

機器視覺系統運用於刀片磨耗研究

Study of A Machine Vision System for Tool Wear Inspection

陳正和¹、黃彥翔²
Cheng-Ho Chen¹, Yen-Hsiang Huang²

¹ 國立勤益科技大學機械工程系
¹ Department of Mechanical Engineering,
National Chin-Yi University of Technology
E-mail : chench@ncut.edu.tw

² 國立勤益科技大學機械工程系
² Department of Mechanical Engineering,
National Chin-Yi University of Technology
E-mail : Charles_7712@yahoo.com.tw

摘要

機器視覺(Machine Vision)是屬於非接觸性的檢測技術，以電腦檢測取代人力，透過程式分析及統計分析數據，擬定工作數據標準化，可避免因工作疲勞的人為錯誤，而造成工業傷害，並可加長工作時間、提高工作效率，也能確保加工產品的品質。本研究設計一個新的機構，提高檢測環境的穩定性以及影像擷取的品質，在影像技術上結合不同的運算子，精準分析出刀片的磨耗面積，並透過程式計算得知磨耗與面積的比例，開發出一套簡易又快速的檢測系統，確實能有效提供工業上明確的數據，進而使加工機台達到最大效能。

關鍵字詞：機器視覺、影像處理、形狀匹配，刀片磨耗

1. 前言

在傳統加工業上，改善良率及提高生產量一直是企業界迫切需要關注的問題，生產技術已高度的自動化。一般傳統產業在刀具的加工使用，都是以時間、經驗、或加工時出現異常震動或噪音，才準備換刀，對於現代機床而言，約有 20% 的停工時間歸因於刀具失效，並由此導致生產效率的下降和經濟損失[1]。

機器視覺(Machine Vision)檢測技術，可以快速擷取大量資訊進行自動處理，也容易與設計、控制資訊結合，故已大量應用在各行業之生產製造、製程監控與品質監管，國內外部分論文在基於機器視覺的檢測方面做了一定的研究工作。葉書華[2]利用機器視覺方法，對車刀做檢驗，研究

中自行開發之系統，經過灰階、濾波...等影像處理後，再針對磨耗範圍做框選、對影像灰階差異圖訂定閾值，及計算最後的磨耗量與面積，並判定該刀具是否報廢。彭國軒[3]本研究對於模型物件取環狀樣板做比對，使得物件辨認對於旋轉具有不變性，同時快速的完成辨認與定位-包含位置與姿態角，達到物件辨認與定位的目的。

本研究目的在於以電腦視覺取代人工檢測方式，首先針對檢測環境做機構改良，再利用 CMOS 彩色相機擷取影像，採用影像處理軟體 (HALCON)進行影像分析、幾何處理、計算磨耗面積，透過影像分析的技術，將分析數據採用工業統計法，擬訂一套工業數據標準。

2. 影像原理

2.1 數位影像成像概念

所謂數位化影像(Digital image)，即是使用電腦來處理二維(2D)，先將資料「數位化」，也就是需要先把影像資料轉換成電腦能看得懂的「O」與「I」，一張 2D 的數位影像可以想像成是一個函數 $f(x,y)$ ，其中 x, y 代表座標位置， $f(x,y)$ 則為該位置對應的顏色或灰階值，如圖 1 所示。

在影像中取樣的每一點稱為「像素」(Pixel)，構成影像的像素，就像把圖像分割成許多小方格後的單位方格一樣，每個像素都有特定的位置、顏色、亮度等資料，將此資料換成數據，以陣列(Array)方式存入電腦中以便處理。

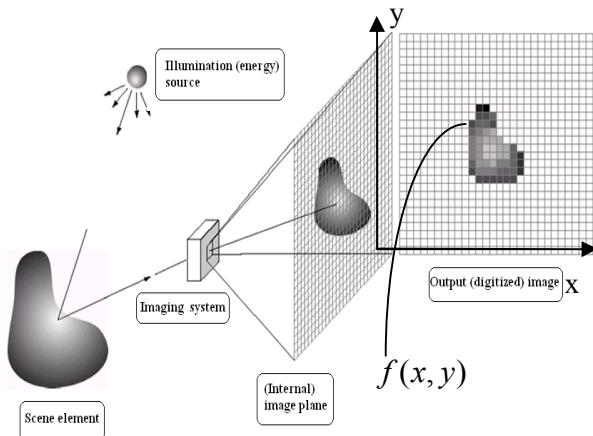


圖 1. 數位影像成像基本原理

2.2 彩色影像基本概念

彩色影像是將不同份量的紅(red)、綠(green)、藍(blue)混合起來而組成的色彩，因此紅、綠、藍又稱為三原色，一張完整的彩色影像可以視為由三原色 R、G、B 分別對應的三個獨立的影像平面所組成，如圖 2 所示。

