
ÍNDICE GENERAL

Agradecimientos	V
Resumen	VII
Resum	IX
Abstract	XI
Prefacio	XIII
Índice general	XVII
Índice de tablas	XXV
Índice de figuras	XXXI
Índice de algoritmos	XXXVII
1 Introducción	3
1.1 Motivación	5
1.2 Sistemas automáticos de reconocimiento/traducción	6
1.3 Reconocimiento estadístico de formas	8
1.4 Arquitectura modular de los sistemas	9
1.4.1 Protocolo para serializar grafos	9
1.5 Medidas de evaluación	12
1.5.1 Perplejidad	14
1.5.2 Word Error Rate	14
1.5.3 Bilingual Evaluation Understudy	15
1.5.4 Translation Edit Rate	16

1.6	Significancia estadística de los resultados experimentales	17
1.6.1	Intervalo de confianza de las medidas de evaluación	17
1.6.2	Comparación entre sistemas: pairwise comparison	19
1.7	Entrenamiento discriminativo de pesos para combinación de modelos	19
1.8	Objetivos científicos y tecnológicos	20
I	Aportaciones al modelado conexionista de lenguaje	23
2	Modelos de Lenguaje y NN LMs	25
2.1	Modelado de lenguaje	27
2.1.1	Modelos de lenguaje estadísticos	27
2.1.2	Correlación entre PPL y WER	28
2.2	Modelos de lenguaje de N -gramas	29
2.2.1	Estimación de modelos de lenguaje de N -gramas	29
2.2.2	Suavizado de las cuentas	31
2.2.3	Técnica de back-off	33
2.2.4	Back-off interpolado	34
2.3	Modelos conexionistas de lenguaje (NN LMs)	34
2.3.1	Arquitectura de los NN LMs	35
2.3.2	NNLMs en la literatura	39
2.4	Combinación de NN LMs y N -gramas estándar	40
2.5	Deficiencias del modelo NN LM	41
2.6	Últimas tendencias en modelado conexionista de lenguaje	42
2.7	Resumen	44
3	Aportaciones a los NN LMs estándar	45
3.1	Mejorando los NN LMs	47
3.1.1	Proyección de las palabras poco frecuentes en el espacio continuo	47
3.1.2	Mejoras del coste computacional	48
3.1.3	Experimentos con distintos tamaños de vocabulario de entrada	50
3.2	Incorporación de NN LMs en sistemas automáticos de transcripción	51
3.2.1	Generalización de los modelos de lenguaje	53
3.2.2	NN LMs como modelos de estados finitos	53
3.2.3	NN LM integrado durante el proceso de búsqueda	55
3.2.4	Repuntando listas de N -best	55
3.3	Propuestas de mejora	58
3.3.1	Adaptación al contexto con NN LMs tipo caché	58
3.3.2	Información sintáctica para inicializar la capa de proyección	58
3.3.3	Inclusión del parámetro momentum	60
3.3.4	Mejoras a la combinación lineal de NN LMs y N -gramas estándar	60
3.4	Resumen	64

4	Evaluación Rápida de NN LMs	65
4.1	Motivación	67
4.1.1	Acelerando la activación softmax	67
4.1.2	Estado del arte	68
4.2	Precómputo de constantes de normalización softmax	69
4.2.1	Entrenamiento de los modelos smoothed Fast NN LM	69
4.2.2	Detalles formales de la técnica de aceleración	70
4.2.3	Evaluación rápida de los modelos	70
4.3	Integración eficiente de NN LMs en sistemas de reconocimiento/traducción .	71
4.4	Experimentación	73
4.4.1	Corpus LOB-ale	73
4.4.2	Comparando NN LMs con SRI	73
4.4.3	Técnica de evaluación rápida con precálculo de las constantes	75
4.5	Comparando NN LMs integrados	78
4.5.1	Efecto de la integración de smoothed Fast NN LMs	78
4.5.2	Conclusiones	81
4.6	Resumen	81
5	NN LMs con caché	83
5.1	Motivación	85
5.2	Modelos de lenguaje con caché	85
5.2.1	Antecedentes	85
5.2.2	Reducción del problema de la dispersión de los datos	86
5.3	Extensión de NN LMs con caché	86
5.4	Codificación del contexto en la caché del NN LM	87
5.5	Resumen	89
II	Aplicación de NN LMs al reconocimiento de secuencias	91
6	Formalización de los HMMs y decodificación	93
6.1	Descripción	95
6.1.1	Los tres problemas básicos de los HMMs	97
6.1.2	Modelos ocultos de Markov hibridados con redes neuronales	98
6.2	Arquitectura del algoritmo de decodificación	99
6.2.1	Sobresegmentación	99
6.2.2	Módulos dataflow	100
6.3	Resumen	106
7	Reconocimiento y comprensión automática del habla	107
7.1	Introducción	109
7.2	Preproceso y parametrización de la voz	109
7.2.1	Adquisición de la señal	110
7.2.2	Preproceso de la señal	110
7.2.3	Parametrización	111

