

國立交通大學

電信工程研究所

碩士論文

國客雙語語音辨認

A Study on Mixed Hakka-Mandarin Chinese Bilingual

Speech Recognition



研究 生：蔡財祿

指 導 教 授：陳信宏 教 授

中華民國九十九年七月

國客雙語語音辨認

A Study on Mixed Hakka-Mandarin Chinese Bilingual Speech

Recognition

研 究 生：蔡財祿

Student : Tsai-Lu Tsai

指導教授：陳信宏 博士

Advisor : Dr. Sin-Horng Chen

國 立 交 通 大 學
電 信 工 程 研 究 所
碩 士 論 文



Communication Engineering

July 2010

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國 九十九 年 七 年

國客雙語語音辨認

研究 生：蔡財祿

指 導 教 授：陳信宏 教 授

國立交通大學電信工程研究所



本論文進行客語與國客雙語的語音辨認研究，重點在於如何在極有限的客語文字資料限制下，訓練一個較可靠的語言模型。在客語語音辨認上，我們首先使用客語文字資料直接訓練出一個簡單的語言模型，接著使用詞類資訊(part of speech, POS)及國客語之間的詞條對譯資訊來協助改善客語語言模型。在雙語的語音辨認上，我們嘗試兩種方法來產生雙語聲學模型，一種是直接將國語及客語的聲學模型合併，另一種是使用相似度量測來定義音素間的距離，用以合併國客語音素成一個共用的音素集，再訓練出一個混合的雙語聲學模型。實驗結果顯示我們所提出的聲學模型與語言模型對於客語及國客雙語語音辨認效能皆有所改進。

A Study on Mixed Hakka-Mandarin Chinese Bilingual Speech Recognition

Student : Tsai-Lu Tsai

Advisor : Dr. Sin-Horng Chen

Institute of Communication Engineering
National Chiao Tung University



A first study on Hakka and mixed Hakka-Mandarin speech recognition (SR) is reported in this thesis. The main focus of the study is on solving the problem of the lack of a large text corpus for training a reliable language model. In the Hakka SR, several methods to use the information of part of speech and Hakka-Chinese word translation to assist in language modeling are proposed. For mixed language SR, a method to train a mixed Hakka-Mandarin acoustic model is suggested. Experimental results show that the proposed language and acoustic modeling approaches are promising for Hakka and mixed Hakka-Mandarin SR.

致謝

首先誠摯的感謝指導教授陳信宏老師與王逸如老師，兩位老師悉心的教導使我得以一窺語音處理領域的奧秘，不時的討論並指點我正確的方向，使我在這些年中獲益匪淺。老師對於學問的嚴謹更是我輩的典範。

本論文的完成另外亦得感謝中華大學的余秀敏老師大力協助。因為有你的體諒及幫忙使得本論文能夠更加完整。

此外，我要特別感謝性獸學長，獸哥在研究上給予我許多的幫助及最後辛苦的幫我修改論文，可以說沒有獸哥就沒有這篇論文了。接著要感謝的是合哥，合哥在研究的實做上給予我許多建議及幫助，讓我的實驗得以順利完成。感謝最佳助教阿德、愛嚇人的輝哥、酒吧王子巴金叔及愛護地球的希群，學長們在我對研究感到迷惘時給予我適時的鼓勵。也感謝常常回學校的普烏、偶爾會去吃吃飯的Q哥及宋哥、畢業就消失的小帥哥，雖然你們畢業了一段時間，我還是勉強的感謝你們；接著，感謝我們的一哥，不只研究超強而且很可靠，畢業的流程沒有你根本無法畢業阿！致力於研究裝模作樣的PUMA，真想學會你的研究技巧；最近特別唱邱的皓翔，可以告訴我你怎麼這麼邱嗎？每天都在做研究的燁哥，真想學習你的毅力與幹勁；很忙很多工作的依玲，真高興客語的領域有妳的陪伴；似乎有中聽的舒姊，我相信沒有任何聲音可以影響妳的研究。接著，感謝人妻殺手胖胖、魔術『高』手啟全、看起來壯的豆腐、一哥的傳人彥邦、極具研究潛力的大胖、很認真的銘傑與智障等學弟們的陪伴與幫忙。

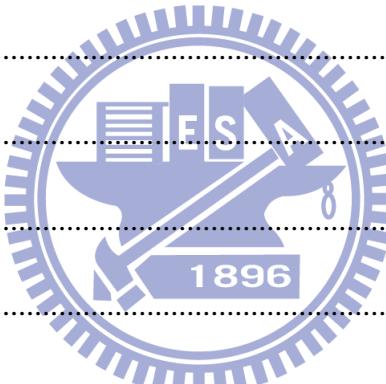
最後，要感謝的是我的父母與我的家人，謝謝你們對我的信任與支持，讓我得以順利取得碩士學位。

目錄

中文摘要.....	I
Abstract.....	II
致謝.....	III
目錄.....	IV
圖目錄.....	VII
表目錄.....	VIII
第一章 緒論.....	1
1.1 研究動機.....	1
1.2 研究方向.....	1
1.3 相關研究.....	2
1.3.1 聲學模型之相關研究.....	2
1.3.2 語言模型之相關研究.....	2
1.4 章節大要.....	3
第二章 實驗語料介紹.....	4
2.1 語音語料庫介紹.....	4
2.1.1 國語語音語料庫.....	4
2.1.2 客語語音語料庫.....	5
2.1.3 國客雙語語音語料庫.....	5
2.2 文字語料庫介紹.....	6
2.2.1 國語文字語料庫.....	6

2.2.2 客語文字語料庫	6
2.3 客語與國語之間的語文特性	8
2.3.1 客語與國語的平行語料分析	8
2.3.2 客語與國語的詞類分析	10
第三章 聲學模型	12
3.1 訓練語料及測試語料	12
3.2 聲學模型之建立	13
3.2.1 特徵參數抽取	13
3.2.2 單語聲學模型之建立	13
3.2.3 雙語聲學模型之建立	14
3.3 雙語音素集	14
3.3.1 單語音素集	15
3.3.2 音素直接合併	16
3.3.3 log-likelihood measurement	16
第四章 語言模型的設計	20
4.1 概論	20
4.2 語言模型基本定義	20
4.2.1 N 連語言模型	20
4.2.2 語言模型平滑法	22
4.2.3 語言模型評估準則-混淆度(perplexity, PP)	22
4.3 客語語言模型	23

4.3.1 基本客語語言模型	23
4.3.2 強化客語語言模型	23
4.3.2.1 由客語詞類資訊建立語言模型(Stage1)	24
4.3.2.2 由國語詞類資訊建立語言模型(Stage2)	26
4.3.2.3 由國語語言模型資訊建立語言模型(Stage3)	29
4.4 雙語語言模型	30
4.5 比較與效能分析	31
第五章 實驗結果及討論	33
5.1 聲學模型實驗	33
5.2 客語語言模型實驗	35
5.3 雙語語音辨認實驗	39
第六章 結論與未來展望	43
6.1 結論	43
6.2 未來展望	43
參考文獻	44
附錄一：詞類標記	46
附錄二：決策問題	47
附錄三：音節結構表	50



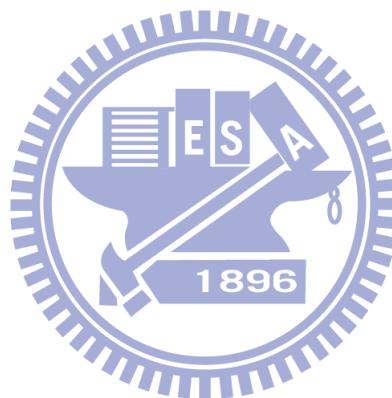
圖目錄

圖 2.1：客語的音節結構.....	8
圖 2.2：客語詞類與國語詞類標記分佈比較(1).....	10
圖 2.3：客語詞類與國語詞類標記分佈比較(2).....	11
圖 2.4：客語詞類與國語詞類標記分佈比較(3).....	11
圖 3.1：單語聲學模型之建立流程.....	13
圖 3.2：雙語聲學模型建立流程.....	14
圖 4.1：強化客語語言模型流程圖.....	24
圖 4.2：國語詞類資訊語言模型的建立流程圖.....	26
圖 5.1：客語語言模型辨認率.....	37
圖 5.2：詞類標記明顯幫助的詞條之 TOP20(詞條次數大於 15 次).....	38
圖 5.3：詞類標記對於幫助辨認的詞類(詞類次數大於 40 次).....	38
圖 5.4：不同客語語言模型對於雙語語音辨認之辨認率比較.....	41
圖 5.5：不同聲學模型對於雙語語音辨認之辨認率比較.....	42

表目錄

表 2.1：TCC300 語料庫資訊統計表.....	4
表 2.2：客語語音語料庫資訊統計表.....	5
表 2.3：國客雙語語音語料庫資訊統計表.....	6
表 2.4：國語文字語料庫資訊統計表.....	6
表 2.5：無標記的客語文章資訊統計表.....	7
表 2.6：人工標記客語文章資訊統計表.....	7
表 2.7：客語詞典資訊統計表.....	8
表 2.8：國客雙語對照詞典資訊統計表.....	8
表 3.1：客語語音語料庫統計.....	12
表 3.2：國語語音語料庫統計.....	12
表 3.3：國客語夾雜語音語料庫統計.....	13
表 3.4：國語音素集.....	15
表 3.5：客語音素集.....	15
表 3.6：直接合併之雙語音素集.....	16
表 3.7：LOG-LIKELIHOOD DISTANCE	17
表 3.8：雙語音素集.....	19
表 3.9：合併比率.....	19
表 4.1：國語翻譯與 60,000 詞分布情況.....	28
表 4.2：STAGE 3 客語語言模型混淆度估測.....	30
表 4.3：語言模型混淆度估測.....	31
表 5.1：模型 MIXTURE 數量	33
表 5.2：不同聲學模型、待辨認音節對於客語測試語料之音節辨認率比較.....	33
表 5.3：SUBSTITUTION 明顯增加且常出現(>40 次)，前十名之音節	34

表 5.4：不同聲學模型、待辨認音節對於國語測試語料之音節辨認率比較.....	35
表 5.5：不同聲學模型對於雙語測試語料之音節辨認率比較.....	35
表 5.6：HMM 模型之設定.....	36
表 5.7：RCD 聲學模型音節辨認率	36
表 5.8：客語語言模型詞(WORD)辨認率.....	36
表 5.9：客語語言模型字(CHARACTER)辨認率.....	37
表 5.10：客語語言模型音節(SYLLABLE)辨認率	37
表 5.11：雙語辨認率之比較.....	40
表 5.12：雙語語音辨認之詞辨認率分析.....	40
表 5.13：雙語語音辨認之音節辨認率分析.....	41



第一章 緒論

1.1 研究動機

科技日新月異的今天，獲得資訊的方式可說是越來越容易，但是人們操縱電腦、手機甚至 PDA 的方式主要還是侷限於鍵盤、觸控，其實這並不是人類最基本的溝通方式，人們還不會寫字時，就懂得使用語言來溝通，所以語言才是人類最基本、最自然的溝通方式。而如何賦予電腦能夠理解人類的語言而發展出的人性化介面，其中語音辨認 (Automatic Speech Recognition, ASR) 扮演了極為重要的角色。

而在另一方面，儘管語音辨認已發展多年，連續大詞彙語音辨認也有所發展，但是普遍是單語言的語音辨認系統，如果一個語音辨認系統可以結合多種語言，達到多種語言的辨認這將是十分有趣的；並且，隨著文化的發展人們在口語上多種語言夾雜也是常見的現象，所以發展一個多語種或跨語言的語音辨認系統(Multilingual or Cross-Lingual Speech Recognizer, MSR)將是一個很重要的研究課題。

在台灣主要有三種語言國語、台語及客語，其中大約有百分之十的人口母語為客語。過去對於客語語音處理相關研究【1】【2】是非常稀少的，主要原因是客語的語音及文字語料收集非常困難。近年來，由於政府與社會逐漸對於母語的重視，尤其是對於客語。現在，有許多的廣播媒體，像是 Hakka-TV【3】、Hakka-radio【4】、客語廣播新聞與國客語夾雜的廣播新聞。此時將需要客語或國客語夾雜的聽寫系統。所以本論文將針對客語語音辨認與國客雙語語音辨認進行研究。

1.2 研究方向

客語依照地區分成了許多次方言，像是海陸、四縣、大浦、紹安等，其中本研究為四縣客語。四縣客語和國語一樣，皆為單音節(monosyllabic)和音調(tonal)的語言。雖然客語的語音在語言學上的特性與國語語音極為相似，但是客語本身並沒有標準的書寫文字。這些文字

通常使用中文字元與羅馬拼音(Romanization form)夾雜表示。因此，只有少數的客語語言學家能夠撰寫出客語文章，造成難以收集大量的客語文字語料來訓練一個可靠的語言模型(Langauge Model, LM)。針對這個問題，本研究將使用詞類標記(part of speech)、國客語的詞條對譯、國語語言模型來幫助客語建立更為可靠的語言模型。

另一方面，對於雙語的語音辨認建立一個雙語言共同使用的聲學模型是必需的。我們嘗試兩種方法來產生雙語聲學模型，一種是直接將國語及客語的聲學模型合併，另一種是使用相似度量測(log-likelihood measurement)【5】【6】來定義音素間的距離，用以合併國客語音素成一個共用的音素集，再訓練出一個混合的雙語聲學模型。雙語語言模型方面，則簡單的由原客語語言模型加入常使用的國語詞彙。

1.3 相關研究

1.3.1 聲學模型之相關研究



多語言語音辨認有各種方法。一種方法是先使用語言辨認系統(language identification, LID)，確定輸入的語言後，選用相應的單語言系統進行語音辨認。不過此種方法的語音辨認效能直接取決於 LID 的辨認率，且輸入語音的長短亦會直接影響辨認效能。另一種多語言語音辨認是將所有的單語言語音辨識系統進行平行的辨認，根據各語言的最大相似度(maximum likelihood)，決定辨認情況，其效能取決於最後選擇的最大相似度序列。

傳統上多語言辨認系統，是對音素(phone)做處理。建立一個包含多種語言的音素集【7】，一般常見的建立多語言音素集常見的方法大致上可分為三種：(1) 直接將所有語言的音素結合起來。(2) 將對應至相同國際音標集的音素，做音素的合併。(3) 經由數據處理合併不同語言的音素：對不同語言各自訓練自己的聲學模型，分別對其他語言交互計算模型間的相似度，將相似度較高的聲學模型做合併，像是 log-likelihood 【8】及 K-L Divergence。

1.3.2 語言模型之相關研究

一般多語言的辨認系統，雖然說是多語言並行的自由使用，但是通常主要語言只會有一

種；並且在語料的蒐集上，難以取得足量的多語語料以供訓練，也無法涵蓋所有可能出現的外語詞彙，通常是使用詞類將外語分為多個詞群，來訓練語言模型【9】。此外，語者對於外語的發音，通常會將其母語化，使得外語詞彙會對應至母語音節上，所以也可以針對這些詞典外詞彙(out-of-vocabulary, OOV)進行處理【10】。

1.4 章節大要

本研究的內容共分為六章：

第二章：對實驗語料做簡單的分析及介紹。

第三章：針對雙語的特型，設計雙語混合聲學模型。

第四章：使用不同的資訊訓練客語語言模型，並考量國客語夾雜情況設計雙語語言模型。

第五章：根據前述章節中的不同模型進行實做，再針對不同組合的實驗結果進行比較與分析。

第六章：結論與未來展望。



第二章 實驗語料介紹

本研究實驗語料主要分為文字語料和語音語料兩個部份，其中文字語料做為語言模型訓練使用，而語音語料則做為聲學模型訓練及測試語音辨認系統之效能使用。2.1 節將介紹實驗所使用的語音語料庫，2.2 節將介紹實驗所使用的文字語料庫，2.3 節將分析客語與國語文句之間的關係。

2.1 語音語料庫介紹

實驗所使用的語音語料庫分為國語語音語料庫、客語語音語料庫以及國客雙語語音語料庫三個。其中國語語音語料庫及客語語音語料庫做為聲學模型的訓練及測試使用，國客雙語語音語料庫則做為測試使用。接著，將對這三個語料庫做更為詳細的介紹。

2.1.1 國語語音語料庫

實驗所使用的國語語音語料庫為 TCC300 語料庫，語料庫是由台灣大學、成功大學、交通大學各自擁有之語料庫集合而成，各校錄製之目的是為語音辨認研究，屬於麥克風朗讀語音。其中台大語料庫主要包含詞及短句，文章經過仔細設計，考慮了音節及其相連出現機率，由 100 人錄製而成；成大及交大語料庫主要包含長文語料，文章由中研院提供之 500 萬詞詞類標示語料庫中選取，每篇文章包含數百字，再切割成 3 至 4 段，每段含至多 231 字，由 200 人朗讀錄製，每人所讀文章皆不相同。詳細統計資訊如表 2.1 所示。

表 2.1：TCC300 語料庫資訊統計表

學校名稱	文章屬性	語者總數	總音節數	總檔案數
台灣大學	短文 (平衡句)	男 50	男 27,541	男 3,425
		女 50	女 24,677	女 3,084
		總計 100	總計 52,218	總計 6,509
交通大學	長文	男 50	男 75,059	男 622
		女 50	女 73,555	女 616

	總計	100	總計	148,614	總計	1,238
成功大學	男	50	男	63,127	男	588
長文	女	50	女	68,749	女	582
	總計	100	總計	131,876	總計	1,170

2.1.2 客語語音語料庫

台灣客家話有許多次方言，其中以四縣腔為最通行的腔調，本研究考量到客語的代表性和實用性，因此選用客語人口最多的苗栗四縣客家話為發展國、客語語音辨認技術的語料來源。以下所稱之客語皆為苗栗四縣客家話。

實驗所使用的客語語音語料庫，為交通大學語音處理實驗室分四個時期錄製而成，目的是為語音辨認研究，屬於麥克風朗讀語音。文章內容主要為客語故事【11】，主要由苗栗的兩位退休教師，一位是龔萬灶老師、另一位為陳碧娥老師所撰寫；並加入中華大學余秀敏老師所新增的客語文句。由 92 人朗讀錄製而成，詳細統計資料如表 2.2 所示。

表 2.2：客語語音語料庫資訊統計表

語者總數	總音節數	總檔案數
男 43	男 70,193	男 4,627
女 49	女 83,718	女 5,602
總計 92	總計 153,911	總計 10,229

2.1.3 國客雙語語音語料庫

實驗所使用的國客雙語語音語料庫，為交通大學語音處理實驗室錄製而成，目的是為語音辨認研究，屬於麥克風朗讀語音。文句由中華大學余秀敏老師根據日常國客語夾雜使用情況所撰寫，文句內容分為客語為主文句及國語為主文句，各 100 句。由 20 人錄製而成，每人 20 句國語為主文句、20 句客語為主文句。詳細統計如表 2.3 所示。

表 2.3：國客雙語語音語料庫資訊統計表

文句屬性	語者總數		總音節數		總檔案數
客語為主	男 10	男	2,480	男	200
	女 10	女	2,480	女	200
	總計 20	總計	4,960	總計	400
國語為主	男 10	男	2,478	男	200
	女 10	女	2,478	女	200
	總計 20	總計	4,956	總計	400

