

國音單音韻符的波型分析

國中教師組物理科第二名

高雄市立德國中

作者：林明良、李堂福
指導老師：徐德耀

一、研究動機

十年前曾在師大物理系刊上讀過一篇文章⁽¹⁾，談到用傅氏級數(Fourier Series) 去分析英語五個母音的波形。從那時起我就興起分析國音波形的念頭，但客觀條件與環境關係一直不能如願。直到去年底語音合成成了熱門課題，後來學校也擁有了性能不錯的示波器，及暗房沖洗設備，於是開始蒐集資料，並利用寒假對七個國音單音韻符：ㄩ ㄛ ㄜ ㄝ ㄞ ㄟ ㄠ 進行研究分析。

語音分析有二種主要方法⁽²⁾：一為參數解碼法(Parameter Encoding)，一為波形解碼法(Waveform Encoding)。目前市面上中國語音合成的產品是利用前者。此種方法是研究每一語音，經由口腔、鼻腔的共鳴，所產生的不同的幅峯頻率(Formate)。後種方法則是利用傅氏級數對不同語音的不同波形進行分析，而表成一通串的正弦及餘弦函數。

$$f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} [a_n \cos n\omega \cdot t + b_n \sin n\omega \cdot t]$$

$$\text{其中 } a_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cos n\omega \cdot t \, dt$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \sin n\omega \cdot t \, dt$$

其中頻率最低者稱為基音，餘為泛音，泛音的頻率為基音的整數倍。為了精確合成語音，需要數量眾多的振盪器(Oscillator) 來產生基音和泛音，倘若發聲頻率改變，則產生泛音的

振盪器之頻率，需隨基音之主振盪器頻率調整，而且每一振盪器，均需維持一固是振幅，這需要相當繁複的電子電路。

去年七月份的無線電世界 (Wireless world) 上有一篇文章，提到利用另一種函數——Walsh 函數來分析及合成聲音⁽⁸⁾，這種方法合成聲音只需要一主振盪器，因此決定試用 Walsh 函數來分析國音單音韻符。

二、研究目的

以 Walsh 函數分析 Y ㄛ ㄨ ㄛ ㄨ ㄛ ㄨ ㄛ ㄨ 等七個單聲韻符，並對不同個人的發音波形，及四聲波形，進行比對，找出特性，以提供國音分析及合成的理論基礎。

三、使用器材

1. 錄放音座——TEAC A105
2. 示波器——Application. B.S.610.
3. 幻燈機——ELMO A33.
4. 放大機——S & K 69 EL
5. 單眼像機——Pentax, M.E. Super.
6. 科學計算機——CASIO, FX3600.
7. 描圖器
8. 暗房設備
9. 軟片，像紙——柯達、富士。
10. 顯影、定影液——富士。

四、研究內容及過程

1 Walsh 函數⁽²⁾

Walsh 函數是 J.L. Walsh 於 1923 年提出的一組正交方波形的函數。除第 0 階 $Wal(0, \theta)$ 以外其餘均包含 Sa1 函數，其通式可寫成：

$$Sa1[(2P+1)2^k, \theta]$$

其中 $P = 0, 1, 2, 3, \dots, K = 0, 1, 2, 3, \dots$

$\theta = t / T$, T 為 Walsh 函數之週期。

Cal 函數可由 Sal 函數接下列規則求出：

(1) 當 P 為偶數時，Sal 函數向左位移

$T' / 2^{k+2}$ 即為對應之 Cal 函數。

(2) 當 P 為奇數時，Sal 函數向右位移

$T / 2^{k+2}$ 即為對應之 Cal 函數。

而 Sal 函數的定義如下：

$$\begin{aligned} \text{Sal}(1, \theta) &= +1 & 0 \leq \theta < 0.5 \\ &= -1 & 0.5 \leq \theta < 1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Sal}[(2p+1)2^k+1, \theta] \\ &= +\text{Cal}[(2p+1)2^k, \theta] & 0 \leq \theta < 0.5 \\ &= -\text{Cal}[(2p+1)2^k, \theta] & 0.5 \leq \theta < 1 \end{aligned}$$

Wal(0, θ) 的定義如下：

$$\text{Wal}(0, \theta) = +1 \quad 0 \leq \theta < 1$$

Fig1 (從略) 為前 8 個 Walsh 函數的波形。Walsh 函數值 +1 及 -1 若以邏輯 1 及 0 代表，則前 32 個 Walsh 函數如表一 (從略) 所示。