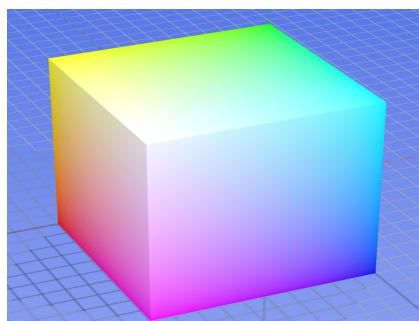


圖 2. R、G、B 彩色結構模型

2.3 全彩影像處理原理

一個彩色影像包含 R、G、B 三個頻道影像，其灰階值分佈複雜，將彩色影像依照 R、G、B 的灰階值分離出三張不同區域的單一頻道影像，可依據其不同灰階特徵，提取我們所需的分析特徵，增加分析的精確度。假設 $f(x,y)$ 為圖片中彩色影像的任一像素值其定義如(1)式：

$$f(x,y) = \begin{bmatrix} f_R(x,y) \\ f_G(x,y) \\ f_B(x,y) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R(x,y) \\ G(x,y) \\ B(x,y) \end{bmatrix} \quad (1)$$

3. 影像處理技術

3.1 二值化處理

二值化(thresholding)處理是一項重要影像切割方法，其功能在將待檢測物與背景區分，於此透過二值化閾值擷取將影像二值化處理，定義如(2)式：

$$f_m(x,y) = \begin{cases} 255 & \text{if } f(x,y) \geq m_0 \\ 0 & \text{if } f(x,y) < m_0 \end{cases} \quad (2)$$

在(2)式中，假設在數位影像在座標值 (x,y) 的像素點之灰階影像為 $f(x,y)$ ，其灰階值分佈於 0~255 之間的範圍，設定一閾值 m_0 ，當影像中任一點灰階值大於或等於閾值時，其灰階值為 255，反之，小於此值為 0，此處理可將灰階影像轉換為只有黑與白的二值化影像， f_m 為二值化後的影像灰階值，如圖 3 所示。

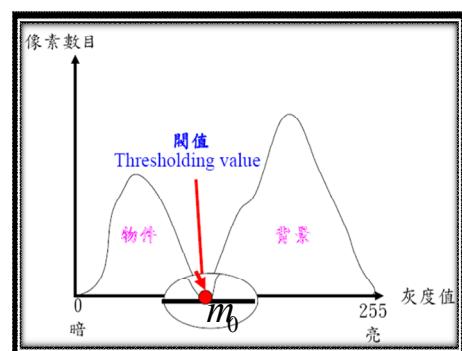


圖 3. 二值化閾值擷取

3.2 影像處理運算子

形態學是一門影像處理與分析技術，主要有下列基本運算：侵蝕(Erosion)、膨脹(Dilation)、開運算(Opening)、閉運算(Closing)、填補(Filling)，定義如(3)式。影像在特徵提取後，可以藉由集合論的形態學運算，定義如(4)式，將不同範圍的檢測區塊合成運算，呈現出有效的特徵區域。

$$\begin{aligned} A \cup B &= \{P | P \in A \text{ or } P \in B\} \quad (\text{聯集}) \\ A \cap B &= \{P | p \in A \& P \in B\} \quad (\text{交集}) \\ \overline{A} &= \Omega - A = A(\text{A的背景}) \quad (\text{補集}) \\ A - B &= A - (A \cap b) \quad (\text{差集}) \\ R \ominus B &= \{t | (B^\vee)_t \subseteq R\} \quad (\text{侵蝕}) \\ R \oplus B &= \{t | (B^\vee)_t \cap R \neq \Phi\} \quad (\text{膨脹}) \\ R \circ B &= (R \ominus B) \oplus B \quad (\text{斷開}) \\ R \bullet B &= (R \oplus B) \ominus B \quad (\text{閉合}) \end{aligned} \quad (3)$$

