$		$\bar{\max} = 0.2$ $\bar{b} = 0.3$ $\delta = 0.06$, $\varphi = \text{DT}$		$\bar{\max} = 0.0065$ $\bar{b} = 0.4$ $\delta = 0.0026$, $\varphi = \text{VBZ}$
$\bar{S}_4 = \bar{NNS}$			$\bar{\max} = 0.006$ $\bar{b} = 0.4$ $\delta = 0.0024$, $\varphi = \text{NN}$	$\bar{\max} = 0.0097$ $\bar{b} = 0.3$ $\delta = 0.0029$, $\varphi = \text{VBZ}$
$\bar{S}_5 = \bar{VBZ}$			$\bar{\max} = 0.054$ $\bar{b} = 0.6$ $\delta = 0.0324$ $\varphi = \text{NN}$	
$\bar{S}_6 = \bar{VBP}$				

Note: A red arrow points from the $\delta = 0.0029$ cell to the $\delta = 0.0324$ cell, with the label $a = 0.3$.

Ejercicio

π	
DT	0.4
JJ	0.2
NN	
NNS	0.3
VBZ	
VBP	0.1

A	DT	JJ	NN	NNS	VBZ	VBP
DT		0.2	0.5	0.3		
JJ			0.8	0.2		
NN				0.1	0.9	
NNS						1
VBZ	0.5	0.2	0.3			0
VBP	0.4	0.4	0.2			

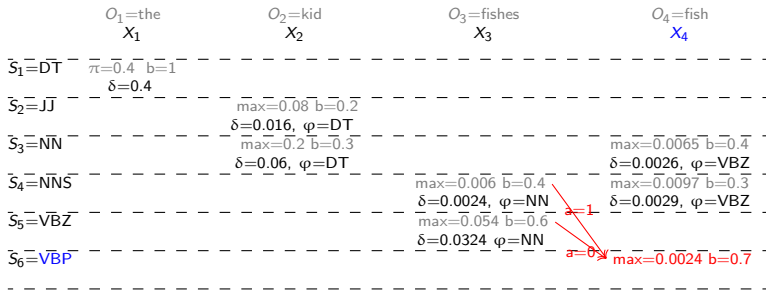
B	the	kid	fish	fishes
DT	1			
JJ		0.2		
NN		0.3	0.4	
NNS			0.3	0.4
VBZ				0.6
VBP			0.7	

Etiquetado morfo-sintáctico

Etiquetadores morfo-sintácticos

Algoritmo de Viterbi

Trellis del Viterbi: Inferencia: $\delta_t(j) = \max(\delta_{t-1}(i) * a_{ij}) * b_{j,o_t}$ $\varphi_t(j) = \operatorname{argmax}(\delta_{t-1}(i) * a_{ij})$



Ejercicio

Etiquetado morfo-sintáctico

Etiquetadores morfo-sintácticos

Algoritmo de Viterbi

π	
DT	0.4
JJ	0.2
NN	
NNS	0.3
VBZ	
VBP	0.1

A	DT	JJ	NN	NNS	VBZ	VBP
DT		0.2	0.5	0.3		
JJ			0.8	0.2		
NN				0.1	0.9	
NNS						1
VBZ	0.5		0.2	0.3		
VBP	0.4		0.4	0.2		

B	the	kid	fish	fishes
DT	1			
JJ		0.2		
NN		0.3	0.4	
NNS			0.3	0.4
VBZ				0.6
VBP			0.7	

Trellis del Viterbi: Inferencia: $\delta_t(j) = \max(\delta_{t-1}(i) * a_{ij}) * b_{j,o_t}$ $\varphi_t(j) = \operatorname{argmax}(\delta_{t-1}(i) * a_{ij})$

	$O_1 = \text{the}$ X_1	$O_2 = \text{kid}$ X_2	$O_3 = \text{fishes}$ X_3	$O_4 = \text{fish}$ X_4
$\bar{S}_1 = \text{DT}$	$\bar{\pi} = 0.4$ $\bar{b} = 1$ $\delta = 0.4$			
$\bar{S}_2 = \text{JJ}$		$\bar{\max} = 0.08$ $\bar{b} = 0.2$ $\delta = 0.016$, $\varphi = \text{DT}$		
$\bar{S}_3 = \text{NN}$		$\bar{\max} = 0.2$ $\bar{b} = 0.3$ $\delta = 0.06$, $\varphi = \text{DT}$		
$\bar{S}_4 = \text{NNS}$			$\bar{\max} = 0.006$ $\bar{b} = 0.4$ $\delta = 0.0024$, $\varphi = \text{NN}$	$\bar{\max} = 0.0065$ $\bar{b} = 0.4$ $\delta = 0.0026$, $\varphi = \text{VBZ}$
$\bar{S}_5 = \text{VBZ}$			$\bar{\max} = 0.054$ $\bar{b} = 0.6$ $\delta = 0.0324$, $\varphi = \text{NN}$	$\bar{\max} = 0.0097$ $\bar{b} = 0.3$ $\delta = 0.0029$, $\varphi = \text{VBZ}$
$\bar{S}_6 = \text{VBP}$				$\bar{\max} = 0.0024$ $\bar{b} = 0.7$ $\delta = 0.0017$, $\varphi = \text{NNS}$

