

# 藍芽無線環境下中文語音辨識效能之評估與分析

## Performance Evaluation and Analysis of Mandarin Speech Recognition over Bluetooth Communication Environments

陳銀城<sup>1</sup> 譚旦旭<sup>1</sup> 王新民<sup>2</sup> 蔡偉和<sup>2</sup>

國立台北科技大學電機系<sup>1</sup>

中央研究院資訊科學研究所<sup>2</sup>

E-mail: [thtan@ntut.edu.tw](mailto:thtan@ntut.edu.tw); [whm@iis.sinica.edu.tw](mailto:whm@iis.sinica.edu.tw); [wesley@iis.sinica.edu.tw](mailto:wesley@iis.sinica.edu.tw)

### 摘要

本論文探討語音辨識技術於藍芽(Bluetooth)無線環境下之效能。我們分別在藍芽實際與模擬使用環境下，應用 TCC-300 語料庫及 HTK 軟體，進行一系列語者無關(Speaker Independent)的語音辨識實驗。此外，為彌補通道效應之影響，我們亦引用若干強健性技術以提升辨識率。

為評估藍芽實際使用環境下之語音辨識效能，我們將 TCC-300 語料庫轉錄成室內使用環境 0 公尺、4 公尺以及走廊使用環境 50 公尺三個藍芽操作環境語料庫，此語料庫可提供語音辨識或其他相關語音處理研究之用。實驗結果顯示，在訓練環境與測試環境完全匹配情況下，測試距離為 0、4 與 50 公尺所獲得之音節辨識率分別為 55.82%、53.54%、以及 42.74%，辨識率隨著距離增加而下降，而且遠低於在原來的 TCC-300 語料庫進行相同測試所得之 69.25% 的辨識率。另外，在環境不匹配的情況下，辨識率更是大幅度地下滑。本論文即針對辨識效能衰退原因進行探討，並提供可能的改進方向。另一方面，無論是重新收集大量藍芽實際使用環境的訓練語音，或是將原始訓練語音轉錄成藍芽實際使用環境的訓練語音，均非常耗費時間及人力，有鑑於此，我們提出一套模擬藍芽實際使用環境的系統，可以自動將訓練語音模擬至藍芽實際使用環境，進而訓練出可以模擬藍芽實際使用環境的語音辨識模型。以此模擬模型辨識藍芽語音的辨識率與前述環境匹配情況下所得辨識率之差距分別為 0 公尺之 5.18% (55.82% - 50.64%)、4 公尺之 5.6% (53.54% - 47.94%)、以及 50 公尺之 14.22% (42.74% - 28.52%)，初步證實此系統具有模擬藍芽實際使用環境的實用價值。值得注意的是，本研究進行大語彙語音辨識實驗，在語音控制等實際應用上，通常指令數量相當有限，其辨識率將遠高於本論文實驗結果，據此，藍芽無線環境下之語音辨識對家庭自動化等應用應深具潛力。

### 一、簡介

經過多年的發展，目前已有許多語音辨識系統被開發出來[1-3]，並成功地應用在人類日常生活中，例如語音輸入鍵盤、聲控手機、聲控家電、聲控玩具，語音下單等，這些應用系統大幅提升了我們的生活品質。

1998 年 5 月，Intel、Ericsson、Nokia、IBM 以及 Toshiba 等公司共同成立藍芽聯盟(Bluetooth Special Interest Group, Bluetooth SIG)，研議制訂一種兼具低功率、低成本優勢的短距離無線通訊標準，此即藍芽通訊協定的由來。藍芽使用 2.4 GHz (2.402~2.480 GHz)之免費頻帶，利用跳頻(Frequency Hopping)技術以避免同頻帶之干擾。藍芽不像紅外線傳輸會受到須在視線範圍(Line of Sight, LOS)內直線連線之限制，且其價格已下降至合理門檻，因此，逐漸成為 PDA、手機、筆記型電腦之標準配備。藍芽可分別使用 ACL (Asynchronous Connection-Less)及 SCO (Synchronous Connection-Oriented)通道傳送數據及語音信號。

Bluetooth SIG 於 2003 年 11 月正式頒佈 Bluetooth 1.2 版標準，除與現行的 1.1 版標準向下相容外，1.2 版增加了可降低同頻干擾的適應性跳頻 (Adaptive Frequency Hopping, AFH) 技術以及 Extended SCO(eSCO) 通道，eSCO 為具備錯誤偵測及重傳能力之語音通道，可提升聲音訊號傳輸品質。1.2 版相關產品預計 2004 年 12 月上市。

