

# 行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告

※※

※

※

※

汽車電話回音消除之研究

※

※

※

※※

計畫類別：個別型計畫    整合型計畫

計畫編號：NSC 89-2213-E009-135--

執行期間：88年8月1日至89年7月31日

計畫主持人：謝世福

共同主持人：

本成果報告包括以下應繳交之附件：

- 赴國外出差或研習心得報告一份
- 赴大陸地區出差或研習心得報告一份
- 出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份
- 國際合作研究計畫國外研究報告書一份

執行單位：國立交通大學電信工程學系

中華民國 89 年 9 月 29 日

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

## 汽車電話回音消除之研究

### Acoustical echo cancellation for hands-free mobile phones

計畫編號: NSC 89-2213-E-009-135

執行期限: 88年08月01日至89年07月31日

主持人: 謝世福 交通大學電信系副教授

#### 一、中文摘要

本計畫主要的目的，在研究如何提供一個有效且適用於車箱內的回音消除方法，以建立一個自然而舒服的免持聽筒通話的環境。本計畫完成的項目計有下列幾項：首先我們建立了 Maximal Length Correlation (MLC) 的脈衝響應量測技術，提供以適應性濾波器設計回音消除時，所需之真實數據。其次建立了回音消除系統模型，我們採用較能抵抗雙邊對話 (Double-Talk) 的 MLC 法，並推演出四種不同的疊代法及做性能分析。另外我們也探討共極點 (Common-pole) 在以 Infinite Impulse Response (IIR) 濾波器設計車箱內回音消除的適用性。最後我們結合 noise control 並提出 Parallel 結構以抑制引擎雜音。

**關鍵詞：**回音消除，雙邊對話，Maximal Length Correlation, Echo cancellation, Mobile phones, PN sequence, common-pole

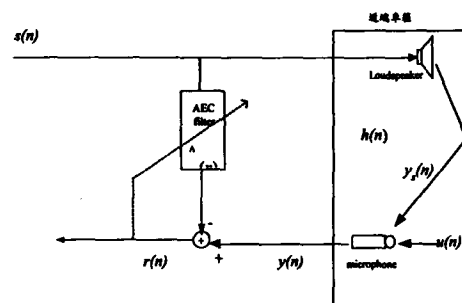
#### ABSTRACT

The main purpose of this report is to find a way to overcome the adaptive acoustic echo canceller (AEC) problems in a car for the comfortability of the talker. Firstly, we measure the Car Impulse Response (CIR) based on maximal-length correlation (MLC) method. Secondly, the MLC-AEC method, which is more

robust to estimate CIR comparing to conventional LMS method, is used and the performance are analyzed. Thirdly, by the concept of common acoustical pole, we compare the performances of AEC between IIR and FIR. Finally, we incorporating the noise control technology to provide an affective and high quality hands-free mobile phone system.

#### 二、緣由與目的

回音消除在視訊會議及免持聽筒通話的應用日益增加，免持聽筒的使用特別是在汽車上的行動通訊，不僅因為方便而已，更具備有安全性的考量。因此各國已先後立法要求駕駛人在駕駛中只能使用免持聽筒的行動電話。不過因為車箱內的回音會嚴重影響通話品質。因此要提升車內通話的品質，首先要做好車箱內的回音消除[1]。近代處理音場回音消除的技術大多利用適應性濾波器 (Adaptive Filter) 來完成。典型的回音消除如圖一所示：



圖一. 以適應性濾波器設計回音消除

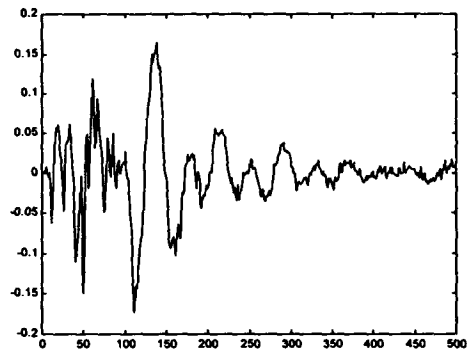
適應性濾波器首先模擬揚聲器與麥克風之間的車箱內脈衝響應 CIR (Car Impulse Response)  $h(n)$  其次是複製回音，最後拿複製回音與其正的回音相減。不過典型的回音消除有三個主要困難點：第(一) 車廂內脈衝響應非常長，即使在兩公尺的車廂內反射也會造成數十個 m sec 的殘響，而估計這些殘響通常需要數百個濾波器係數，而計算這些係數的運算量非常大。第(二) 車廂內脈衝響應對物品人員的移動十分敏感，適應性濾波器要迅速反應，故運算速度要很快。第(三) 一般的適應性濾波器(如 NLMS, RLS 等)用來做音場回音消除，有一個嚴重的問題，就是在"雙邊對話"(double-talk)時，濾波器會做錯誤的調整而失效[2]。近年來大量的文獻都集中在：如何有效提供一個雙邊對話偵測器，以避免濾波器做錯誤的調整[6, 7, 9]。但因為偵測器很難區別到底發生了雙邊對話，或是房間脈衝響應在變化。故仍有許多問題有待克服。

