以線性迴歸及灰關聯分析車削力-車削噪音與進給深度之相關性

鄧錦坤 [1]　鄧永宜 [2]

Chin-Kun Teng [1]　機械與電腦輔助工程學系講師
Yeong-Yi Teng [2]　材料與製造工程研究所在職專班研究生

逢甲大學 機械與電腦輔助工程學系
407 台中市西屯區文華路 100 號
Tel：（04）24517250 ext.3519　Fax：（04）24516545
E-mail：ckteng@fcu.edu.tw

摘要

本文將規劃在某些特定條件下，以不同進給深度車削工件，並量取車削力及車削所產生噪音之數據，以觀察車削工件之進給深度與車削力及車削所產生噪音二者間的相關性。採用線性迴歸分析及灰關聯分析，所得結果顯示，車削進行中所產生的噪音（SPL(A_{i*j})）較能看出車削進給深度之變化。

關鍵字：進給深度，車削力，車削噪音，線性迴歸分析，灰關聯分析

Abstract

In this paper, we schedule the work-pieces to be cut on the lathe into several specified cutting conditions with different cutting depth. The cutting force and noise during the lathing process are then measured to investigate the relationship between the cutting depth of the work-pieces and the cutting force, as well as, the relationship between the cutting depth of the work-pieces and the cutting noise. The results from both linear regression analysis and grey relational analysis indicate that the noise created during the lathing process (SPL(A_{i*j})) is a good gauge to observe the changes of the cutting depth of the work-pieces.

Keyword: cutting depth, cutting force, cutting noise, linear regression analysis, grey relational analysis

壹、前言

灰色理論[1]及迴歸理論[2]可用於預測與關聯性的分析[1-7]，且各有其優劣[3]。

車削工件所產生之噪音及切削力，可用均方根值、標準差值及碎形維度值[8-10]等表示。這些量化指標可用來預測及驗證車削加工條件之特性，其結果相當良好[4-7]。

雖然，車削所產生之噪音及切削力之均方根值、標準差值及碎形維度值均與車削加工條件有關，但其呈現之相關程度卻有所不同[4-7]。因此，本研究將嘗試以灰關聯理論及線性迴歸理論來作車削力、車削噪音與進給深度之關聯性的分析，尋求何者能表現出最佳關聯性，以做為量測分析之主要依據，進而減少量測儀器之使用。

貳、相關性分析

一、線性迴歸理論與灰關聯理論

依據線性迴歸理論[2]，設線性迴歸模型最佳之方程式為：

$$y = B_0 + B_1 x \tag{1}$$

假設在 x_i 處之 y_i 誤差比值為 $\varepsilon(i)$，然後

$\varepsilon(i) =$ | (線性迴歸後之理論值-線性迴歸前之實驗值)/(線性迴歸後之理論值) |

則誤差之標準差($\sigma(y)$)為：

$$\sigma(y) = \sqrt{(\sum_{i=1}^{n} \varepsilon^2(i))/n}, i = 1,2,3,,,,n \tag{2}$$

依據灰關聯理論[1]，設

$X = \{x_i | i \in I, I = \{0,1,2,..., m\}, m \geq 2\}$，$x_i = (x_i(1), x_i(2),..., x_i(n)), n \geq 3$

其中，$x_i(k)$為經過初值化(或平均值化，區間值化均可)後之序列。

然後，設灰關聯係數為$\gamma(x_0(k), x_i(k))$，則

$$\gamma(x_0(k), x_i(k)) = \frac{\left(\min_i \min_k \Delta_i(k) + \xi \max_i \max_k \Delta_i(k)\right)}{\left(\Delta_i(k) + \xi \max_i \max_k \Delta_i(k)\right)} \tag{3}$$

設灰關聯度為$\gamma(x_0, x_i)$，則

$$\gamma(x_0, x_i) = \frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n} \gamma(x_0(k), x_i(k)) \tag{4}$$

其中 $\Delta_i(k) = \Delta_{0i}(k) = |x_0(k) - x_i(k)|$　　（5）

分辨係數$\xi \in [0,1]$，ξ可任意選取，一般取$\xi = 0.5$

二、實驗設備及條件設定

本文所用設備裝置如圖 1 所示。其中車床型號為(台中精機 Victor 400×750 編號 453410) ，車刀規格及材質為 TNMG60408R-2G，噪音計型號為 TES1352A，切削動力計型號為 TD-500KA，放大器型號為 KYOWA 公司 DPM-601A¸，AD/DA 介面型號為 PCI6024。從切削動力計量取的數據經由放大器及 AD/DA 介面傳送至電腦，並作相