2.2 文字語料庫介紹

實驗所使用的文字語料庫依照語言分為國語文字語料庫、客語文字語料庫兩個。主要是做為語言模型的訓練使用。

2.2.1 國語文字語料庫

實驗所使用的國語文字語料庫，來源有兩個：光華雜誌【12】及 NTCIR【13】，光華雜誌為一般雜誌內容文章，蒐集的範圍為 1976 年至 2000 年；NTCIR 為各個不同學科領域的文章構成，是建立資訊檢索系統的標竿測試集。詳細統計資訊如表 2.4 所示：

表 2.4：國語文字語料庫資訊統計表

來源	詞數(Word)	字數(Character)
光華雜誌	8,945,660	15,691,089
NTCIR	108,217,471	201,075,931
合計	117,163,131	216,767,020

2.2.2 客語文字語料庫

因為客語文字語料庫其文字量明顯較國語稀疏，所以此節將特別對與客語文字相關的語料加以介紹。實驗所使用的客語文字語料庫，主要分為：無標記的客語文章、人工標記的客語文章及詞典三個部份，以下將分別對這三個部份做詳細介紹：

➤ 無任何標記的客語文章(以下稱為 *textA*)

此文章來源為網路上擷取而來，主要來源為全國語文競賽朗讀文章，文章內容大部份為故事散文集。經過文字正規化及使用客語詞典斷詞【14】後，詳細統計資訊如表 2.5 所示，總詞條數有 143,341 個。

表 2.5：無標記的客語文章資訊統計表

	一字詞	二字詞	三字詞	四字詞	五字詞	六字詞	七字詞	八字詞	總計
詞條數	2,797	8,722	2,485	946	89	17	15	42	15,115
詞頻	81,672	51,027	8,591	1,810	126	23	17	51	143,341

➤ 人工標記詞性、國語翻譯的客語文章(以下稱為 *textB*)

此文章來源為龔萬灶老師撰寫的客語文集，並且經由余秀敏老師人工標記詞類及國語翻譯資訊而成，其文章內容為客語故事。使用的詞類標記共有 49 類，詳細詞類標記資訊如附錄一；此文章平均一個客語詞條有 1.14 個詞類標記、1.28 個國語翻譯。詳細統計資訊如表 2.6 所示。

表 2.6：人工標記客語文章資訊統計表

	一字詞	二字詞	三字詞	四字詞	五字詞	六字詞	七字詞	八字詞	總計
詞條數	1,179	4,825	1,466	534	47	9	1	5	8,068
詞頻	25,729	16,610	3,393	758	51	10	1	5	46,581
平均翻譯數	1.90	1.19	1.15	1.07	1.00	1.00	1.00	1.00	1.28
平均詞類數	1.53	1.09	1.05	1.02	1.00	1.00	1.00	1.00	1.14

➤ 客語詞典(以下稱為 *dict*)

此客語詞典收錄來源有三個：台北市客委會、行政院教育部及龔老師文集。此詞典紀錄每個客語詞條的發音及詞類，平均一個客語詞條有 1.33 個詞類標記。詳細統計資訊如表 2.7 所示。

另外，此客語詞典收錄的部分客語詞條(26,524 個)有國語翻譯的對應，這部份的客語詞條平均有 1.12 個國語翻譯。此部份翻譯標記的收錄來源有台北市客委會及余老師人工標記的客語文章。詳細統計資訊如表 2.8 所示。

表 2.7：客語詞典資訊統計表

	一字詞	二字詞	三字詞	四字詞	五字詞	六字詞	七字詞	八字詞	總計
詞條數	6,643	23,690	7,454	5,224	323	84	85	18	43,521
平均 pos 數	2.42	1.16	1.08	1.06	1.04	1.01	1.00	1.00	1.33

表 2.8：國客雙語對照詞典資訊統計表

	一字詞	二字詞	三字詞	四字詞	五字詞	六字詞	七字詞	八字詞	總計
詞條數	1,225	16,762	4,924	3,295	205	59	44	10	26,524
平均翻譯數	1.94	1.09	1.08	1.03	1.00	1.00	1.00	1.00	1.12

2.3 客語與國語之間的語文特性

客語和國語都是漢語語系的語言，其音節結構和國語一樣，可以劃分為兩大部分：聲母和韻母。聲母是指音節的第一個輔音，而韻母則包含介音及韻腳，韻腳又包括主要元音及韻尾。圖 2.1 為客語的音節結構【15】。

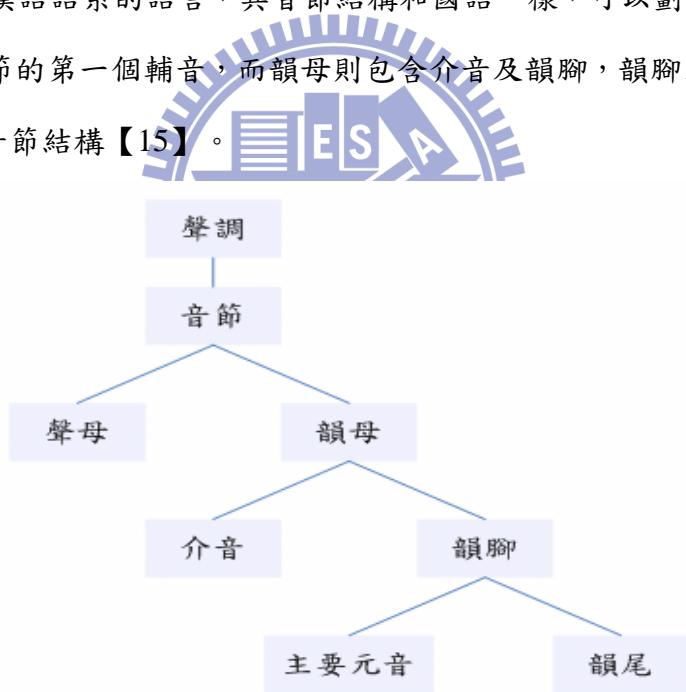


圖 2.1：客語的音節結構

2.3.1 客語與國語的平行語料分析

此部份是分析人工標記的客語文章中客語文句與國語文句之間的關係。發現不管在文字撰寫或文法結構上，國語與客語都極為相似，

例如：

客語文句： 拜 伯公 係 客家人 異 平常 也 係 異 要緊 个 事情

國語文句： 拜 土地公 是 客家人 十分 平常 也 是 十分 重要 的 事情

詞類標記： VC Nb SHI Na Dfa VH D SHI Dfa VH DE Na

客語文句： 原本 嚴肅 个 面容 露出 微微仔 个 笑意

國語文句： 原本 嚴肅 的 面容 露出 微微 的 笑意

詞類標記： D VH DE Na VC D DE Na

客語文句： 從 後生 嫁 來 這 隻 莊仔 到 今晡日 歸仙

國語文句： 從 年輕 嫁 來 這 個 莊子 到 今天 歸仙

詞類標記： P VH VC D Nep Nf Nb P Nd VA

上述所舉的例子，可以明顯看出國語與客語文句有相同的文法結構，接著由客語詞條與

翻譯的對照，我們發現國語與客語在漢字的使用上，可分為三種：

➤ **客語詞條和國語翻譯『相同』**

此部份是指客語詞條和國語翻譯的漢字使用上是一樣的，

例如：

客語詞條：二十一世紀、工廠、山盟海誓

國語翻譯：二十一世紀、工廠、山盟海誓

➤ **客語詞條和國語翻譯『相似』**

此部份是指客語詞條和國語翻譯的漢字使用上是相似的，通常是語贅詞的使用不同及客語有特有的語助詞，例如：

客語詞條： 七十零 男仔人 年仔 手仔

國語翻譯： 七十多 男人 年 手

➤ 客語詞條和國語翻譯『不同』

此部份是指客語詞條和國語翻譯的漢字使用上是不一樣，通常是客語特有用法或是一字詞，

例如：

客語詞條： 三十暗晡 八月半 个

國語翻譯： 除夕夜 中秋節 的

2.3.2 客語與國語的詞類分析

此部份是對上述人工標記的客語文章與國語文章(NCTIR 及光華雜誌)觀察詞類標記的分布情況，客語與國語詞類標記分布情形如圖 2.2 至圖 2.4 所示，我們可以看出客語詞條和國語詞條在文章中，其詞類標記的所佔比例是非常近似的。因此本研究假設客語文句的詞類標記和國語文句是相同的。

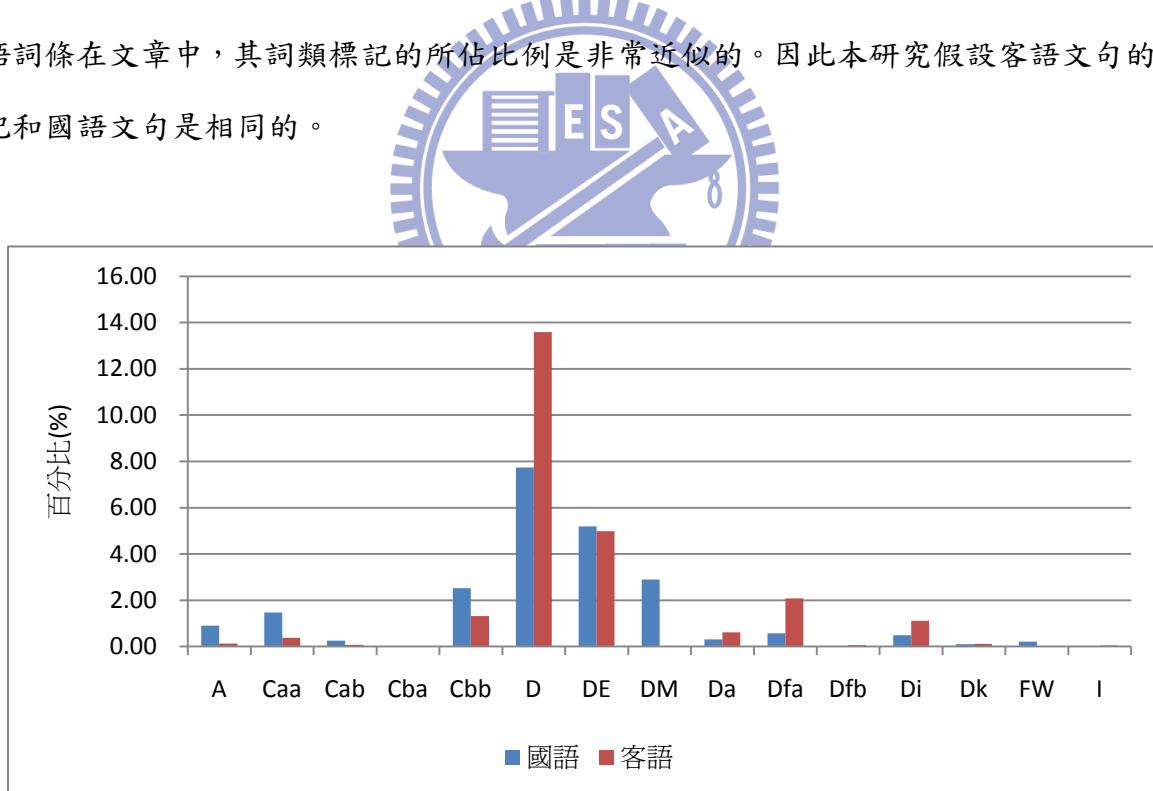


圖 2.2：客語詞類與國語詞類標記分佈比較(1)

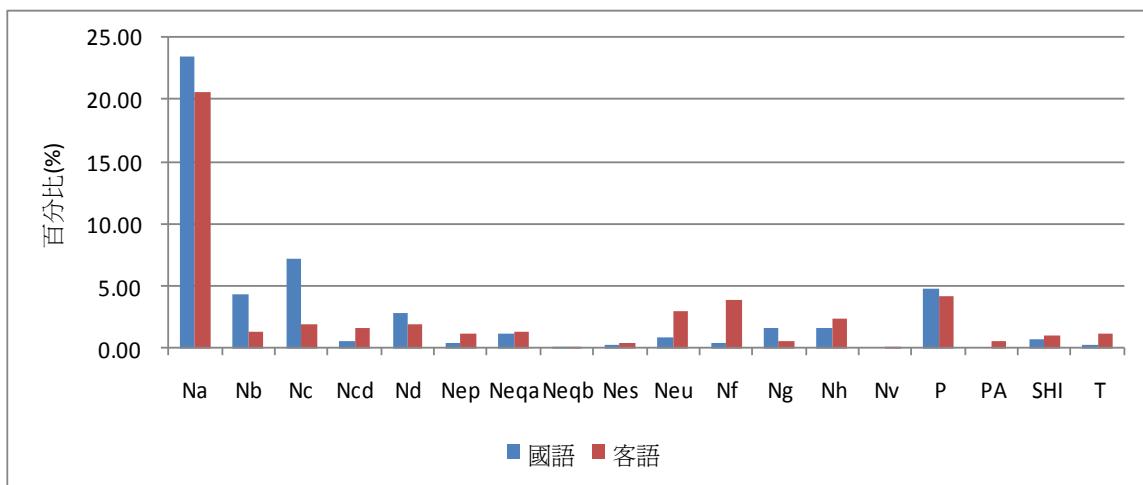


圖 2.3：客語詞類與國語詞類標記分佈比較(2)

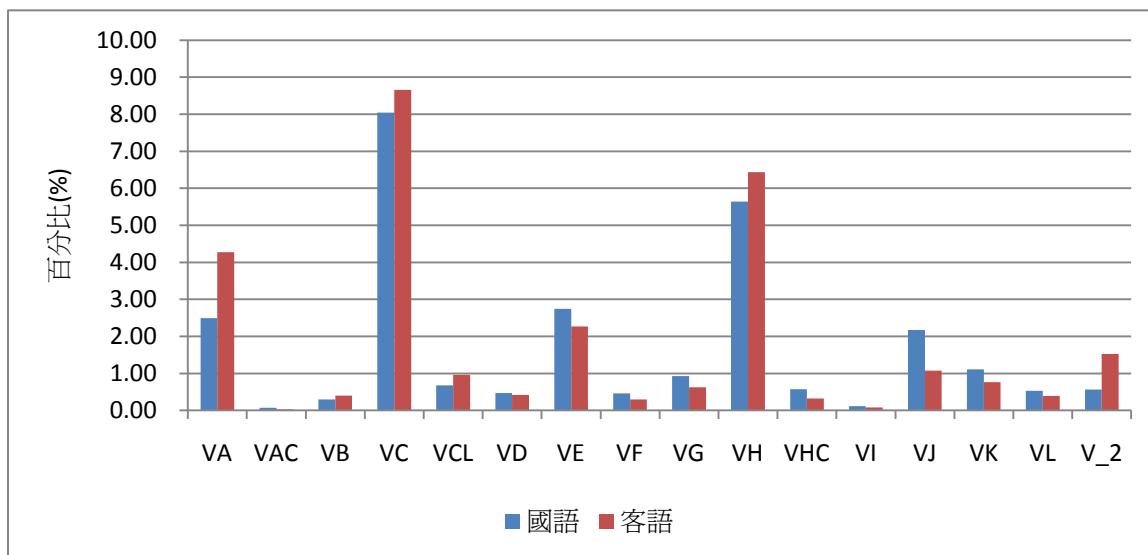


圖 2.4：客語詞類與國語詞類標記分佈比較(3)

第三章 聲學模型

在語音信號處理中建構聲學模型時，隱藏式馬可夫模型(Hidden Markov Model, HMM)是廣為人們所利用的，在本章節中將利用 TCC300 語料庫、客語語料庫及劍橋大學開發之 HTK(HMM Tool Kit)軟體【16】建立一不特定語者(speaker independent)及不特定文章(context independent)之國客雙語聲學模型，以供後續辨認實驗使用。3.1 節將介紹建構聲學模型之訓練語料，以及評估聲學模型效能之測試語料；3.2 節將介紹本研究中建立聲學模型之流程；3.3 節將介紹本研究雙語音素集的定義方式。

3.1 訓練語料及測試語料

本研究所使用的語音語料分為國語語音語料、客語語音語料及國客語夾雜語音語料。其中國語語音語料及客語語音語料做為訓練及測試聲學模型用，詳細統計資料如表 3.1 及表 3.2 所示；而國客語夾雜語音語料做為測試聲學模型使用，詳細統計資料如表 3.3。值得注意的是，客語語音語料庫因為錄製的時期不同，造成不同時期語者唸的提示卡語料數目不同，造成語料分配較為不均勻的情況發生，主要有三個語者(2 女 1 男)各包含了 1 萬多個音節的情況發生，將這三位語者皆列為訓練語料。

表 3.1：客語語音語料庫統計

	訓練語料	測試語料
673 syllable	134,612	19,388
總段落數	8,658	1,571

表 3.2：國語語音語料庫統計

	訓練語料	測試語料
411 syllable	300,728	31,252
總段落數	8,036	843

表 3.3：國客語夾雜語音語料庫統計

	客語為主	國語為主	合計
1084 syllable	4,710	4,707	9,417
總段落數	380	380	760

3.2 聲學模型之建立

3.2.1 特徵參數抽取

在訓練模型前，首先必須獲得足以充分描述語音特性，且參數量較原語音信號小之特徵參數，而在語音處理當中，最廣泛為人使用之特徵參數為梅爾頻率倒頻譜係數(Mel-Frequency Cepstrum Coefficient, MFCC)，本研究也將使用此特徵參數，以 32 毫秒之漢明窗(Hamming window)且每位移 10 毫秒為一筆資料，求取 12 維 MFCC 加上 1 維能量係數，以及這 13 維係數之一階與二階變量(delta and delta-delta)為特徵參數，但單純的能量在參數中較為缺乏鑑別性，因此除去能量係數，得到 38 維向量做為本研究語音資料之聲學特徵參數。在本研究也將利用倒頻譜平均值正規化法(Cepstrum Mean Normalization, CMN)藉此消除不同語音信號之通道效應。

3.2.2 單語聲學模型之建立

由於使用 Flat Start 訓練聲學模型，此種做法必須花費較久的時間才能得到正確的模型，且語句較長時也容易發生模型位置錯誤之情況。因此本研究利用音節內右相關聲/韻母模型(Right-context-dependent Initial / Final Model, RCD)對語音語料做音節的切割，再根據音節的切割位置訓練單語聲學模型，其建立流程如圖 3.1 所示。

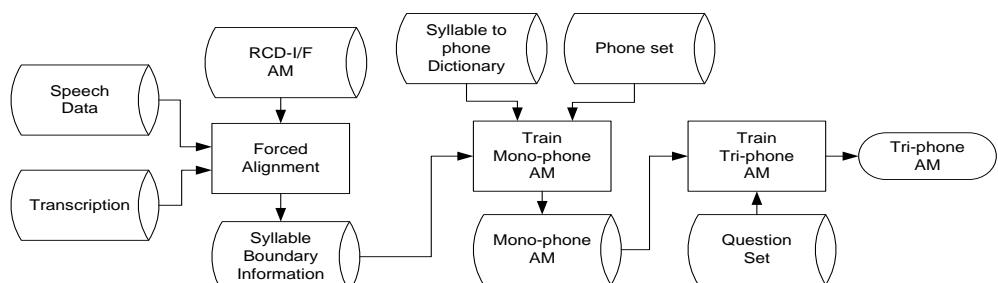


圖 3.1：單語聲學模型之建立流程

本研究之單語聲學模型以音素(phone)為單位，採用跨詞三連音素模型(Cross-word Tri-phone Model, Tri-phone)，每一個音素之 HMM 模型採用 3 個由左至右(left-to-right)的狀態(state)表示。使用跨音節三連音素模型時，為表示完整的聲學模型須包含所有的音素組合，也就是音素個數的三次方，其中必然包含在目標辨認語料中卻無訓練語料之組合，因此對所有 HMM 模型的狀態採用分類回歸決策樹(Classification and Regression Trees, CART)做為參數分享的方法，使用語言學的問題來做為決策問題，詳細決策問題如附錄二。