家庭及辦公室自動化是人類一直追求的目標，也陸續有各式各樣的系統被開發出來[4]，惟多數仍存在有線的束縛，且控制方式仍多採手動按鍵，為改善上述缺點，提升自動化系統的品質，整合無線及語音辨識技術的研究已日益受到重視。目前探討無線通訊環境下之語音辨識的研究大都針對 GSM 環境[5, 6]，探討藍芽環境下之語音辨識的研究則尚在萌芽階段。Bawab 等人利用分散式語音辨識(Distributed Speech Recognition, DSR)架構以及藍芽 ACL 通道，針對特徵參數傳輸之封包遺失現象提出內插法(Interpolation)來改善辨識率[7]。Nour-Eldin 等人利用藍芽 SCO 語音傳輸通道，探討 802.11 與藍芽系統之同頻干擾所導致封包遺失對語音辨識效能的影響，並修正藍芽 CVSD(Continuous Variable Slope Deltamodulation, CVSD)解碼器改善辨識效能[8]。上述兩組團隊的研究均以模擬為主，並未在藍芽實際使用環境下進行實證。為深入探討此一問題，本研究先在藍芽實際使用環境下錄製語料庫，進行相關實驗。接著，依據藍芽規範及實際使用環境條件，建構一個模擬藍芽實際使用環境的系統，可以自動將訓練語音模擬至藍芽實際使用環境，進而訓練出可以模擬藍芽實際使用環境的語音辨識模型。

本論文第二節介紹藍芽無線技術。第三節敘述 TCC-300 語料庫及藍芽實際使用環境與藍芽模擬環境下語音資料庫之建立。第四節針對藍芽實際使用環境與模擬環境進行語音辨識效能的評估。第五節為結論，並探討本研究未來可改善的方向。

## 二、藍芽

藍芽是一種低功率(1 mW ~ 100 mW)、短距離(10 m ~ 100 m)無線通訊技術，可以讓內嵌藍芽模組的各種電子裝置(例如資訊家電、手機、電腦等)形成一個無線個人區域網路(Personal Area Network, PAN)。一個藍芽設備至多可以同時連結另外七個藍芽設備，每個藍芽裝置均可擔任 Master 或 Slave 的角色。由於藍芽傳輸不受方向的限制，故能取代現有的紅外線裝置，同時也能解決裝置間纜線過多的問題。此外，藍芽使用全球通用的 ISM(Industrial, Scientific, and Medical)頻帶中的 2.402 ~ 2.480 GHz 頻段，並將 ISM 頻段切割成 79 個頻道以供跳頻之用，每個頻道頻寬為 1 MHz，跳頻速率每秒 1600 次，由於此頻帶毋須申請使用執照，所以有助於藍芽裝置的普及化。

藍芽使用 SCO 連結(Synchronous Connection-Oriented Link)傳輸語音，SCO 連線屬電路交換的同步傳輸型態，每一條 SCO 支援 64 Kbit/s 的語音通訊，一旦建立 SCO 通道，Master 和 Slave 即可直接發收 SCO 封包，進行單點對單點的對稱連線服務。SCO 連結使用之封包如表 1 所示，包括 HV 系列及 DV 封包，皆未包含 CRC，且不允許重傳，本論文採用的封包格式為未具備通道編碼的 HV3。

基本上，藍芽封包涵蓋 Access Code、Header 以及 Payload 三個部份。但依照封包種類的不同，如圖 1 所示，又可分為下列三種情況：

1. 若封包須傳送資料，則封包內將包含 Access Code、Header 以及 Payload 三個部份。
2. 若不傳送資料，則封包將只含 Access Code 和 Header 兩個部分。
3. 若封包沒有 Header 時，則只剩 Access Code，例如 ID Packet。

圖 2 為 SCO 封包中之 HV3 封包，其 Payload Data 經過 Whitening 之後 Payload 固定為 240 bits，資料傳輸率為 8 KBytes/sec。

表 1. SCO 封包格式

Type	Payload Header (Bytes)	User Payload (Bytes)	FEC	CRC	Time Slot Interval	Symmetric Max. Rate(KB/s)
HV1	NA	10	1/3	No	2	64.0
HV2	NA	20	2/3	No	4	64.0
HV3	NA	30	No	No	6	64.0
DV	1 D*	10+(0 ~ 9) D*	2/3 D*	Yes D*	V**	64.0+57.6 D*

