



逢甲大學學生報告 ePaper

報告題名：

使用 MQ 內插法作 ECG 的信號壓縮
ECG Signal Compression by Using
Multiquadric Interpolation

作者：陳玫如 葉靜蓉

系級：通訊四乙

學號：D9157932 D9157928

開課老師：林立謙

課程名稱：專題報告(二)

開課系所：通訊工程學系

開課學年： 94 學年度 第 1 學期



誌謝

經過四年的奮鬥，畢業專題終於千呼萬喚使出來了，中間是個不斷思考、嘗試與突破的過程，期間最感謝的當然是我的指導老師林立謙教授。感謝他在研究上充分授權與全力支持，適時的給予督促和指導。另外也要感謝炯良學長、介文學長和華炫學長，在忙碌中仍然抽空給我們指導與建議，使畢業專題得以順利完成，在此致上我們由衷的感謝。

在逢甲大學通訊系實驗室的日子是令人懷念的，這是因為有一群積極開朗的同窗一起努力的緣故，他們是祐菁、老師好小顧、阿娟、西瓜。他們不僅是共同學習討論研究的團隊成員，也是培養除課業外眾多休閒的重要夥伴。此外還有許多想要感謝的人，包括許多已畢業的學長以及生活週遭的好朋友，謝謝他們的關心與照顧，也祝他們將來都一路順風。

最後感謝的還是家人，他們給了最大的關心也給了最大的信心，這讓我們不論在求學或在未來的日子裡，都能走的更穩更有自信，希望他們永遠健康快樂。

願與所有關心、照顧我們的人分享我們的努力與收穫！

目 錄

誌謝	
摘要.....	-4-
§ 1.1 前言.....	-5-
§ 2.1 AZTEC.....	-6-
§ 2.1.1 水平線.....	-6-
§ 2.1.2 斜線.....	-6-
§ 2.2 AZTEC 編碼.....	-7-
§ 2.3 圖形分析.....	-9-
§ 2.4 AZTEC 解碼.....	-14-
§ 3.1 MQ interpolation method.....	-15-
§ 3.2 MQ method.....	-15-
§ 3.3 選擇有意義的點的標準.....	-17-
§ 3.4 MQ 信號重建.....	-23-
§ 3.5 結論.....	-24-
§ 3.6 參考資料.....	-24-
§附錄一.....	-27-
§附錄二.....	-34-

摘要

心電數據壓縮對於 ECG 的儲存、傳送與分析是非常重要的。心電 ECG 信號是一種準週期信號，其波型呈現某種相似性，因而冗余度較大，而熵較小的信號，從理論上來講，應該具有較大的壓縮比。而傳統的很多方法，包括時域與變換域方法，沒有考慮這種相似性，因而壓縮比受到很大的限制。近年來，著重消除心搏之間相關性而獲得較高壓縮比的方法。但由於人體是一種非常複雜的有機體，心電的波形對於不同的個體，以及同一個體在不同的狀態、不同的環境、不同的時刻，所呈現的形狀又是十分複雜的，它既有規律性又有隨機性，期望用一些常規的模型來描述人體千變萬化的心電波形是非常困難的。因此人們期望用簡單模仿人腦的人工神經網絡來實現高壓縮比的數據壓縮方法。

關鍵字：AZTEC、MQ

§ 1.1 前言

ECG 信號分析是一種對心臟病無侵略性的診斷工具。在一個壓力測試練習展示高機率冠狀動脈檢波期間，執行 ECG 分析。此外，它是一種簡單而且沒有風險的方法。ECG 信號壓縮技術對於資料儲存和資料傳輸是必須的。這壓縮技術是不會遺失醫學資訊而且有高壓縮比例，它是被需要(渴望)的。