3.2.3 雙語聲學模型之建立

由於沒有國、客語夾雜的訓練語料，因此，本研究首先對已訓練出的國、客語音素模型(Mono-phone Model)做 HMM 模型的距離計算，接著根據距離及所定義的合併規則做音素模型的合併(距離計算方式及合併規則將在 3.3 節介紹)，最後由 3.2.2 節所介紹的方法完成雙語的跨詞三連音素模型(Bilingual Tri-phone Model)，其建立流程如圖 3.2 所示。

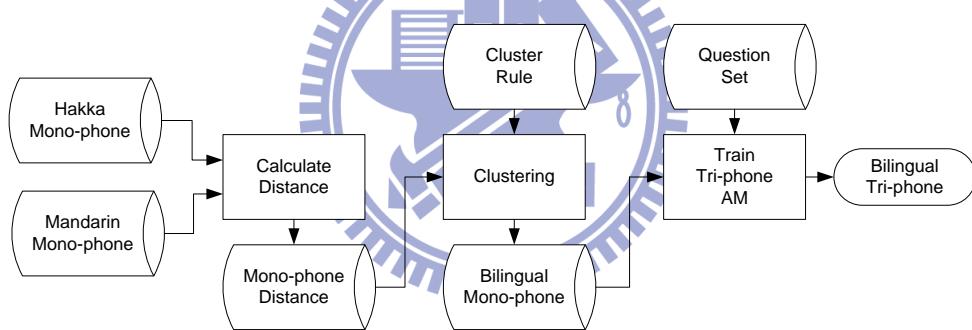


圖 3.2：雙語聲學模型建立流程

3.3 雙語音素集

由圖 3.2 雙語聲學模型建立流程得知，在雙語語音辨認中雙語音素集的定義是不可或缺的，因為聲學模型的訓練是根據基本發音單位去做訓練的，若定義的發音單位不合適則會直接影響最終的語音辨認效能，而雙語音素就是雙語的基本發音單位。

目前已經有定義好的國語及客語單語音素集。所以本研究就是經由已定義的國語音素集與客語音素集建立一個良好的雙語音素集。並且希望所定義的雙語音素集不影響原先的單一語言音素集。

此節將對所使用到的合併方法加以介紹：

3.3.1 單語音素集

單語音素集是考量語言實際使用時的發音狀況，完整描述語言的特性定義而成。因為國語和客語皆為漢語語系，音節結構都為聲母加上韻母，所以音素的定義也將音節結構位置考慮進去，詳細如表 3.4 以及表 3.5。

表 3.4：國語音素集

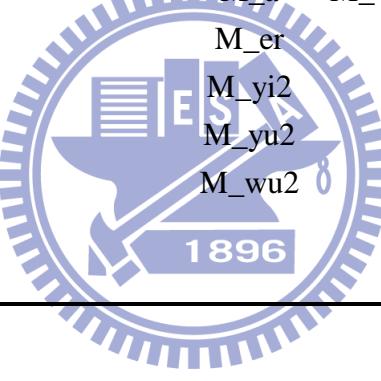
聲母(21)			韻母(17)			
	介音(3)	元音(8)	韻尾(4)	空韻母(2)		
M_b	M_n	M_m	M_yi1	M_e	M_en	M_FNULL1
M_c	M_p		M_yu1	M_eh	M_ng	M_FNULL2
M_ch	M_q		M_wu1	M_o	M_yi3	
M_d	M_r			M_a	M_wu3	
M_f	M_sh			M_er		
M_g	M_s			M_yi2		
M_h	M_t			M_yu2		
M_j	M_x			M_wu2		
M_k	M_z					
M_l	M_zh					

表 3.5：客語音素集

聲母(21)			韻母(17)			
	介音(2)	元音(6)	韻尾(8)	空韻母(1)		
H_HH	H_m	H_l	H_yi1	H_a	H_ek	H_FNULL
H_NH	H_n		H_wu1	H_eh	H_em	
H_b	H_ng			H_ii	H_en	
H_c	H_p			H_o	H_eng	
H_d	H_q			H_wu2	H_ep	
H_f	H_s			H_yi2	H_et	
H_g	H_t				H_wu3	
H_h	H_v				H_yi3	
H_j	H_x					
H_k	H_z					

3.3.2 音素直接合併

此部份是將國語音素集與客語音素集直接合併產生雙語音素集，此音素集共有 76 個音素，詳細如表 3.6 所示。

表 3.6：直接合併之雙語音素集

聲母(42)			韻母(34)			
			介音(5)	元音(14)	韻尾(12)	空韻母(3)
M_b	M_s	H_k	M_yi1	M_e	M_en	M_FNULL1
M_c	M_t	H_m	M_yu1	M_eh	M_ng	M_FNULL2
M_ch	M_x	H_n	M_wu1	M_o	M_yi3	H_FNULL
M_d	M_z	H_ng	H_yi1	M_a	M_wu3	
M_f	M_zh	H_p	H_wu1	M_er	H_ek	
M_g	M_m	H_q		M_yi2	H_em	
M_h	H_HH	H_s		M_yu2	H_en	
M_j	H_NH	H_t		M_wu2	H_eng	
M_k	H_b	H_v		H_a	H_ep	
M_l	H_c	H_x		H_eh	H_et	
M_n	H_d	H_z		H_ii	H_wu3	
M_p	H_f	H_l		H_o	H_yi3	
M_q	H_g			H_wu2		
M_r	H_h			H_yi2		
M_sh	H_j					

3.3.3 log-likelihood measurement

Log-likelihood measurement【5】【6】是對相同音節結構分類下的音素做計算距離的動作，

令 $O_{i,k}$ 為第 k 段標示為音素模型 i 的特徵參數序列，則兩個音素模型 M_i 及 M_j 之間的距離如式

(3.1)所示：

$$D(M_i, M_j) = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K f(O_{i,k} | M_i) - \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K f(O_{i,k} | M_j) \quad (3.1)$$

因式(3.1)算出的距離並非對稱，故對其取平均值而得到 log-likelihood measurement：

$$D_{i,j} = \frac{1}{2} (D(M_i, M_j) + D(M_j, M_i)) \quad (3.2)$$

其中， $f(O_{i,k} | M_j)$ 為 $O_{i,k}$ 對音素模型 M_j 的 Log-likelihood。其計算如式(3.3)所示，使用威特比演算法(Viterbi algorithm)找出最佳的路徑：

$$f(O_{i,k} | M_j) = \frac{1}{T} \log \left(\max_x \left\{ a_{x(0)x(1)} \prod_{t=1}^T b_{x(t)}(O_{i,k,t}) a_{x(t)x(t+1)} \right\} \right) \quad (3.3)$$

$O_{i,k,t}$ 表示為在 $O_{i,k}$ 中的第 t 個聲學特徵參數 sample， $x(t)$ 表示為第 t 個 sample 所屬的 state，

$a_{x(t)x(t+1)}$ 為第 $x(t)$ 至 $x(t+1)$ 的轉移機率， $b_{x(t)}$ 為第 $x(t)$ 個 state 的 likelihood。

$$b_j(O_{i,k,t}) = \sum_{m=1}^M c_{jm} N(O_{i,k,t}; \mu_{jm}, \Sigma_{jm}) \quad (3.4)$$

m 表示為 b_j 這個 state 中第 m 個 mixture， c_{jm} 表示為 b_j 這個 state 中第 m 個 mixture 的 weight。

最後，log-likelihood measurement 實作流程分為三個步驟，步驟如下：

- 步驟 1：各自訓練國語及客語的音素模型，並對原始語料做音素的切割而得音素的段落標記 (forced alignment)。
- 步驟 2：對於每一個國語或客語音素，以式(3.2)計算對另一種語言(客語或國語)音素的 log-likelihood measurement，也就是 $D_{i,j}$ 。
- 步驟 3：根據計算出的 $D_{i,j}$ 及國客語一對一的原則做距離大小的排序。

表 3.7 為根據 log-likelihood measurement 計算兩語言之間音素模型的距離，根據距離及一對一做排序的動作。

表 3.7 : log-likelihood distance

排名	距離	客語音素		國語音素	
		音素模型	音節結構分類	音素模型	音節結構分類
1	4.264	H_eng	韻尾	M_ng	韻尾
2	4.408	H_a	元音	M_a	元音
3	4.444	H_en	韻尾	M_en	韻尾
4	4.815	H_yi2	元音	M_yi2	元音
5	4.972	H_eh	元音	M_eh	元音

6	5.065	H_l	聲母	M_l	聲母
7	5.251	H_wu2	元音	M_wu2	元音
8	5.472	H_s	聲母	M_s	聲母
9	6.127	H_m	聲母	M_m	聲母
10	6.469	H_yi1	介音	M_yi1	介音
11	6.479	H_n	聲母	M_n	聲母
12	6.526	H_x	聲母	M_x	聲母
13	6.542	H_et	韻尾	M_yi3	韻尾
14	6.646	H_z	聲母	M_z	聲母
15	6.669	H_t	聲母	M_t	聲母
16	6.678	H_p	聲母	M_p	聲母
17	6.684	H_b	聲母	M_b	聲母
18	6.726	H_h	聲母	M_h	聲母
19	6.878	H_o	元音	M_o	元音
20	6.886	H_j	聲母	M_j	聲母
21	6.936	H_c	聲母	M_c	聲母
22	7.214	H_d	聲母	M_d	聲母
23	7.286	H_f	聲母	M_f	聲母
24	7.589	H_ii	元音	M_FNULL2	空韻母
25	8.070	H_q	聲母	M_q	聲母
26	8.277	H_ek	韻尾	M_wu3	韻尾
27	9.324	H_wu3	韻尾	M_e	元音
28	9.363	H_ng	聲母	M_r	聲母
29	9.437	H_g	聲母	M_g	聲母
30	10.306	H_yi3	韻尾	M_er	元音
31	10.860	H_FNULL	空韻母	M_yu2	元音
32	10.916	H_k	聲母	M_k	聲母
33	11.791	H_HH	聲母	M_sh	聲母
34	12.343	H_wu1	介音	M_wu1	介音
35	13.354	H_em	韻尾	M_FNULL1	空韻母
36	16.263	H_NH	聲母	M_yu1	介音
37	18.600	H_v	聲母	M_ch	聲母
38	22.677	H_ep	韻尾	M_zh	聲母

接著，根據相同漢語音標、相同音節結構位置以及距離大小後，決定合併 22 個音素，其中聲母有 14 個、介音 1 個、元音 5 個以及韻尾 2 個。詳細如表 3.8 以及 3.9 所示。

表 3.8：雙語音素集，C_ 表示合併後的音素

聲母(28)			韻母(26)			
			介音(4)	元音(9)	韻尾(10)	空韻母(3)
C_b	C_s	H_v	C_yi1	C_a	C_eng	H_FNULL
C_c	C_t	M_ch	H_wu1	C_eh	C_en	M_FNULL1
C_d	C_x	M_g	M_yu1	C_o	H_ek	M_FNULL2
C_f	C_z	M_k	M_wu1	C_wu2	H_em	
C_h	H_HH	M_q		C_yi2	H_ep	
C_j	H_NH	M_r		H_ii	H_et	
C_l	H_g	M_sh		M_e	H_wu3	
C_m	H_k	M_zh		M_er	H_yi3	
C_n	H_ng			M_yu2	M_wu3	
C_p	H_q				M_yi3	

表 3.9：合併比率

單位	合併前			合併後	共用比率
	國語	客語	合計		
Phone	38	38	76	54	40.7%
Initial	21	21	42	28	50%
Final	40	71	111	100	11%
Syllable	411	673	1,084	1,008	7.5%

第四章 語言模型的設計

4.1 概論

現階段語音辨認的目標，在於將使用者所輸入的一連串語音，根據式(4.1)辨認為詞串 W ：

$$W = \arg \max_w P(W) P(O|W) \quad (4.1)$$

其中， $P(O|W)$ 是經由聲學模型處理後得到的分數，但因為文字中同音字的情況相當普遍(國語為例：有 1,300 多個合法音節，但是合法字數卻超過 14,000 個)，這些同音字會得到相同的聲學分數；因此需要由語言模型，提供詞串的事前機率(prior probability, $P(W)$)，來彌補聲學模型的不足。

在大詞彙連續語音辨認中，希望將輸入的語音辨認出合理的詞彙順序；為達到此目的，語言模型就必須考慮整段辨認語音中前後詞彙的關連性，不僅是單一字詞獨自出現的機率。這就是語言模型的功能。

由於語言模型在語音辨認中扮演非常關鍵的角色，因此本章將就既有的語言模型的設計方式，以及本研究實驗所使用的語言模型進行介紹。另外，由於客語本身並無大量的訓練文字，故本研究先根據客語的詞性資訊、國語翻譯資訊及利用國語語言模型建立客語語言模型，後依照國、客語夾雜語音使用情況設計雙語語言模型。4.2 節將介紹語言模型之基本定義；4.3 節將介紹客語語言模型；4.4 節將介紹雙語語言模型。



4.2 語言模型基本定義

4.2.1 N 連語言模型

由式(4.1)， $P(W)$ 是欲辨認詞串 W 的事前機率，其中 $W = w_1, w_2, \dots, w_m$ ， $w_i \in V$ 代表 m 個詞所組成的詞串， V 則是詞典，為所有詞的集合。使用貝式法則， $P(W)$ 可以分解成：

$$P(W = w_1, w_2, \dots, w_m) = \prod_{i=1}^m P(w_i | w_1, w_2, \dots, w_{i-1}) \quad (4.2)$$

其中是 $P(w_i | w_1, w_2, \dots, w_{i-1})$ 詞 w_i 在給特定歷史詞串 $h_i = w_1, w_2, \dots, w_{i-1}$ 的情況下，會緊接著詞 w_i 出現的條件機率。

但實際上在建立語言模型時，並不會將所有可能的參數 $P(w_i | w_1, w_2, \dots, w_{i-1})$ 都儲存起來；因為針對長度為 m ，歷史長度為 $m-1$ 的詞串，所有可能的組合個數為 $|V|^m$ ；即使詞典為中等大小，只要詞串長度 m 稍長，參數量將會驚人的成長，因此必須做參數量的簡化。

簡化參數量的方法之一，就是裁減歷史詞串的長度。所謂 N 連語言模型，就是對參數 $P(w_i | w_1, w_2, \dots, w_{i-1})$ 做近似，此模型假設詞 w_i 出現的機率只和前面 $N-1$ ($N < m$) 個詞 $w_{i-N+1}, w_{i-N+2}, \dots, w_{i-1}$ 相關，而和 N 個之前的詞串 w_1, w_2, \dots, w_{i-N} 完全獨立，如此一來歷史詞串的長度便可輕易的裁減，模型的參數量也會因此大大的降低。根據此假設，則 $P(W)$ 可表示為：

$$P(W = w_1, w_2, \dots, w_m) \approx \prod_{i=1}^m P(w_i | w_{i-N+1}, w_{i-N+2}, \dots, w_{i-1}) \quad (4.3)$$

實際估測 $P(w_i | w_{i-N+1}, w_{i-N+2}, \dots, w_{i-1})$ 的方式，是根據最大相似度估測法(maximum likelihood estimation, MLE)，得到下式：

$$P(w_i | w_{i-N+1}, w_{i-N+2}, \dots, w_{i-1}) = \frac{C(w_{i-N+1}, w_{i-N+2}, \dots, w_i)}{C(w_{i-N+1}, w_{i-N+2}, \dots, w_{i-1})} \quad (4.4)$$

其中 $C(\cdot)$ 表示詞串出現次數。

當 $N = 2$ 時，成為雙連語言模型(bigram language model)，詞串 W 的機率可表示為：

$$P(W = w_1, w_2, \dots, w_m) \approx \prod_{i=1}^m P(w_i | w_{i-1}) \quad (4.5)$$

及

$$P(w_i | w_{i-1}) = \frac{C(w_{i-1}, w_i)}{C(w_{i-1})} \quad (4.6)$$

4.2.2 語言模型平滑法

以雙連語言模型為例，在訓練資料中計算 $P(w_i | w_{i-1})$ 時，若 $C(w_{i-1}, w_i) = 0$ ，將會使得 $P(w_i | w_{i-1})$ 機率等於零，因為在訓練資料中並未出現，但是這並不是代表測試資料中不會出現，因此這種情況下機率的給定是不合理的。且當 $C(w_{i-1}, w_i)$ 值很小時，所計算出的機率也是不準確的。所以必須對計算出的機率做平滑化的動作，使所有的機率均能被良好的估計。

退化平滑法(back off)及使用 Good-Turing discounting。若定義訓練語料中詞串出現的次數門檻值 k ，則可將詞串分為出現次數高於門檻值、出現次數低於門檻值及從未出現三種。則參數可表示為下式：

$$P(w_i | w_{i-N+1}, w_{i-N+2}, \dots, w_{i-1}) = \begin{cases} \alpha(w_{i-N+1}, \dots, w_{i-1}) P(w_i | w_{i-N+2}, \dots, w_{i-1}), & C(w_{i-N+1}, \dots, w_i) = 0 \\ d_c(w_{i-N+1}, \dots, w_{i-1}) \cdot \frac{C(w_{i-N+1}, \dots, w_i)}{C(w_{i-N+1}, \dots, w_{i-1})}, & 1 \leq C(w_{i-N+1}, \dots, w_i) \leq k \\ \frac{C(w_{i-N+1}, \dots, w_i)}{C(w_{i-N+1}, \dots, w_{i-1})}, & C(w_{i-N+1}, \dots, w_i) > k \end{cases} \quad (4.7)$$

4.2.3 語言模型評估準則-混淆度(perplexity, PP)

據前人研究顯示，混淆度已成為評估語言模型相當重要且通用的參考標準；混淆度是根據消息理論(information theory)而得：

$$H = -\frac{1}{m} \log P(W = w_1, w_2, \dots, w_m) \quad (4.8)$$

上式為一個詞串 $W = w_1, w_2, \dots, w_m$ ，對於每個新詞提供的平均資訊量(entropy)，經過適當的化簡而得。而混淆度可直接使用式(4.8)進一步定義為：

$$PP = \exp(H) \quad (4.9)$$

若 $P(W = w_1, w_2, \dots, w_m) = \prod_{i=1}^m P(w_i | w_1, w_2, \dots, w_{i-1})$ 則可發現，混淆度就是 $P(w_i | w_1, w_2, \dots, w_{i-1})$

的幾何平均數的倒數。因此混淆度可以解讀為語言模型估測一個歷史詞串後面，平均可能的可接詞數；混淆度越高，表示一個歷史詞串後皆詞有較多的選擇，辨認時就越難找到確切的答案；反之，則較易找到正確答案。

4.3 客語語言模型

4.3.1 基本客語語言模型

基本客語語言模型是針對客語文章($textA$)，使用統計的方式建立而成：

$$P_{baseline}(w_i | w_{i-1}) = \begin{cases} \frac{C_{textA}(w_{i-1}, w_i)}{C_{textA}(w_{i-1})} & , C_{textA}(w_{i-1}, w_i) \geq k \\ \beta_{baseline}(w_{i-1}) P_{baseline}(w_i) & , otherwise \end{cases} \quad (4.10)$$

及

$$P_{baseline}(w_i) = \frac{C_{textA}(w_i)}{\sum_{w_i} C_{textA}(w_i)} \quad , C_{textA}(w_i) \geq k \quad (4.11)$$