3.3 高斯濾波(Gaussian smoothing filter)

一個二維空間，高斯分布函數定義如(5)式：

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \quad (5)$$

假設高斯分布的平均值為 0，而 σ 是高斯分布的標準差，如果 $\sigma=1$ ，我們可以得到以下分布型態圖，如圖 4 所示。

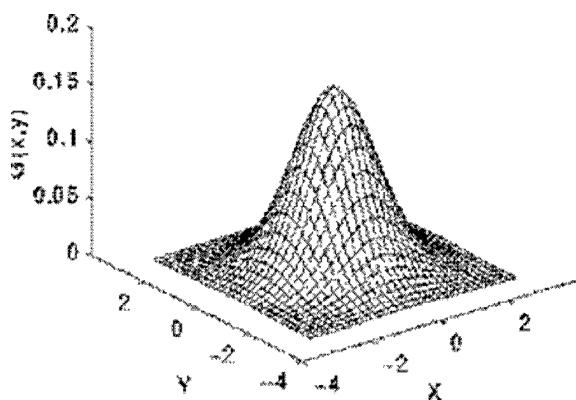


圖 4. 高斯分佈形態圖

高斯濾波器是一個平滑化濾波器，平滑化程度是由標準差 σ 來控制， σ 值越大，平滑程度越高，相對的，反之，影像平滑的程度愈小。因此，使用者可以很容易的控制影像平滑的程度。

4. 研究設備

4.1 軟體應用

採用影像處理軟體 HALCON，此軟體強化的 operator library 提供有效率又有彈性的影像處理功能，可處理彩色及多頻道影像，並強調快速的 pattern 匹配計算。

4.2 硬體結構

CMOS 彩色相機(德國 ids)解析度，1280x1024 (約 130 萬畫素)，Sensor size 1/1.8”。鏡頭 ICL-IDS-25 為百萬畫素用的鏡頭，焦距 25.503mm。

4.3 光罩機構設計

在視覺檢測上，光源的架設往往是最 important 的，此研究結合兩種光源，做為檢測物表面特徵的照明，如圖 5 所示。

1. 正向光源與鏡頭在檢測物同側，作為檢測物體表面之照明。

2. 因為刀片磨耗特徵位於刀片邊緣，所以利用燈條環繞在檢測物的邊緣，利用側向光源的光線反射強弱不同讓磨耗特徵更為明顯。

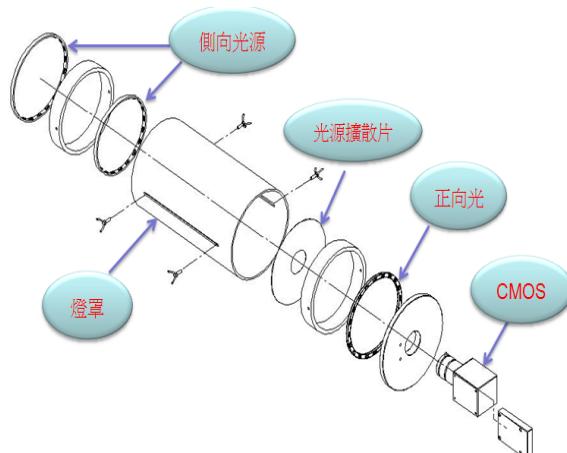


圖 5. 光罩機構分解圖

4.3.1 光罩機構設計之作用

1. 減少光害對檢測物的影響，增加檢測環境的穩定性。
2. 降低檢測設備的不方便性，提高機動性。
3. 可檢測不同待測物之磨耗，光罩內的正向光源與側向光源的機構設計皆可做高度、亮度的調整，增加其可用性，如圖6所示。