註: \* 代表只有數據資訊部分, \*\* 代表只有語音資訊部分

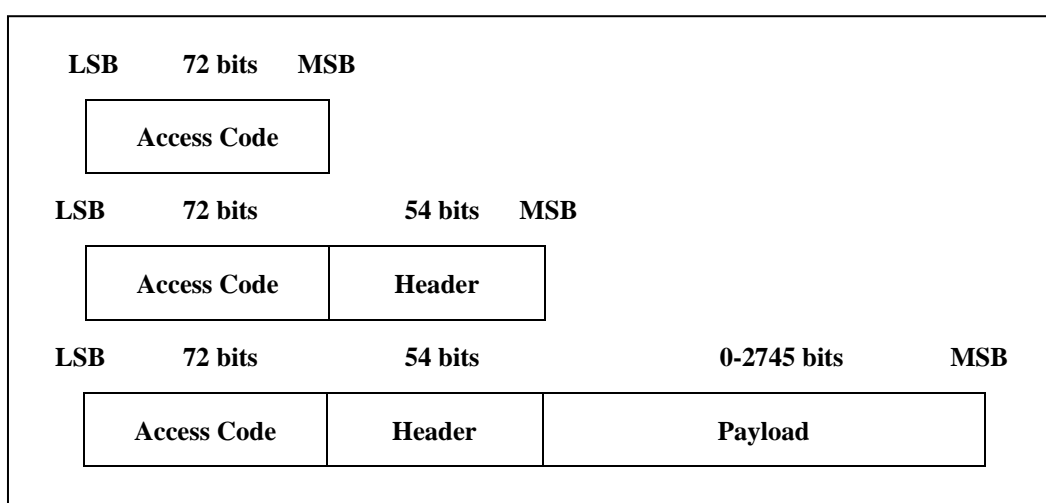


圖 1. 藍芽封包標準格式

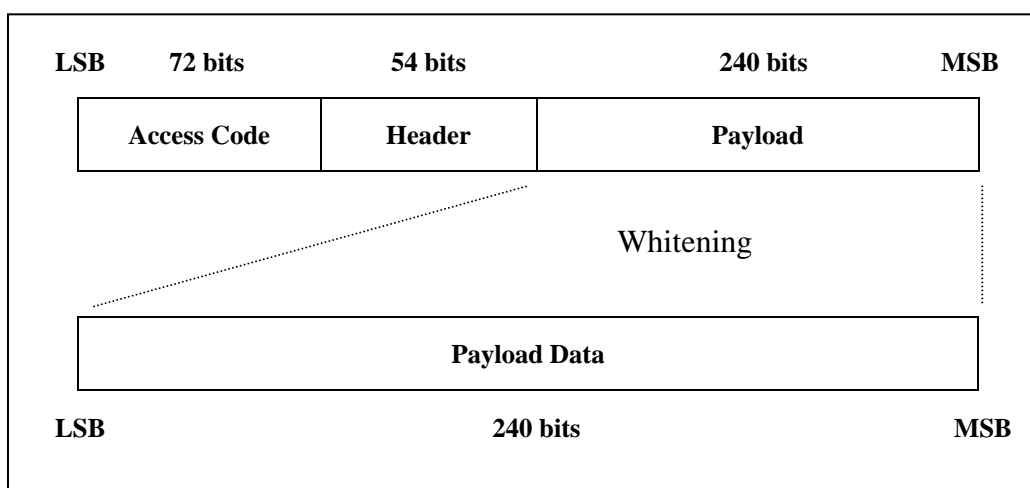


圖 2. HV3 Packet 的格式

### 三、藍芽無線語音資料庫之建立

本研究共使用三種語音資料庫，包括中華民國計算語言學學會授權使用之 TCC-300 麥克風語料庫 [9]、由 TCC-300 轉製之藍芽實際使用環境語料庫及藍芽模擬使用環境語料庫，分別說明如下。

#### 3.1 TCC-300 麥克風語音資料庫

TCC-300 為一麥克風朗讀語料庫，係由台灣大學、成功大學、交通大學三所學校各收集 100 位語者之語料集合而成，總數為 300 位，總音節數為 332,708，取樣頻率為 16 KHz，量化解析度為 16 bits。為符合藍芽規範，我們將取樣頻率由 16 KHz 降低到 8 KHz。