$C_{textA}(\cdot)$ 表示詞串在客語文章($textA$)出現次數。



4.3.2 強化客語語言模型

因為客語的文字資料量非常稀少，使用統計的方式建立的基本客語語言模型其參數量是非常稀疏的(只有 19,213 個 bi-gram)，所以希望能夠使用一些其他的資訊來訓練客語語言模型，使得語言模型更為強建。

根據現有的文字語料庫，發現除了客語文字本身外，可以用幫助建立語言模型的資訊還有客語詞類標記、國語詞類標記及國語語言模型等三種資訊。接下來將介紹如何使用這些資訊來幫助客語語言模型的建立。

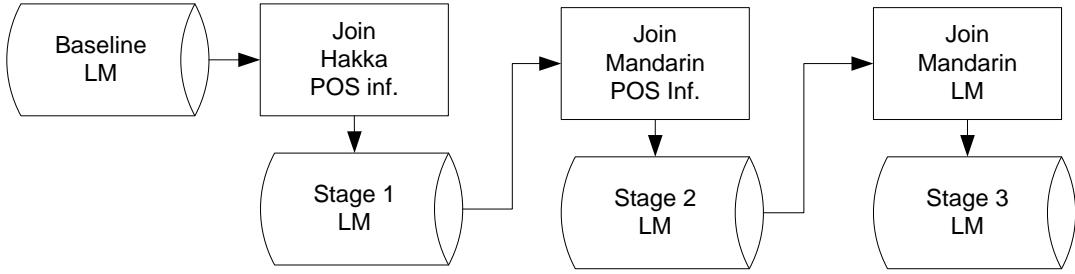


圖 4.1：強化客語語言模型流程圖

如圖 4.1 所示是採取漸進的方式逐步強化客語語言模型，依序對基本語言模型加入客語詞類資訊、國語詞類資訊及國語語言模型資訊。其架構如下式：

$$P(w_i | w_{i-1}) = \begin{cases} P_{baseline}(w_i | w_{i-1}) & , C_{textA}(w_{i-1}, w_i) \geq k \\ \alpha(w_{i-1})(\beta P_{pos}(w_i | w_{i-1}) + (1-\beta) P_{trans}(w_i | w_{i-1})) & , otherwise \end{cases} \quad (4.12)$$

和

$$P(w_i) = \begin{cases} P_{baseline}(w_i) & , C_{textA}(w_i) \geq k \\ \alpha(\beta P_{pos}(w_i) + (1-\beta) P_{trans}(w_i)) & , otherwise \end{cases} \quad (4.13)$$

其中 $\alpha(w_{i-1}) = 1 - \sum_{w_i \in C(w_{i-1}, w_i) \geq k} P_{baseline}(w_i | w_{i-1})$ ；而 $P_{pos}(w_i | w_{i-1})$ 表示經由詞類資訊所建立的語言模型； $P_{trans}(w_i | w_{i-1})$ 為國語語言模型資訊建立的語言模型。接著，將對每個階層做詳細的介紹。

4.3.2.1 由客語詞類資訊建立語言模型(Stage1)

第一個階層將對基本客語語言模型加入客語詞類資訊，使用 class N-gram model 經由詞條和詞類的對應關係，將詞條的分數退化至詞類，以解決資料量過於稀少的問題。如式(4.14)及式(4.15)所示：

$$P_{pos}(w_i | w_{i-1}) = \sum_{G(w_i), G(w_{i-1})} P_H(w_i | G(w_i)) P_H(G(w_i) | G(w_{i-1})) P_H(G(w_{i-1}) | w_{i-1}) \quad (4.14)$$

和

$$P_{pos}(w_i) = \sum_{G(w_i)} P_H(w_i | G(w_i)) P_H(G(w_i)) \quad (4.15)$$

其中 $G(w_i)$ 表示客語詞條 w_i 的詞類標記； $P_H(G(w_i)|G(w_{i-1}))$ 和 $P_H(G(w_i))$ 表示客語詞類模型； $P_H(G(w_{i-1})|w_{i-1})$ 和 $P_H(w_i|G(w_i))$ 表示客語詞條與詞類標記的對應模型。

接著，將詳細介紹詞類模型及客語詞條與詞類標記的對應模型。首先是詞類模型是根據人工標記的客語文章(*textB*)訓練而來，此模型記錄了詞類之間的轉移分數：

$$P_H(G(w_i)|G(w_{i-1})) = \frac{C_{textB}(G(w_{i-1}), G(w_i))}{C_{textB}(G(w_{i-1}))} \quad (4.16)$$

和

$$P_H(G(w_i)) = \frac{C_{textB}(G(w_i))}{\sum_{G(w_i)} C_{textB}(G(w_i))} \quad (4.17)$$

而客語詞條與詞類標記的對應模型則是記錄了客語詞條與詞類的相互對應分數，此分數有兩個來源，分別是由人工標記的客語文章以及詞典(*dict*)估算而來，其中人工標記的客語文章的客語詞條與詞類的對應較為可靠，但是並不包含所有的客語詞條；而詞典則相反，它包含了所有的客語詞條，但是其對應關係較不可靠，因為它僅記錄了客語詞條與詞類的對應而已。

所以這兩個對應分數，將對上述兩個來源做結合：

$$P_H(G(w_i)|w_i) = \begin{cases} P_{textB}(G(w_i)|w_i) & , C_{textB}(w_i, G(w_i)) \geq k \\ \alpha_H \frac{P_{dict}(G(w_i)|w_i) P_H(G(w_i))}{\sum_{G(w_i)} P_H(G(w_i))} & , otherwise \end{cases} \quad (4.18)$$

其中， $\alpha_H = 1 - \frac{\sum_{\substack{w_i \in C_{textB}(w_i, G(w_i)) \geq k}} P_{textB}(G(w_i)|w_i)}{\sum_{w_i} P_{textB}(G(w_i)|w_i)}$ ； k 為一個常數值，當對應次數大於 k 時將直接

使用人工標記的客語文章所估算的對應分數，反之則使用詞典內的分數。

而另外一個對應分數，因為客語的詞類標記僅分成 49 類，若直接估算 $P_H(w_i|G(w_i))$ ，則會發生資料量過於稀少的問題，所以此對應分數採用間接預估的方式計算：

$$P_H(w_i|G(w_i)) = \frac{P_H(G(w_i)|w_i)}{P_H(G(w_i))} P_{baseline}(w_i) \quad (4.19)$$

其中 $P_{baseline}(w_i)$ 表示基本客語語言模型的分數。

4.3.2.2 由國語詞類資訊建立語言模型(Stage2)

雖然詞類資訊在第一個階段就已經有考量，但是因為客語文字語料過於稀少，所以單純從客語估算出的詞類模型及對應模型其實並不可靠。所以第二個階段，將使用較為可靠的國語詞類資訊對第一階段的各個模型重新訓練。

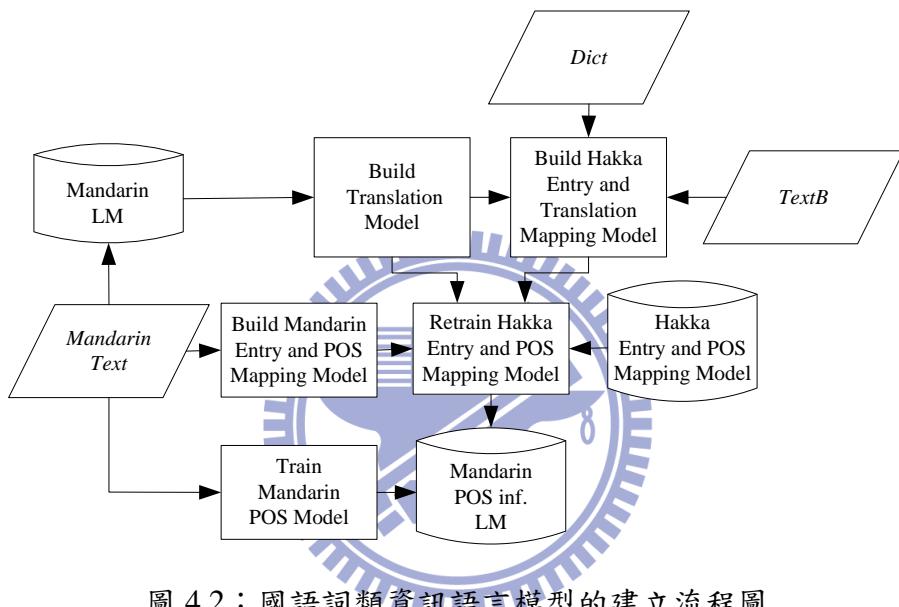


圖 4.2：國語詞類資訊語言模型的建立流程圖

圖 4.2 為國語詞類資訊語言模型的建立流程圖。主要是利用國語文章較為豐富的特性，藉由翻譯加強客語詞條對應至詞類的分數；並且將原本只由人工標記的客語文章訓練出的詞類模型取代為國語的詞類模型。以下將依序介紹各個模型的建構方式及特性：

$$P_{H,new}(G(w_i) | w_i) = \begin{cases} \sum_{M_i} P_M(G(M_i) | M_i) P_T(M(w_i) | w_i) & , M(w_i) = M_i \\ P_H(G(w_i) | w_i) & , \text{otherwise} \end{cases} \quad (4.20)$$

$$P_{H,new}(w_i | G(w_i)) = \frac{P_{H,new}(G(w_i) | w_i)}{P_M(G(w_i))} P_{Trans}(w_i) \quad (4.21)$$

$$P_M(G(M_i) | G(M_{i-1})) = \frac{C_{textM}(G(M_{i-1}), G(M_i))}{C_{textM}(G(M_i))} \quad (4.22)$$

其中式(4.22)為由國語文章估建立的詞類模型，式(4.20)及式(4.21)為藉由翻譯將國語的詞類資訊對應至客語詞條上的對應模型，將這三個模型代入式(4.14)及式(4.15)中，即完成加入國語詞類資訊的動作。其中 M_i 表示國語詞條； $M(w_i)$ 表示客語詞條 w_i 的國語翻譯； $P_M(G(M_i) | M_i)$ 表示國語詞條與詞類的對應模型； $P_T(M(w_i) | w_i)$ 表示客語詞條與翻譯的對應模型； $P_M(G(w_i))$ 表示國語詞類模型的 unigram； $P_{Trans}(w_i)$ 表示翻譯模型。接著將對這四個模型做進一步的介紹。

首先，因為國語有豐富的文字語料，所以國語詞條與詞類的對應模型及國語詞類模型，都可以使用簡單的統計方式，就能建立不錯的模型：

$$P_M(G(M_i)) = \frac{C_{textM}(G(M_i))}{\sum_{G(M_i)} C_{textM}(G(M_i))} \quad (4.23)$$

及

$$P_M(G(M_i) | M_i) = \frac{C_{textM}(G(M_i), M_i)}{C_{textM}(M_i)} \quad (4.24)$$

接著，客語詞條與翻譯的對應模型，這個對應模型記錄了客語詞條與翻譯的對應分數，這個分數是根據人工標記的客語文章及詞典的翻譯對照估算而來的。其中人工標記的客語文章的對應和詞類標記一樣較為可靠，但是並不包含所有的客語詞條；而詞典內的詞條與翻譯對應的組合數較多，但是沒有對應次數的資訊。此分數是將這兩個來源做結合：

$$P_T(M(w_i) | w_i) = \begin{cases} P_{textB}(M(w_i) | w_i) & , C_{textB}(w_i, M(w_i)) \geq k \\ \alpha_T \frac{P_{textB}(M(w_i) | w_i) P_{Trans}(M(w_i))}{\sum_{M(w_i)} P_{Trans}(M(w_i))} & , otherwise \end{cases} \quad (4.25)$$

其中， $\alpha_T = 1 - \frac{\sum_{w_i \in C_{textB}(w_i, M(w_i)) \geq k} P_{textB}(M(w_i) | w_i)}{\sum_{w_i} P_{textB}(M(w_i) | w_i)}$ 。 k 為一個常數值，當對應次數大於 k 時將直

接使用人工標記的客語文章所估算的對應分數，反之則使用詞典內的分數。

最後翻譯模型，此模型記錄了國語翻譯的轉移分數。目前根據詞典內收錄的國語翻譯與國語語言模型中詞頻最高的前 60,000 詞之對應關係，可分為三種情況，詳細統計資訊如表 4.1 所示：

表 4.1：國語翻譯與 60,000 詞分布情況

分類	詞條	
	數量	比率
Case 1	14,636	57.3%
Case 2	9,487	37.1%
Case 3	1,419	5.6%
合計	25,532	

➤ Case 1

詞典內許多客語詞條的翻譯是直接包含在國語語言模型內的，在國語文字語料中，它們是詞頻最高的前 60,000 詞。

例如：



因為上述的這些翻譯能夠直接在國語語言模型中找到，因此它們在國語的分數也是最為可靠的，故對於這些翻譯直接複製國語語言模型的分數給它：

$$P_{Trans}(M(w_i)) = P_M(M(w_i)) \quad (4.26)$$

➤ Case 2

詞典內許多的翻譯，因為在國語文字語料中的詞頻較低，故未包含在前 60,000 詞中，所以無法直接在語言模型中找到。但是，通常經過斷詞以後，拆解後的詞條都能在前 60,000 詞內。此部分的翻譯通常為較長的國語詞條或諺語，

例如：

一人飽全家飽 一年之計在於春 人心節節高

或是因為客語詞條的詞意為多個國語詞條的詞意所組成，

例如：

客語詞條『其』的國語翻譯為『他的』是由國語詞『他』和『的』組成

上述兩種情況都會造成翻譯為由多個國語詞組成。此部分翻譯模型的分數做法為使用國語前 60,000 詞對翻譯做斷詞後，再給予翻譯模型分數：

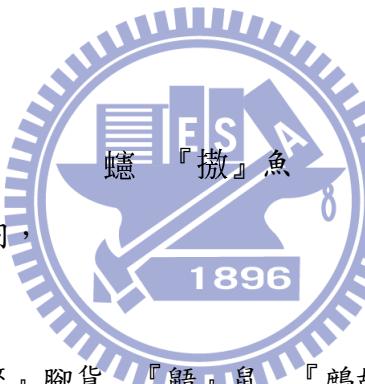
$$\begin{aligned} P_{Trans}(M(w_i)) &= P_M(M(w_i) = M_1, M_2, \dots, M_n) \\ &= P_M(M_1) P_M(M_2 | M_1) \cdots P_M(M_n | M_{n-1}) \end{aligned} \quad (4.27)$$

其中 n 表示國語翻譯由 n 個國語詞條組成。

➤ Case 3

還有一些詞典內的翻譯，即使拆解成一字詞後，依然無法由國語的前 60,000 詞組成，部分是因為這些翻譯含有造字，

例如：



或是含有一些少見的國語一字詞，

例如：

『鼴』腳貨 『鼴』鼠 『鷄鵠』菜

上述兩種情況將會造成翻譯無法直接由國語前 60,000 詞估計，但是這些詞條在國語文字語料中亦是少見詞條，即使由國語文字中取得分數亦不夠可靠，所以目前不計算此類的翻譯模型分數。

4.3.2.3 由國語語言模型資訊建立語言模型(Stage3)

這個階層主要目的是藉由詞典翻譯直接使用國語語言模型中的詞條資訊。此階層將針對表 4.1 中前後客語詞條的翻譯皆為 Case 1 的情況，做複製國語詞條轉移分數的動作：

$$P_{Trans}(w_i | w_{i-1}) = \sum_{M(w_i), M(w_{i-1})} P_T(w_i | M(w_i)) P_M(M(w_i) | M(w_{i-1})) P_T(M(w_{i-1}) | w_{i-1}) \quad (4.28)$$

其中 $P_T(w_i | M(w_i))$ 及 $P_T(M(w_{i-1}) | w_{i-1})$ 為客語詞條與翻譯的對應模型； $P_M(M(w_i) | M(w_{i-1}))$

為國語語言模型，前後翻譯均為前 60,000 詞。

表 4.2：Stage 3 客語語言模型混淆度估測

語言模型權重參數 (pos , trans)	混淆度評估 (perplexity)	
	訓練語料	測試語料
(1 , 0)	979	1,320
(0.95 , 0.05)	1,229	1,725
(0.9 , 0.1)	1,238	1,730
(0.8 , 0.2)	1,230	1,756
(0.7 , 0.3)	1,251	1,796

4.4 雙語語言模型

此章節是針對日常生活中國客語夾雜使用情況而設計語言模型，目前僅考量以客語為背景語言的語音辨認。此類型的語者所使用到的國語詞彙通常是專有名詞或較為新穎的詞彙，穿插在客語文句之中。

例如：



其中《》內的文句為國語。

因為，目前並無大量此類型的雙語文字，所以本研究是針對實驗所用的雙語語音語料中國語語音和客語語音所佔的比例及出現的國語詞彙做語言模型的設計。

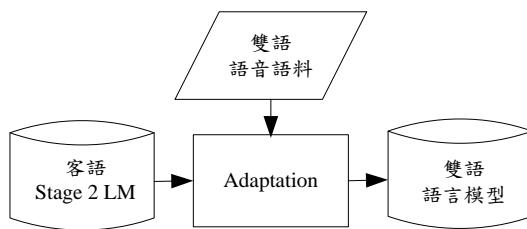


圖 4.3：雙語語言模型建置流程圖

圖 4.3 為雙語語言模型建置流程圖，用雙語語音語料中國客語所占的比例，給予語言轉換及國語詞條的分數。其中分數如式(4.29)及式(4.30)所示：

$$P(M_i) = \frac{k}{C_{bilingual}(M)} \quad , \quad M_i \in bilingual \quad (4.29)$$

其中 $C_{bilingual}(M)$ 表示在雙語語料中國語詞條數目。 k 為國語詞條在雙語語料中所占的比例。

而考慮語言之間相互轉換時，詞條的分數為：

$$P(B_i | B_{i-1}) = \begin{cases} P(w_i | w_{i-1}) = (1-k)P(w_i | w_{i-1}) \\ P(M_i | w_{i-1}) = \frac{k}{C_{bilingual}(M)} \\ P(M_i | M_{i-1}) = \frac{k}{C_{bilingual}(M)} \\ P(w_i | M_{i-1}) = (1-k)P(w_i) \end{cases} \quad (4.30)$$

其中 B_i 表示雙語詞條，可能為國語詞條 M_i 或客語詞條 w_i ； $P(w_i | w_{i-1})$ 和 $P(w_i)$ 為 4.3 節所建立的客語語言模型。



4.5 比較與效能分析

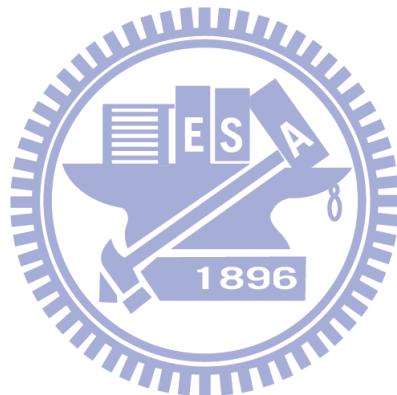
將以上各節定義之語言模型，且包含參數調整的部分；各個語言模型對不同語料之混淆度比較，如表 4.3 所示。

表 4.3：語言模型混淆度估測

語言模型	Bigram 數	Perplexity	
		訓練語料	測試語料
客語語言模型	Baseline	19,213	1,149
	Stage 1	7,712,200	1,013
	Stage 2	12,003,727	979
	Stage 3	20,762,457	1,229
雙語語言模型	Baseline	16,312,103	885
	Stage 1	24,008,914	892
	Stage 2	28,300,441	882
	Stage 3	37,075,131	853

