

輪胎胎紋形狀參數對噪音之影響研究

The Influence of Shape Parameters of Tire Tread on Tire Noise

吳邦彥*，邱進東**

Bang-Yenn Wu*，Jinn-Tong Chiu**

*德霖技術學院機械工程系助理教授

Assistant Professor

Department of Mechanical Engineering

De-Lin Institute of Technology

**國立臺灣海洋大學系統工程暨造船學系副教授

Associate Professor

The Department of System Engineering and Naval Architecture

National Taiwan Ocean University

摘要

輪胎胎紋噪音為汽車噪音的主要噪音源之一，因應歐盟 ECER117 之噪音規範，設計低噪音的輪胎。本文利用圖像技術進行胎紋的圖像辨識，建立胎紋噪音的模擬分析程序，進行胎紋噪音的預測，並與輪胎實體實測值比對，確認模擬程序之可行性。最後，針對胎紋形狀參數於胎紋噪音特性進行分析，探討胎紋節距參數、胎紋形狀、胎溝深度對胎紋噪音之影響。結果得知，改變總節距的數量對降低噪音並無太大影響，增加節距的種類有降低噪音的效果，並發現胎中橫溝設計為淺溝，會是低噪音輪胎胎紋的設計方向。

關鍵字：噪音、輪胎、圖像辨識、粒子群演算法

Abstract

One of the main sources of noise for the automotive is due to tread pattern of tires. For designing low-noise trade pattern of tires to meet the regulation of ECE-R117, this study firstly used image recognition technique to identify the trade pattern, and then proposed the noise simulation procedure of trade pattern for predicting the tread noise, and compared the tire-noise measured data with the simulation result to confirm the usability of this proposed simulation procedure. Finally, the parameter analyses of the noise characteristics for the shape of the tread pattern, such as pitch of the tread pattern, tread shape, and the depth of transversal groove of tire, are investigated. The results show that the change of the total number of pitches has a little effect of reducing the

noise; an effect for increasing the type of pitches; and designing the shallow transverse grooves in the middle of tire can be a guidance for a low-noise trade pattern of tires.

Keyword : noise , tire , image recognition , Particle Swarm Optimization.

壹、前言

隨著生活品質的提升與工業科技日益精進，交通工具被大量生產並使用，其中車輛行駛噪音是交通噪音的主要來源之一，輪胎是車輛與地面接觸唯一的物件，當車速越快、負荷越大所產生的輪胎噪音就越高，噪音輻射和振動特性也影響了車內駕駛人與乘客的舒適性和平穩性，因人們對降低噪音的要求越來越高，各個國家都對噪音訂定各式限制的規範，例如歐洲聯盟所訂定的 ECE-R117 規範中[1] [2]，明確規定未達標準之輪胎不可銷售至歐洲，因此了解輪胎噪音產生的機制進而研發低噪音的輪胎是目前國內輪胎廠積極發展的方向。

1970 年代，文獻[3-6]陸續提出關於輪胎花紋設計、輪胎與路面之振動噪音生產機制的相關理論，文獻[7]提出輪胎花紋與輪胎振動的相關模式，利用頻率分析法處理諧振頻譜，並建立「力學變調法」(Modified tone mechanism)數值方法。文獻[4、5]提出輪胎花紋顆粒比例與諧振頻率亦有密切關係。文獻[6]提出輪胎花紋產生噪音的機制，利用實驗證明 Varterasian[3]及 Verih[4、5]的理論，建立輪胎花紋噪音預估模式來與實驗值比對，並探討各項參數對輪胎產生噪音的影響度。

1986 年，Nelson [7]指出輪胎尺寸較大且胎紋為橫溝紋型式所產生的噪音，乃是由於胎面顆粒與路面碰撞及粗糙的路面引起胎體振動。1990 年，Sakata 等人[8]指出第一個輪胎空氣腔的自然頻率介於 230Hz 和 300Hz 之間，對輪胎振動及路面噪音產生重要影響，並證明輪胎空氣腔自然頻率與輪胎圓周長有關。Thompson[9]建立輪胎空氣腔自然頻率的預估模式，經由實際量測驗證其精確性。1995 年，Doan 等人[10]指出輪胎滑行噪音頻率約在 1KHz 左右，其來源主要由輪胎花紋振動所產生。Rimondi [11]說明輪胎噪音產生的各種機制，並指出降低胎體與地面接觸中心位置的壓力或增加胎肩的彎曲勁度，都可達成降低輪胎噪音的目的。2000 年，張蘭紅等人[12] 提出輪胎胎紋模擬系統(TPN-ODS)整體流程，由輪胎胎紋噪音模擬分析、胎紋缺陷診斷、胎紋噪音評判與胎紋低噪音最佳化四個方面組成。2001 年，陳理君等人[13]提出設計低噪音輪胎胎紋之準則，包含胎紋塊比例關係與胎紋溝長度、角度、走向及封閉程度，並提出胎紋節距的比例、排列方式與溝槽之錯位能有效分散能量，防止噪音能量產生共鳴，避免產生特徵峰頻，以達到白噪音的形式。

本文利用圖像辨識技術進行胎塊及胎溝之辨識，基於單體輪胎之胎紋噪音量測值，利用族群式進化演算法，如粒子群演算法，來進行聲壓參數組配最佳化，使模擬值接近量測值。並改變胎紋形狀參數進行模擬分析，探討節距種類與數量及胎溝面積對胎紋噪音之影響。