許多種研究工作已經成熟；在壓縮 ECG 訊號這方面。ECG 數學上典型的參數可以被使用在使 ECG 信號重現在”電傳醫學”和”心臟病分類” in Fig.1。

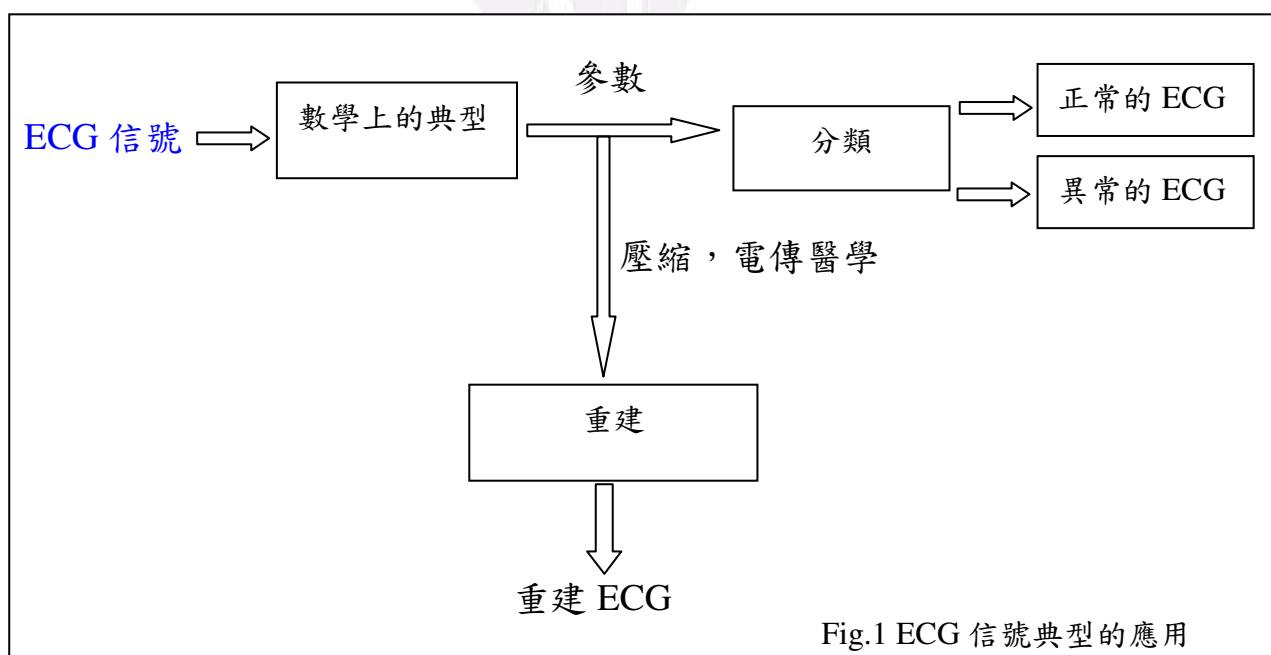


Fig.1 ECG 信號典型的應用

在下面幾章會介紹到，AZTEC 對 ECG 信號的壓縮與信號的重建，以及使用 MQ 內插法對 ECG 信號的壓縮和重建；再對這兩種方法做比較。

§ 2.1 AZTEC

心電圖資料壓縮原因之歸納：(a) 增加心電圖資料庫之容量以便於日後做比較與評估 (b) 使即時心電圖能透過電話線傳輸 (C) 配合電腦化心電圖分析系統之完成 (d) 符合多導程無磁帶式霍特系統之 24 小時紀錄的要求。

AZTEC 接受原始心電圖為輸入而產生水平線與斜線兩種資料；最後的重建訊號就是將這些水平線與斜線串連起來便是。

§ 2.1.1 水平線

輸入資料 X_1, X_2, \dots, X_{m-1} 這 $m-1$ 個連續心電圖取樣滿足 $m-1 \geq 3$ 且 $X_{\max} - X_{\min} < \lambda$ (臨界值)，則此 $m-1$ 個取樣就以一長度為 $m-1$ 值為 $(X_{\max} - X_{\min})/2$ 的水平線來取代。

§ 2.1.2 斜線

若 $m-1 < 3$ 則表示波形變化較快，使 $X_{\max} - X_{\min} > \lambda$ ，因此以斜線表示波形。假設取樣點為 X_1 及 X_2 ， $X_{\max} - X_{\min} > \lambda$ ，則 X_1 及 X_2 構成一斜線，測試 X_2 及 X_3 ，若亦構成斜線且斜率正負號與前者相同，則視 X_2 為累贅取樣，可繼續測試 X_3 及 X_4 。但若 X_2 及 X_3 構成水平線或者雖為斜線但斜率之正負號與前者相反，則 X_2 為非累贅取樣；亦即 X_1 、 X_2 所構成之斜線結束。

§ 2.2 AZTEC 編碼

step1 : 讀入取樣 X_1 及 X_2

$i \leftarrow 2$

step2 : 若 $X_i - X_{i-1} < \lambda$ 則執行

$i \leftarrow i+1$; 讀入第 i 個取樣

$X_{\max} \leftarrow X_i$; $X_{\min} \leftarrow X_{i-1}$: 更新 X_{\max} 、 X_{\min}

回到 step2

step3 : 若 $i-1 \geq 3$

輸出長度為 $i-1$ 值為 $(X_{\max} - X_{\min})/2$ 之線段

$X_1 \leftarrow X_{i-1}$; $X_2 \leftarrow X_i$; $i \leftarrow i-1$

$X_{\max} \leftarrow X_i$; $X_{\min} \leftarrow X_{i-1}$: 更新 X_{\max} 、 X_{\min}

回到 step2

否則

讀入下一個取樣

$i \leftarrow i+1$

執行 step4

step4 : 若 $|X_i - X_{i-1}| > \lambda$ 且斜率之正負號與線段 X_1X_2 相同

$i \leftarrow i+1$

讀取下一個取樣 X_i

step5 : 輸出 $-(i-1)$ 及 X_{i-1} ; 斜線的時間間隔用負數表示

使用 MQ 內插法作 ECG 的信號壓縮

step6: 若 $|X_i - X_{i-1}| < \lambda$

$X_1 \leftarrow X_{i-1}; X_2 \leftarrow X_i; i \leftarrow 2$

$X_{\max} \leftarrow X_x; X_{\min} \leftarrow X_n$: 更新 X_{\max} 、 X_{\min}

否則

$X_1 \leftarrow X_{i-1}; X_2 \leftarrow X_i; i \leftarrow 3$

讀入下一個取樣 X_i ;