關之分析。同時，從噪音計量取之噪音數據亦經由 RS232C 傳送至電腦，並作相關之分析。

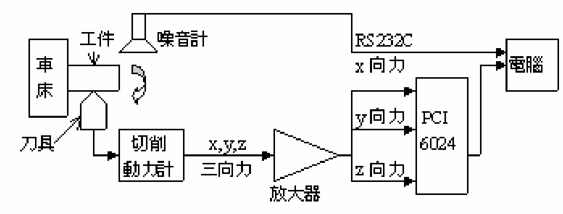

圖 1. 實驗裝置圖

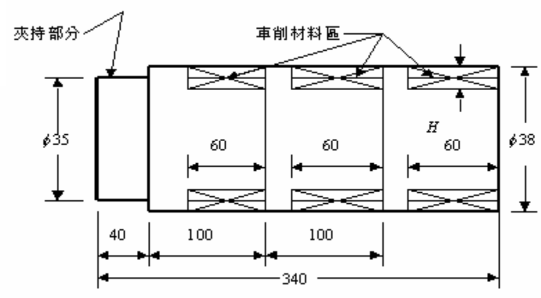

圖 2. 工件圖

本文所用工件材質為 S20C，其直徑及長度如圖 2 所示。其中車削前直徑為 38 mm，G mm為車削直徑。其設定條件如下:

1.不加切削劑，轉速為 370 rpm。

2.進給深度為 H mm（$H = 0.5,1.0,1.5,2.0,2.5,3.0,3.5,4.0...$及 $38 - 2H = G$）。

3.車削方式調整為自動進給，其速率為 0.075 mm/rpm。

4.由距離夾持部分 100 mm，200 mm，300 mm處，開始分三段切削，其每段量取數據之切削長度均為 60 mm。

三、灰關聯實證分析與結果討論

（一）、關聯性分析步驟與結果

依據噪音計 TES1352A 量取之車床空轉(或稱為空車)及車床切削過程(或稱為重車)的噪音數據及由切削動力計 TD-500KA 量取之車削力，加以整理並分別求取噪音及車削力之均方根值、標準差值與碎形維度值(請參考[4-7])，其結果如附表 1 至附表 3 所示。當我們作灰關聯實證分析時，必須考量所有比對項目要在相同對等關係。由於每個量測項目的單位及倍數關係不同，因此我們必須將所有量測數據正規化。此處，我們採用線性迴歸理論先將數據作線性迴歸，再給予所有量測數據正規化，然後再作灰關聯實證分析。

假設 Xd(k)：代表進給速率，k=1,2,3,,,,8。(Xi(k))t：為附表 1 之數據，i=1,2,3,,,7，k=1,2,3,,,,8。其中

(X1(k))t= $SPL(A_{i*j})$ ：重車所產生之噪音均方根值 (單位為 dB)

(X2(k))t= $SPL(AB_{i*j})$ ：重車減空車之噪音平均音壓 (單位 dB)

(X3(k))t= $\sigma_L(SPL(A_{i*j}))$ ：車削過程的噪音標準差 (單位為 dB)

(X4(k))t：噪音碎形維度

(X5(k))t= $[(F_{w*j*k})_i]_{RMS}$ ：車削力之均方根值

(X6(k))t=$[\sigma(F_{j*k})_i]$ ：車削力之標準差

(X7(k))t：動力碎形維度

Xi(k)：表示線性迴歸後之迴歸線上的相關理論值，i=1,2,3,,,7，k=1,2,3,,,,8

（二）、結果討論

1、根據線性迴歸理論，可知誤差比值的均方根值越靠近 0 時，代表其越靠近回歸線，亦代表其與進給深度之關聯性越高。因此，從計算之結果，我們可知關聯性為：

100 mm時

$SPL(A_{i*j})$>噪音碎形維度>動力碎形維度>$\sigma_L(SPL(A_{i*j}))$>$SPL(AB_{i*j})$>$[\sigma(F_{j*k})_i]$ >$[(F_{w*j*k})_i]_{RMS}$

200 mm時

$SPL(A_{i*j})$>噪音碎形維度>$SPL(AB_{i*j})$>動力碎形維度>$\sigma_L(SPL(A_{i*j}))$>$[(F_{w*j*k})_i]_{RMS}$>$[\sigma(F_{j*k})_i]$