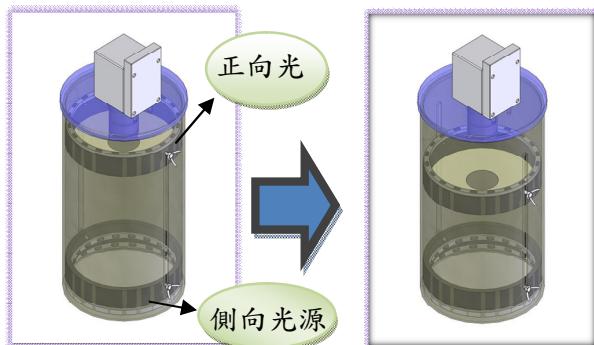


圖 6. 光罩內部燈源可做調整，3D 示意圖

5. 刀片磨耗檢測實驗

為了使機器視覺應用在切削加工上，並制訂一套刀具磨耗檢測標準，與橋鋒機械廠合作，以相同的環境及切削參數作業，當刀片切削到達臨界點時取下，以機器視覺加以檢測判斷。實驗中，固定切削參數如表1所示，以及切削路徑如圖7所示，最後工件加工完成如圖8所示。

表 1. 刀片加工實驗數據

實驗項目	刀具邊緣磨耗特徵
實驗目的	統計刀具磨耗臨界點
實驗變數	切削時間(min)
實驗條件數據	
編號 1：(磨耗臨界)	
1. 刀片	
.. 1-1 刀片規格	SPKN1504EDTR
.. 1-2 刀片材料	UF2
2. 工件材料	
.. 2-1 型號	FC-300
.. 2-2 硬度(HB)	180~200
3. 切削液	
.. 3-1 種類	水溶性切削液
.. 3-2 噴灑方式	環狀中心噴水
4. 切削時間(min)	45
5. 轉速(rpm)	280
6. 單次循環進給量 F(mm)	550
7. 深度(mm)	4mm
8. 機台型號	LP5033YZ 龍門銑床