#### 3.2 藍芽實際使用環境語音資料庫

我們利用圖 3 之錄音系統錄製藍芽實際使用環境之語料，其中藍芽封包為不具通道編碼(Channel Coding)之 HV3 封包。本系統應用 CSR 藍芽開發模組 Casira[10]之 BlueChat 程式建立 Audio Type SCO 連線以傳送語音資料。傳送端電腦內之 TCC-300 語料經由 USB 傳輸線傳至藍芽裝置，完成語音編碼程序後，再透過無線通道將訊號傳送至接收端。接收端的藍芽完成解碼動作後，利用 USB 傳輸線將語料送至電腦中錄製藍芽語料庫。

為達同步錄音之目的，我們利用網路 TCP/IP 通訊協定控制錄放音的動作。當系統開始錄音時，傳送端電腦的放音同步程式會透過網路傳送一個同步訊息至接收端電腦，當接收端電腦的錄音同步程式偵測到”錄音”訊息時，則開始錄製語料。語料錄製完畢後，錄音同步程式會回傳”錄音完畢”訊息至傳送端電腦，並結束錄音程序。

我們將 TCC-300 語料庫轉錄成室內使用環境 0 公尺、4 公尺以及走廊使用環境 50 公尺三個藍芽操作環境語料庫。實際錄製環境請參考附錄之圖 A1~A3。

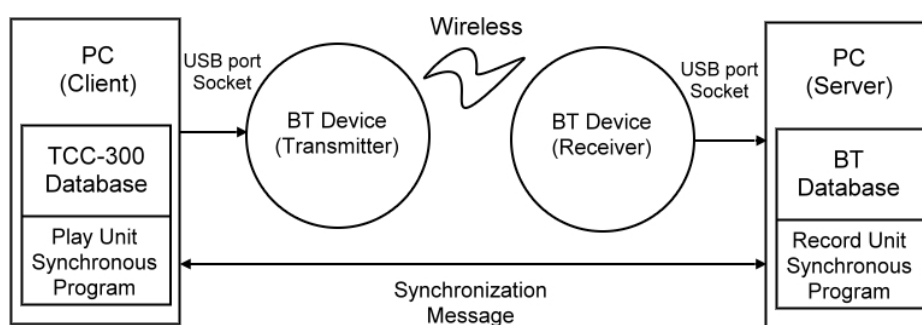


圖 3. 建立藍芽實際使用環境語音資料庫之錄音系統

#### 3.3 藍芽模擬環境之語音資料庫

我們建立圖 4 所示之藍芽環境模擬系統。為符合藍芽規範，此模擬系統採用內插器(Interpolator)將語音訊號之取樣頻率從 8 KHz 提高至 64 KHz，接著使用連續變化斜率增量調變(Continuous Variable Slope Deltamodulation, CVSD) [11]進行語音編碼。調變器部份，我們使用藍芽規範所定義的高斯頻率移鍵(Gaussian Frequency Shift Keying, GFSK)[12, 13]技術。在通道部份，我們以萊斯衰減(Rician Fading)[14]模擬藍芽通道環境。由於藍芽工作於短距離低速環境，因此假設通道衰減為緩慢衰減(Slow Fading)[15]，各個封包經過通道時均會受到不同程度靜態衰減(Static Fading)的影響，換言之，同一個封包內的所有位元均受到相同的衰減效應。解碼端透過解調變、語音解碼、降低取樣率(Down-sampling)、以及低通濾波

器還原語音後，即完成藍芽模擬系統語音資料庫的建立。

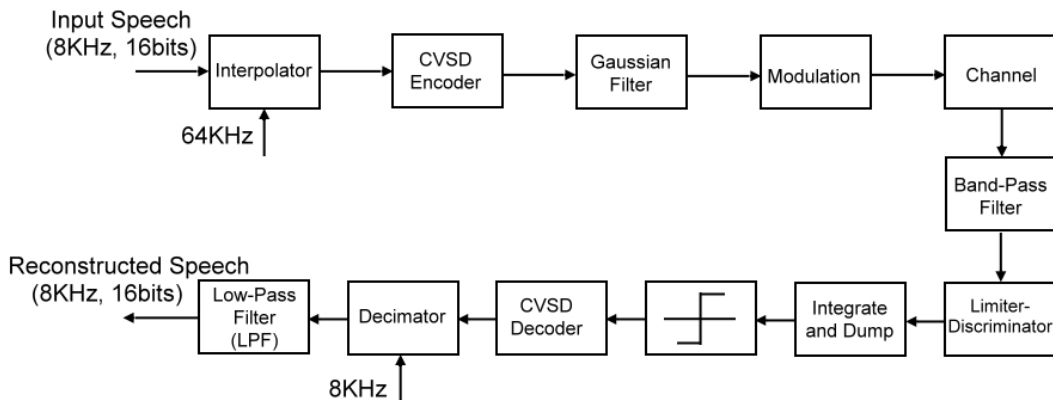


圖 4. 藍芽模擬系統

#### 四、實驗結果及討論

##### 4.1 基準實驗

本論文中，語音特徵參數採用 12 階梅爾頻率倒頻譜係數(Mel-scale Frequency Cepstrum Coefficients, MFCCs)、能量(Energy)及它們的一階和二階迴歸係數(Delta and Delta-delta Coefficients)，擷取特徵參數之相關變數設定如表 2 所示。