300 mm時

$SPL(A_{i*j})$ >動力碎形維度>噪音碎形維度>$SPL(AB_{i*j})$>$\sigma_L(SPL(A_{i*j}))$>$[\sigma(F_{j*k})_i]$ >$[(F_{w*j*k})_i]_{RMS}$

2、根據灰關聯理論，可知灰聯聯度$\gamma(x_0,x_i)$越靠近 1，代表其與進給深度之關聯性越高。因此，從計算之結果，我們可知關聯性為：

100 mm時

$SPL(A_{i*j})$>動力碎形維度>噪音碎形維度>$SPL(AB_{i*j})$>$\sigma_L(SPL(A_{i*j}))$>$[\sigma(F_{j*k})_i]$ >$[(F_{w*j*k})_i]_{RMS}$

200 mm時

$SPL(A_{i*j})$>噪音碎形維度>動力碎形維度> $SPL(AB_{i*j})$>$\sigma_L(SPL(A_{i*j}))$>$[(F_{w*j*k})_i]_{RMS}$>$[\sigma(F_{j*k})_i]$

300 mm時

$SPL(A_{i*j})$>動力碎形維度>噪音碎形維度> $SPL(AB_{i*j})$>$\sigma_L(SPL(A_{i*j}))$>$[\sigma(F_{j*k})_i]$ >$[(F_{w*j*k})_i]_{RMS}$

3、依據線性迴歸理論與灰關聯理論所獲得之關聯性雖有不同，但重車時之車削噪音$SPL(A_{i*j})$比任何車削力之分析均較能看出車削之進給深度的變化，因此，只要採用噪音量測即可（如附表 4 所示）。

4、依據線性迴歸理論與灰關聯理論所獲得之關聯性雖有不同，但有一最佳值$SPL(A_{i*j})$。這表示從重車時之車削噪音較能看出車削之進給深度的變化，或者說其兩者的相關程度較高（如附表 4 所示）。

參、結論

當使用灰關聯實證分析時，必須考量所有比對項目要在相同對等關係。若每個量測項目的單位及倍數關係不同，則必須將所有量測數據正規化，然後再作灰關聯實證分析。

本文是採用線性迴歸理論作數據之處理，然後再作灰關聯實證分析，同時亦直接採用線性迴歸理論作誤差分析，兩者雖有不同，但仍有相似之處。

肆、誌謝

本文為國科會計畫(NSC91-2622-E-035-009-CC3) 補助下之研究成果在此表示誌謝。

伍、參考文獻

[1]鄧聚龍，「灰色系統理論與應用」，高立圖書有限公司 (2000)。

[2]馬麗菁、林美珍，「統計學」，華泰書局 (1994)。

[3]許哲強，賴正文，「預測方法之比較-以台灣電力負載預測為例」，經濟部能源季刊第三十一卷第四期，pp.66-80. (2001)。

[4]鄧錦坤、蕭肇般、鄧永宜、蔡信興，「以灰色理論探討車削工件件數與噪音的關聯性」，2000 中華民國第八屆模糊理論及其應用會議全文論文集光碟片 (2000)。

[5]鄧錦坤、鄧永宜、蔡信興，「以灰色理論分析車床切削深度與噪音的關聯性」，中華民國音響學刊第八卷第一期，pp.49-57 (2001)。

[6]鄧錦坤、蔡信興、鄧永宜，「以灰色理論預測車削工件之直徑與噪音關聯性之探討」2001 中華民國自動控制研討會，pp.162-167. (2001)。

[7]鄧錦坤、蔡信興、鄧永宜，「車削件數與車削力之相關性的灰色預測」，中華民國自動化科技學會第十二屆全國自動化科技研討會全文論文集光碟片 (2001)。

[8]鄧錦坤，鄧永宜、鄭兆孟、蔡尚瑋，「車削力-車削噪音與進給速度之灰關聯特性的實證研究」，中國機械工程學會第十九屆全國機械工程學術研討會論文集光碟片 (2002)。

[9]汪島軍、鄭誌興，「微機械系統表面粗糙度之數學模擬」，國立雲林科技大學機械工程研究所碩士論文(1999)。

[10]K.Foroutan-pour,P.Dutilleul,D.L.Smith，「Advances in the implementation of the box-counting method of fractal dimension estimation」，Applied Mathematics and Computation 105 ， pp .195-210 , (1999)