回到 step4



§ 2.3 圖形分析

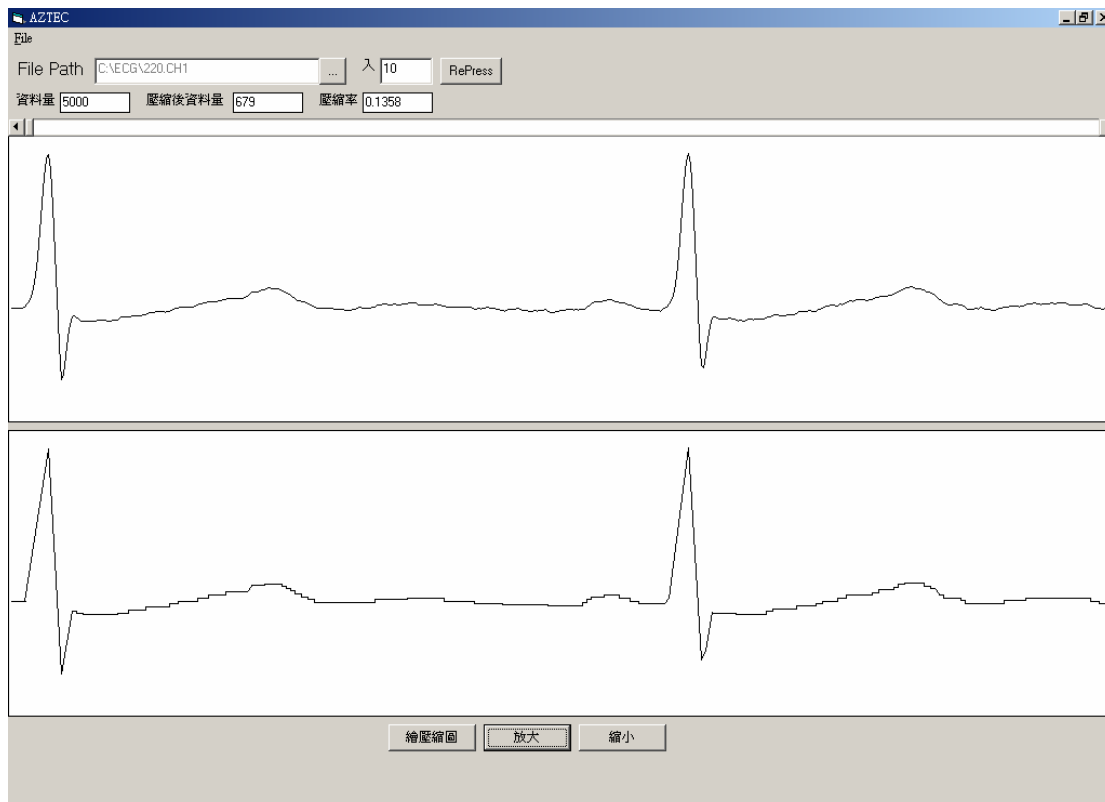
AZTEC 在變化緩慢的部分會產生階梯式的波形，因此它的結果常常會以數位濾波器濾過。一般情況，AZTEC 的壓縮比為 10 倍左右，決定於心電圖的取樣率、每個取樣所佔的位元數及失真情況，壓縮比會有所不同。 λ 值愈大的情況下，壓縮率會愈好但是相對的失真率也會愈高，所以在理想的失真率上求得最好的壓縮率是我們最期望的結果。