7.3	Corpus French Media	113
7.4	Entrenamiento de los modelos acústicos	113
7.5	Comprensión del lenguaje en sistemas de diálogo	116
7.5.1	Comprensión del lenguaje mediante LMs	117
7.5.2	Cache NN LMs para tareas de diálogo hablado	117
7.5.3	Arquitectura de los Cache NN LMs	118
7.6	Sistema de comprensión automática del habla	119
7.7	Experimentación	120
7.7.1	Resultados del sistema baseline de ASR	120
7.7.2	Resultados de comprensión automática del habla	120
7.8	Conclusiones y trabajo futuro	123
7.9	Resumen	125
8	Reconocimiento de escritura manuscrita off-line	127
8.1	Introducción	129
8.2	Preproceso de escritura manuscrita	129
8.2.1	Detección de puntos de interés	130
8.2.2	Corrección del slope	132
8.2.3	Corrección del slant	132
8.2.4	Normalización del tamaño	133
8.2.5	Extracción de características	134
8.3	Corpus IAM-DB	134
8.4	Entrenamiento de los modelos ópticos	137
8.5	Material para el modelo de lenguaje: corpus LIBW	137
8.6	Reconociendo líneas de texto	138
8.6.1	Extensión a NN LMs	139
8.7	Experimentos con modelos de palabras	140
8.7.1	Configuración de los modelos de lenguaje utilizados	140
8.7.2	Análisis de los resultados	141
8.7.3	Discusión	145
8.8	Experimentos con modelos de grafemas	146
8.8.1	Modelos de grafemas	146
8.8.2	Análisis de las palabras fuera de vocabulario	147
8.8.3	Discusión	149
8.9	Experimentos con modelos de palabras y redes neuronales recurrentes	151
8.9.1	Modelado de lenguaje con LSTMs	151
8.9.2	Sistema de reconocimiento basado en LSTMs	153
8.9.3	Experimentación	153
8.9.4	Conclusiones	154
8.10	Resumen	154

III Aplicación de NN LMs a la traducción automática estadística 157

9 Traducción automática estadística basada en segmentos y N -gramas 159

9.1	Introducción	161
9.1.1	Traducción automática clásica	161
9.1.2	Traducción automática estadística	161
9.2	Modelo de traducción basado en segmentos	163
9.2.1	Simetrización de los alineamientos para SMT basada en segmentos	164
9.2.2	Extracción de pares de segmentos alineados	164
9.2.3	Combinación log-lineal de modelos	165
9.3	Aproximación basada en N -gramas: transductores de estados finitos	165
9.4	Estimando N -gramas de tuplas bilingües	167
9.4.1	Segmentando el corpus bilingüe	168
9.5	Modelos utilizados en la combinación	169
9.5.1	Modelos incontextuales	170
9.5.2	Modelos contextuales	172
9.5.3	Modelos de reordenamiento	172
9.5.4	Modelo conexionista de reordenamiento	174
9.5.5	Deficiencias en el modelado	174
9.6	Optimización de los pesos de la combinación log-lineal	177
9.7	Resumen	177

10 Algoritmo de decodificación para traducción automática 179

10.1	Descripción general del procedimiento de búsqueda	181
10.1.1	Preliminares	182
10.2	Generación del grafo de reordenamiento	184
10.2.1	Heurísticos para generar el grafo de reordenamiento	185
10.2.2	Cálculo del coste futuro	189
10.3	Generación del grafo de tuplas: Word2Tuple	191
10.4	Búsqueda del mejor camino en el grafo de tuplas: módulo Viterbi	194
10.5	Ejemplo de ejecución del algoritmo	197
10.6	Parámetros de configuración del sistema de traducción	199
10.7	Evaluando el sistema de traducción completo	203
10.7.1	Heurístico para el coste futuro y modelos de reordenamiento	203
10.7.2	Resultados comparativos entre Moses y el sistema desarrollado	204
10.8	Algunos apuntes para mejorar la eficiencia computacional del algoritmo	204
10.9	Resumen	205

11 Experimentación en traducción automática 207

11.1	Preproceso de datos en SMT	209
11.2	Experimentos repuntando listas de N -best	209
11.2.1	Tarea Italiano-Inglés del IWSLT'06	210
11.2.2	Tarea Inglés-Español del WMT'10	211
11.2.3	Tarea Inglés-Español del WMT'11	214
11.3	Experimentos integrando NN LMs en la búsqueda	219