根據表 4.3 可觀察幾項資訊：

- (1) 客語語言模型：相對於 baseline 而言，Stage 1 及 Stage 2 對於客語語音辨認，都能降低語言模型對目標語料的混淆度。但是，Stage 3 却提升了對目標語料的混淆度，是否會影響辨認率則有待觀察。
- (2) 雙語語言模型：Stage1 至 Stage3 對於目標語料的混淆度，依照資訊的增量增加而降低。
- (3) Stage2 與 Stage3 的差異：對客語的測試語料而言，其混淆度 Stage3 明顯高於 Stage2；但是，在雙語的測試語料，其混淆度卻是相反的。此部份辨認率有待觀察。



第五章 實驗結果及討論

此章節將介紹本論文所有的實驗設定及結果，並加以分析及討論。5.1 節為聲學模型的實驗，主要是比較雙語聲學模型在各個語音的辨認效能；5.2 節為客語語言模型實驗；5.3 節為雙語辨認實驗。

5.1 聲學模型實驗

一般來說聲學模型之效能是直接由辨認率來評估，故本論文將對所建立之雙語混合聲學模型(Mix)、國語聲學模型(M)、客語聲學模型(H)及國客語直接合併之雙語聲學模型(H+M)等四個聲學模型做辨認率的比較，表 5.1 為各個模型的 GMM 數量。

表 5.1：模型 mixture 數量

Model	Unit	Mixture
H	RCD-I/F	19,813
H	Tri-ph.	19,784
M	Tri-ph.	52,807
Mix	Tri-ph.	52,627
H+M	Tri-ph.	72,591

接著，依照測試語料的不同做以下三種實驗：分別是客語的音節辨認率比較、國語的音節辨認率比較及雙語之音節辨認率比較。

➤ 客語音節辨認率之比較

表 5.2：不同聲學模型、待辨認音節對於客語測試語料之音節辨認率比較

Model	Unit	Syllable	Text	Cor.	Acc.	Del.	Sub.	Ins.	Total
H	RCD-I/F	H	H	51.36	50.18	598	8,789	228	19,299
H	Tri-ph.	H	H	53.52	52.31	557	8,413	234	19,299
Mix	Tri-ph.	H	H	52.16	50.87	580	8,652	250	19,299
H+M	Tri-ph.	H+M	H	49.99	48.57	541	9,111	274	19,299
Mix	Tri-ph.	Mix	H	43.43	42.20	592	10,326	237	19,299

由表 5.2 可以看出雙語混合聲學模型(Mix)與客語聲學模型(H)之音節辨認率比較時，雙語混合聲學模型之音節辨認率介於客語 RCD-I/F 聲學模型和客語 Tri-phone 聲學模型之間，所以雙語混合聲學模型對於客語音節的辨認率算是合理。

但是，當待辨認音節由客語音節替換成雙語混合音節(待辨認音節 1,008 個)時，與直接合併之雙語語言模型(H+M)的音節辨認率有明顯差距。針對這個現象，尋找替換待辨認音節後辨認率下降的原因(由 50.87 降至 42.20)，發現當替換成雙語混合音節時，許多客語音節容易辨認為相似的國語音節(詳細錯誤分析如表 5.3)，而直接合併之雙語聲學模型的客語音節辨認為國語相似音節的情況卻明顯比較少，推測造成此現象的原因可能是因為雙語混合聲學模型中的一些雙語共用的 HMM 模型其訓練語料來源包含了國語語料及客語語料，而直接合併之雙語聲學模型則沒有共用的 HMM 模型。

表 5.3：Substitution 明顯增加且常出現(>40 次)，前十名之音節

排名	Substitution(%)增加	正確客語音節	最大辨認錯誤音節		出現次數
			音節	錯誤次數	
1	31.5	H_zien	M_jian	10	54
2	29.8	H_me	M_mei	13	47
3	29.4	H_mien	M_mian	15	51
4	29.3	H_so	M_sou	10	41
5	28.4	H_zo	M_zou	8	67
6	28.4	H_zung	M_zong	19	116
7	28.1	H_do	M_dou	99	541
8	26.9	H_tung	M_tong	34	104
9	26.7	H_sii	M_si	47	265
10	26.5	H_gau	M_gao	20	98

表 5.3 為置換性錯誤明顯增加的客語音節，其最大錯誤的對象皆為國語相似音節，並且它們有共用的 HMM 模型。

➤ 國語音節辨認率之比較

接著，替換國語測試語料，表 5.4 為其詳細辨認率統計。由表可看出雙語混合聲學模型與國語聲學模型之音節辨認率比較時，其音節辨認率差距並不明顯，屬於合理的下降範圍。

並且，當雙語混合聲學模型將待辨認音節由國語音節替換成雙語混合音節時，並沒有發生像客語如此明顯的辨認率下降，推測原因可能是因為國語的訓練語料較客語的訓練語料來的豐富，造成雙語共用的 HMM 模型比較偏向於國語特性，因此即使替換待辨認音節也不會發生像客語如此嚴重的捨音節問題。

表 5.4：不同聲學模型、待辨認音節對於國語測試語料之音節辨認率比較

Model	Unit	Syllable	Text	Cor.	Acc.	Del.	Sub.	Ins.	Total
M	Tri-ph.	M	M	71.28	70.63	416	8,553	201	31,252
Mix	Tri-ph.	M	M	70.51	69.96	478	8,739	171	31,252
H+M	Tri-ph.	H+M	M	71.20	70.56	420	8,580	202	31,252
Mix	Tri-ph.	Mix	M	69.75	69.19	476	8,978	175	31,252

➤ 雙語音節辨認率之比較

最後，對雙語測試語料做音節辨認率的比較，此語料完全是測試語料，使用此語料做音節辨認率的比較將會更為客觀。此部份主要是對雙語混合聲學模型與直接合併之雙語聲學模型的音節辨認率之比較，詳細辨認率如表 5.5 所示

表 5.5：不同聲學模型對於雙語測試語料之音節辨認率比較

Model	Unit	Dict.	Text	Cor.	Acc.	Del.	Sub.	Ins.	Total
H+M	Tri-ph.	H+M	Mix	30.60	28.76	239	6,296	174	9,417
Mix	Tri-ph.	Mix	Mix	37.58	36.75	331	5,547	78	9,417

由表 5.5 中的辨認率可發現當使用雙語語料做辨認時，雙語混合聲學模型的辨認率明顯優於直接合併之聲學模型，這也是本論文所期望的結果。推測造成此原因應該是直接合併之聲學模型對於兩語言中相似音節置換性錯誤問題十分嚴重。

5.2 客語語言模型實驗

此章節將特別針對客語語言模型做辨認率的比較，以評估語言模型的效能。目的在於比較各個階層的所考量的資訊對於客語語音辨認的幫助。

由於實驗要比較的是客語語言模型，所以此實驗之聲學模型設定為一個模型數量較少的客語聲學模型來進行客語語言模型實驗，以加快實驗速度。

選用的客語聲學模型為音節內右相關聲/韻母模型(Right-context-dependent Initial/Final Model, RCD)，每一個聲母之 HMM 模型採用 3 個由左至右(left-to-right)的狀態(state)表示，而韻母之 HMM 模型則採用 5 個狀態來表示。其中每一個狀態以平均 32 個高斯分布之高斯混合模型(Gaussian Mixture Model, GMM)描述其特徵參數之分布，聲學模型之 HMM 設定及音節辨認率如表 5.6 及表 5.7 所示。

表 5.6：HMM 模型之設定

HMM 模型類別	狀態個數	模型數量
Right-context-dependent Initial	3	87
Final	5	71
Silence	3	1
Short pause	1	1

表 5.7：RCD 聲學模型音節辨認率

Correct	Accuracy	Deletion	Substitution	Insertion	Total
51.38	50.19	601	8,801	230	19,338

接著，將使用上述的聲學模型對各階層的客語語言模型計算辨認率，第一個階層為加入客語詞類資訊、第二個階層為加入國語詞類資訊、第三個階層為加入國語語言模型資訊。詞、字元及音節辨認率分別如表 5.8、表 5.9 及 5.10 所示。

表 5.8：客語語言模型詞(Word)辨認率

LM	Correct	Accuracy	Deletion	Substitution	Insertion	Total
Free grammar	23.31	21.44	1,770	6,934	212	11,350
Baseline	42.05	40.79	2,026	4,551	143	11,350
Stage 1	45.81	42.99	1,436	4,715	320	11,350
Stage 2	46.99	44.45	1,530	4,487	288	11,350
Stage 3	47.28	44.56	1,476	4,508	309	11,350

表 5.9：客語語言模型字(Character)辨認率

LM	Correct	Accuracy	Deletion	Substitution	Insertion	Total
Free grammar	45.43	42.67	316	10,236	534	19,338
Baseline	60.15	58.99	475	7,232	223	19,338
Stage 1	62.11	60.79	401	6,926	255	19,338
Stage 2	63.26	62.17	546	6,559	211	19,338
Stage 3	63.28	62.12	513	6,588	225	19,338

表 5.10：客語語言模型音節(Syllable)辨認率

LM	Correct	Accuracy	Deletion	Substitution	Insertion	Total
Free grammar	60.88	57.97	344	7,221	562	19,338
Baseline	67.58	66.29	501	5,768	249	19,338
Stage 1	70.05	68.63	421	5,371	275	19,338
Stage 2	70.26	69.07	565	5,187	230	19,338
Stage 3	70.44	69.18	532	5,184	244	19,338

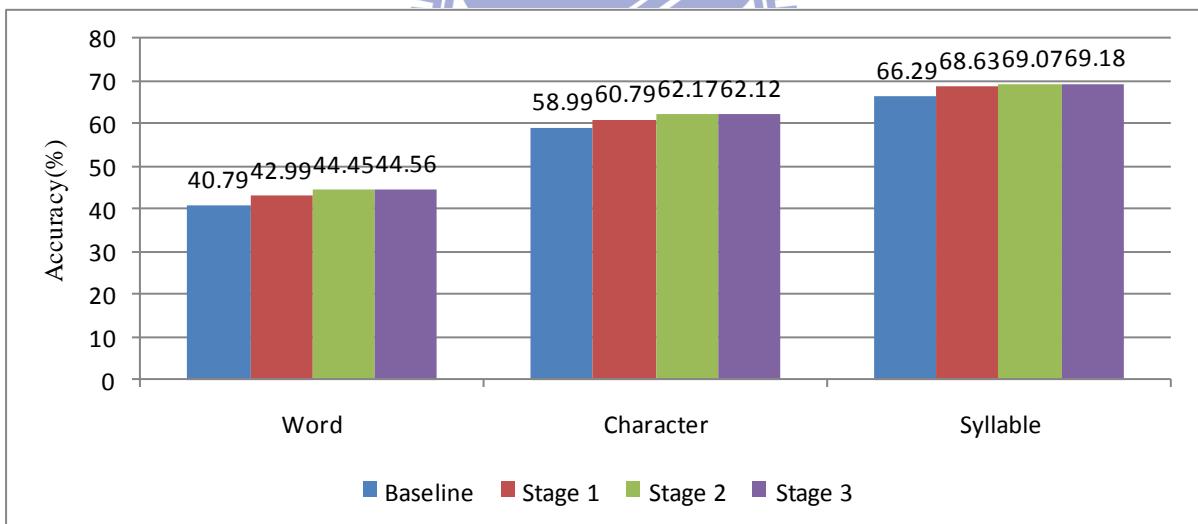


圖 5.1：客語語言模型辨認率

由圖 5.1 客語語言模型辨認率，可以看出客語基本語言模型再加入了客語詞類資訊後，不管是詞、字元還是音節辨認率，均明顯的提升，其中詞辨認率提升了 2.2%。而再加入國語詞類資訊後詞的辨認率較 Stage1LM 提升了 1.46%。對於客語辨認而言，不管是使用客語或國語的詞類資訊，對於最後的辨認結果都有明顯的改善，如此也證明了國語與客語在文法

結構上確實十分相似。

接著分析詞類資訊對於哪些詞條的辨認率有顯著幫助，所以將比較各個詞條從 baseline 語言模型至 Stage 1 及 Stage 2 語言模型的辨認率，普遍詞條的辨識率皆有上升，圖 5.2 為明顯提升的詞條。

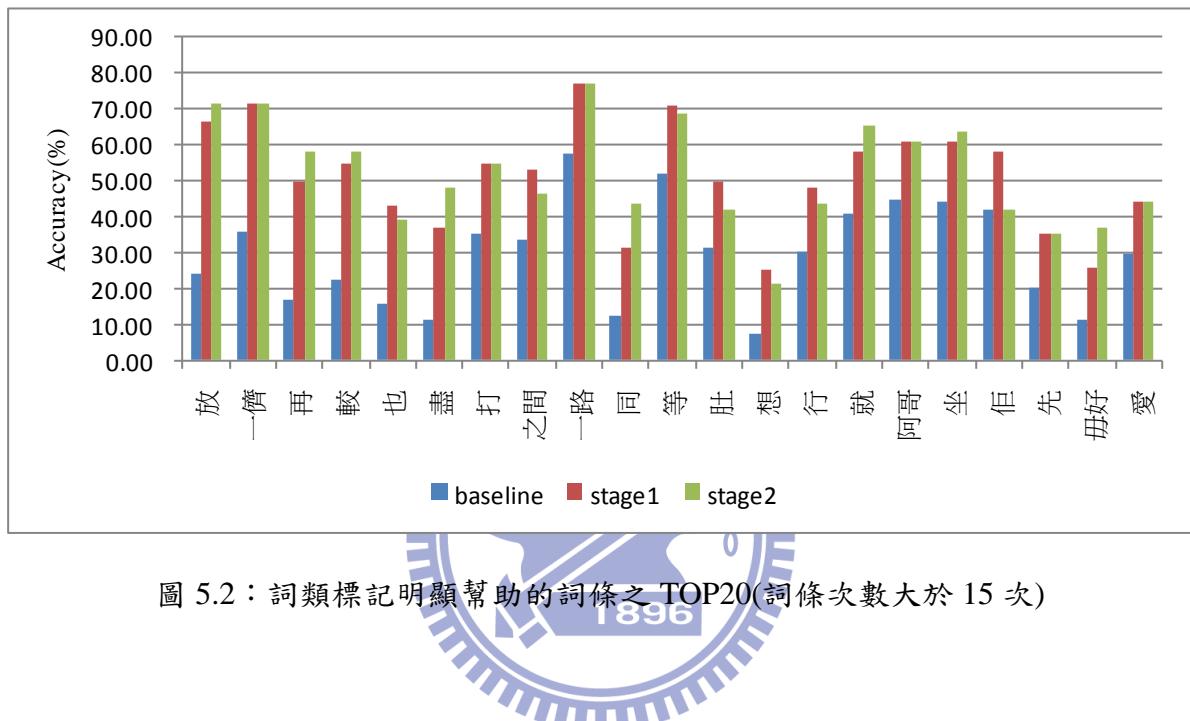


圖 5.2：詞類標記明顯幫助的詞條之 TOP20(詞條次數大於 15 次)

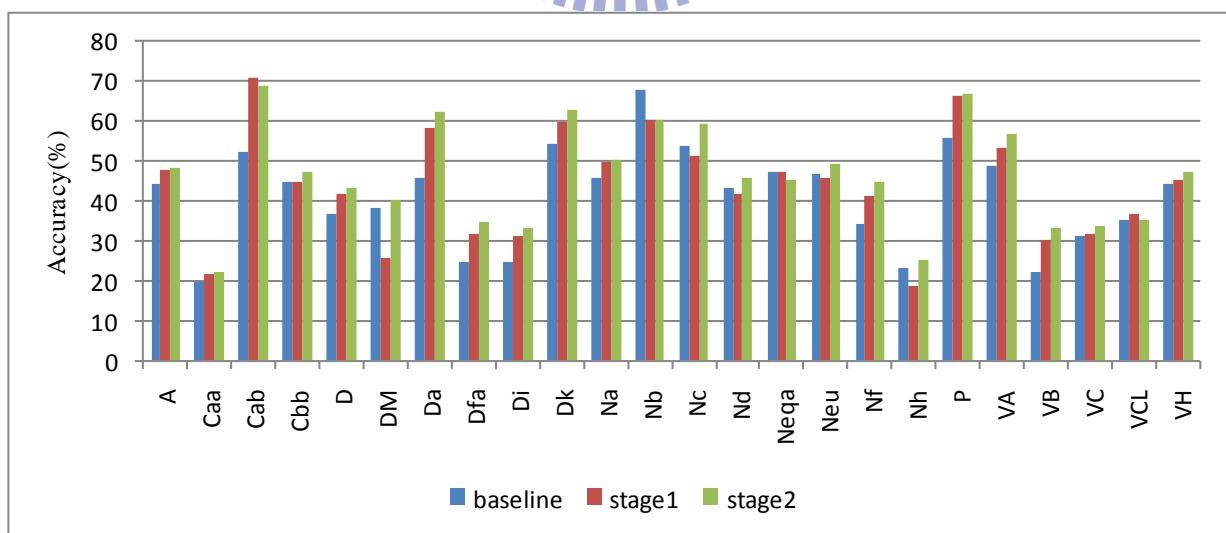


圖 5.3：詞類標記對於幫助辨認的詞類(詞類次數大於 40 次)

由圖 5.3 可看出詞類標記普遍對於各種詞類皆有幫助，加入國語詞類資訊後也有所提升。

各種詞類中，以連結詞(C)及副詞(D)的幫助最為顯著，猜想是此類的詞條大部分皆為短詞，所以當加入詞類標記資訊時，辨認率提升會較為明顯。可是專有名詞(Nb)的辨認率卻下降了，推測原因可能是加入 POS 資訊時，使得專有名詞變得更為混淆，導致其辨認率下降。

此外，再加入國語語言模型資訊(Stage 3)時，對於 Stage2LM 而言，詞的辨認率只提升了 0.11%，幾乎是沒有改善。目前推測可能有下列原因：一、直接使用國語語言模型的 bigram 很有可能是『中文式』客語。二、客語詞條與翻譯的對應數量很少，其關係其實並不可靠。三、客語重要的詞彙可能沒有國語翻譯的對應。四、國語文章為廣泛性的文章，而客語為故事文章。可能基於上述的原因造成直接使用國語語言模型的資訊對於辨認率沒有明顯改善。

5.3 雙語語音辨認實驗

雙語的語音辨認實驗，目的除了測試本論文的整個系統外，也將特別對前述章節的客語言模型、聲學模型做交叉比對的實驗。因為 5.2 節客語言模型實驗提到，加入國語言模型資訊(Stage3)對於 Stage2 而言提升效果並不明顯。所以此部分的雙語言模型設計是分別對 Stage2 及 Stage3 的客語言模型，加入國語詞及語言轉換的分數(如 4.4 節所示)。

此實驗所使用的雙語測試語料內容為日常生活中的國客語夾雜文句，是以客語為主的文句，國語與客語的比例約為 1:3(詞條數 738: 2206)。根據訓練出的雙語言模型(Stage2 及 Stage3)，分別對雙語混合聲學模型(Mix)及直接合併的聲學模型(H+M)做辨認率的比較及分析。詳細辨認率如表 5.11 所示。由表中的雙語辨認率可明顯看出，MIX 的聲學模型辨認率明顯比 H+M 的聲學模型來的佳。接著，將針對詞的辨認率觀察其語言的辨認狀況，如表 5.12 所示：