貳、輪胎胎紋噪音產生機制

輪胎胎紋噪音產生的機制主要來自「泵氣效應」(air pumping effect)和「振動效應」(vibration

effect)，振動效應是指胎面和路面接觸時，胎面顆粒與胎體撞擊路面，在激振力的作用下產生振動現象。這振動會以彈性波的形式在相鄰的結構中傳播，使周遭空氣振動而產生輻射噪音，其噪音頻帶落在低頻區。胎溝與地面接觸時類似脈衝式地不斷噴氣與吸氣，產生較大的泵氣噪音 [6]；有角度的斜溝部份，由於接地時間比橫溝長，氣流的壓縮與釋放也比較慢，產生的噪音較小；而縱溝部份，溝槽內空氣受壓隨時間基本上不變，只在氣體噴出時因受阻力而產生渦流，但能量過小可以忽略。輪胎花紋塊接觸地面時，花紋溝內之空氣被壓縮，空氣壓力增大形成正聲壓，隨著花紋溝離開地面，空氣壓力變小形成負聲壓，兩者合成形成類似上大下小的 N 形波形。聲壓波形的形狀和聲壓大小取決於花紋溝開始接觸地面到離開地面，如圖 1 所示。對於輪胎噪音模擬方式，可分成一維型噪音的節距胎紋給定方式，包含單位脈衝如圖 2、鐘型脈衝如圖 3、N 型脈衝如圖 4。

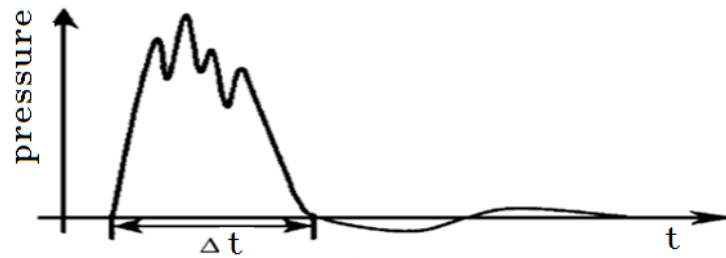


圖 1. 泵氣效應聲壓示意圖

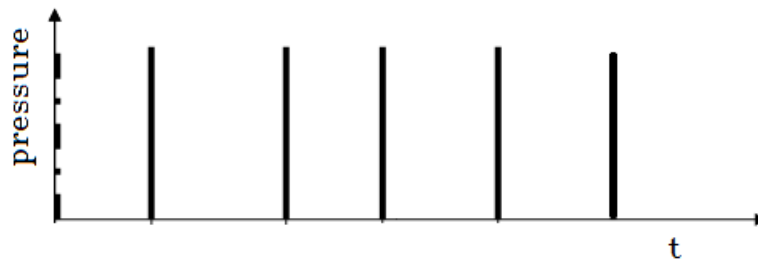


圖 2 單位脈衝聲壓示意圖

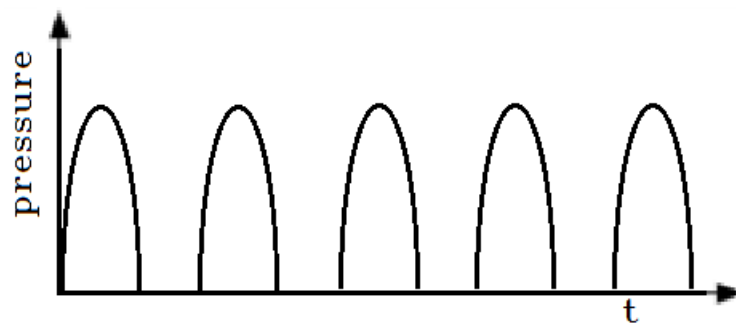


圖 3 鐘型脈衝聲壓示意圖

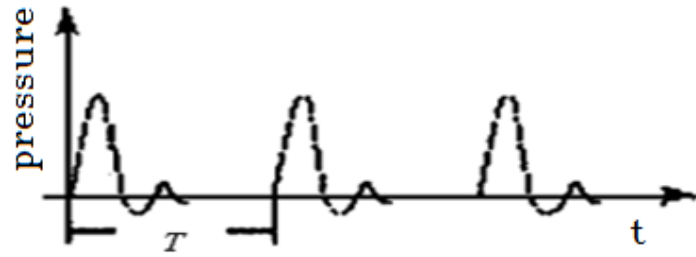


圖 4.N 型脈衝聲壓示意圖

本文以輪胎胎紋圖像技術[14]模擬輪胎產生聲壓，考慮輪胎單一節距胎紋如圖 5 所示，將各種節距的胎紋轉換為二元圖像。胎溝位置以 1 表示，胎塊位置以 0 表示。此時胎紋圖象可由 0 與 1 所構成的矩陣表示，如式(1)。



圖 5. 輪胎胎紋示意圖

$$P_i = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & \cdots & p_{1n_i} \\ \vdots & \cdots & \cdots & \vdots \\ \vdots & \cdots & \cdots & \vdots \\ p_{m1} & p_{m2} & \cdots & p_{mn_i} \end{bmatrix}_{m \times n_i}^i \quad (1)$$

其中 m 代表輪胎胎紋的接地寬度， n_i 代表輪胎第 i 接地塊胎紋節距的長度，矩陣 P_i 中的任一元素 p_{ij} 代表胎紋節距中的一個像素，如式(2)

$$p_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{groove (black)} \\ 0 & \text{tread (white)} \end{cases} \quad (2)$$

在直溝部分，因直溝槽所受壓力基本上不會變動，通常忽略不計。所以將矩陣 P_i 中代表縱溝的 1 變為 0 處理。接著，依照胎紋節距排列的順序，將所對應編號之胎紋節距幾何形狀的二進制矩陣，組合於圖像素矩陣中，即可得到全胎胎紋二元圖像與全胎胎紋的二進制矩陣如下式，胎紋影像圖如圖 6 所示。