11.3.1	Tarea BTEC Francés-Inglés del IWSLT'10	219
11.3.2	Tarea News-Commentary 2010 Español-Inglés	224
11.4	Resumen	231
IV Conclusions		233
12 Conclusions and future work		235
12.1	Conclusions and contributions	237
12.1.1	Contributions to connectionist language modeling	237
12.1.2	Contributions to sequence recognition	238
12.1.3	Contributions to Statistical Machine Translation	238
12.1.4	Summary	239
12.2	Future work	239
12.2.1	Future work on connectionist language modeling	239
12.2.2	Future work on sequence recognition using NN LMs	240
12.2.3	Future work related with SMT	240
12.3	Publications	241
12.3.1	Contributions derived from this thesis	241
12.3.2	Collaborations with other authors	243
12.3.3	Other publications	244
Bibliography		247
Apéndices		263
A Glossary of symbols and acronyms		265
A.1	Mathematical symbols	267
A.2	Acronyms	268
B Redes Neuronales Artificiales		271
B.1	El problema del aprendizaje	273
B.2	Redes neuronales	274
B.3	Algoritmos de aprendizaje	275
B.4	Introducción al algoritmo BP	276
B.4.1	El problema del aprendizaje	277
B.4.2	Derivada de la función de red	278
B.4.3	Algoritmo de BP	280
B.4.4	Aprendiendo con el BP	280
B.5	Coste del entrenamiento	281
B.6	Inicialización de los pesos	281
B.7	Sobreentrenamiento de las redes	282

C	Participación en campañas internacionales de evaluación de traducción automática	283
C.1	Participación en el WMT'10	285
C.2	Participación en el IWSLT'10	285
C.3	Participación en el WMT'11	285
D	English summary	287
D.1	Introduction	289
D.1.1	Pattern Recognition Basis	289
D.1.2	Dataflow architecture	290
D.1.3	Evaluation measures	290
D.1.4	Statistical significance of experimental results	291
D.1.5	Discriminative training of weight combination	291
D.1.6	Scientific and technological goals	292
D.2	Language models and NN LMs	293
D.2.1	Statistical language models	293
D.2.2	N -gram language models	293
D.2.3	Connectionist language models	294
D.2.4	NN LMs and standard N -grams combination scheme	296
D.2.5	NN LM deficiencies	297
D.3	Contributions to connectionist Language Modeling	297
D.3.1	Encoding of words with low frequency counts	297
D.3.2	Computational cost reduction	297
D.3.3	Experiments using different input vocabulary sizes	299
D.3.4	NN LMs integration in the decoding systems	299
D.3.5	Other proposals of improvement	300
D.3.6	Summary	301
D.4	Fast evaluation of NN LMs	301
D.4.1	speed-up technique for softmax normalization constants	302
D.4.2	Perplexity evaluation experiments	302
D.4.3	Experiments on NN LMs integrated into the decoding phase	302
D.4.4	Summary	303
D.5	NN LMs with cache	304
D.5.1	Context codification for the cache	304
D.6	Hidden Markov Models and decoding	304
D.6.1	HMMs hybridized with Neural Networks	305
D.6.2	Decoding algorithm architecture	305
D.6.3	Dataflow modules and algorithms	305
D.7	Automatic Speech Recognition and Spoken Language Understanding	306
D.7.1	French Media corpus	306
D.7.2	Acoustic models	306
D.7.3	SLU by using Language Models	307
D.7.4	Experimentation	307
D.7.5	Summary	307
D.8	Handwritten Text Recognition	308

D.8.1	Neural Network Language Models in HTR tasks	308
D.8.2	Word-based NN LMs experiments	308
D.8.3	Character-based NN LMs experiments	309
D.8.4	Word-based experiments with recurrent neural network LMs	309
D.8.5	Summary	309
D.9	Statistical Machine Translation	310
D.9.1	N -gram-based SMT: stochastic finite state machines	311
D.9.2	Modeling	311
D.10	Decoding algorithm for SMT	313
D.10.1	Word reordering graph generation	313
D.10.2	Tuple graph generation: Word2Tuple	314
D.10.3	Best tuple path search: Viterbi module	315
D.10.4	Execution example	315
D.10.5	Summary	315
D.11	Statistical Machine Translation experiments	316
D.11.1	Experiments with N -best list rescoring	316
D.11.2	Experiments with NN LMs coupled at the decoding phase	316
D.11.3	Summary	316
D.12	Conclusions and future work	317