表 5.11：雙語辨認率之比較

AM	LM	Unit	Cor.	Acc.	Del.	Sub.	Ins.	Total
Mix	None	Syllable	37.58	36.75	331	5,547	78	9,417
	Bilingual (Stage 2)	Word	40.15	37.16	349	1,413	88	2,944
		Character	56.03	54.33	137	1,934	80	4,710
		Syllable	57.98	56.24	140	1,839	82	4,710
	Bilingual (Stage 3)	Word	41.58	37.84	303	1,417	110	2,944
		Character	57.15	55.27	126	1,892	89	4,710
		Syllable	58.13	56.14	131	1,841	94	4,710
H+M	None	Syllable	30.60	28.76	239	6,296	174	9,417
	Bilingual (Stage 2)	Word	25.44	21.33	463	1,732	121	2,944
		Character	40.08	34.86	134	2,688	246	4,710
		Syllable	43.42	38.09	140	2,525	251	4,710
	Bilingual (Stage 3)	Word	26.12	21.98	443	1,732	122	2,944
		Character	40.83	35.61	142	2,645	246	4,710
		Syllable	43.84	38.47	150	2,495	253	4,710

表 5.12：雙語語音辨認之詞辨認率分析

AM	LM	比率% (個數)					總數
		客語正確率	國語正確率	客 -> 國	國 -> 客	客語	
H+M	Bilingual (Stage 2)	28.56 (630)	16.12 (119)	1.04 (23)	72.49 (535)	2,206	738
	Bilingual (Stage 3)	29.10 (642)	17.21 (127)	1.04 (23)	71.82 (530)	2,206	738
Mix	Bilingual (Stage 2)	34.09 (752)	58.27 (430)	2.22 (49)	32.25 (238)	2,206	738
	Bilingual (Stage 3)	35.86 (791)	58.67 (433)	1.99 (44)	33.06 (244)	2,206	738

由上表，可觀察出 Stage 3 語言模型對於 Stage 2 而言，詞辨認率相對提高。且 Mix 聲學模型對於國語的辨認有極大的幫助，推測因為欲辨認之文句皆是以客語為主文句，所以造成 H+M 聲學模型辨認國語詞條容易辨認成客語詞條。接著，觀察其音節辨認的辨認狀況：

表 5.13：雙語語音辨認之音節辨認率分析

AM	LM	比率%(個數)				總數	
		客語正確率	國語正確率	客 -> 國	國 -> 客	客語	國語
H+M	Bilingual (Stage 2)	55.15 (1,782)	17.78 (263)	0.80 (26)	79.31 (1,173)	3,231	1,479
	Bilingual (Stage 3)	55.15 (1,782)	19.13 (283)	0.84 (27)	77.76 (1,150)	3,231	1,479
Mix	Bilingual (Stage 2)	55.15 (1,782)	64.16 (949)	1.80 (58)	32.86 (486)	3,231	1,479
	Bilingual (Stage 3)	55.15 (1,782)	64.64 (956)	1.86 (60)	32.45 (480)	3,231	1,479

由表 5.13 可看出 MIX 聲學模型明顯提升國語音節的辨認率，並且大幅降低國語音節辨認為客語音節的機率。此外有個現象，H+M 聲學模型與 Mix 聲學模型的音節辨認率，對於客語而言是一樣的，但是詞的辨認率卻有明顯差異，推測是因為 H+M 模型容易將國語音節辨認為客語音節，造成音節構成客語詞條時，會包含原本應是國語的音節，進而造成詞條的辨認率有如此差異。

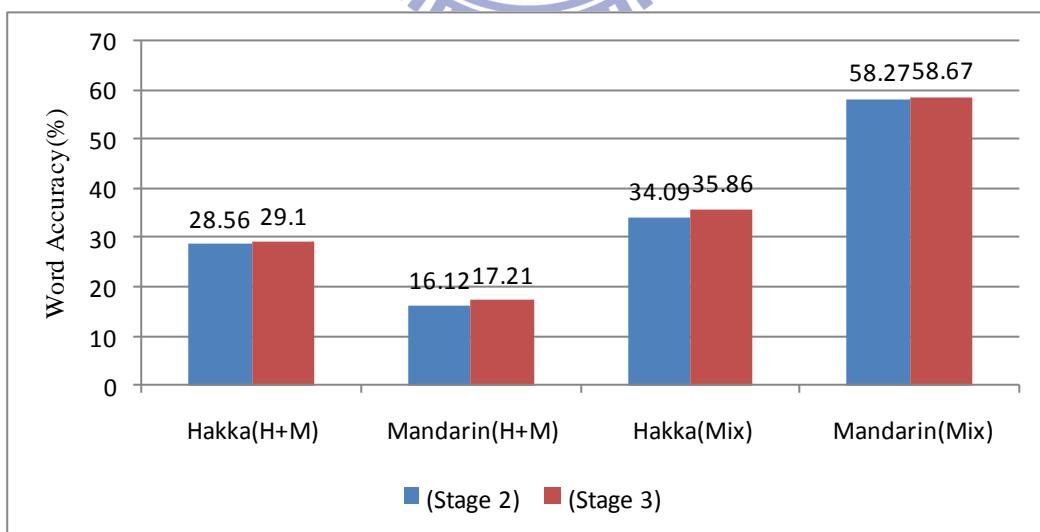


圖 5.4：不同客語語言模型對於雙語語音辨認之辨認率比較

由圖 5.4 可看出，Stage3 的語言模型對於雙語語音的辨認有明顯的改善，不管是在 Mix

聲學模型或 H+M 聲學模型上，國語及客語詞條的辨認率都有所提升。可能是因為國語語言模型是屬於廣泛性文章，所以對於這個雙語語料比對客語語料來的符合，造成在雙語語音辨識的時候，Stage3 語言模型效能明顯比 Stage2 語言模型佳。接著，對聲學模型的比較，如圖 5.5 所示：

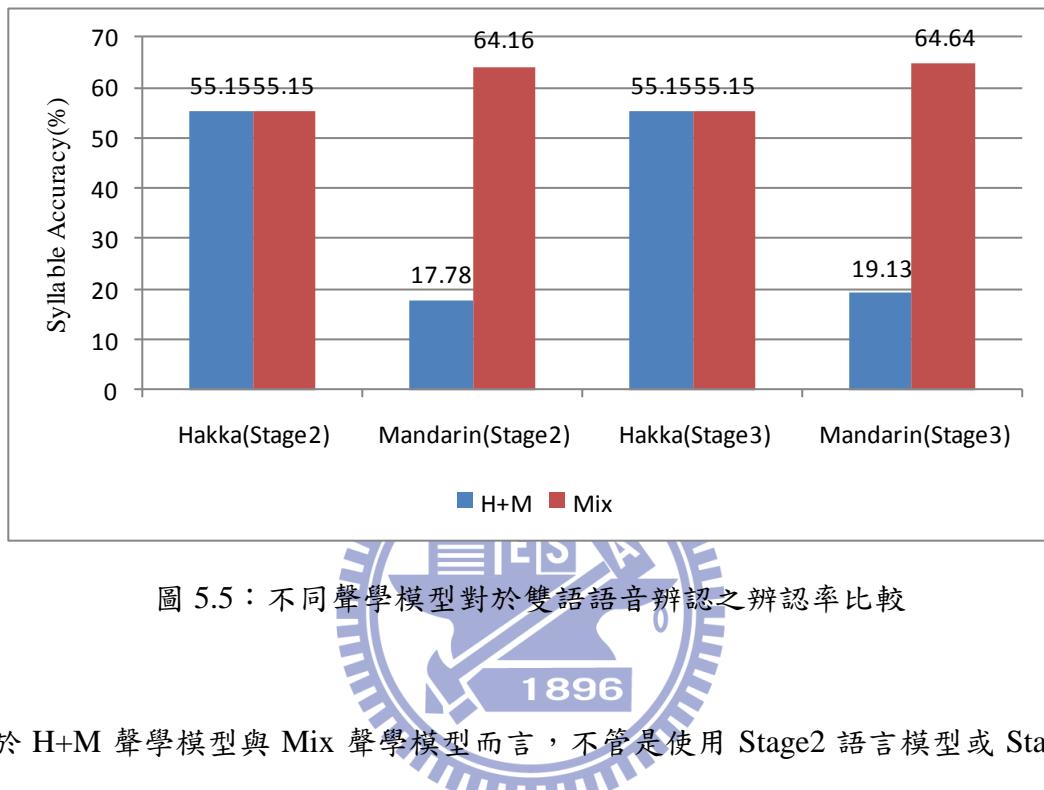


圖 5.5：不同聲學模型對於雙語語音辨認之辨認率比較

對於 H+M 聲學模型與 Mix 聲學模型而言，不管是使用 Stage2 語言模型或 Stage3 語言模型，對於國語音節的辨認率都有大幅提升，但是客語音節的辨認率沒有變化。Mix 聲學模型對於幫助非主語的詞彙，有顯著的幫助。

第六章 結論與未來展望

6.1 結論

本研究為第一篇探討客語語音辨認及國客雙語語音辨認的論文。使用國語及客語的語音及文字語料庫，訓練一個可做為國語、客語及國客語混合語音辨認的系統。也使用了客語詞類資訊、國語詞類資訊及國語語言模型資訊來強化原本客語語言模型。

根據本論文各項實驗數據及研究過程，針對客語語音辨認系統及雙語語音辨認系統歸納出以下幾項重點與成果：

- 客語語言模型：取得大量的客語文章其實是非常困難的，故本論文針對客語與國語相似的特性，利用一些資訊(客語 POS 資訊、國語 POS 資訊、國語 LM 資訊)來強化客語語言模型，解決資料不足的問題。
- 雙語音素集的定義：本論文提出不同語言音素合併的規則，根據定義的音素結構位置、相同的漢語音標對應及同種語言音素不合併等規則。由實驗結果可看出此種定義方式，在單語言的辨認有一定的效果在；對於雙語言的辨認率則是明顯提升，尤其是對於非主要語言。
- 漢語語系語言辨認系統：相信本論文所提出的方法，可以再加入其他腔調的客家話及台語，因為漢語語系的文法結構及漢字都十分相似。

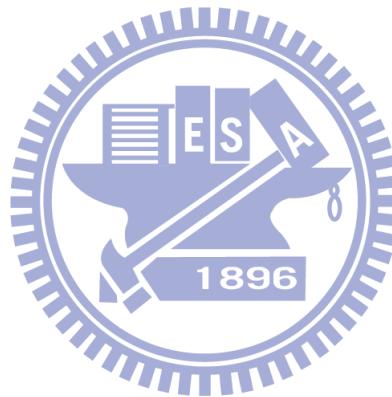
6.2 未來展望

隨著時代的變遷，多語言辨認系統已是種潮流，光是在台灣就有國、台、客等三種主要語言，如果能發展一套結合此三種語言的辨認系統，那將會是多麼有趣的事情，而此方面的研究離實際的應用，還有極大的發展空間。

參考文獻

- 【1】 Hsin-Min Yu, Lie-Shih Lo, Hsin-Te Hwang, His-Chun Hsiao, and Sin-Horng Chen, “On Constructing Speech Corpus for Implementing Hakka Text-To-Speech Synthesis,” OCOCOSDA, Dec. 2007.
- 【2】 Dau-Cheng Lyn, Chun-Nan Dau-Cheng Lyu, Chun-Nan Hsu, Yuang-Chin Chiang and Ren-Yuan Lyu, “Acoustic Model Optimization for Multilingual Speech Recognition,” Computational Linguistics and Chinese Language Processing, Vol. 13, No. 3, September 2008, pp. 363-386.
- 【3】 Hakka Television Service Online, available at <http://www.hakkatv.org.tw/>
- 【4】 Formosa Hakka Radio Online, available at <http://www.formosahakka.org.tw/>
- 【5】 J. Köhler, “Multilingual phone models for vocabulary independent speech recognition task,” Speech Communication, Vol. 35(1-2), pp. 21-30, 2001.
- 【6】 B. H. Juang, L. R. Rabiner, “A probabilistic distance measure for hidden Markov model,” Bell System Technical Journal, 64(2), pp. 391-408, 1985.
- 【7】 J. Kohler, “Multilingual phone models for vocabulary-independent speech recognition tasks,” vol. 35, nos. 1-2, pp. 21-30, 2001.
- 【8】 S. Yu, S. Zhang, and B. Xu, “Chinese-English bilingual phone modeling for cross-Language speech recognition,” ICASSP, 2004.
- 【9】 Joyce Y. C. Chan, P. C. Ching, Tan Lee and Houwei Cao, “Automatic speech recognition of Cantonese-English code-mixing utterances,” INTERSPEECH, 2006.
- 【10】 Hirofumi Yamamoto^{1,3}, Genichiro Kikui², Satoshi Nakamura^{1,2} and Yoshinori Sagisaka, “Speech Recognition of Foreign Out-of-Vocabulary Words using Ahierarchical Language model,” INTERSPEECH, 2006.
- 【11】 龔萬灶，2004，“臺灣客家文學選集小說”。

- 【12】Sinorama magazine, available at <http://dblink.ncl.edu.tw/sinorama/index.htm>.
- 【13】Chen, Kuang-hua and Chen, Hsin-His, 2004, Overview of CIRB030 Information Retrieval Test Collection, avialable at <http://lips.lis.ntu.edu.tw/cirb/index.htm>.
- 【14】Chen, Keh-jiann, Shing-Huan Liu,"Word Identification for Mandarin Chinese Sentences,"Proceedings COLING '92, pp.101-105, Nantes, France,1992.
- 【15】鍾榮富，2004，“台灣客家語音導論”，五南圖書出版股份有限公司。
- 【16】S. Young, D. Kershaw, J. Odell, D. Ollason, V. Valtchev, and P.Woodland, The HTK Book Version 3.0. Cambridge, U.K.: Cambridge Univ. Press, 2000.



附錄一：詞類標記

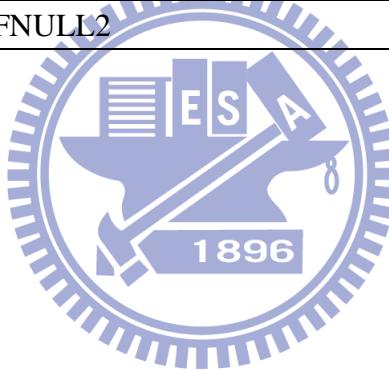
詞類標記								
編號	詞類	代號	編號	詞類	代號	編號	詞類	代號
1	非謂形容詞	A	18	特指定詞	Nes	34	動作句賓動詞	VE
2	對等連接詞	Caa	19	指代定詞	Nep	35	動作謂賓動詞	VF
3	連接詞，如：等等	Cab	20	數量定詞	Neqa	36	分類動詞	VG
4	連接詞，如：的話	Cba	21	後置數量定詞	Neqb	37	狀態不及物動詞	VH
5	關聯連接詞	Cbb	22	量詞	Nf	38	狀態使動動詞	VHC
6	數量副詞	Da	23	後置詞	Ng	39	狀態類及物動詞	VI
7	動詞前程度副詞	Dfa	24	代名詞	Nh	40	狀態及物動詞	VJ
8	動詞後程度副詞	Dfb	25	感嘆詞	I	41	狀態句賓動詞	VK
9	時態標記	Di	26	介詞	P	42	狀態謂賓動詞	VL
10	句副詞	Dk	27	語助詞	T	43	有	V_2
11	副詞	D	28	動作不及物動詞	VA	44	的，之，得，地	DE
12	普通名詞	Na	29	動作使動動詞	VAC	45	係	SHI
13	專有名詞	Nb	30	動作類及物動詞	VB	46	外文標記	FW
14	地方詞	Nc	31	動作及物動詞	VC	58		DM
15	位置詞	Ncd	32	動作接地方賓語動詞	VCL	59		Nv
16	時間詞	Nd	33	雙賓動詞	VD	60		PA
17	數詞定詞	Neu						

附錄二：決策問題

聲母音素問題集		
	國語	客語
鼻音	M_m, M_n	H_m, H_n, H_ng, H_NH
塞音	M_p, M_t, M_ch, M_c, M_k, M_b, M_d, M_g, M_q	H_p, H_t, H_c, H_k, H_b, H_d, H_g, H_q
塞音清	M_p, M_t, M_ch, M_c, M_k	H_p, H_t, H_c, H_k
塞音濁	M_b, M_d, M_g, M_q	H_b, H_d, H_g, H_q
擦音	M_f, M_s, M_sh, M_x, M_h, M_z, M_zh	H_f, H_s, H_x, H_HH, H_h, H_v, H_z
擦音清	M_f, M_s, M_sh, M_x, M_h	H_f, H_s, H_x, H_HH, H_h
擦音濁	M_z, M_zh	H_v, H_z
近音	M_j	H_j
邊近音	M_l	H_l
閃音	M_r	
唇	M_m, M_p, M_b, M_f	H_m, H_p, H_b, H_f, H_v
雙唇	M_m, M_p, M_b	H_m, H_p, H_b
唇齒	M_f	H_f, H_v
齦音	M_n, M_t, M_d, M_s, M_z, M_l, M_r	H_n, H_t, H_d, H_s, H_z, H_l
捲舌	M_ch, M_sh, M_zh	
硬顎	M_c, M_j	H_c, H_j
	M_k, M_g, M_x, M_q	H_ng, H_k, H_g, H_x, H_NH, H_q
軟顎	M_k, M_g, M_x	H_ng, H_k, H_g, H_x
小舌	M_q	H_NH, H_q
	M_h	H_HH, H_h
會厭		H_HH
聲門	M_h	H_h
客語韻母音素問題集(依照韻母結構設定問題)		
元音 H_a	H_ek, H_em, H_en, H_eng, H_ep, H_et, H_wu3, H_yi3	
元音 H_eh	H_em, H_en, H_ep, H_et, H_wu3	
元音 H_ii	H_em, H_en, H_eng, H_ep, H_et	
元音 H_o	H_ek, H_en, H_eng, H_et, H_yi3	
元音 H_yi2	H_em, H_en, H_ep, H_et	
介音 H_wu1	H_en, H_et	
介音 H_yi1	H_ek, H_em, H_eng, H_ep, H_wu3	

韻尾 H_ek	H_a, H_o, H_wu1, H_wu2, H_yi1
	H_wu1, H_yi1
	H_a, H_o, H_wu2
韻尾 H_em	H_a, H_eh, H_ii, H_yi1, H_yi2
	H_yi1
	H_a, H_eh, H_ii, H_yi2
韻尾 H_en	H_a, H_eh, H_ii, H_o, H_wu1, H_wu2, H_yi1, H_yi2
	H_wu1, H_yi1
	H_a, H_eh, H_ii, H_o, H_wu2, H_yi2
韻尾 H_eng	H_a, H_ii, H_o, H_wu1, H_wu2, H_yi1
	H_wu1, H_yi1
	H_a, H_ii, H_o, H_wu2
韻尾 H_ep	H_a, H_eh, H_yi1, H_yi2
	H_yi1
	H_a, H_eh, H_yi2
韻尾 H_et	H_a, H_eh, H_yi1
	H_yi1
	H_a, H_eh
韻尾 H_wu3	H_a, H_eh
韻尾 H_yi3	H_a, H_eh, H_o, H_wu2
無韻尾	H_a, H_eh, H_ii, H_o, H_wu1, H_wu2, H_yi1, H_yi2, H_FNULL
	H_wu1, H_yi1
	H_a, H_eh, H_ii, H_o, H_wu2, H_yi2,
	H_FNULL
國語韻母音素問題集(依照韻母結構設定問題)	
元音 M_e	M_ng, M_en
元音 M_eh	M_yi3
元音 M_o	M_wu3
元音 M_a	M_ng, M_en, M_wu3
介音 M_yi1	M_ng, M_en, M_yi3, M_wu3
	M_ng, M_en
介音 M_yu1	M_ng, M_en
	M_en
介音 M_wu1	M_ng, M_en, M_yi3
	M_ng, M_en
	M_yi3
韻尾 M_ng	M_e, M_a, M_yi1, M_yu1, M_wu1