$$\lambda=4$$

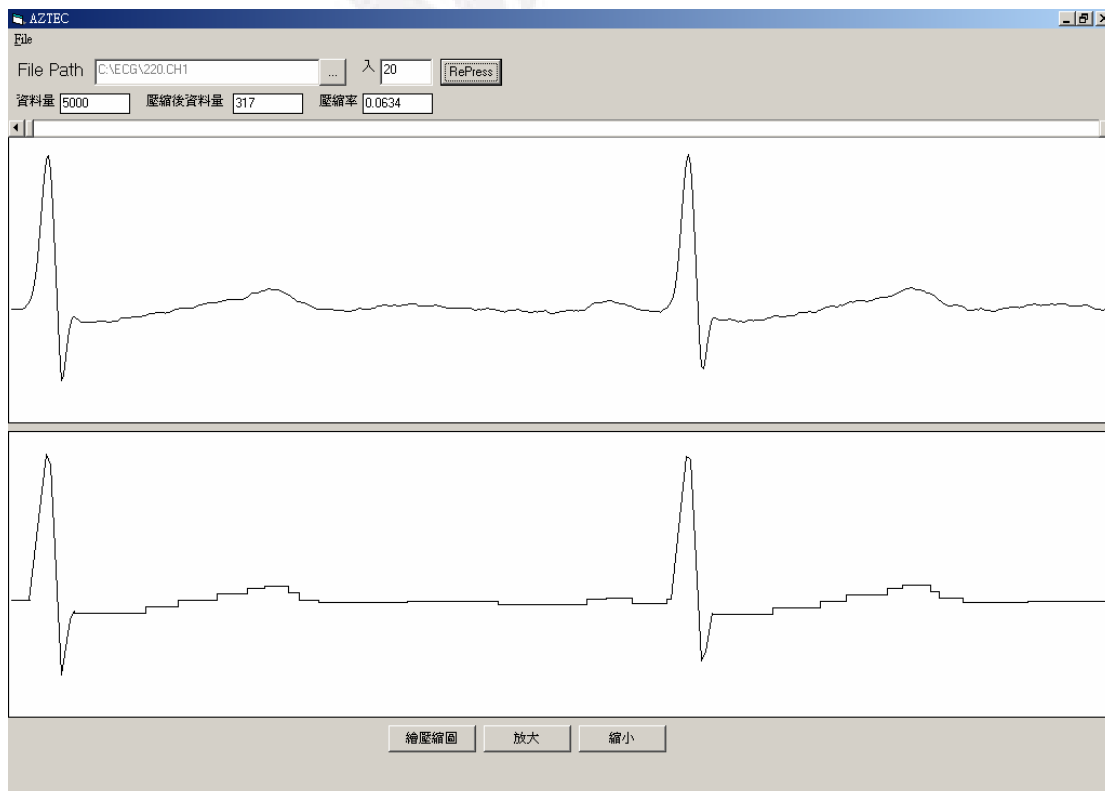


使用 MQ 內插法作 ECG 的信號壓縮

$\lambda=10$



$\lambda=20$



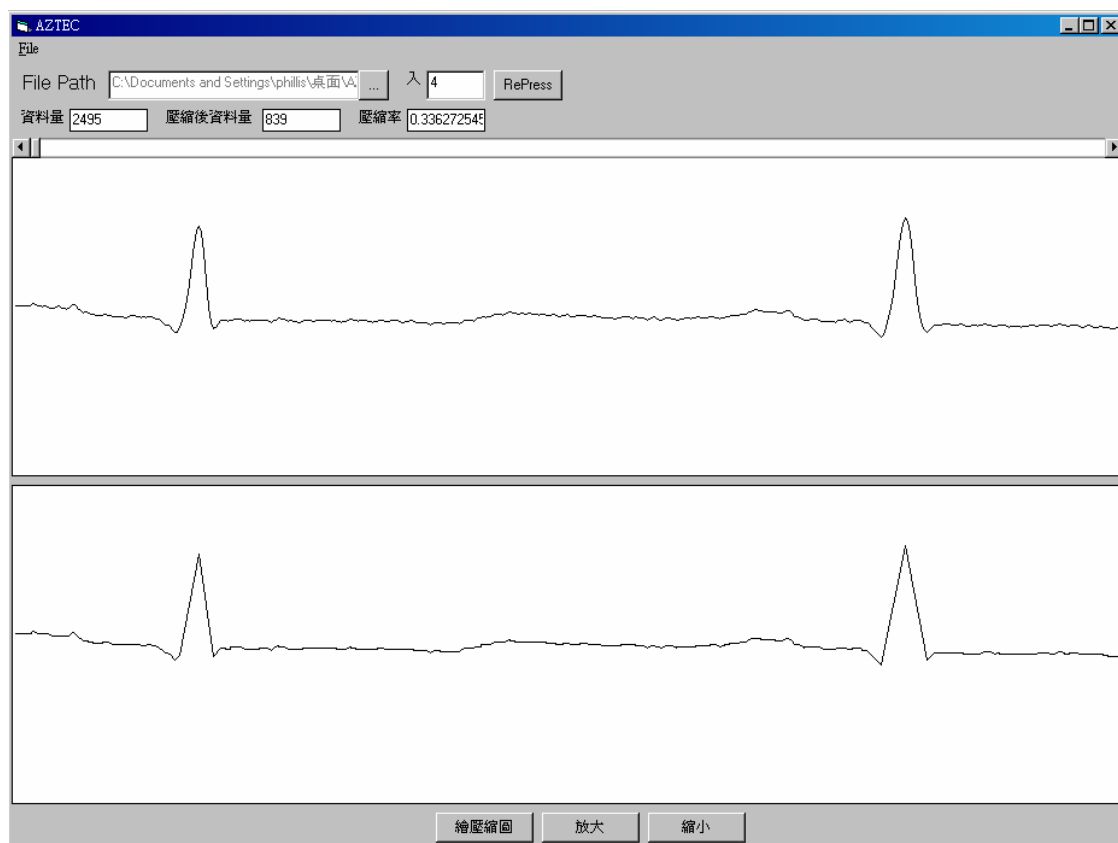
使用 MQ 內插法作 ECG 的信號壓縮

心電圖壓縮使用 AZTEC

➤ 圖形分析與解說

輸入訊號:資料壓縮(戴顯權)附錄之心電圖檔 100.ch