Ejercicio

Etiquetado morfo-sintáctico

Etiquetadores morfo-sintácticos

Algoritmo de Viterbi

π	
DT	0.4
JJ	0.2
NN	
NNS	0.3
VBZ	
VBP	0.1

A	DT	JJ	NN	NNS	VBZ	VBP
DT		0.2	0.5	0.3		
JJ			0.8	0.2		
NN				0.1	0.9	
NNS						1
VBZ	0.5		0.2	0.3		
VBP	0.4		0.4	0.2		

B	the	kid	fish	fishes
DT	1			
JJ		0.2		
NN		0.3	0.4	
NNS			0.3	0.4
VBZ				0.6
VBP			0.7	

Trellis del Viterbi: Finalización: $X_4 = \operatorname{argmax}_i(\delta_4(i))$

	$O_1 = \text{the}$ X_1	$O_2 = \text{kid}$ X_2	$O_3 = \text{fishes}$ X_3	$O_4 = \text{fish}$ X_4
$\bar{S}_1 = \bar{D}\bar{T}$	$\bar{\pi} = 0.4$ $\bar{b} = 1$ $\bar{\delta} = 0.4$			
$\bar{S}_2 = \bar{J}\bar{J}$		$\bar{\max} = 0.08$ $\bar{b} = 0.2$ $\bar{\delta} = 0.016$, $\bar{\varphi} = \text{DT}$		
$\bar{S}_3 = \bar{N}\bar{N}$		$\bar{\max} = 0.2$ $\bar{b} = 0.3$ $\bar{\delta} = 0.06$, $\bar{\varphi} = \text{DT}$		$\bar{\max} = 0.0065$ $\bar{b} = 0.4$ $\bar{\delta} = 0.0026$, $\bar{\varphi} = \text{VBZ}$
$\bar{S}_4 = \bar{N}\bar{N}\bar{S}$			$\bar{\max} = 0.006$ $\bar{b} = 0.4$ $\bar{\delta} = 0.0024$, $\bar{\varphi} = \text{NN}$	$\bar{\max} = 0.0097$ $\bar{b} = 0.3$ $\bar{\delta} = 0.0029$, $\bar{\varphi} = \text{VBZ}$
$\bar{S}_5 = \bar{V}\bar{B}\bar{Z}$			$\bar{\max} = 0.054$ $\bar{b} = 0.6$ $\bar{\delta} = 0.0324$ $\bar{\varphi} = \text{NN}$	
$\bar{S}_6 = \bar{V}\bar{B}\bar{P}$				$\bar{\max} = 0.0024$ $\bar{b} = 0.7$ $\bar{\delta} = 0.0017$, $\bar{\varphi} = \text{NNS}$

Ejercicio

Etiquetado morfo-sintáctico

Etiquetadores morfo-sintácticos

Algoritmo de Viterbi

π	
DT	0.4
JJ	0.2
NN	
NNS	0.3
VBZ	
VBP	0.1

A	DT	JJ	NN	NNS	VBZ	VBP
DT		0.2	0.5	0.3		
JJ			0.8	0.2		
NN				0.1	0.9	
NNS						1
VBZ	0.5		0.2	0.3		
VBP	0.4		0.4	0.2		

B	the	kid	fish	fishes
DT	1			
JJ		0.2		
NN		0.3	0.4	
NNS			0.3	0.4
VBZ				0.6
VBP			0.7	