	M_yi1, M_yu1, M_wu1
	M_e, M_a
韻尾 M_en	M_e, M_a, M_yi1, M_yu1, M_wu1
	M_yi1, M_yu1, M_wu1
	M_e, M_a
韻尾 M_yi3	M_eh, M_a, M_yi1, M_wu1
	M_yi1, M_wu1
	M_eh, M_a
韻尾 M_wu3	M_o, M_a, M_yi1
	M_yi1
	M_o, M_a
無韻尾	M_e, M_eh, M_o, M_a, M_er, M_yi1, M_yi2, M_yu1, M_yu2, M_wu1, M_wu2, M_FNULL1, M_FNULL2
	M_yi1, M_yu1, M_wu1
	M_e, M_eh, M_o, M_a, M_er, M_yi2, M_yu2, M_wu2
	M_FNULL1, M_FNULL2



附錄三：音節結構表

客語音節結構表

音碼	音節	聲母	介音	元音	韻尾	音碼	音節	聲母	介音	元音	韻尾	音碼	音節	聲母	介音	元音	韻尾
1	bi	b		yi2		32	pi	p		yi2		63	mi	m		yi2	
2	be	b		eh		33	pa	p		a		64	me	m		eh	
3	ba	b		a		34	pia	p	yi1	a		65	ma	m		a	
4	bia	b	yi1	a		35	po	p		o		66	mia	m	yi1	a	
5	bo	b		o		36	pu	p		wu2		67	mo	m		o	
6	bu	b		wu2		37	piu	p	yi1	wu2		68	mu	m		wu2	
7	biu	b	yi1	wu2		38	pai	p		a	yi3	69	mai	m		a	yi3
8	bai	b		a	yi3	39	poi	p		o	yi3	70	moi	m		o	yi3
9	boi	b		o	yi3	40	peu	p		eh	wu3	71	meu	m		eh	wu3
10	beu	b		eh	wu3	41	pau	p		a	wu3	72	mau	m		a	wu3
11	bau	b		a	wu3	42	pin	p		yi2	en	73	miau	m	yi1	a	wu3
12	bin	b		yi2	en	43	pen	p		eh	en	74	min	m		yi2	en
13	ben	b		eh	en	44	pien	p	yi1	eh	en	75	men	m		eh	en
14	bien	b	yi1	eh	en	45	pan	p		a	en	76	mien	m	yi1	eh	en
15	ban	b		a	en	46	pon	p		o	en	77	man	m		a	en
16	bun	b		wu2	en	47	pun	p		wu2	en	78	mun	m		wu2	en
17	bang	b		a	eng	48	pang	p		a	eng	79	mang	m		a	eng
18	biang	b	yi1	a	eng	49	piang	p	yi1	a	eng	80	miang	m	yi1	a	eng
19	bong	b		o	eng	50	pong	p		o	eng	81	mong	m		o	eng
20	biong	b	yi1	o	eng	51	piong	p	yi1	o	eng	82	mióng	m	yi1	o	eng
21	bung	b		wu2	eng	52	pung	p		wu2	eng	83	mung	m		wu2	eng
22	bit	b		yi2	et	53	pit	p		yi2	et	84	mit	m		yi2	et
23	bet	b		eh	et	54	pet	p		eh	et	85	met	m		eh	et
24	biet	b	yi1	eh	et	55	piet	p	yi1	eh	et	86	miet	m	yi1	eh	et
25	bat	b		a	et	56	pat	p		a	et	87	mat	m		a	et
26	bot	b		o	et	57	put	p		wu2	et	88	mut	m		wu2	et
27	but	b		wu2	et	58	pak	p		a	ek	89	mak	m		a	ek
28	bak	b		a	ek	59	piak	p	yi1	a	ek	90	mok	m		o	ek
29	biak	b	yi1	a	ek	60	pok	p		o	ek	91	muk	m		wu2	ek
30	bok	b		o	ek	61	piok	p	yi1	o	ek	92	fi	f		yi2	
31	buk	b		wu2	ek	62	puk	p		wu2	ek	93	fe	f		eh	

客語音節結構表

音碼	音節	聲母	介音	元音	韻尾	音碼	音節	聲母	介音	元音	韻尾	音碼	音節	聲母	介音	元音	韻尾
94	fa	f		a		128	vung	v		wu2	eng	162	dep	d		eh	ep
95	fo	f		o		129	vet	v		eh	et	163	dap	d		a	ep
96	fu	f		wu2		130	vat	v		a	et	164	diap	d	yi1	a	ep
97	fai	f		a	yi3	131	vut	v		wu2	et	165	dit	d		yi2	et
98	foi	f		o	yi3	132	vak	v		a	ek	166	det	d		eh	et
99	feu	f		eh	wu3	133	vok	v		o	ek	167	diet	d	yi1	eh	et
100	fam	f		a	em	134	vuk	v		wu2	ek	168	dat	d		a	et
101	fin	f		yi2	en	135	di	d		yi2		169	dot	d		o	et
102	fen	f		eh	en	136	de	d		eh		170	dut	d		wu2	et
103	fan	f		a	en	137	da	d		a		171	dak	d		a	ek
104	fon	f		o	en	138	dia	d	yi1	a		172	diak	d	yi1	a	ek
105	fun	f		wu2	en	139	do	d		o		173	dok	d		o	ek
106	fang	f		a	eng	140	dio	d	yi1	o		174	diok	d	yi1	o	ek
107	fong	f		o	eng	141	du	d		wu2		175	duk	d		wu2	ek
108	fung	f		wu2	eng	142	diu	d	yi1	wu2		176	ti	t		yi2	
109	fap	f		a	ep	143	dai	d		a	yi3	177	te	t		eh	
110	fit	f		yi2	et	144	doi	d		o	yi3	178	ta	t		a	
111	fet	f		eh	et	145	dui	d		wu2	yi3	179	to	t		o	
112	fat	f		a	et	146	deu	d		eh	wu3	180	tu	t		wu2	
113	fok	f		o	ek	147	dau	d		a	wu3	181	tiu	t	yi1	wu2	
114	fut	f		wu2	et	148	diau	d	yi1	a	wu3	182	tai	t		a	yi3
115	fuk	f		wu2	ek	149	dem	d		eh	em	183	toi	t		o	yi3
116	vi	v		yi2		150	dam	d		a	em	184	tui	t		wu2	yi3
117	ve	v		eh		151	diam	d	yi1	a	em	185	teu	t		eh	wu3
118	va	v		a		152	din	d		yi2	en	186	tiau	t	yi1	a	wu3
119	vo	v		o		153	den	d		eh	en	187	tiem	t	yi1	eh	em
120	vu	v		wu2		154	dien	d	yi1	eh	en	188	tam	t		a	em
121	vai	v		a	yi3	155	dan	d		a	en	189	tiam	t	yi1	a	em
122	voi	v		o	yi3	156	don	d		o	en	190	tin	t		yi2	en
123	van	v		a	en	157	dun	d		wu2	en	191	ten	t		eh	en
124	von	v		o	en	158	dang	d		a	eng	192	tien	t	yi1	eh	en
125	vun	v		wu2	en	159	dong	d		o	eng	193	tan	t		a	en
126	vang	v		a	eng	160	diong	d	yi1	o	eng	194	ton	t		o	en
127	vong	v		o	eng	161	dung	d		wu2	eng	195	tun	t		wu2	en

客語音節結構表

音碼	音節	聲母	介音	元音	韻尾	音碼	音節	聲母	介音	元音	韻尾	音碼	音節	聲母	介音	元音	韻尾
196	tang	t		a	eng	230	nang	n		a	eng	264	liang	l	yi1	a	eng
197	tong	t		o	eng	231	nong	n		o	eng	265	long	l		o	eng
198	tiong	t	yi1	o	eng	232	nung	n		wu2	eng	266	liong	l	yi1	o	eng
199	tung	t		wu2	eng	233	nap	n		a	ep	267	lung	l		wu2	eng
200	tep	t		eh	ep	234	nit	n		yi2	et	268	liung	l	yi1	wu2	eng
201	tap	t		a	ep	235	net	n		eh	et	269	lip	l		yi2	ep
202	tiap	t	yi1	a	ep	236	nat	n		a	et	270	lep	l		eh	ep
203	tit	t		yi2	et	237	not	n		o	et	271	lap	l		a	ep
204	tet	t		eh	et	238	nak	n		a	ek	272	liap	l	yi1	a	ep
205	tiet	t	yi1	eh	et	239	nuk	n		wu2	ek	273	lit	l		yi2	et
206	tat	t		a	et	240	li	l		yi2		274	let	l		eh	et
207	tot	t		o	et	241	le	l		eh		275	liet	l	yi1	eh	et
208	tut	t		wu2	et	242	la	l		a		276	lat	l		a	et
209	tak	t		a	ek	243	lo	l		o		277	lot	l		o	et
210	tok	t		o	ek	244	lio	l	yi1	o		278	lut	l		wu2	et
211	tuk	t		wu2	ek	245	lu	l		wu2		279	lak	l		a	ek
212	ni	n		yi2		246	liu	l	yi1	wu2		280	liak	l	yi1	a	ek
213	ne	n		eh		247	lai	l	1896	a	yi3	281	lok	l		o	ek
214	na	n		a		248	loi	l		o	yi3	282	liok	l	yi1	o	ek
215	no	n		o		249	lui	l		wu2	yi3	283	luk	l		wu2	ek
216	nu	n		wu2		250	leu	l		eh	wu3	284	liuk	l	yi1	wu2	ek
217	niu	n	yi1	wu2		251	lau	l		a	wu3	285	zii	z		ii	
218	nai	n		a	yi3	252	liau	l	yi1	a	wu3	286	zi	j		yi2	
219	nui	n		wu2	yi3	253	lim	l		yi2	em	287	ze	z		eh	
220	neu	n		eh	wu3	254	lem	l		eh	em	288	za	z		a	
221	nau	n		a	wu3	255	lam	l		a	em	289	zia	j	yi1	a	
222	niau	n	yi1	a	wu3	256	liam	l	yi1	a	em	290	zo	z		o	
223	nem	n		eh	em	257	lin	l		yi2	en	291	zio	j	yi1	o	
224	nam	n		a	em	258	lien	l	yi1	eh	en	292	zu	z		wu2	
225	nin	n		yi2	en	259	lan	l		a	en	293	ziu	j	yi1	wu2	
226	nen	n		eh	en	260	lon	l		o	en	294	zai	z		a	yi3
227	nan	n		a	en	261	lion	l	yi1	o	en	295	zoi	z		o	yi3
228	non	n		o	en	262	lun	l		wu2	en	296	zui	z		wu2	yi3
229	nun	n		wu2	en	263	lang	l		a	eng	297	zeu	z		eh	wu3

客語音節結構表

音碼	音節	聲母	介音	元音	韻尾	音碼	音節	聲母	介音	元音	韻尾	音碼	音節	聲母	介音	元音	韻尾
298	zau	z		a	wu3	332	zok	z		o	ek	366	ciong	q	yi1	o	eng
299	ziau	j	yi1	a	wu3	333	ziok	j	yi1	o	ek	367	cung	c		wu2	eng
300	ziim	z		ii	em	334	zuk	z		wu2	ek	368	ciung	q	yi1	wu2	eng
301	zim	j		yi2	em	335	ziuk	j	yi1	wu2	ek	369	cip	q		yi2	ep
302	zem	z		eh	em	336	cii	c		ii		370	cap	c		a	ep
303	zam	z		a	em	337	ci	q		yi2		371	ciap	q	yi1	a	ep
304	ziam	j	yi1	a	em	338	ce	c		eh		372	ciit	c		ii	et
305	ziin	z		ii	en	339	ca	c		a		373	cit	q		yi2	et
306	zin	j		yi2	en	340	cia	q	yi1	a		374	cet	c		eh	et
307	zen	z		eh	en	341	co	c		o		375	ciet	q	yi1	eh	et
308	zien	j	yi1	eh	en	342	cio	q	yi1	o		376	cat	c		a	et
309	zan	z		a	en	343	cu	c		wu2		377	cot	c		o	et
310	zon	z		o	en	344	ciu	q	yi1	wu2		378	cut	c		wu2	et
311	zun	z		wu2	en	345	cai	c		a	yi3	379	cak	c		a	ek
312	zang	z		a	eng	346	coi	c		o	yi3	380	ciak	q	yi1	a	ek
313	ziang	j	yi1	a	eng	347	cui	c		wu2	yi3	381	cok	c		o	ek
314	zong	z		o	eng	348	ceu	c		eh	wu3	382	ciok	q	yi1	o	ek
315	ziong	j	yi1	o	eng	349	cau	c		a	wu3	383	cuk	c		wu2	ek
316	zung	z		wu2	eng	350	ciau	q	yi1	a	wu3	384	ciuk	q	yi1	wu2	ek
317	ziung	j	yi1	wu2	eng	351	ciim	c		ii	em	385	sii	s		ii	
318	ziip	z		ii	ep	352	cim	q		yi2	em	386	si	x		yi2	
319	zip	j		yi2	ep	353	cam	c		a	em	387	se	s		eh	
320	zep	z		eh	ep	354	ciam	q	yi1	a	em	388	sa	s		a	
321	zap	z		a	ep	355	ciin	c		ii	en	389	sia	x	yi1	a	
322	ziap	j	yi1	a	ep	356	cin	q		yi2	en	390	so	s		o	
323	ziit	j		ii	et	357	cen	c		eh	en	391	sio	x	yi1	o	
324	zit	j		yi2	et	358	cien	q	yi1	eh	en	392	su	s		wu2	
325	zet	z		eh	et	359	can	c		a	en	393	siu	x	yi1	wu2	
326	ziet	j	yi1	eh	et	360	con	c		o	en	394	sai	s		a	yi3
327	zat	z		a	et	361	cion	q	yi1	o	en	395	soi	s		o	yi3
328	zot	z		o	et	362	cun	c		wu2	en	396	sui	s		wu2	yi3
329	zut	z		wu2	et	363	cang	c		a	eng	397	seu	s		eh	wu3
330	zak	z		a	ek	364	ciang	q	yi1	a	eng	398	sau	s		a	wu3
331	ziak	j	yi1	a	ek	365	cong	c		o	eng	399	siau	x	yi1	a	wu3

客語音節結構表

音碼	音節	聲母	介音	元音	韻尾	音碼	音節	聲母	介音	元音	韻尾	音碼	音節	聲母	介音	元音	韻尾
400	siim	s		ii	em	434	suk	s		wu2	ek	468	giong	g	yi1	o	eng
401	sim	x		yi2	em	435	siuk	x	yi1	wu2	ek	469	gung	g		wu2	eng
402	sem	s		eh	em	436	gi	g		yi2		470	giung	g	yi1	wu2	eng
403	sam	s		a	em	437	ge	g		eh		471	guang	g	wu1	a	eng
404	siam	x	yi1	a	em	438	gie	g	yi1	eh		472	gip	g		yi2	ep
405	siin	s		ii	en	439	ga	g		a		473	giep	g	yi1	eh	ep
406	sin	x		yi2	en	440	gia	g	yi1	a		474	gap	g		a	ep
407	sen	s		eh	en	441	gua	g	wu1	a		475	giap	g	yi1	a	ep
408	sien	x	yi1	eh	en	442	go	g		o		476	git	g		yi2	et
409	san	s		a	en	443	gio	g	yi1	o		477	giet	g	yi1	eh	et
410	son	s		o	en	444	gu	g		wu2		478	guet	g	wu1	eh	et
411	sun	s		wu2	en	445	giu	g	yi1	wu2		479	gat	g		a	et
412	sang	s		a	eng	446	guai	g	wu1	a	yi3	480	guat	g	wu1	a	et
413	siang	x	yi1	a	eng	447	goi	g		o	yi3	481	got	g		o	et
414	song	s		o	eng	448	gui	g		wu2	yi3	482	gut	g		wu2	et
415	siong	x	yi1	o	eng	449	gau	g		a	wu3	483	gak	g		a	ek
416	sung	s		wu2	eng	450	gieu	g	yi1	eh	wu3	484	giak	g	yi1	a	ek
417	siung	x	yi1	wu2	eng	451	giau	g	1896	a	wu3	485	gok	g		o	ek
418	siip	s		ii	ep	452	gim	g		yi2	em	486	giok	g	yi1	o	ek
419	sip	x		yi2	ep	453	giem	g	yi1	eh	em	487	guk	g		wu2	ek
420	sep	s		eh	ep	454	gam	g		a	em	488	giuk	g	yi1	wu2	ek
421	sap	s		a	ep	455	giam	g	yi1	a	em	489	guak	g	wu1	a	ek
422	siap	x	yi1	a	ep	456	gin	g		yi2	en	490	ki	k		yi2	
423	siit	s		ii	et	457	gen	g		eh	en	491	kie	k	yi1	eh	
424	sit	x		yi2	et	458	gien	g	yi1	eh	en	492	kue	k	wu1	eh	
425	set	s		eh	et	459	guen	g	wu1	eh	en	493	ka	k		a	
426	siet	x	yi1	eh	et	460	gan	g		a	en	494	kia	k	yi1	a	
427	sat	s		a	et	461	guan	g	wu1	a	en	495	kua	k	wu1	a	
428	sot	s		o	et	462	gon	g		o	en	496	ko	k		o	
429	sut	s		wu2	et	463	gun	g		wu2	en	497	kio	k	yi1	o	
430	sak	s		a	ek	464	giun	g	yi1	wu2	en	498	ku	k		wu2	
431	siak	x	yi1	a	ek	465	gang	g		a	eng	499	kiu	k	yi1	wu2	
432	sok	s		o	ek	466	giang	g	yi1	a	eng	500	kai	k		a	yi3
433	siok	x	yi1	o	ek	467	gong	g		o	eng	501	kuai	k	wu1	a	yi3