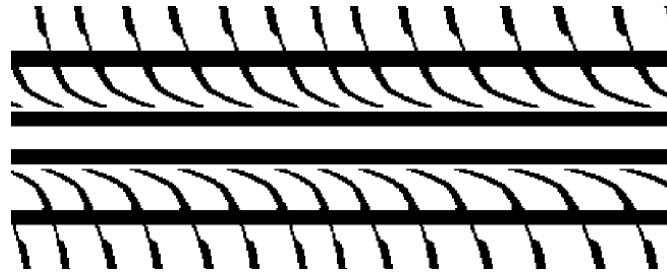


圖 6 全胎胎紋二元圖像

$$P_{tire} = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & \cdots & p_{1n_1} \\ \vdots & \cdots & \cdots & \vdots \\ \vdots & \cdots & \cdots & \vdots \\ p_{m1} & p_{m2} & \cdots & p_{mn_1} \end{bmatrix}^1 \cup \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & \cdots & p_{1n_2} \\ \vdots & \cdots & \cdots & \vdots \\ \vdots & \cdots & \cdots & \vdots \\ p_{m1} & p_{m2} & \cdots & p_{mn_2} \end{bmatrix}^2 \cup \cdots \cup \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & \cdots & p_{1n_N} \\ \vdots & \cdots & \cdots & \vdots \\ \vdots & \cdots & \cdots & \vdots \\ p_{m1} & p_{m2} & \cdots & p_{mn_N} \end{bmatrix}^N \quad (3)$$

其中 m 為接地寬度的像素個數， n_i 為第 i 個接地寬度的像素個數。

胎體接地時，沿車體縱向代表溝紋的位置，給入聲壓權重參數 X_1 ，而沿胎寬方向給入聲壓權重參數 X_2 ，參數 X_1 與 X_2 ，分別包含有數個實數型元素以描述聲壓及權重的形狀，由此建構出圖像辨識技術之二維時域聲場，如圖 7 所示。

$$X_1 = [x_1 \quad x_2 \quad \cdots \quad x_{n_i}] \quad (4)$$

$$X_2 = [x'_1 \quad x'_2 \quad \cdots \quad x'_m] \quad (5)$$

第 i 個接地塊之胎紋圖象矩陣加上權重函數 X_1 與 X_2 可表示為

$$\bar{P}_i = [x'_1 \quad x'_2 \quad \dots \quad x'_m] \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & \dots & p_{1n_i} \\ \vdots & \dots & \dots & \vdots \\ \vdots & \dots & \dots & \vdots \\ p_{m1} & p_{m2} & \dots & p_{mn_i} \end{bmatrix}^i \begin{bmatrix} x_1 & & & 0 \\ & x_2 & & \\ & & \ddots & \\ 0 & & & x_{n_i} \end{bmatrix} \quad (6)$$

全輪胎胎紋圖象矩陣加上權重函數 X_1 與 X_2 可表示為

$$[\bar{P}_{tire}]_{1 \times (n_i \times N)} = \bar{P}_1 \cup \bar{P}_2 \cup \dots \cup \bar{P}_N = \bar{p}_1 \quad \bar{p}_2 \quad \dots \quad \bar{p}_{n_i \times N} \quad (7)$$

其中 N 為胎紋接地塊數目， $[\bar{P}_{tire}]_{1 \times (n_i \times N)}$ 為 1 列(row) 及 $n_i \times N$ 行(column) 之一維矩陣。

若車速為 V ，每個像素的大小為 d ，此時單一胎紋接地塊所形成的脈衝時域訊號 $f(t)$ 可表示為

$$f(t) = \bar{p}_i \quad , \quad i = \frac{Vt}{d} \quad (8)$$

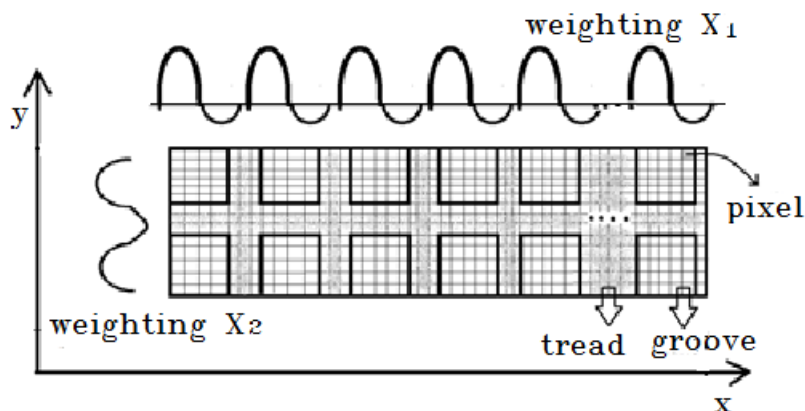


圖 7 胎胎紋噪音模擬之時域聲壓參數給定示意圖

將式(8)展成傅立葉級數，可得輪胎噪音頻譜，即

$$f(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos \frac{2n\pi t}{T} + b_n \sin \frac{2n\pi t}{T}) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos (\frac{2n\pi t}{T} - \varphi_n) \quad (9)$$

$$T = L_0/v \quad (10)$$

$$a_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cos \frac{2n\pi t}{T} dt = \frac{2}{T} \int_{t_1}^{t_1+T} f(t) \cos \frac{2n\pi t}{T} dt \quad (11)$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \sin \frac{2n\pi t}{T} dt = \frac{2}{T} \int_{t_1}^{t_1+T} f(t) \sin \frac{2n\pi t}{T} dt \quad (12)$$