本計畫中，首先我們建立了 Maximal Length Correlation (MLC) 的脈衝響應量測技術提供以適應性濾波器設計回音消除時，所需之真實數據。其次建立了回音消除系統模型，我們採用較能抵抗雙邊對話 (Double-Talk) 的 MLC 演算法並分析應用在汽車上的可行性。另外我們也探討共極點 (Common-pole) 在以 Infinite Impulse Response (IIR) 濾波器設計車箱內回音消除的適用性。

### 三. 脈衝響應量測

Maximal length sequence (MLS) 是一種週期性的，兩準位(Two-level) 的虛擬亂碼序列 (Pseudo-random Sequences)，週期長度為  $L=2^N-1$ ，其中  $N$  為整數。這種信號可利用遞迴的移位暫存器 (Recursive Shift Register) 產生 0 和 1 的數位信號[3]。MLS 的重要特性為週期性的自相關函數 (Periodic autocorrelation) 會產生週期性的脈衝函數 (Periodic impulse response)。我們在測量車箱內脈衝響應時，首

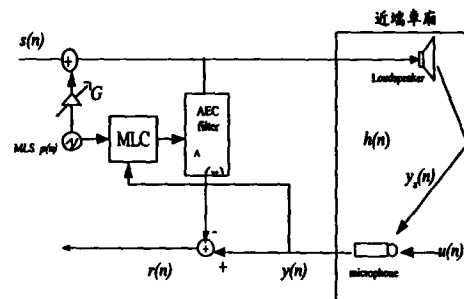
先假設車箱內響應為線性系統，我們將 MLS 信號轉成類比信號，再以喇叭播放並在適當位置以麥克風拾音錄製，最後我們將播放信號與錄製信號做圓形互相關即可得出車箱內的脈衝響應[4]。我們實際針對日產 Toyota 1600cc 轎車加以測量，取樣頻率為 8k 其車箱內脈衝響應如圖二所示。我們發現其殘響約為 60ms。



圖二. 車箱內之脈衝響應

### 四. MLC 法在回音消除的應用

由於傳統適應性濾波器，會因為雙邊對話而做錯誤的調整而失效。J.F. Doherty [7] 等人提出：由遠端語音  $s(n)$  加入一個低準位 MLS  $p(n)$  其幅度由  $G$  控制並在麥克風輸出端得出訊號，輸出訊號再與  $p(n)$  做互相關運算以估計 CIR。由於語音與 MLS 不相關，故估計 CIR 時較能抵抗雙邊對話。典型的 MLC 法應用在回音消除如圖五所示



圖五. MLC 法在回音消除的應用

其中 MLC 的演算法可以利用 sequential 或 batch 方式來實現，依據這兩種方式可以推演

出四種不同的疊代演算法[11]分別為IMLC-B, IMLC-MB, IMLC-S, RMLC, 而不同的演算法計算量的比較如表一所示。其中  $L_w$  和  $L_p$  分別表示濾波器係數個數及 MLS 的週期長度。

Item	Computing quality(*: mult, +: add)
IMLC-B	*: $(L_w + 1)L_w L_p + nL_w L_w$ +: $nL_w L_w$
IMLC-MB	*: $3L_w L_p + nL_w L_w$ +: $nL_w L_w$
IMLC-S	*: $3L_w L_p + nL_w L_w$ +: $nL_w L_w$
RMLC	*: $nL_w(L_w + L_p)$ +: $nL_w L_w$

表一. 不同的疊代演算法計算量的比較

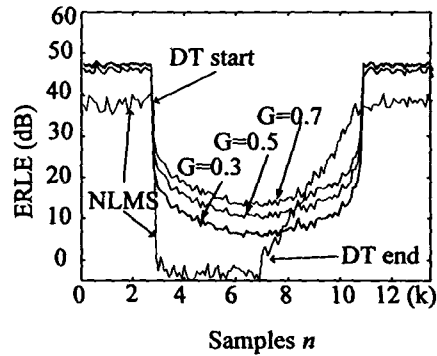
從表一中我們發現 RMLC 與 IMLC 之間主要差別在於所需要的運算速度 IMLC 可以比較慢。以下我們將分析 MLC 法應用在汽車回音消除所能達到的效能，由[8]可以計算出第  $m$  次 CIR 的估計可以表為

$$\hat{h}_m(n) = h(n) + I_{u,m}(n) + I_{s,m}(n) * h(n) \quad \text{其中}$$

$$I_{s,m}(n) = \frac{1}{G(L_p + 1)} p(n) \odot x_m(n) \quad \text{可以視為}$$

估計誤差，而其誤差與 MLS 的幅度  $G$  和週期長度  $L_p$  成反比。因為在汽車上引擎及行車道路所造成的背景雜音通常比較大，所以 MLS 加入遠端語音的準位  $G$  也可以增加而不影響聽覺。在圖六中我們以 Echo Return Loss Enhancement (ERLE) [1] 為參數，模擬 MLC 法在汽車上回音消除的效能，我們將長度  $L_p$  固定為 4095，觀察發生雙邊對話時， $G$  變化的情形。當  $G=0.3$  時(訊號雜音比 SNR=10dB) ，