表 2. 擷取特徵參數之相關變數設定

音框長度 (ms)	20
音框位移長度 (ms)	10
Filter-Bank 階數	18
Cepstrum 階數	12
特徵向量維度	39
Window	Hamming

本論文採用已廣泛應用於語音相關研究的 HTK[16]軟體，進行由左至右(Left to Right)的隱藏式馬可夫模型(Hidden Markov Model, HMM)之訓練、辨識效能分析與測試。我們採用次音節模型(Sub-Syllable Model)作為語音聲學模型，其聲母模型的狀態數(state)為 2~3 個，韻母模型為 4 個狀態，辨識正確率之計算方式如下：

$$\text{音節辨識正確率} = \frac{N - D - S - I}{N} \times 100\%$$

其中 N 為所有辨識音節數，D 為刪除型錯誤，S 為替代型錯誤，I 為插入型錯誤。表 3 為模型訓練與測試相關變數之設定。TCC-300 共收集 300 位語者的語音，我們取其中 240 位語者之 21,844 句語料進行模型訓練，另外 30 位語者之 2,480 句語料進行測試。根據上述相關變數設定，我們得到之基準實驗的音節辨識率為 69.25%。

表 3. 模型訓練與測試相關變數之設定

聲學模型種類	Sub-Syllable Model
訓練模型人數	240 人
測試人數	30 人
所有狀態數	785
所有高斯混合數	9,056

#### 4.2 藍芽實際使用環境下語音辨識效能之評估與分析

本節中我們在藍芽實際使用環境下評估其辨識效能，實際使用環境包括室內環境(0 公尺、4 公尺)與走廊環境(50 公尺)三種，其訊號傳輸路徑均為可視線(Line of Sight)，其中 0 公尺距離的定義如附錄圖 A3 所示。模型訓練與測試的條件與基準實驗完全相同，我們同時考慮環境匹配與不匹配之情況，其測試結果如表 4 所示。

表 4. 藍芽實際使用環境下之辨識效能

Training \ Test	Baseline	BT = 0 m	BT = 4 m	BT = 50m
Baseline	<b>69.25%</b>	52.18%	50.55%	46.29%
BT = 0 m	45.59%	<b>55.82%</b>	54.07%	50.54%
BT = 4 m	44.46%	54.87%	<b>53.54%</b>	50.35%
BT = 50 m	22.93%	33.28%	38.71%	<b>42.74%</b>

- (一) 根據表 4 結果，我們發現在室內短距離環境中(0、4 公尺)，其辨識率的差異不大，而在走廊環境(50 公尺)則因長距離的衰減及人群穿梭阻擋效應，造成辨識率的大幅下降。
- (二) 由表 4 得知在匹配條件下，0、4、50 公尺的辨識率分別為 55.82%、53.54%、42.74%，4 公尺環境的模型對 0 公尺及 50 公尺的不匹配實驗，可發現其效能為 54.07%及 38.71%，分別趨近匹配環境下 55.82%、42.74%的辨識率，意味著短距離的模型(例如 4 公尺)可做為通用模型。
- (三) 觀察表 4 第 3 欄，以 4 公尺之模型測試 0、4、50 公尺語料之辨識效能分別為 54.07%、53.54%、38.71%，可知 0 公尺之 54.07%優於 4 公尺之 53.54%及 50 公尺之 38.71%，此現象是由於 0 公尺測試語料受到通道效應及距離之影響較小，所得語料較為乾淨，因此其辨識率優於 4 公尺及 50 公尺測試語料所得之結果。同理，若以 50 公尺之模型測試 0、4、50 公尺語料，其辨識效能趨勢亦與 4 公尺模型所得結果一致。
- (四) 使用訓練自一般麥克風語音的模型辨識藍芽實際使用環境的語音，辨識率從 69.25%下降至 0 公尺的 45.59%、4 公尺的 44.46%以及 50 公尺的 22.93%。因此，一般麥克風語音的辨識模型，並不能適用於藍芽無線環境下的語音辨識。