$$a_0 = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) dt = \frac{2}{T} \int_{t_1}^{t_1+T} f(t) dt \quad (13)$$

$$A_n = (a_n^2 + b_n^2)^{1/2} \quad (14)$$

$$\varphi_n = \arctan(b_n/a_n) \quad (15)$$

n 次諧波的頻率為

$$f_n = \frac{\omega_n}{2\pi} = \frac{n}{T} = \frac{nv}{L_0} \quad (16)$$

其中 T 為滾動周期， L_0 為輪胎胎面周長。

輪胎的胎紋聲壓序列可轉換成一串連續脈衝訊號 $f(t)$ ，由以上幾式，採用傅立葉分析法 (Fourier Analysis) 透過頻譜分析得到噪音窄頻圖 (Narrow Band Spectrum)，再經由聲壓公式轉換成三分之一倍頻圖 (1/3 Octave Band Spectrum)，由三分之一倍頻中可得到峰值及其對應頻率。

叁、聲壓權重參數最適化

本文以市售胎 A10 作為模擬分析的樣本，比較實測值與模擬值，以粒子群演算法求出聲壓權重參數 X_1 與 X_2 來確認噪音模擬的準確度，A10 的規格為 195/60/R14，類型為 C1 類客車輪胎，胎紋外型如圖 8 所示。



圖 8 市售胎 A10

3.1、粒子群演算法

粒子群演算法 (Particle Swarm Optimization) 簡稱為 PSO，由 Eberhart 與 Kennedy 於 1995 年所提出 [15]，是一種具有群體智慧概念並歸屬於進化搜尋領域的方法。PSO 的概念來自於鳥類群體捕食行為，PSO 每一個解 (稱為粒子，Particle) 就像是一隻在空中飛行的鳥，粒子於空間中移動均有一個目標函數映射的適應值 (Fitness)。每個粒子獨立搜尋，當個體遇到函數最佳解時，其最佳搜

尋資訊將被紀錄在個體記憶中，亦即每個粒子都擁有本身最佳搜尋經驗。以此個體最佳經驗資訊修正下一次的搜尋速度與位置，稱為粒子的認知模式(Cognition-only-Model)。每次搜尋都會對這些粒子最佳搜尋結果與群體中最佳搜尋的結果作比較來修正群體經驗最佳函數值，因此族群中的每個粒子皆以此群體經驗最佳資訊修正下一次粒子的搜尋速度與位置，稱為粒子群的社會模式(Social-only Model)。經由迭代更新後，即可獲得粒子群中最佳適應值，也就是問題的最佳解 [16]。

PSO 的初始世代粒子群以隨機方式產生，於每一世代中，粒子藉由兩種搜尋記憶以改變搜尋方向：第一種為粒子個體記憶最佳位置，稱為 S_i^{pbest} ，另一種為群體記憶最佳位置，稱為 S^{gbest} ，其搜尋示意圖如圖 9 所示。

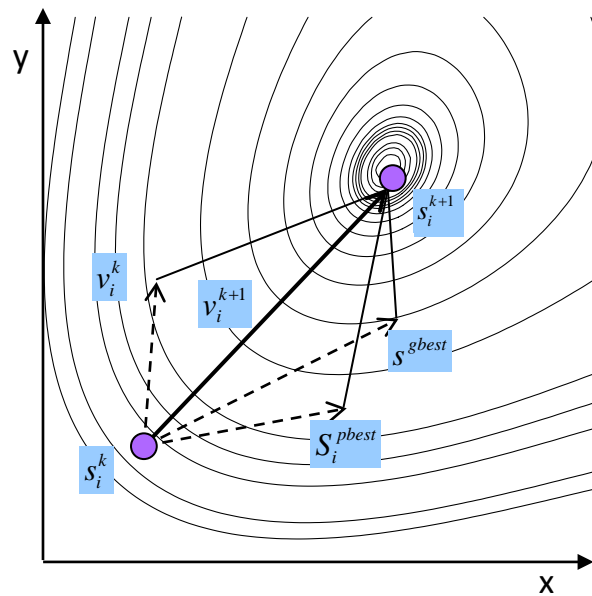


圖 9 粒子速度與位置更新示意圖

PSO 的演算流程之說明如下：

1. 在初始粒子族群中，在 D 維空間裡每一個粒子的位置與速度都以隨機的方式產生。
2. 針對所設定的目標函數，評估每一個粒子的適應函數值。
3. 適應函數值與粒子本身記憶的最佳函數值比較，而粒子依照個體目前最佳位置以修正下一次搜尋的粒子速度。
4. 個體最佳函數值與群體最佳函數值作比較，當個體最佳值優於群體經驗最佳值，則群體最佳函數值就被個體最佳值所取代，同時每個粒子依照目前群體最佳位置以修正下一次搜尋的粒子速度。
5. 每一粒子的速度與位置進行更新，依照式(17)、式(18)。

$$v_{ij}^{k+1} = wv_{ij}^k + c_1 \times rand() \times (s_{ij}^{pbest} - s_{ij}^k) + c_2 \times rand() \times (s^{gbest} - s_{ij}^k) \quad . \quad (17)$$

$$s_{ij}^{k+1} = s_{ij}^k + v_{ij}^{k+1}, \quad j = 1, \dots, n \quad (18)$$

式中 v_i^k 與 v_i^{k+1} 為粒子 i 分別於第 k 與 $k+1$ 世代的速度， w 為慣性權重(Inertia weight)， c_1 與 c_2 為學習因子(Acceleration constants)， s_i^{pbest} 為粒子 i 經驗最佳位置， s^{gbest} 為群體記憶最佳位置， s_i^k 與 s_i^{k+1} 為粒子 i 於第 k 與 $k+1$ 第世代位置， $rand()$ 為介於 0~1 之間的隨機亂數， $rand()$ 的值在每維度下都不相同。