Trellis del Viterbi: Finalización: $X_4 = \operatorname{argmax}_i(\delta_4(i))$

	$O_1 = \text{the}$ X_1	$O_2 = \text{kid}$ X_2	$O_3 = \text{fishes}$ X_3	$O_4 = \text{fish}$ X_4
$\bar{S}_1 = \bar{DT}$	$\bar{\pi} = 0.4$ $\bar{b} = 1$ $\bar{\delta} = 0.4$			
$\bar{S}_2 = \bar{JJ}$		$\bar{\max} = 0.08$ $\bar{b} = 0.2$ $\bar{\delta} = 0.016$, $\varphi = \text{DT}$		
$\bar{S}_3 = \bar{NN}$		$\bar{\max} = 0.2$ $\bar{b} = 0.3$ $\bar{\delta} = 0.06$, $\varphi = \text{DT}$		$\bar{\max} = 0.0065$ $\bar{b} = 0.4$ $\bar{\delta} = 0.0026$, $\varphi = \text{VBZ}$
$\bar{S}_4 = \bar{NNS}$			$\bar{\max} = 0.006$ $\bar{b} = 0.4$ $\bar{\delta} = 0.0024$, $\varphi = \text{NN}$	$\bar{\max} = 0.0097$ $\bar{b} = 0.3$ $\bar{\delta} = 0.0029$, $\varphi = \text{VBZ}$
$\bar{S}_5 = \bar{VBZ}$			$\bar{\max} = 0.054$ $\bar{b} = 0.6$ $\bar{\delta} = 0.0324$ $\varphi = \text{NN}$	
$\bar{S}_6 = \bar{VBP}$				$\bar{\max} = 0.0024$ $\bar{b} = 0.7$ $\bar{\delta} = 0.0017$, $\varphi = \text{NNS}$

$X_4 = \text{NNS}$

Ejercicio

π	
DT	0.4
JJ	0.2
NN	
NNS	0.3
VBZ	
VBP	0.1

A	DT	JJ	NN	NNS	VBZ	VBP
DT		0.2	0.5	0.3		
JJ			0.8	0.2		
NN				0.1	0.9	
NNS						1
VBZ	0.5		0.2	0.3		
VBP	0.4		0.4	0.2		

B	the	kid	fish	fishes
DT	1			
JJ		0.2		
NN		0.3	0.4	
NNS			0.3	0.4
VBZ				0.6
VBP			0.7	

Etiquetado morfo-sintáctico

Etiquetadores morfo-sintácticos

Algoritmo de Viterbi

Trellis del Viterbi: Reconstrucción del camino: $X_t = \varphi(X_{t+1})$

$O_1 = \text{the}$ X_1	$O_2 = \text{kid}$ X_2	$O_3 = \text{fishes}$ X_3	$O_4 = \text{fish}$ X_4
$\bar{S}_1 = \bar{DT}$	$\bar{\pi} = \bar{0.4}$ $\bar{b} = \bar{1}$		
	$\delta = \bar{0.4}$		
$\bar{S}_2 = \bar{JJ}$	$\bar{\max} = \bar{0.08}$ $\bar{b} = \bar{0.2}$		
	$\delta = \bar{0.016}$, $\varphi = \bar{DT}$		
$\bar{S}_3 = \bar{NN}$	$\bar{\max} = \bar{0.2}$ $\bar{b} = \bar{0.3}$		$\bar{\max} = \bar{0.0065}$ $\bar{b} = \bar{0.4}$
	$\delta = \bar{0.06}$, $\varphi = \bar{DT}$		$\delta = \bar{0.0026}$, $\varphi = \bar{VBZ}$
$\bar{S}_4 = \bar{NNS}$		$\bar{\max} = \bar{0.006}$ $\bar{b} = \bar{0.4}$	$\bar{\max} = \bar{0.0097}$ $\bar{b} = \bar{0.3}$
		$\delta = \bar{0.0024}$, $\varphi = \bar{NN}$	$\delta = \bar{0.0029}$, $\varphi = \bar{VBZ}$
$\bar{S}_5 = \bar{VBZ}$		$\bar{\max} = \bar{0.054}$ $\bar{b} = \bar{0.6}$	
		$\delta = \bar{0.0324}$, $\varphi = \bar{NN}$	
$\bar{S}_6 = \bar{VBP}$			$\bar{\max} = \bar{0.0024}$ $\bar{b} = \bar{0.7}$
			$\delta = \bar{0.0017}$, $\varphi = \bar{NNS}$
		$X_3 = \text{VBZ}$	$X_4 = \text{NNS}$

Ejercicio

Etiquetado morfo-sintáctico

Etiquetadores morfo-sintácticos

Algoritmo de Viterbi

π	
DT	0.4
JJ	0.2
NN	
NNS	0.3
VBZ	
VBP	0.1

A	DT	JJ	NN	NNS	VBZ	VBP
DT		0.2	0.5	0.3		
JJ			0.8	0.2		
NN				0.1	0.9	
NNS						1
VBZ	0.5		0.2	0.3		
VBP	0.4		0.4	0.2		

B	the	kid	fish	fishes
DT	1			
JJ		0.2		
NN		0.3	0.4	
NNS			0.3	0.4
VBZ				0.6
VBP			0.7	