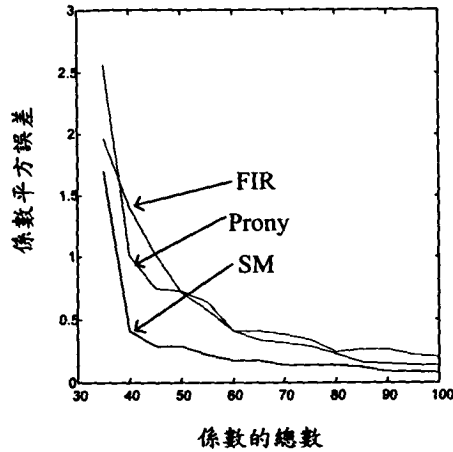
ERLE=10 dB。當  $G=0.7$  時(訊號雜音比 SNR=3dB) ERLE=15 dB。



圖六. MLC 法在回音消除的效能

### 五. 共極點在回音消除的適用性

由於車廂內脈衝響應非常長，估計這些殘響通常需要數百個濾波器係數，本節主要的目的在討論 IIR 濾波器應用在車廂內的 AEC 時是否較 FIR 濾波器有利。因為 IIR 濾波器的極點可以對應車廂內的駐波效應[10]當駐波效應顯著時我們希望利用少數的極點(即 IIR 濾波器的係數)代表脈衝響應的大部分功率。在 IIR 濾波器方面我們利用 SM 法 prony 法和分別求得所需係數[5]，我們比較在車廂內的 AEC 情形，首先我們將 IIR 濾波器分子式的皆數(MA Orders)固定在 30，因這部份佔據脈衝響應較多的能量，故分配給 MA 之後逐漸增加 IIR 濾波器分母式的皆數(AR Orders)我們分別比較 IIR 與 FIR 濾波器在總 Tap 數不變下，濾波器係數平方誤差變化的情形我們發現 IIR 濾波器中的 SM 法較 FIR 準確逼近車廂內的脈衝響應，主要原因是因為 SM 是一種非線性疊代法，它所求得的係數含有系統的非線性成份故較準確，不過這個有利的必要條件必需 IIR 濾波器是穩定的。



### 六. 結合 noise control 抑制引擎雜音

為了結合 noise control 與 AEC 常見的結構有內 Embedded, Cascaded 而我們改進之第三種架構為 Parallel [12], 從 ERLE 的定量分析比較證明 Parallel 較佳, 電腦模擬比較如下表。

Filter structure	ERLE
Parallel	42.766
Cascade	23.526
Embedded	8.7698

表二. ERLE 的定量分析比較

### 七. 計畫結果與自評

在本計畫中我們研究適用於車箱內的回音消除方法。我們除了建立 MLC 的脈衝響應量測技術, 也建立了 MLC 不同的疊代演算法的回音消除系統模型, 並做性能分析。另外我們也探討共極點在 IIR 濾波器設計車箱內回音消除的適用性, 最後我們結合 noise control 並提出 Parallel 結構以抑制引擎雜音。

### REFERENCE

[1] E. Hansler, "The hands-free telephone problem; an annotated bibliography," *Signal Processing*, vol.27, pp. 259-271, 1992.

[2] S. Minami, et al., "A double-talk detection method for an echo canceller," in *ICC'85 Rec.*, pp. 1492-1497, 1985.

[3] D.D. Rife and J. Vanderkooy, "Transfer function measurement with maximum

length sequences," *J. Audio Eng. Soc.*, vol. 37, no.6, pp. 419-443, June 1989.

[4] J. Borish and J. B. Angell, "An efficient algorithm for measuring the impulse response using pseudorandom noise," *J. Audio Eng. Soc.*, vol.31, pp. 478-488, July Aug, 1983.

[5] 鄭張權, "IIR 濾波器在回場回音消除的應用" 國立交通大學碩士論文, 1995

[6] P. Heitkamper, "An adaptation control for acoustic echo cancellers," *IEEE signal processing letters* vol., no.6, pp. 170-172, June 1997.

[7] J. F. Doherty, et al., "A robust echo canceler for acoustic environments," *IEEE Trans on circuit and systems-II.*, vol.44. no.5, pp389-396, May 1997.

[8] J.C. Jenq and S.F. Hsieh, "A double-talk resistant echo cancellation based on iterative maximal-length correlation," *IEEE Symposium on circuits and systems*, vol.5, pp237-241, May 2000.

[9] Hua Ya, and Bo-Xiu Wu, "A new double-talk detection algorithm based on the orthogonality theorem," *IEEE Trans. Communications*, vol. 39, no. 11, pp. 1542-1545, Nov 1991.

[10] Y. Haneda, et al., "Common acoustical pole and zero modeling of room transfer functions," *IEEE Trans. on speech and audio processing*, vol.2, no 2, pp.320-328, April 1994.

[11] 蔡守東, "A recursive echo cancellation based on the maximal-length sequence correlation" 國立交通大學碩士論文, 1999

[12] 吳欣儒, "Echo cancellation and noise control in hand-free communication" 國立交通大學碩士論文, 2000