若滿足設定的收斂條件即停止，否則跳回步驟 2，終止條件通常為達到全域最佳解或超過所設定的最大世代數。在式(17)中，等號右邊第二項為粒子認知模式(Cognition-only Model)，而第三項為粒子族群社會模式(Social-only Model)；每一粒子的速度與移動位置都必須限制在所設定的最大速度 v_{max} 與最大位置 s_{max} 之範圍內，若粒子速度與位置超過該限制範圍時，則其速度與位置以 v_{max} 與 s_{max} 表示。

3.2、噪音模擬之聲壓參數最佳化

由測試結果知噪音峰值約發生在 800Hz 到 2000Hz 之間，因此將三分之一倍頻之頻率分成三個頻帶區，分別為低頻(800Hz 以下)、中高频(800-2000Hz)與高频(2000Hz 以上)。設定頻帶 800Hz 到 2000Hz 為胎紋噪音的主要判定頻帶，用來比較模擬值與實測值之噪音聲壓級(SPL, Sound Pressure Level)的計算公式，本文採用如式(19)所示。

$$SPL[dB] = 10 \log\left(\frac{P^2}{P_0^2}\right) \quad (19)$$

其中 P ：質點聲壓， P_0 ：基準聲壓($10^{-5}N/m^2$)。

依照圖像素胎紋噪音模擬程序，將市售胎 A10 之 2D 幾何圖形轉換成二元像素的圖檔，如圖 5 所示，而市售胎 A10 為三種節距所組成，各種節距的長度與數量由廠商所提供，輸入各圖檔與節距排列後，將時域聲壓參數 X_1 與 X_2 匯入胎紋 2 維圖像素矩陣中，可得到 1 維聲壓時域譜，接著依照 ECE-R117 的規範，模擬車子於行駛速度 80km/hr 下所產生的噪音值，最適化模型為使頻帶 800Hz 到 2000Hz 之測試與模擬三分之一倍頻振幅誤差最小化：