圖 7. 切削路徑圖

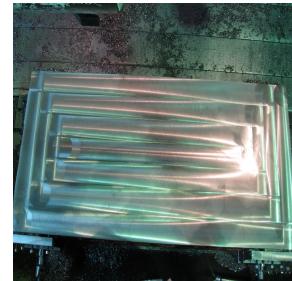


圖 8. 工件切削圖

6. 研究方法

此研究在影像處理上，分為前處理與後處理，首先針對影像做頻道分離與形狀匹配，快速搜尋待測物位置，再利用影像技術中的形態學準確找出分析特徵，分析流程如圖9所示。

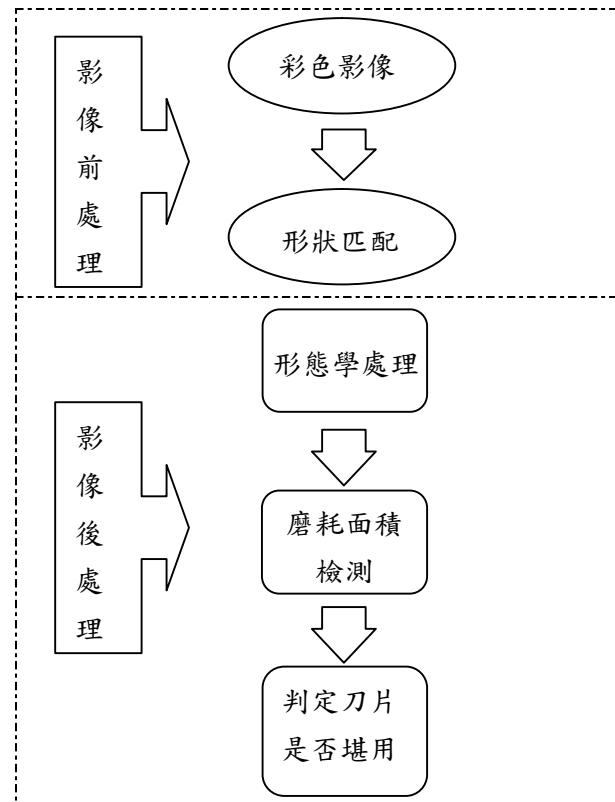


圖 9. 分析流程

6.1 影像前處理

利用CMOS像機擷取影像，如圖10所示，分離圖取三張不同頻道的影像，可依據其不同灰階特徵，提取我們所需的分析特徵，增加影像分析的精確度。

本研究一開始是用閾值分割法，使背景與待測物分離，搜尋待測物做分析。為了提高檢測效

率，加入Pattern Matching的概念，首先設定參考樣板，在搜尋區域內計算後得到如參考樣板的影像，如圖11所示，並藉由縮減搜尋區域可降低運算所需時間。

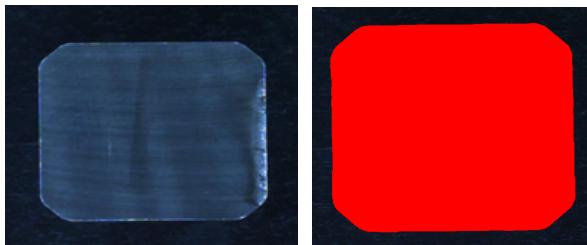


圖 10. 原始影像

圖 11. 參考樣板

Pattern Matching定義如(6)式，假設一尺寸 $M \times N$ 的 $f(x, y)$ 的影像裡有一尺寸 $K \times L$ 的 $w(x, y)$ 的特徵影像樣板，以左上角座標 $(0,0)$ 為運算原點，在 f 內移動 w 特徵影像樣板，統計在 x 及 y 方向的像素重疊的數量 C ， f 裡 C 最大值為影像最為吻合的地方，原理如圖12所示。

$$C(i, j) = \sum_{x=0}^{K-1} \sum_{y=0}^{L-1} w(x, y) f(x+i, y+j) \quad (6)$$

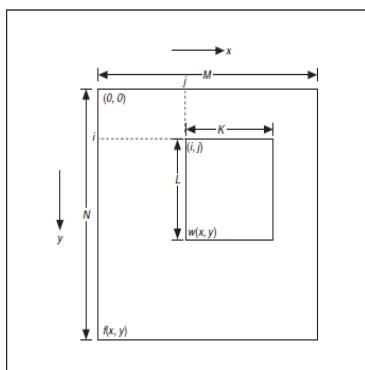
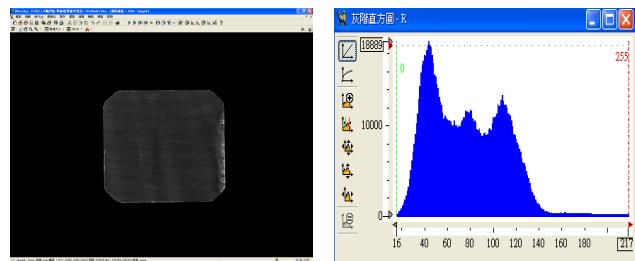


圖 12. Pattern Matching原理

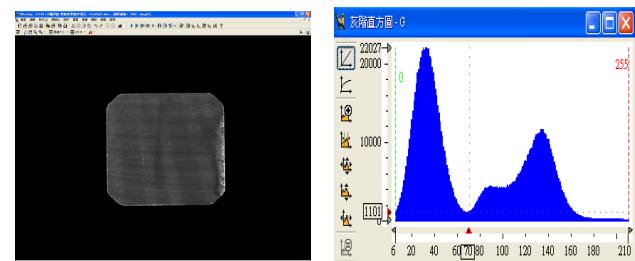
6.2 影像後處理

R、G、B三個頻道二值化後，觀察個別的灰階直方圖之波峯與波谷，如圖13所示，其中B-channel最為明顯，較能有效的圖取分析特徵，故選擇此頻道做後續研究分析，接著利用形態學中的侵蝕，將刀片做一個類似遮罩的方式，與原來的面積相減，排除不必要的刀具面積，最後會