Trellis del Viterbi: Reconstrucción del camino: $X_t = \varphi(X_{t+1})$

	$O_1 = \text{the}$ X_1	$O_2 = \text{kid}$ X_2	$O_3 = \text{fishes}$ X_3	$O_4 = \text{fish}$ X_4
$\bar{S}_1 = \bar{DT}$	$\bar{\pi} = 0.4$ $\bar{b} = 1$ $\bar{\delta} = 0.4$			
$\bar{S}_2 = \bar{JJ}$		$\bar{\max} = 0.08$ $\bar{b} = 0.2$ $\bar{\delta} = 0.016$, $\bar{\varphi} = \text{DT}$		
$\bar{S}_3 = \bar{NN}$		$\bar{\max} = 0.2$ $\bar{b} = 0.3$ $\bar{\delta} = 0.06$, $\bar{\varphi} = \text{DT}$		$\bar{\max} = 0.0065$ $\bar{b} = 0.4$ $\bar{\delta} = 0.0026$, $\bar{\varphi} = \text{VBZ}$
$\bar{S}_4 = \bar{NNS}$			$\bar{\max} = 0.006$ $\bar{b} = 0.4$ $\bar{\delta} = 0.0024$, $\bar{\varphi} = \text{NN}$	$\bar{\max} = 0.0097$ $\bar{b} = 0.3$ $\bar{\delta} = 0.0029$, $\bar{\varphi} = \text{VBZ}$
$\bar{S}_5 = \bar{VBZ}$			$\bar{\max} = 0.054$ $\bar{b} = 0.6$ $\bar{\delta} = 0.0324$, $\bar{\varphi} = \text{NN}$	
$\bar{S}_6 = \bar{VBP}$				$\bar{\max} = 0.0024$ $\bar{b} = 0.7$ $\bar{\delta} = 0.0017$, $\bar{\varphi} = \text{NNS}$
		$X_2 = \text{NN}$	$X_3 = \text{VBZ}$	$X_4 = \text{NNS}$

Ejercicio

Etiquetado morfo-sintáctico

Etiquetadores morfo-sintácticos

Algoritmo de Viterbi

π	
DT	0.4
JJ	0.2
NN	
NNS	0.3
VBZ	
VBP	0.1

A	DT	JJ	NN	NNS	VBZ	VBP
DT		0.2	0.5	0.3		
JJ			0.8	0.2		
NN				0.1	0.9	
NNS						1
VBZ	0.5		0.2	0.3		
VBP	0.4		0.4	0.2		

B	the	kid	fish	fishes
DT	1			
JJ		0.2		
NN		0.3	0.4	
NNS			0.3	0.4
VBZ				0.6
VBP			0.7	

Trellis del Viterbi: Reconstrucción del camino: $X_t = \varphi(X_{t+1})$

	$O_1 = \text{the}$ X_1	$O_2 = \text{kid}$ X_2	$O_3 = \text{fishes}$ X_3	$O_4 = \text{fish}$ X_4
$\bar{S}_1 = \bar{DT}$	$\bar{\pi} = 0.4$ $\bar{b} = 1$ $\bar{\delta} = 0.4$			
$\bar{S}_2 = \bar{JJ}$		$\bar{\max} = 0.08$ $\bar{b} = 0.2$ $\bar{\delta} = 0.016$, $\bar{\varphi} = \text{DT}$		
$\bar{S}_3 = \bar{NN}$		$\bar{\max} = 0.2$ $\bar{b} = 0.3$ $\bar{\delta} = 0.06$, $\bar{\varphi} = \text{DT}$		$\bar{\max} = 0.0065$ $\bar{b} = 0.4$ $\bar{\delta} = 0.0026$, $\bar{\varphi} = \text{VBZ}$
$\bar{S}_4 = \bar{NNS}$			$\bar{\max} = 0.006$ $\bar{b} = 0.4$ $\bar{\delta} = 0.0024$, $\bar{\varphi} = \text{NN}$	$\bar{\max} = 0.0097$ $\bar{b} = 0.3$ $\bar{\delta} = 0.0029$, $\bar{\varphi} = \text{VBZ}$
$\bar{S}_5 = \bar{VBZ}$			$\bar{\max} = 0.054$ $\bar{b} = 0.6$ $\bar{\delta} = 0.0324$, $\bar{\varphi} = \text{NN}$	
$\bar{S}_6 = \bar{VBP}$				$\bar{\max} = 0.0024$ $\bar{b} = 0.7$ $\bar{\delta} = 0.0017$, $\bar{\varphi} = \text{NNS}$
	$X_1 = \text{DT}$	$X_2 = \text{NN}$	$X_3 = \text{VBZ}$	$X_4 = \text{NNS}$