$$\text{Minimize: } \sum_{i=1}^{N_a} |A_i^t - A_i^s| \quad (20)$$

其中 A_i^t 為第 i 個頻帶下測試的三分之一倍頻振幅， A_i^s 為第 i 個頻帶下模擬的三分之一倍頻振幅，

N_a 為 800Hz 到 2000Hz 頻帶數，設計變數為時域聲壓權重參數 X_1 與 X_2 設計變數維度以時域聲

壓權重參數 X_1 與 X_2 分別為 $D_{x1}=34$ 與 $D_{x2}=32$ 個，所以維度 D 為其總和 66。

其他設定參數如下：

迭代總世代數(M)：500

粒子族群規模(N)：200

學習因子： $C_1=1.5$ ， $C_2=2$

慣性權重(w)：0.6

最適化後，模擬與實測所得的噪音三分之一倍頻圖如圖 10 所示，聲壓權重參數 X_1 與 X_2 分別如圖 11 圖 12 所示。

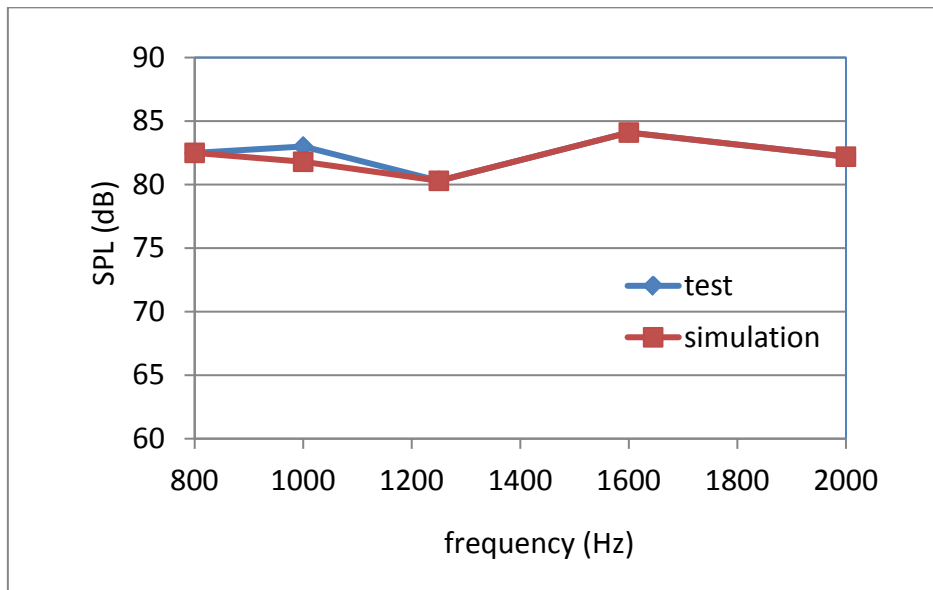


圖 10. A10 輪胎模擬與實測所得的噪音三分之一倍頻圖

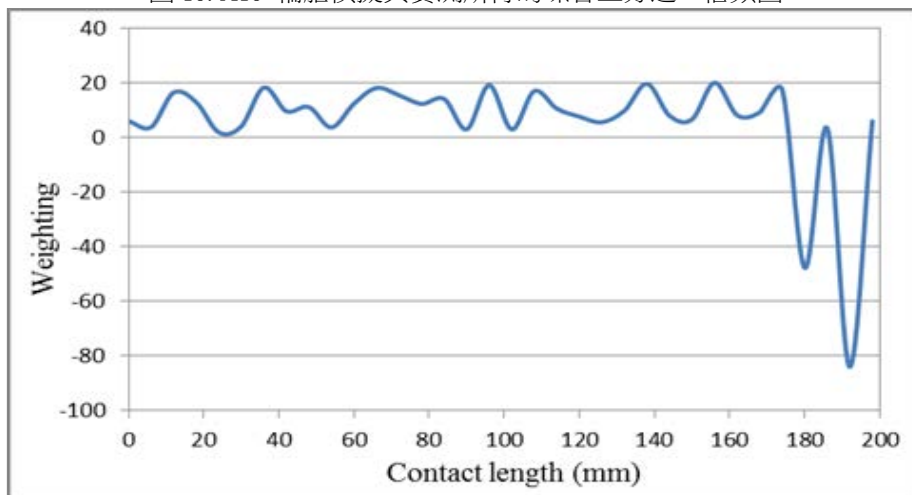
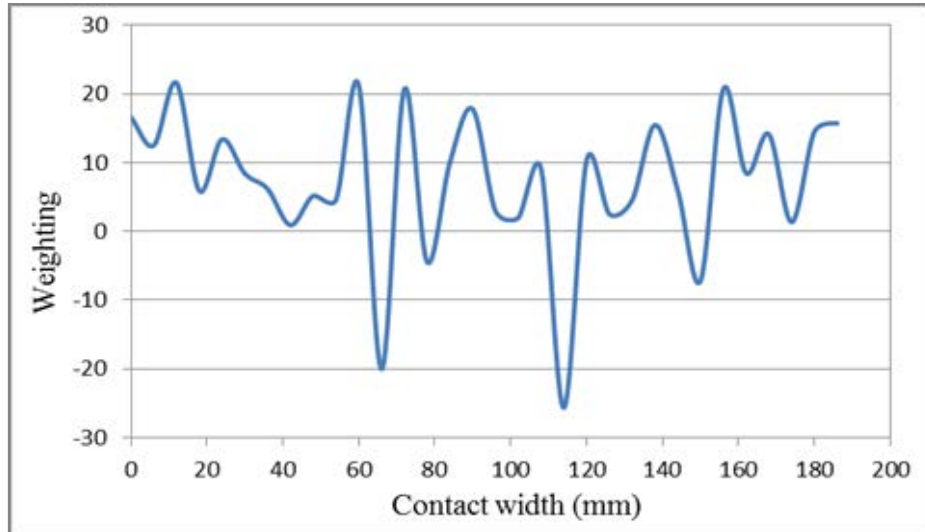


圖 11 X_1 聲壓權重參數值

圖 12 X_2 聲壓權重參數值

肆、胎紋形狀參數對噪音之影響分析

本節將分別探討不同節距總數、種類及胎紋形狀對輪胎噪音的影響。

4.1、不同節距總數量於胎紋噪音影響分析

本節以 B20 輪胎胎紋作為測試的樣本，進行不同節距長度之設計，及其噪音模擬結果之分析，胎紋形狀如圖 13 所示，首先設定總長固定為 1985mm，分別由 61、67、71 三種不同節距總數量來組成整條輪胎，另外給定單一節距的長度區間，最大的節距長度不超過最小的 1.4 倍，經由亂數排列每種節距總數各產生 1000 組排列，再將 1000 組排列分別進行模擬分析。



圖 13 輪胎 B20 胎紋圖

將各組所得結果的 Total dB 找出最大值、最小值及各組平均值，如表 1 所示。

表 1 胎紋 B20 不同節距總數量之模擬數值比較表

胎塊數	Total dB 最小值	Total dB 最大值	Total dB 平均值
61(塊)	90.4	90.9	90.7
67(塊)	90.4	91.0	90.8

71(塊)	90.6	91.1	90.8
-------	------	------	------

由表 1 可觀察出各種節距總數之噪音模擬結果，可看出對於輪胎 B20，增加節距總數量並沒有降低噪音的效果，反而會使 Total dB 些微上升。

4.2、不同節距種類數，同總節距數於胎紋噪音影響分析

本節一樣以 B20 輪胎胎紋作為測試的樣本，設定在輪胎總長為 1985mm，且節距總數量為 67 塊的條件下，把輪胎 B20 分別以 5 種和 10 種不同節距組成，並隨機排列 1000 組，再將 1000 組排列分別進行模擬分析。將各組所得結果的 Total dB 找出最大值、最小值及各組平均值，如表 2 所示。

表 2 胎紋 B20 不同節距總類之模擬數值比較表

節距數	Total dB 最小值	Total dB 最大值	Total dB 平均值
5 種節距	91.2	91.5	91.3
10 種節距	91.0	91.2	91.1

由表 2 可看出 10 種節距所組成輪胎的方式，不管在最小值、最大值、平均值都是比 5 種節距低的，因此增加節距的種類，對於降低噪音是有幫助的。

4.3、胎紋形狀對胎紋噪音之影響分析

本節使用輪胎胎紋 A30 為測試樣本，改變橫溝紋的形狀，並由模擬結果來觀察其有何變化。首先針對胎肩部分的橫溝紋做變化，將原本胎肩之橫溝紋縮減致模擬時的最小單位 1 像素(Pixel)，如圖 14 所示，另一種為直接去除胎肩之橫溝紋，如圖 15 所示。



圖 14 輪胎 A30 胎紋圖 (胎肩橫溝寬為 1Pixel)