使 $\lambda = 4$



圖(一)

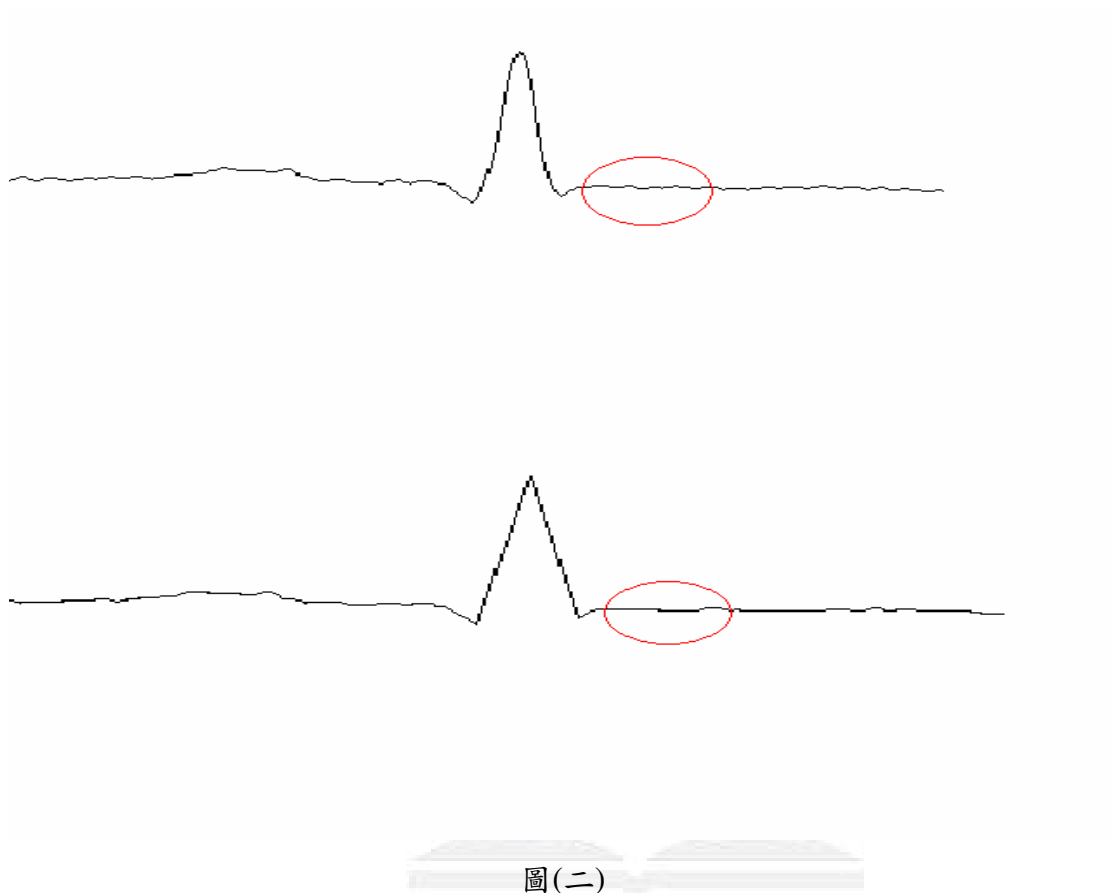
在 $\lambda = 4$ 時

由上圖可看出壓縮率及圖形的變化

現將截取一段圖形且做放大分析其壓縮前後之不同。

(1) 水平線

$X_{\max} - X_{\min} < \lambda$ (臨界值)，則此 $m-1$ 個取樣就以一長度為 $m-1$ 值為 $(X_{\max} - X_{\min})/2$ 的水平線來取代。