對於週期為 T 的週期函數 $f(t)$ 而言， $f(t)$ 可以用 Walsh 函數構成的級數來代表

$$f(t) = A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} [A_n \text{Sal}(n, \theta) + B_n \text{Cal}(n, \theta)]$$

$$A_0 = 1/T \int_0^T f(t) \text{wal}(0, \theta) dt$$

$$A_n = 1/T \int_0^T f(t) \text{Sal}(n, \theta) dt.$$

$$B_n = 1/T \int_0^T f(t) \text{Cal}(n, \theta) dt$$

然而對於人類聲音的波形，我們無法用一已知的數學函數來表示，因此係數 A_n , B_n 必須用數值分析法來計算：

以便比對分析。然後將底片製成幻燈片，利用幻燈機，投映於牆上，又以方格紙黏貼於牆上，以便畫出波形。爲了選取數據方便起見，調整幻燈機位置，使一個週期正好爲 32 個方格。以零電平（Lever）爲起點，選取一適當週期畫下。因 Walsh 函數分析對象爲板橋研習會之標準發音，故在方格紙上只畫下 S Y、S ɿ、S ɿ、S ɿ、S 一、S X、S ㄩ 七個波形。

※波形之 Walsh 函數分析※

將畫下之波形週期區分爲 32 等分，記下此波形在 32 點的位移，並將其標準化，令其中絕對值最大者爲 1，其餘各點按比例換算。如表二。

利用表二（從略）及表一（從略）算出 Walsh 級數的系數：

$$A_n = \sum_{m=1}^{\infty} S_{al}(n, \theta) m f(t)_m.$$

$$B_n = \sum_{m=1}^{31} C_{al}(n, \theta) m f(t)_m.$$

表三（從略）即爲所得系數，再根據表三（從略）及表一，利

用 $f(t)_m = A_0 + \sum_{n=1}^{32} [A_n S_{al}(n, \theta)_m + B_n C_{al}(n,$

$\theta)_m]$ 即可算出由 walsh 函數合成之波形數值。表四（從略）即一與 Y 分別由 16 個及 8 個 walsh 函數合成的數值，

圖四（從略）爲其圖形，其不平滑的外觀可用低通濾波器（Low-Pass Filter）除去。

※波形之四聲分析※

由沖洗出之相片或投映於牆上之幻燈片量取，每一波形之週期，並算出頻率列成表五（從略）。由表知第二聲的頻率較第一聲的爲低，第三聲更低，而第四聲的頻率則較第一聲高。

由示波器上觀察，得知，第一及第二聲發聲時，頻率均由低而轉高，而第四聲則由高轉低。根據以上討論知：四聲的變換乃因頻率的變換，而不是波形或振幅的變換，至於第三聲振幅較小，是因為人在較高或較低頻率發音時，聲量自然的減小之故。

※ 波形特性之分析※

利用幻燈機畫下波形，量取一週期佔有的長度，及各波峯波谷所在之位置。為比較方便，將週期變更爲100，其餘各點亦隨其變更換算。

表六（從略）為四種不同發音的 Y ㄚ ㄛ ㄜ 波峯波谷之數值表，圖五（從略）則是由表六畫出的波峯、波谷、位置圖，其中 C_n 表波峯，t_n 表波谷，n 則依位移的大小順序排定。由圖五（從略）知同一波形大那份都擁有相同的波峯及波谷數。而且其較大的波谷、波峯、位置也大約相同。

將由 walsh 函數合成之“ Y ”的波進行特性分析，其波峯、波谷位置如下：

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3.1	9.4	21.9	28.1	46.9	59.4	65.6	78.1	90.6	96.9

與圖五（從略）比較，發現特性幾乎相同，應可被辨認為“ Y ”。

五、結 論

傅氏級數並非分析及合成規則與不規則波的唯一工具，由上面研究知道，Walsh 函數亦可勝任此項工作。

Walsh 函數值非 1 即 -1，若以邏輯 1 及 0 代表，由一主振盪器作為時基經由邏輯電路即可產生 Walsh 函數，因此以其合成一個波，比使用傅氏級數方便，尤其在四聲的變化上，只要

調整主振器頻率即可。

Walsh 級數的系數計算是項冗長繁雜的工作，我們沒有電腦（Computer）協助，因此對一、×、ㄩ三音計算到Wal15，ㄚㄛㄜㄝ四音只計算到wal 7，若能計算到wal 31，則合成的波當更為精確。

單韻的波形分析是一個電腦合成國音的研究開端，我們希望能完成所有注音符號的波形分析，並對拼音的波進行研究。最後講向教務處同仁致謝，沒有他們的協助，walsh 級數的系數計算就無法完成。

六、參考資料

- 1 John P. Lin 波形之傅氏級數分析法。師範大學物理系刊 第五期 pp 21-26，民國60.6
- 2 K. Siemens and R. Kitai, digital Walsh / Fourier analysis of periodic waveforms. IEEE Trns, vol. IM-18, pp 316--321, December 1969.
- 3 Alan.A. Thomas, Sound synthesis using Walsh function. Wireless world, July 1981, pp 60-64.
4. Royce Beckeet and James Hurt, Numerical calculations and Algorithms. 1967.
5. 潘忝良·電腦語音的認識與應用 0與1，科技，第六期 pp 104 ~ 110. 民國70年10月。

評語：對實驗結果之分析，方法正確，富研究精神。