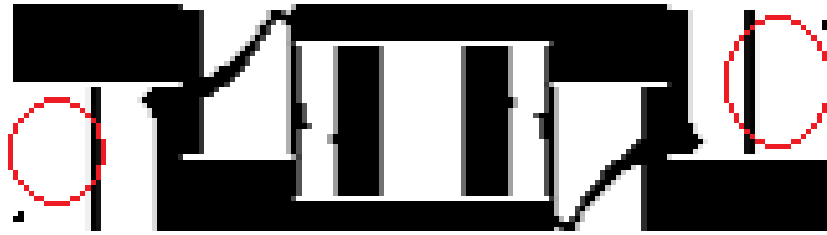


圖 15 輪胎 A30 胎紋圖（胎肩橫溝刪除）

將模擬出來的結果與原始之模擬結果做比較，如表 3 所示。

由表 3 可觀察出，雖然將胎肩橫溝紋寬縮小到 1Pixel 之寬度，但整體的 Total dB 與原始之 A30 比較只相差 0.3dB，而將橫溝紋刪除之 Total dB 與原始之 A30 相比降低了 2.4dB，也說明了橫溝紋因泵氣效應所帶來的噪音，就算橫溝紋的寬度很小，還是會因為有音源的存在而產生噪音。

表 3 輪胎 A30 胎肩橫溝紋模擬之比較表

頻率 (Hz)	原始 A30	橫溝寬為 1Pixel	橫溝全刪除
200	78.2	77.9	77.2
250	78.5	78.6	76.8
315	75.8	75.5	76.2
400	77.1	77.5	76.5
500	78.7	77.7	77.8
630	86.0	85.5	80.5
800	85.1	84.9	78.0
1000	82.0	82.6	79.0
1250	81.0	83.2	82.5
1600	81.3	81.7	81.8
2000	80.9	79.6	79.4
2500	81.4	80.5	78.6
3150	80.8	78.9	78.2

4000	78.3	76.5	76.0
5000	80.1	78.5	78.2
6300	76.5	76.2	73.1
total dB	93.1	92.8	90.7

接著，對胎中之溝紋做改變，看是否與胎肩有一樣效應，將胎中之小橫溝紋刪除，如圖 16 所示。將模擬出來的結果與原始之模擬結果做比較，如表 4 所示。

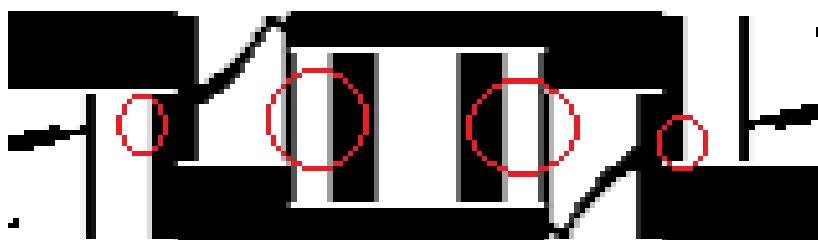


圖 16 輪胎 A30 胎紋圖（胎中橫溝刪除）

表 4 輪胎 A30 胎中橫溝紋模擬之比較表

頻率 (Hz)	原始 A30	胎中橫溝刪除
200	78.2	77.8
250	78.5	78.4
315	75.8	75.8
400	77.1	76.8
500	78.7	78.4
630	86.0	85.8
800	85.1	84.9
1000	82.0	82.0
1250	81.0	81.7
1600	81.3	81.5
2000	80.9	81.3
2500	81.4	81.2
3150	80.8	80.5
4000	78.3	78.2
5000	80.1	79.9
6300	76.5	76.4
total dB	93.1	93.0

由表 4 可看出，雖然將胎中之橫溝紋刪除，對整體的 Total dB 差別並不大，差異僅為 0.1dB，但也再次證明就算橫溝紋所佔的比例很少，還是會因為有音源的存在而產生噪音，不論是在胎肩或是胎中部分。

4.4 新胎紋之設計方向

胎紋的設計若僅以噪音為重點，從以上節的模擬結果可知橫溝紋越少噪音越低，但輪胎還需考慮抓地力與排水性等性能，不可能完全去除，經觀察市售低噪音胎 DL，發現其胎中胎紋並不如胎肩一樣的深溝，而是淺溝，如圖 17 所示，所以對輪胎 DL 進行模擬，把胎中橫溝分別定義為深溝與淺溝的模式個別分析，其模擬分析之胎紋形狀如圖 18 與圖 19 所示，所得的模擬值如表 5 所示。

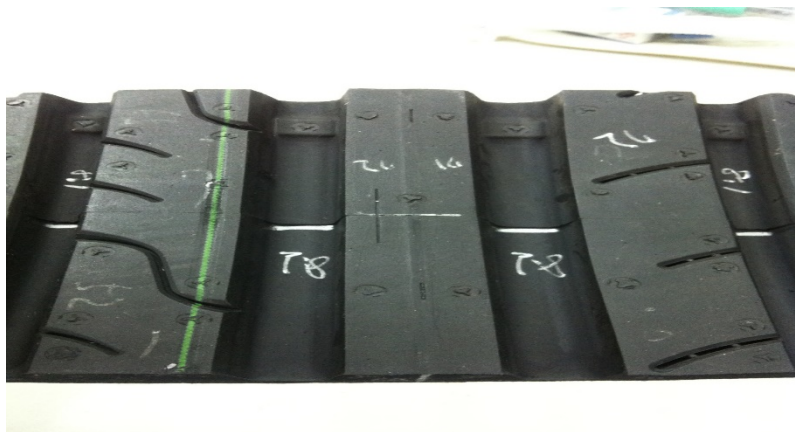


圖 17 市售胎 DL 之實體圖



圖 18 市售胎 DL 之胎紋形狀

(胎中橫溝為深溝設計。本文中深溝為列入分析之橫溝，淺溝為不列入分析之橫溝)