客語音節結構表

音碼	音節	聲母	介音	元音	韻尾	音碼	音節	聲母	介音	元音	韻尾	音碼	音節	聲母	介音	元音	韻尾
502	koi	k		o	yi3	536	kak	k		a	ek	570	ngong	ng		o	eng
503	kioi	k	yi1	o	yi3	537	kiak	k	yi1	a	ek	571	ngiong	NH	yi1	o	eng
504	kui	k		wu2	yi3	538	kok	k		o	ek	572	ngiung	NH	yi1	wu2	eng
505	keu	k		eh	wu3	539	kiok	k	yi1	o	ek	573	ngip	NH		yi2	ep
506	kau	k		a	wu3	540	kuk	k		wu2	ek	574	ngap	ng		a	ep
507	kieu	k	yi1	eh	wu3	541	kiuk	k	yi1	wu2	ek	575	ngiap	NH	yi1	a	ep
508	kiau	k	yi1	a	wu3	542	kuak	k	wu1	a	ek	576	ngit	NH		yi2	et
509	kim	k		yi2	em	543	ngi	NH		yi2		577	ngiet	NH	yi1	eh	et
510	kam	k		a	em	544	ngie	NH	yi1	eh		578	ngat	ng		a	et
511	kiam	k	yi1	a	em	545	nga	ng		a		579	ngut	ng		wu2	et
512	kiem	k	yi1	eh	em	546	ngia	NH	yi1	a		580	ngiak	NH	yi1	a	ek
513	kin	k		yi2	en	547	ngo	ng		o		581	ngok	ng		o	ek
514	ken	k		eh	en	548	ngio	NH	yi1	o		582	ngiok	NH	yi1	o	ek
515	kien	k	yi1	eh	en	549	ngu	ng		wu2		583	ngiuk	NH	yi1	wu2	ek
516	kan	k		a	en	550	ngiu	NH	yi1	wu2		584	hi	HH		yi2	
517	kuan	k	wu1	a	en	551	ngai	ng		a	yi3	585	he	h		eh	
518	kon	k		o	en	552	nguai	ng	wu1	a	yi3	586	ha	h		a	
519	kun	k		wu2	en	553	ngoi	ng		wu2	yi3	587	hia	HH	yi1	a	
520	kiun	k	yi1	wu2	en	554	ngui	ng		wu2	yi3	588	ho	h		o	
521	kang	k		a	eng	555	ngau	ng		a	wu3	589	hio	HH	yi1	o	
522	kiang	k	yi1	a	eng	556	ngieu	NH	yi1	eh	wu3	590	hiu	HH	yi1	wu2	
523	kong	k		o	eng	557	ngiau	NH	yi1	a	wu3	591	hai	h		a	yi3
524	kiong	k	yi1	o	eng	558	ngim	NH		yi2	em	592	hoi	h		o	yi3
525	kung	k		wu2	eng	559	ngiem	NH	yi1	eh	em	593	heu	h		eh	wu3
526	kiung	k	yi1	wu2	eng	560	ngam	ng		a	em	594	hau	h		a	wu3
527	kip	k		yi2	ep	561	ngiam	NH	yi1	a	em	595	hieu	HH	yi1	eh	wu3
528	kep	k		eh	ep	562	ngin	NH		yi2	en	596	hiau	HH	yi1	a	wu3
529	kap	k		a	ep	563	ngien	NH	yi1	eh	en	597	him	HH		yi2	em
530	kiap	k	yi1	a	ep	564	ngan	ng		a	en	598	hem	h		eh	em
531	kit	k		yi2	et	565	nguan	ng	wu1	a	en	599	ham	h		a	em
532	kiet	k	yi1	eh	et	566	ngion	NH	yi1	o	en	600	hiam	HH	yi1	a	em
533	kat	k		a	et	567	ngiun	NH	yi1	wu2	en	601	hin	HH		yi2	en
534	kut	k		wu2	et	568	ngang	ng		a	eng	602	hen	h		eh	en
535	kiut	k	yi1	wu2	et	569	ngiang	NH	yi1	a	eng	603	hien	HH	yi1	eh	en

客語音節結構表

音碼	音節	聲母	介音	元音	韻尾	音碼	音節	聲母	介音	元音	韻尾	音碼	音節	聲母	介音	元音	韻尾
604	han	h		a	en	637	im			yi2	em	670	ngung	ng		wu2	eng
605	hon	h		o	en	638	em			eh	em	671	nguk	ng		wu2	ek
606	hiun	HH	yi1	wu2	en	639	am			a	em	672	niok	n	yi1	o	ek
607	hang	h		a	eng	640	iam		yi1	a	em	673	nok	n		o	ek
608	hong	h		o	eng	641	in			yi2	en						
609	hiong	HH	yi1	o	eng	642	en			eh	en						
610	hiung	HH	yi1	wu2	eng	643	ien		yi1	eh	en						
611	hiing	h		ii	eng	644	an			a	en						
612	hip	HH		yi2	ep	645	on			o	en						
613	hap	h		a	ep	646	iun		yi1	wu2	en						
614	hiap	HH	yi1	a	ep	647	ang			a	eng						
615	hit	HH		yi2	et	648	iang		yi1	a	eng						
616	het	h		eh	et	649	ong			o	eng						
617	hiet	HH	yi1	eh	et	650	iong		yi1	o	eng						
618	hat	h		a	et	651	iung		yi1	wu2	eng						
619	hot	h		o	et	652	ip			yi2	ep						
620	hak	h		a	ek	653	ep			eh	ep						
621	hok	h		o	ek	654	ap		1896	a	ep						
622	hiuk	HH	yi1	wu2	ek	655	iap		yi1	a	ep						
623	i			yi2		656	it			yi2	et						
624	e			eh		657	et			eh	et						
625	ie		yi1	eh		658	iet		yi1	eh	et						
626	a			a		659	at			a	et						
627	ia		yi1	a		660	ot			o	et						
628	o			o		661	iut		yi1	wu2	et						
629	io		yi1	o		662	ak			a	ek						
630	iu		yi1	wu2		663	iak		yi1	a	ek						
631	ai			a	yi3	664	ok			o	ek						
632	oi			o	yi3	665	iok		yi1	o	ek						
633	eu			eh	wu3	666	iuk		yi1	wu2	ek						
634	au			a	wu3	667	m	m		FNULL							
635	ieu		yi1	eh	wu3	668	ng	ng		FNULL							
636	iau		yi1	a	wu3	669	iui		yi1	wu2	yi3						

國語音節結構表

音碼	音節	聲母	介音	元音	韻尾	音碼	音節	聲母	介音	元音	韻尾	音碼	音節	聲母	介音	元音	韻尾
1	zhi	zh			FNULL1	35	she	sh		e		69	gei	g		eh	yi3
2	chi	ch			FNULL1	36	re	r		e		70	hei	h		eh	yi3
3	shi	sh			FNULL1	37	ze	z		e		71	dei	d		eh	yi3
4	ri	r			FNULL1	38	ce	c		e		72	nei	n		eh	yi3
5	zi	z			FNULL2	39	se	s		e		73	lei	l		eh	yi3
6	ci	c			FNULL2	40	ge	g		e		74	bei	b		eh	yi3
7	si	s			FNULL2	41	ke	k		e		75	pei	p		eh	yi3
8	a			a		42	he	h		e		76	mei	m		eh	yi3
9	zha	zh		a		43	de	d		e		77	fei	f		eh	yi3
10	cha	ch		a		44	te	t		e		78	ao			a	wu3
11	sha	sh		a		45	ne	n		e		79	zhao	zh		a	wu3
12	za	z		a		46	le	l		e		80	chao	ch		a	wu3
13	ca	c		a		47	ai			a	yi3	81	shao	sh		a	wu3
14	sa	s		a		48	zhai	zh		a	yi3	82	rao	r		a	wu3
15	ga	g		a		49	chai	ch		a	yi3	83	zao	z		a	wu3
16	ka	k		a		50	shai	sh		a	yi3	84	cao	c		a	wu3
17	ha	h		a		51	zai	z		a	yi3	85	sao	s		a	wu3
18	da	d		a		52	cai	c		a	yi3	86	gao	g		a	wu3
19	ta	t		a		53	sai	s		a	yi3	87	kao	k		a	wu3
20	na	n		a		54	gai	g		a	yi3	88	hao	h		a	wu3
21	la	l		a		55	kai	k		a	yi3	89	dao	d		a	wu3
22	ba	b		a		56	hai	h		a	yi3	90	tao	t		a	wu3
23	pa	p		a		57	dai	d		a	yi3	91	nao	n		a	wu3
24	ma	m		a		58	tai	t		a	yi3	92	lao	l		a	wu3
25	fa	f		a		59	nai	n		a	yi3	93	bao	b		a	wu3
26	o			o		60	lai	l		a	yi3	94	pao	p		a	wu3
27	lo	l		o		61	bai	b		a	yi3	95	mao	m		a	wu3
28	bo	b		o		62	pai	p		a	yi3	96	ou			o	wu3
29	po	p		o		63	mai	m		a	yi3	97	zhou	zh		o	wu3
30	mo	m		o		64	eh			eh		98	chou	ch		o	wu3
31	fo	f		o		65	zhei	zh		eh	yi3	99	shou	sh		o	wu3
32	e			e		66	shei	sh		eh	yi3	100	rou	r		o	wu3
33	zhe	zh		e		67	zei	z		eh	yi3	101	zou	z		o	wu3
34	che	ch		e		68	sei	s		eh	yi3	102	cou	c		o	wu3

國語音節結構表

音碼	音節	聲母	介音	元音	韻尾	音碼	音節	聲母	介音	元音	韻尾	音碼	音節	聲母	介音	元音	韻尾
103	sou	s		o	wu3	137	ren	r		e	en	171	reng	r		e	ng
104	gou	g		o	wu3	138	zen	z		e	en	172	zeng	z		e	ng
105	kou	k		o	wu3	139	cen	c		e	en	173	ceng	c		e	ng
106	hou	h		o	wu3	140	sen	s		e	en	174	seng	s		e	ng
107	dou	d		o	wu3	141	gen	g		e	en	175	geng	g		e	ng
108	tou	t		o	wu3	142	ken	k		e	en	176	keng	k		e	ng
109	nou	n		o	wu3	143	hen	h		e	en	177	heng	h		e	ng
110	lou	l		o	wu3	144	nen	n		e	en	178	deng	d		e	ng
111	pou	p		o	wu3	145	ben	b		e	en	179	teng	t		e	ng
112	mou	m		o	wu3	146	pen	p		e	en	180	neng	n		e	ng
113	fou	f		o	wu3	147	men	m		e	en	181	leng	l		e	ng
114	an			a	en	148	fen	f		e	en	182	beng	b		e	ng
115	zhan	zh		a	en	149	ang			a	ng	183	peng	p		e	ng
116	chan	ch		a	en	150	zhang	zh		a	ng	184	meng	m		e	ng
117	shan	sh		a	en	151	chang	ch		a	ng	185	feng	f		e	ng
118	ran	r		a	en	152	shang	sh		a	ng	186	yi			yi2	
119	zan	z		a	en	153	rang	r		a	ng	187	ji	j		yi2	
120	can	c		a	en	154	zang	z		a	ng	188	qi	q		yi2	
121	san	s		a	en	155	cang	c		a	ng	189	xi	x		yi2	
122	gan	g		a	en	156	sang	s		a	ng	190	di	d		yi2	
123	kan	k		a	en	157	gang	g		a	ng	191	ti	t		yi2	
124	han	h		a	en	158	kang	k		a	ng	192	ni	n		yi2	
125	dan	d		a	en	159	hang	h		a	ng	193	li	l		yi2	
126	tan	t		a	en	160	dang	d		a	ng	194	bi	b		yi2	
127	nan	n		a	en	161	tang	t		a	ng	195	pi	p		yi2	
128	lan	l		a	en	162	nang	n		a	ng	196	mi	m		yi2	
129	ban	b		a	en	163	lang	l		a	ng	197	wu			wu2	
130	pan	p		a	en	164	bang	b		a	ng	198	zhu	zh		wu2	
131	man	m		a	en	165	pang	p		a	ng	199	chu	ch		wu2	
132	fan	f		a	en	166	mang	m		a	ng	200	shu	sh		wu2	
133	en			e	en	167	fang	f		a	ng	201	ru	r		wu2	
134	zhen	zh		e	en	168	zheng	zh		e	ng	202	zu	z		wu2	
135	chen	ch		e	en	169	cheng	ch		e	ng	203	cu	c		wu2	
136	shen	sh		e	en	170	sheng	sh		e	ng	204	su	s		wu2	

國語音節結構表

音碼	音節	聲母	介音	元音	韻尾	音碼	音節	聲母	介音	元音	韻尾	音碼	音節	聲母	介音	元音	韻尾
205	gu	g		wu2		239	yao		yi1	a	wu3	273	nin	n	yi1	e	en
206	ku	k		wu2		240	jiao	j	yi1	a	wu3	274	lin	l	yi1	e	en
207	hu	h		wu2		241	qiao	q	yi1	a	wu3	275	bin	b	yi1	e	en
208	du	d		wu2		242	xiao	x	yi1	a	wu3	276	pin	p	yi1	e	en
209	tu	t		wu2		243	diao	d	yi1	a	wu3	277	min	m	yi1	e	en
210	nu	n		wu2		244	tiao	t	yi1	a	wu3	278	yang		yi1	a	ng
211	lu	l		wu2		245	niao	n	yi1	a	wu3	279	jiang	j	yi1	a	ng
212	bu	b		wu2		246	lia	l	yi1	a	wu3	280	qiang	q	yi1	a	ng
213	pu	p		wu2		247	biao	b	yi1	a	wu3	281	xiang	x	yi1	a	ng
214	mu	m		wu2		248	piao	p	yi1	a	wu3	282	niang	n	yi1	a	ng
215	fu	f		wu2		249	miao	m	yi1	a	wu3	283	liang	l	yi1	a	ng
216	yu			yu2		250	you		yi1	o	wu3	284	ying		yi1	e	ng
217	ju	j		yu2		251	jiu	j	yi1	o	wu3	285	jing	j	yi1	e	ng
218	qu	q		yu2		252	qiu	q	yi1	o	wu3	286	qing	q	yi1	e	ng
219	xu	x		yu2		253	xiu	x	yi1	o	wu3	287	xing	x	yi1	e	ng
220	nu:	n		yu2		254	diu	d	yi1	o	wu3	288	ding	d	yi1	e	ng
221	lu:	l		yu2		255	niu	n	yi1	o	wu3	289	ting	t	yi1	e	ng
222	ya		yi1	a		256	liu	l	yi1	o	wu3	290	ning	n	yi1	e	ng
223	jia	j	yi1	a		257	miu	m	yi1	o	wu3	291	ling	l	yi1	e	ng
224	qia	q	yi1	a		258	yan		yi1	a	en	292	bing	b	yi1	e	ng
225	xia	x	yi1	a		259	jian	j	yi1	a	en	293	ping	p	yi1	e	ng
226	lia	l	yi1	a		260	qian	q	yi1	a	en	294	ming	m	yi1	e	ng
227	ye		yi1	eh		261	xian	x	yi1	a	en	295	wa		wu1	a	
228	jie	j	yi1	eh		262	dian	d	yi1	a	en	296	zhua	zh	wu1	a	
229	qie	q	yi1	eh		263	tian	t	yi1	a	en	297	chua	ch	wu1	a	
230	xie	x	yi1	eh		264	nian	n	yi1	a	en	298	shua	sh	wu1	a	
231	die	d	yi1	eh		265	lian	l	yi1	a	en	299	gua	g	wu1	a	
232	tie	t	yi1	eh		266	bian	b	yi1	a	en	300	kua	k	wu1	a	
233	nie	n	yi1	eh		267	pian	p	yi1	a	en	301	hua	h	wu1	a	
234	lie	l	yi1	eh		268	mian	m	yi1	a	en	302	wo		wu1	o	
235	bie	b	yi1	eh		269	yin		yi1	e	en	303	zhuo	zh	wu1	o	
236	pie	p	yi1	eh		270	jin	j	yi1	e	en	304	chuo	ch	wu1	o	
237	mie	m	yi1	eh		271	qin	q	yi1	e	en	305	shuo	sh	wu1	o	
238	yai		yi1	a	yi3	272	xin	x	yi1	e	en	306	ruo	r	wu1	o	

國語音節結構表

音碼	音節	聲母	介音	元音	韻尾	音碼	音節	聲母	介音	元音	韻尾	音碼	音節	聲母	介音	元音	韻尾
307	zuo	z	wu1	o		341	ruan	r	wu1	a	en	375	chong	ch	wu1	e	ng
308	cuo	c	wu1	o		342	zuan	z	wu1	a	en	376	rong	r	wu1	e	ng
309	suo	s	wu1	o		343	cuan	c	wu1	a	en	377	zong	z	wu1	e	ng
310	guo	g	wu1	o		344	suan	s	wu1	a	en	378	cong	c	wu1	e	ng
311	kuo	k	wu1	o		345	guan	g	wu1	a	en	379	song	s	wu1	e	ng
312	huo	h	wu1	o		346	kuan	k	wu1	a	en	380	gong	g	wu1	e	ng
313	duo	d	wu1	o		347	huan	h	wu1	a	en	381	kong	k	wu1	e	ng
314	tuo	t	wu1	o		348	duan	d	wu1	a	en	382	hong	h	wu1	e	ng
315	nuo	n	wu1	o		349	tuan	t	wu1	a	en	383	dong	d	wu1	e	ng
316	luo	l	wu1	o		350	nuan	n	wu1	a	en	384	tong	t	wu1	e	ng
317	wai		wu1	a	yi3	351	luan	l	wu1	a	en	385	nong	n	wu1	e	ng
318	zhuai	zh	wu1	a	yi3	352	wen		wu1	e	en	386	long	l	wu1	e	ng
319	chuai	ch	wu1	a	yi3	353	zhun	zh	wu1	e	en	387	yue		yu1	eh	
320	shuai	sh	wu1	a	yi3	354	chun	ch	wu1	e	en	388	jue	j	yu1	eh	
321	guai	g	wu1	a	yi3	355	shun	sh	wu1	e	en	389	que	q	yu1	eh	
322	kuai	k	wu1	a	yi3	356	run	r	wu1	e	en	390	xue	x	yu1	eh	
323	huai	h	wu1	a	yi3	357	zun	z	wu1	e	en	391	nu:e	n	yu1	eh	
324	wei		wu1	eh	yi3	358	cun	c	wu1	e	en	392	lu:e	l	yu1	eh	
325	zhui	zh	wu1	eh	yi3	359	sun	s	wu1	e	en	393	yuan		yu1	a	en
326	chui	ch	wu1	eh	yi3	360	gun	g	wu1	e	en	394	juan	j	yu1	a	en
327	shui	sh	wu1	eh	yi3	361	kun	k	wu1	e	en	395	quan	q	yu1	a	en
328	rui	r	wu1	eh	yi3	362	hun	h	wu1	e	en	396	xuan	x	yu1	a	en
329	zui	z	wu1	eh	yi3	363	dun	d	wu1	e	en	397	lu:an	l	yu1	a	en
330	cui	c	wu1	eh	yi3	364	tun	t	wu1	e	en	398	yun		yu1	e	en
331	sui	s	wu1	eh	yi3	365	lun	l	wu1	e	en	399	jun	j	yu1	e	en
332	gui	g	wu1	eh	yi3	366	wang		wu1	a	ng	400	qun	q	yu1	e	en
333	kui	k	wu1	eh	yi3	367	zhuang	zh	wu1	a	ng	401	xun	x	yu1	e	en
334	hui	h	wu1	eh	yi3	368	chuang	ch	wu1	a	ng	402	l:un	l	yu1	e	en
335	dui	d	wu1	eh	yi3	369	shuang	sh	wu1	a	ng	403	yong		yu1	e	ng
336	tui	t	wu1	eh	yi3	370	guang	g	wu1	a	ng	404	jiong	j	yu1	e	ng
337	wan		wu1	a	en	371	kuang	k	wu1	a	ng	405	qiong	q	yu1	e	ng
338	zhuan	zh	wu1	a	en	372	huang	h	wu1	a	ng	406	xiong	x	yu1	e	ng
339	chuan	ch	wu1	a	en	373	weng		wu1	e	ng	407	er			er	
340	shuan	sh	wu1	a	en	374	zhong	zh	wu1	e	ng	408	yo		yi1	o	

國語音節結構表

音碼	音節	聲母	介音	元音	韻尾	音碼	音節	聲母	介音	元音	韻尾	音碼	音節	聲母	介音	元音	韻尾
409	eng			e	ng	410	ei			eh	yi3	411	me	m		e	