附表：

附表 1

(100 mm)進給深度 量測項目	0. 5 (mm)	1 (mm)	1.5 (mm)	2.0 (mm)	2.5 (mm)	3.0 (mm)	3.5 (mm)	4.0 (mm)
$SPL(A_{j*j})$ (dB)	75.42	76.82	77.22	78.34	80.22	82.00	81.88	81.97
$SPL(AB_{j*j})$ (dB)	63.32	65.31	65.57	69.86	73.92	77.33	77.17	77.43
$\sigma_L(SPL(A_{j*j}))$	44.48	43.71	44.12	45.52	56.15	58.37	56.57	55.80
噪音碎形維度	1.6848	1.6503	1.6380	1.6562	1.5906	1.5715	1.6588	1.6477
$[(F_{w*j*k})_i]_{RMS}$	1.0858	1.7938	2.5357	3.04	4.4292	5.4305	5.7413	6.3516
$[\sigma(F_{j*k})_i]$	0.0841	0.0712	0.1001	0.1579	0.1988	0.2715	0.2916	0.2113
動力碎形維度	1.7230	1.6809	1.6778	1.6531	1.6911	1.6076	1.7600	1.7207

附表 2

(200 mm)進給深度 量測項目	0.5(mm)	1.0(mm)	1.5(mm)	2.0(mm)	2.5(mm)	3.0(mm)	3.5(mm)	4.0(mm)
$SPL(A_{j*j})$ (dB)	74.70	76.26	77.19	77.48	79.95	81.83	81.81	82.97
$SPL(AB_{j*j})$ (dB)	58.93	64.84	67.69	68.26	74.52	77.91	77.94	79.43
$\sigma_L(SPL(A_{j*j}))$	45.13	43.55	45.55	47.77	54.91	56.98	62.07	58.89
噪音碎形維度	1.6394	1.6488	1.6304	1.6291	1.5775	1.6131	1.6359	1.6561
$[(F_{w*j*k})_i]_{RMS}$	1.1439	1.8147	2.5704	3.0935	4.5857	5.6893	5.7792	6.5583
$[\sigma(F_{j*k})_i]$	0.1148	0.0792	0.1094	0.1556	0.149	0.1935	0.2691	0.2986
動力碎形維度	1.7835	1.7023	1.7295	1.6064	1.6452	1.7583	1.7150	1.6624

附表 3

(300 mm)進給深度 量測項目	0.5(mm)	1.0(mm)	1.5(mm)	2.0(mm)	2.5(mm)	3.0(mm)	3.5(mm)	4.0(mm)
$SPL(A_{j*j})$ (dB)	74.22	76.12	77.23	77.70	80.78	82.70	81.81	83.74
$SPL(AB_{j*j})$ (dB)	59.21	65.83	68.64	70.14	76.20	79.28	77.94	80.85
$\sigma_L(SPL(A_{j*j}))$	44.56	45.37	46.15	48.25	49.78	59.04	62.07	61.12
噪音碎形維度	1.6716	1.6544	1.6198	1.6625	1.6793	1.5895	1.5474	1.6082
$[(F_{w*j*k})_i]_{RMS}$	1.0695	1.7094	2.4444	3.0073	4.6996	5.718	5.8088	6.8093
$[\sigma(F_{j*k})_i]$	0.0829	0.0857	0.0854	0.1216	0.117	0.1451	0.1587	0.1591
動力碎形維度	1.7377	1.7263	1.7246	1.6740	1.7960	1.7226	1.7634	1.7291

附表 4

	100 mm		200 mm		300 mm	
量測項目	$\gamma(x_0, x_i)$	$\sqrt{(\sum_{k=1}^{8}\varepsilon_i^2(k))/8}$	$\gamma(x_0, x_i)$	$\sqrt{(\sum_{k=1}^{8}\varepsilon_i^2(k))/8}$	$\gamma(x_0, x_i)$	$\sqrt{(\sum_{k=1}^{8}\varepsilon_i^2(k))/8}$
$SPL(A_{j*j})$ (dB)	0.9451	0.0107	0.9820	0.0066	0.9493	0.0092
$SPL(AB_{j*j})$ (dB)	0.8292	0.0679	0.8913	0.0229	0.7727	0.0262
$\sigma_L(SPL(A_{j*j}))$	0.7626	0.0488	0.8207	0.0461	0.7472	0.0456
噪音碎形維度	0.8981	0.0203	0.9652	0.0140	0.8981	0.0199
$[(F_{w*j*k})_i]_{RMS}$	0.6012	0.1062	0.7792	0.0723	0.5328	0.0986
$[\sigma(F_{j*k})_i]$	0.6467	0.0837	0.4525	0.2745	0.6418	0.0794
動力碎形維度	0.9041	0.0234	0.8947	0.0309	0.9026	0.0185