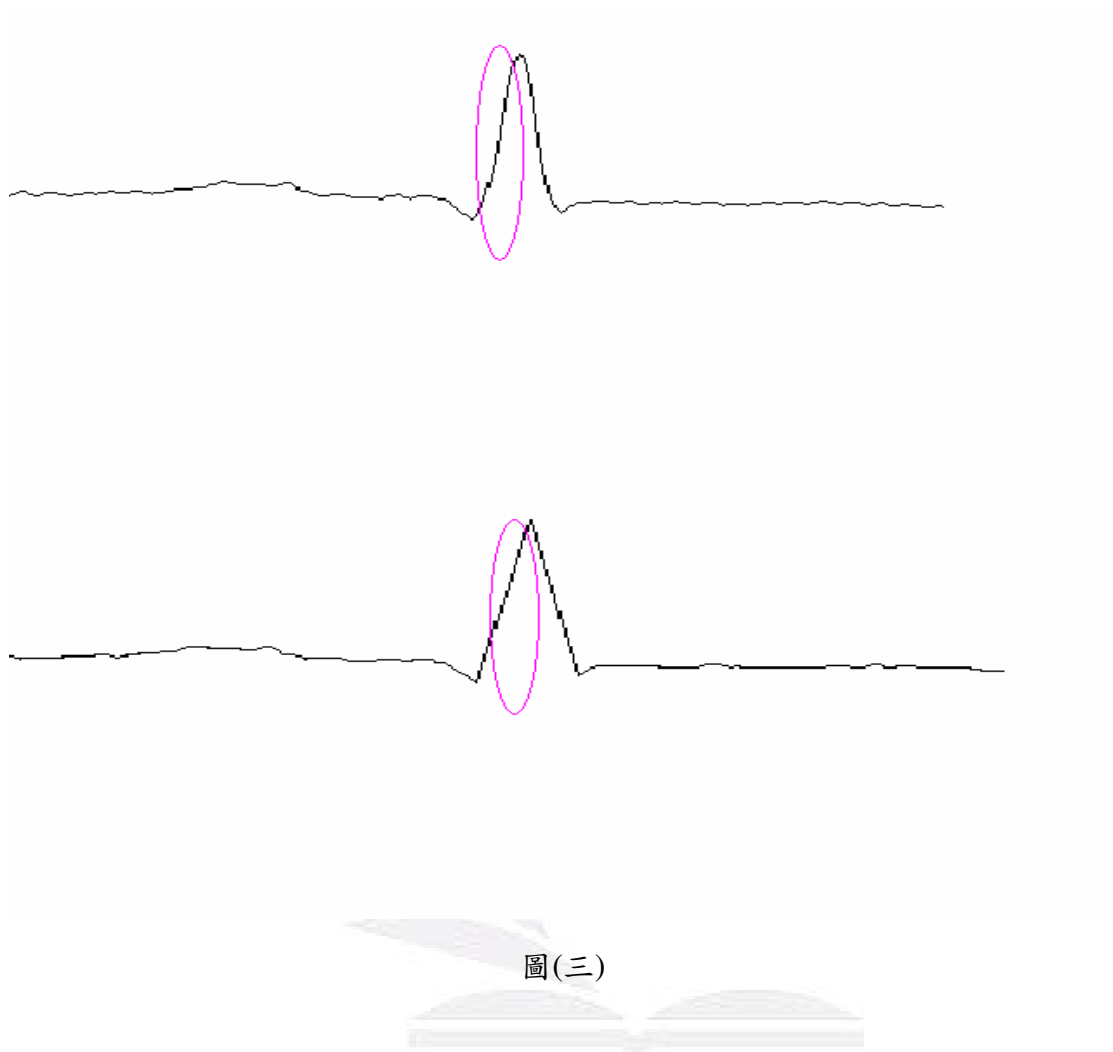


(2) 斜線

假設取樣點為 X_1 及 X_2 ， $X_{\max} - X_{\min} > \lambda$ ，則 X_1 及 X_2 構成一斜線，測試 X_2 及 X_3 ，若亦構成斜線且斜率正負號與前者相同，則視 X_2 為累贅取樣，可繼續測試 X_3 及 X_4 。但若 X_2 及 X_3 構成水平線或者雖為

使用 MQ 內插法作 ECG 的信號壓縮

斜線但斜率之正負號與前者相反，則 X_2 為非累贅取樣；亦即 X_1 、 X_2 所構成之斜線結束。



如上圖紅色區域所示，壓縮前的圖形為曲線，在每個時間點上均必須紀錄數值。壓縮後的圖形連成一段斜線但資料量會大大減少，在最佳的壓縮率上保有最低的失真度是我們最期望的。