接著我們嘗試使用頻譜消減法(Spectral Subtraction, SS)[17]、倒頻譜平均值消去法(Cepstral Mean Subtraction, CMS)[18]及倒頻譜平均值正規法(Cepstral Mean Normalization, CMN)三種通道補償方法以及它們的混合模式來降低環境不匹配之效應，實驗結果如表 5 所示。由於 SS 係一種即時的背景雜

訊消除方法，而本論文不考慮背景雜訊的因素，因此除了單獨使用 SS 未見補償效果外，其餘方法之辨識率均有 5% 以上的提升，其中又以 Baseline(SS+CMN)所獲得之辨識率 53.03%、51.91%、32.56% 最佳，較未經補償方法(Baseline)之結果 45.59%、44.46%、22.93% 分別有 7.44%、7.45%、9.63% 的提升。另外，比較實際藍芽使用環境 4 公尺通用模型所得之辨識率可知，Baseline(SS+CMN)與 4 公尺模型所獲得結果分別有 0 公尺之 1.04% (54.07%-53.03%)、4 公尺之 1.63%(53.54%-51.91%)、50 公尺之 6.15%(38.71%-32.56%) 的差距，證實補償方法可效地操作在藍芽短距離使用環境中。

表 5. 藍芽實際使用環境下之強健辨識效能

Training \ Test	Baseline	Baseline (SS)	Baseline (CMS)	Baseline (CMN)	Baseline (SS+CMS)	Baseline (SS+CMN)
Baseline	69.25%	NA	69.55%	69.58%	NA	NA
BT = 0 m	<b>45.59%</b>	44.21%	52.53%	52.55%	52.87%	<b>53.03%</b>
BT = 4 m	<b>44.46%</b>	42.95%	51.39%	50.88%	51.18%	<b>51.91%</b>
BT = 50 m	<b>22.93%</b>	21.67%	30.28%	28.13%	30.21%	<b>32.56%</b>

#### 4.3 藍芽模擬環境下語音辨識效能之評估與分析

本實驗使用的語料庫為依據圖 4 之模擬架構利用軟體轉檔的 TCC-300 語料庫(所有語料不經過 SCO 通道)。模型訓練與測試的條件與前面的實驗相同，也是採用相同的 240 位語者之 21,844 句語料進行模型訓練，30 位語者之 2,480 句語料進行測試。本實驗亦使用二種通道補償方法(以 CMS、CMN 表示)降低環境不匹配之效應。調變方法為 GFSK，以 Rician 模擬通道特性，BER 為 0.5%。

我們首先測試藍芽 CVSD 編碼對語音辨識的影響，實驗結果如表 6 所示，藍芽 CVSD 編碼在無通道效應下並不會造成辨識率的明顯下降。我們進一步將模擬藍芽實際使用環境的語音辨識模型對 0、4 及 50 公尺藍芽實際使用環境錄製之測試語音進行辨識，結果如表 7 所示，比較第 1 及 2 欄，我們發現光是使用藍芽 CVSD 編碼來模擬藍芽實際使用環境是不夠的，模擬模型對於藍芽實際使用環境錄製之測試語音的辨識率並未優於原來的麥克風語音模型。如表 7 第 3 欄所示，加上解碼端 LPF 後得到的模擬模型可以讓辨識率顯著提升，表示該模擬方式更接近藍芽實際使用環境，對於麥克風語音的測試辨識率自然因 mismatch 加大而下降。若我們進一步考慮調變(GFSK)及通道效應(Rician)，如表 7 第 4 欄所示，測試 0、4、50 公尺藍芽實際使用環境語料得到之辨識率分別為 50.64%、47.94% 及 28.52%，較麥克風語音模型分別提升 5.05%(50.64%-45.59%)、3.48%(47.94%-44.46%)及 5.59% (28.52%-22.93%)。此外，比較藍芽實際使用環境 4 公尺通用模型所得之辨識率可知，模擬系統(CVSD+LPF+Rician+GFSK)與實際 4 公尺模型的辨識率差距分別為 0 公尺之 3.43% (54.07%-50.64%)、4 公尺之 5.6%(53.54%-47.94%)、50 公尺之 10.19%(38.71%-28.52%) 的差距，初步證實此模擬系統具有模擬藍芽實際使用環境的實用價值。如表 7 第 5、6 欄所示，加上通道補償方法(如 CMS 及 CMN)後，辨識率可以再略微提升，但並未明顯改善。