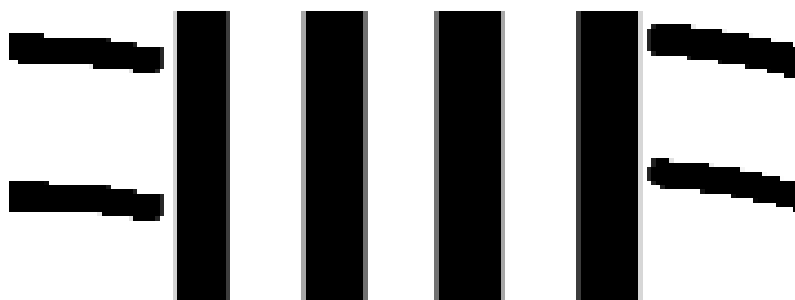


圖 19 市售胎 DL 之胎紋形狀

(胎中橫溝為淺溝設計，本文中深溝為列入分析之橫溝，淺溝為不列入分析之橫溝)

表 5 輪胎 DL 模擬之數值比較

頻率 (Hz)	胎中橫溝為深溝 (dB)	胎中橫溝為淺溝(dB)
200	80.6	78.4
250	81.2	79.1
315	82.9	83.4
400	80.6	79.1
500	80.2	79.1
630	91.1	90.5
800	78.8	77.6
1000	84.5	83.2
1250	87.7	86.9
1600	83.0	83.3
2000	74.4	80.9
2500	82.9	81.3
3150	80.1	78.5
4000	77.5	75.4
5000	78.2	77.4
6300	72.3	70.3
Total dB	95.5	94.9

由表 5 可看出，將胎中橫溝當成淺溝設計而不列入模擬，Total dB 是有下降的，與上一節之結果相符合，所以將胎中橫溝設計為淺溝，應該可視為低噪音輪胎的設計方向。

伍、結論

本文使用圖像辨識技術建立輪胎胎紋噪音模擬程序，並以市售胎之單體實測值與模擬值比對，確認模擬程序之可行性；依此噪音模擬程序，採用兩種族群式進化演算法，分別對時域聲壓參數與聲壓權重參數進行最佳化計算，模擬結果與量測值相當吻合。

改變總節距的數量對降低噪音並無太大影響。於輪胎胎紋參數的設計中，增加節距的種類有降低噪音的效果。胎中橫溝的寬淺溝，若可視為細溝紋的噪音特性，可以提供低噪音輪胎胎紋的設計新思維方向。

參考文獻

1. 黃文彥(2008)，"歐盟輪胎噪音法規上路，台灣因應之道"，車輛研究測試中心。
2. 莊邵權(2009)，"輪胎噪音檢測介紹"，車輛研究測試中心。
3. Varterasian, J.H. (1969)，"Quieting Noise Mathematically---Its Application to Snow Tire"，SAE Paper No. 690520。
4. Vorih, J.W. (1975)，"Modulating Noise Produced by Rotating Bodies"，U.S. Patent Document 3，926，238 (1975)，The Gates Rubber Company。
5. Vorih, J.W. (1976)，"Modulating Noise Produced by Rotating Bodies"，U.S. Patent Document 3，989，780 (1976)，The Gates Rubber Company。
6. Willet, P.R. (1975)，"Tire Tread Pattern Sound Generation"，Tire Science and Technology，TSTCA，Vol. 3，No. 4。
7. Nelson, P.M. (1986)，"Rubber Tire Noise Generation"，Wear，Vol. 113，pp. 171-174。
8. Sakata, T.，Morimura, H.，and Ide, H.(1990)，"Effects of Tire Cavity Resonance on Vehicle Road Noise"，Tire Science and Technology，TSTCA，Vol. 18，No. 2，April-June，pp. 68-79。
9. Thompson, J.K. (1990)，"Plane Wave Resonance in the Air Cavity as a Vehicle Interior Noise Source"，Tire Science and Technology，TSTCA，Vol. 23，No. 1，January-March，pp. 2-10。
10. Doan, V.Q.，Brackin, D.，Nishihata, S. and Sauerzapf, J.(1995)，"Investigation into the Influence of Tire construction on Coast-by Noise"，Tire Science and Technology，TSTCA，Vol. 23，No. 2，April-June，pp. 96-115。
11. Rimondi, G. (1995)，"Tire Contribution in the Context of Automobile Noise Reduction"，Tire Science and Technology，TSTCA，Vol. 23，No. 3，July-September，pp. 189-208。
12. 張蘭紅(2007)，"輪胎/道路噪聲仿真分析及評論"，武漢理工大學自動化學系研究所

碩士論文。

13. 陳理君，張艷堃等(2001)，「輪胎花紋噪音的仿真仿聲」，武漢理工大學，輪胎工業，19 (9)：263~268。
14. Chiu, Jinn-Tong, Tu, Fu-Yuan(2015), "Application of a pattern recognition technique to the prediction of tire noise", Journal of Sound and Vibration, Vol. 350, pp.30-40。
15. Kennedy, J., Eberhart, R. C.(1995), "Particle Swarm Optimization", Proc. IEEE International Conf. Neural Networks, Vol. 4, pp. 1942-1948。
16. Kennedy, J., Eberhart, R. C.(2001), "Swarm Intelligence", Morgan Kaufmann Press。