§ 2.4 AZTEC 解碼

step1 : 讀入 L 、 V ; $x \leftarrow 1$

step2 : 若 $L > 0$

從 (x, V) 到 $(x + L, V)$ 劃一水平線

$x \leftarrow x + L$; 讀入 L 、 V

回到 step2

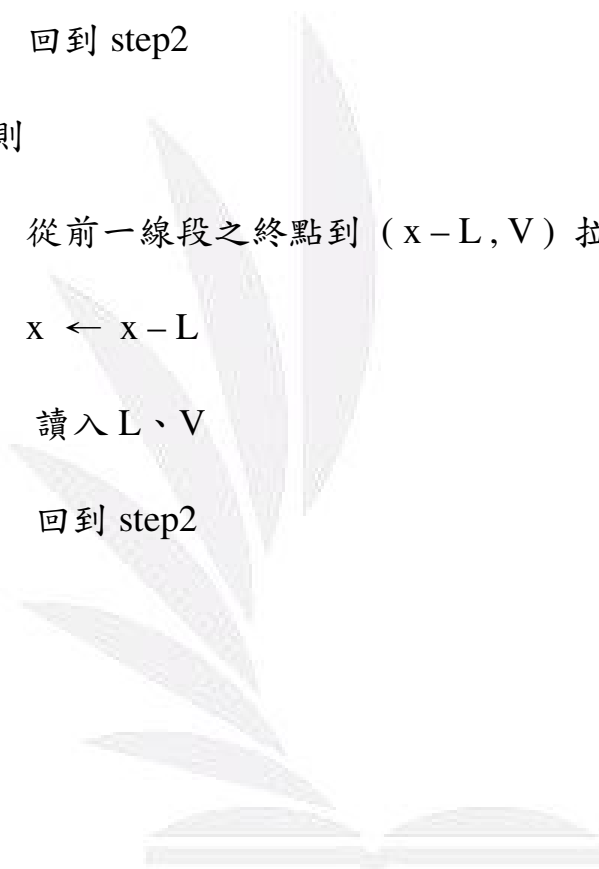
否則

從前一線段之終點到 $(x - L, V)$ 拉一斜線

$x \leftarrow x - L$

讀入 L 、 V

回到 step2



§ 3.1 Multiquadric interpolation method(MQ)

一般，MQ 內插法主要被應用在地質的運用。地質上的應用是”三維的立體空間”但是 ECG 信號是二維空間。因此，ECG 信號模型應該比地質模型簡單。MQ 是在信號中有意義的點間之近似值。所以，這個資料是 ECG 信號使用 MQ 的方法去做，最大的點、最小的點組成和在斜率點的變化。MQ 是一個線性組合的方均根函數。這個線性組合的係數，方均根函數，被使用在表示 ECG 信號上。

§ 3.2 MQ method

計算一個表示一個 ECG 信號曲線圖之絕對值函數的線性組合，可以考慮直線分割的級數。MQ 是一個為了方均根函數之線性組合的一個內插函數。H(X)之內插方程式表示成(1)

$$H(X) = \sum_{j=1}^n \alpha_j [(X - X_j)^2]^{1/2} = \sum_{j=1}^n \alpha_j |X - X_j| \quad (1)$$

當 α_j 是在 X_j 所在的 n 個節點組合的未知係數。這些點可以決定一些模式，沿著 X 軸的空間。這個插入值在 X 函數中從(1)方程式的解的任何 P 點是

$$H(X_p) = \sum_{j=1}^n \alpha_j [(X_p - X_j)^2]^{1/2} \quad (2)$$

by $j=1,2,\dots,\dots,n$

使用 MQ 內插法作 ECG 的信號壓縮

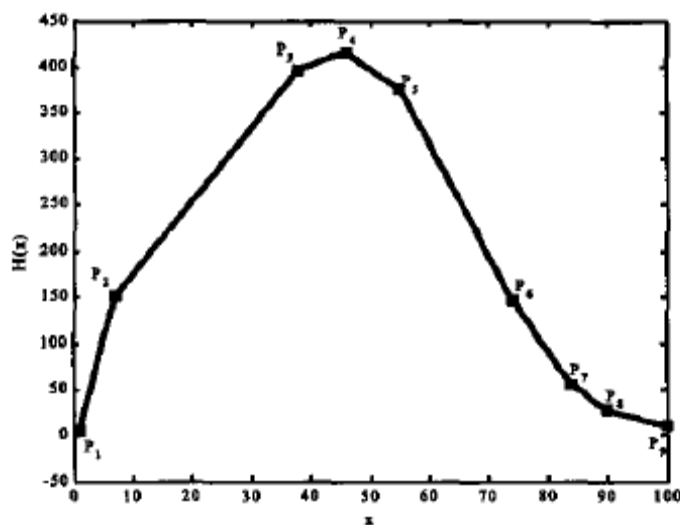
$H(X)$ 有可以符合連續可微分曲線的不同資料，在完全的函數值.