表 6. 僅考慮 CVSD 因素之語音辨識效能

Training \ Test	Baseline	藍芽 CVSD
Baseline	69.25%	67.9%
藍芽 CVSD	67.65%	68.03%

表 7. 藍芽模擬系統之辨識效能

Training \ Test	Baseline	CVSD	CVSD+LPF	CVSD+LPF+Rician+GFSK	CVSD+LPF+Rician+GFSK (CMS)	CVSD+LPF+Rician+GFSK (CMN)
Baseline	69.25%	67.9%	60.17%	49.34%	58.99%	59.23%
BT = 0 m	<b>45.59%</b>	45.97%	50.15%	<b>50.64%</b>	<b>50.94%</b>	<b>51.07%</b>
BT = 4 m	<b>44.46%</b>	44.35%	49.07%	<b>47.94%</b>	<b>48.4%</b>	<b>49.17%</b>
BT = 50 m	<b>22.93%</b>	21.14%	26.22%	<b>28.52%</b>	<b>29.94%</b>	<b>29.88%</b>

## 五、結論與未來展望

目前藍芽無線環境下之語音辨識尚處萌芽階段，本研究首先在藍芽實際使用環境下應用 TCC-300 麥克風語料庫及 HTK 軟體，進行一系列語者無關(Speaker Independent)的語音辨識實驗。接著，我們依據藍芽規範建構一套模擬系統，以探索藍芽環境下影響語音辨識效能之因素，提供這方面研究一個辨識效能之參考標準。此外，為彌補通道效應之影響，我們亦引用若干強健性技術以提升辨識率。根據實驗的結果，我們有以下結論：

- (一) 本研究錄製了三套藍芽實際使用環境語料庫，包含 0、4 公尺室內環境以及 50 公尺走廊環境之語料，這些語料庫可提供藍芽環境語音辨識相關研究使用。
- (二) 本研究所建立模擬系統(CVSD+LPF+Rician+GFSK)之辨識率，與實際匹配環境下的差距分別有 0 公尺之 5.18% (55.82% - 50.64%)、4 公尺之 5.6%(53.54% - 47.94%)、以及 50 公尺之 14.22% (42.74% - 28.52%)，我們推測此差異可能與路徑損失(Path Loss)、瑞雷衰退(Rayleigh Fading)等因素所致之封包遺失(Packet Loss)有關，這點尚待進一步實驗釐清。
- (三) 通道補償方法包括 CMS、CMN，可改善藍芽傳輸環境之辨識效能。
- (四) 本研究探討大語彙連續語音音節辨識，即使是在實際匹配環境下的辨識率 55.82%(0 公尺)、53.54%(4 公尺)、以及 42.74%(50 公尺)，似乎也無法令人滿意，但在實際自動化應用上需用的語音控制指令數量並不是太多，若考慮以一般慣用之關鍵詞(Keyword)為辨識對象，辨識率將可大幅提升，例如[19]所開發之小量字彙(9 個關鍵詞)藍芽語音辨識系統，辨識率可達 90% 以上，因此，我們認為藍芽語音辨識之應用是具有潛力的。

本研究未來可朝以下方向發展及改進：

- (一) 加入路徑損失(Path Loss)、瑞雷衰退(Rayleigh Fading)等因素，以建立更精確的模擬系統，俾可取代實際系統以免除需於實際使用環境下錄製大量藍芽訓練語料之困擾，有效節省人力與時間。



- (二) 開發強健性通道補償方法改善辨識效能。
- (三) 加入錯誤更正碼，改善通道效應，或結合來源編碼及通道編碼以得更好的辨識效能。
- (四) 由於藍芽適用於短距離室內通訊，因此可考慮進行車內環境中的語音辨識研究。