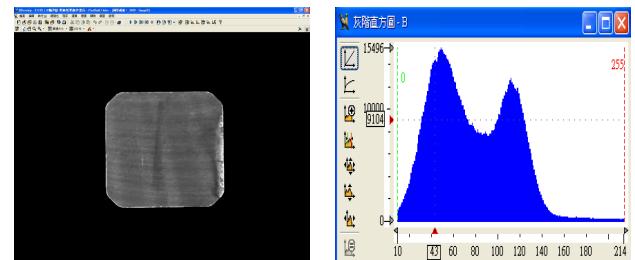
剩下刀具邊緣，減少分析時的雜訊干擾，如圖14所示。



R-channel 灰階直方圖



G-channel 灰階直方圖



B-channel 灰階直方圖

圖 13. 原始圖像頻道分離與灰階直方圖

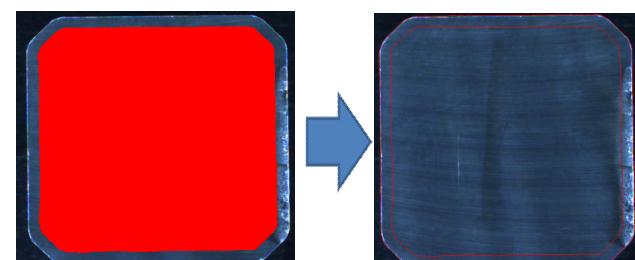


圖 14. 型態學侵蝕

6.3 磨耗檢測判斷

針對磨耗分析部分結合兩種運算方式，補足單一程式檢測不完全的缺點，達到互補的作用。

(1) 刀片邊緣以 35×35 (pixel)的矩形等份分割，計算邊緣上像素值之標準差，定義如(7)，經過實驗測試，預設灰階標準差14，此參數為分析

最佳化數值，若檢測結果大於預設標準差的臨界值，磨耗特徵以紅色填滿為標示，如圖15所示。

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2} \quad (7)$$

N ：矩形區域之像素個數總和

μ ：矩形區域像素灰階之平均值

x_i ：矩形內每一點之像素值

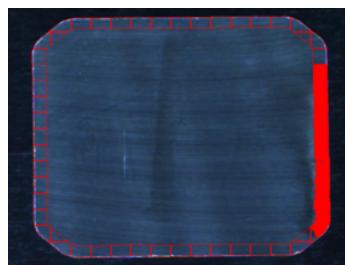


圖15. 以標準差判斷的磨耗區域

(2)利用高斯濾波(Gaussian Filter)，實驗中 σ 值設定為5，可將灰階值差距集中，快速找到磨耗區域，縮減程式計算的時間。接著將影像二值化，再使用形態學中的膨脹(Dilation)、開運算(Opening)，找出精確的磨耗特徵，如圖16所示。



圖16. 高斯濾波後之檢測磨耗特徵

將兩種分析後的特徵做聯集(OR)運算，如圖17所示。

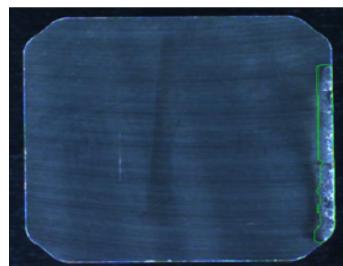


圖17. 磨耗特徵檢測結果

經過軟體分析後可以清楚看到磨耗面積的大小與位置，並取得磨耗範圍占整個面積的比例約為3.74%，如圖18所示。



圖18. 刀片磨耗面積百分比

7. 結論

本研究已建立一套快速簡易的機器視覺影像辨識系統，可以成功將影像技術應用在切削加工上，準確的檢測出刀片磨耗的面積。檢測結果不只精確也具備極高的重現度。能取代業界依賴經驗來判斷換刀的時機，也可以降低人力成本的浪費及工業傷害。

本研究的實驗成果，歸納出以下研究特點：

- 1.針對檢測設備及環境，設計出一個具有高機動性與可用性的光罩機構，增加影像擷取的品質，提高檢測的穩定性。
- 2.在影像處理技術中，加入 Pattern Matching 之原理，大幅減少檢測時間，也能準確的搜尋到操作者欲檢測的刀片類型。
- 3.本研究主要為分析磨耗範圍，為了使分析磨耗更為精準，在分析中結合兩種不同的運算方法，大幅提高檢測磨耗的精準度。

8. 參考文獻

1. Kurada, S. and Bradley ,C. "A review of machine vision sensor for tool condition monitoring." Computers in Industry,34(1997):52~72.
2. 葉書華,『以機器視覺為基礎之刀具磨耗偵測系統研發』,義守大學工業工程與管理學系碩士論文，民國 97 年七月。
3. 彭國軒,『快速物件辨認與定位—環狀樣板比對』,國立清華大學碩士論文，民國 93 年。
4. John,G.,Korosec,M.,Kopac,J., "New approach in tool wear measuring technique using CCD vision system,"International Journal of Machine Tools

- and Manufacture,45(2005),1023-1030.
5. Takashi Kido , “In-process Inspection Technique for Active-matrix LCD Panels”, International Test Conference,pp.795-799,(1992) .
6. W. Wang, Y.S. Wong, G.S. Hong, “Flank wear measurement by successive image analysis”, Mechanical Engineering, National University of Singapore. Computers in Industry 56 (2005) 816–830.