### 參考文獻

- [1] 張照煌，語音辨識技術應用之發展趨勢，中央研究院計算中心通訊，第十四卷，第七期，1998。  
Available: <http://www.ascc.net/nl/87/1407/04.txt>
- [2] <http://www.sztvoice.com/products/3.htm>(捷通語音技術開發公司)
- [3] [http://www1.vghtpe.gov.tw/asrOpen/ASROpen\\_index.htm](http://www1.vghtpe.gov.tw/asrOpen/ASROpen_index.htm)
- [4] <http://home-automation.org/>
- [5] C. Mokbel, *et al.*, "Towards Improving ASR Robustness for PSN and GSM Telephone Applications," *Speech Communication*, pp. 141-159, 1997.
- [6] J. M. Huerta and R. M. Stern, "Distortion-Class Modeling for Robust Speech Recognition under GSM RPE-LTP Coding," *Speech Communication*, pp. 213-225, 2001.
- [7] Z. A. Bawab, I. Locher, J. Xue, and A. Alwan, "Speech Recognition over Bluetooth Wireless Channels," in *Proc. Eurospeech*, pp. 1233-1236, 2003.
- [8] A. H. Nour-Eldin, H. Tolba, and D. O'Shaughnessy, "Automatic Recognition of Bluetooth Speech in 802.11 Interference and the Effectiveness of Insertion-Based Compensation Techniques," in *Proc. ICASSP*, pp. 1033-1036, 2004.
- [9] [http://rocling.iis.sinica.edu.tw/ROCLING/MAT/index\\_cf.htm](http://rocling.iis.sinica.edu.tw/ROCLING/MAT/index_cf.htm)
- [10] CSR, Casira Quick Start Guide, CSR Inc., 2001.
- [11] Bluetooth Special Interest Group. Available: <http://www.bluetooth.com>
- [12] A. Soltanian and R. E. Van Dyck, "Physical Layer Performance for Coexistence of Bluetooth and IEEE 802.11b," in *Proc. Virginia Tech. Symposium on Wireless Personal Communications*, June 2001.
- [13] R. Steele, *Mobile Radio Communications*, John Wiley & Sons Inc., 1996.
- [14] J. Proakis, *Digital Communication*, New York: McGraw-Hill, 2001.
- [15] A. Conti, D. Dardari, G. Pasolini, and O. Andrisano, "Bluetooth and IEEE802.11 Coexistence: Analytical Performance Evaluation in Fading Channels," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, pp. 259-269, 2003.
- [16] S. Young, *et al.*, The HTK Book, Version 3.0, July 2000.
- [17] S. F. Boll, "Suppression of Acoustic Noise in Speech Using Spectral Subtraction," *IEEE Trans. on Acoustics Speech and Signal Processing*, pp. 113-120, 1980.
- [18] X. Huang, A. Acero, and H. W. Hon, *Spoken Language Processing*, 全華書局。
- [19] 王新富，語音辨識技術於藍芽通訊環境之應用研究，碩士論文，國立台北科技大學電機工程系碩士班，台北，2004。

## 附錄

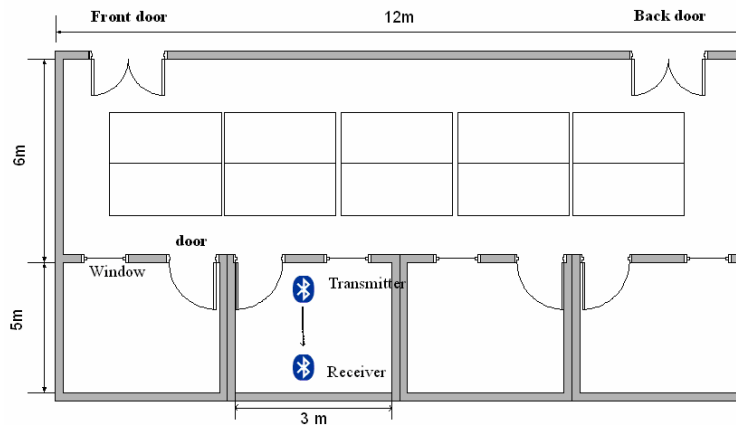


圖 A1. 綜合科館 416 實驗室空間配置圖(0~4 公尺)

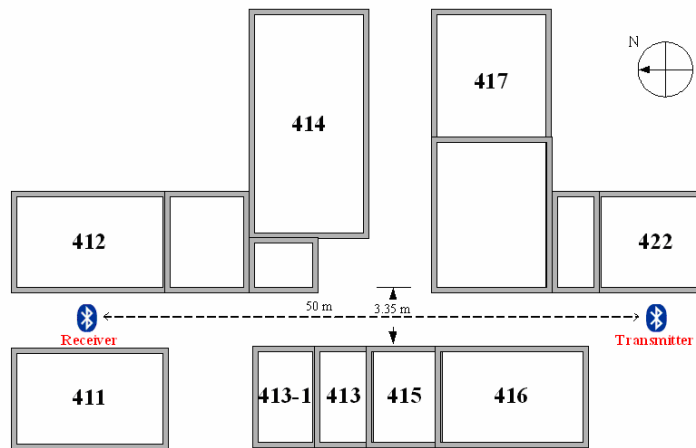


圖 A2. 綜合科館 4 樓空間配置圖(走廊環境 50 公尺)



圖 A3. 0 公尺距離的定義