從(1)方程式

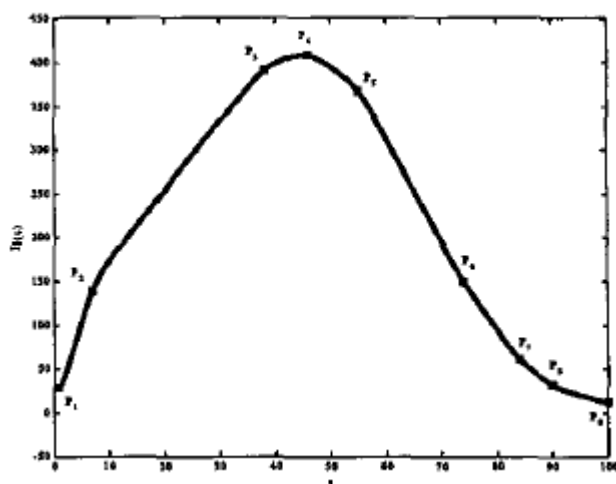
$$H_i = \sum_{j=1}^n \alpha_j [(X_i - X_j)^2 + \Delta^2]^{1/2} \quad (3)$$

by $i=1,2,\dots,n$

Δ 是一個可變函數。 Δ 的值影響重現曲線的平滑 表示在圖 3-1、3-2



【圖 3-1】 using Eq.(3) with $\Delta=0$



【圖 3-2】 using Eq.(3) with $\Delta=2$

§ 3.3 在 MQ 選擇有意義的點的標準

為了 ECG 信號的壓縮 MQ 的有意義的點是每個最大點、最小點和改變斜率的點(P,QRS,T)。選擇重要的點 X_j 的規則和標準在方程式

(3)

圖 3-3 為一個 ECG 心電圖，下面的標準，用這個心電圖說明之。



【圖 3-3】

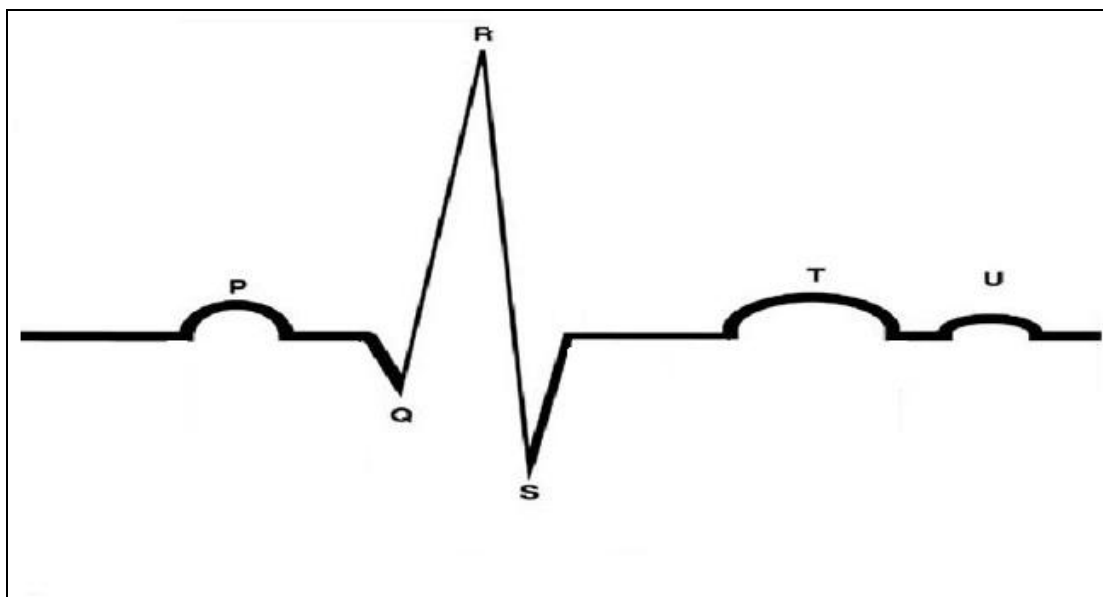
A. 選擇信號的第一個和最後一個點。



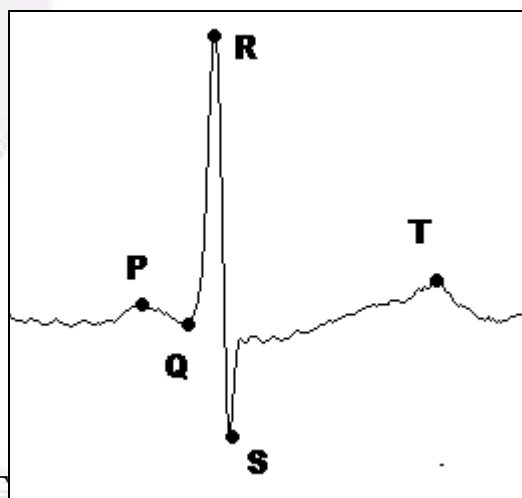
【圖 3-4】 A 為第一個點；B 為最後一點

使用 MQ 內插法作 ECG 的信號壓縮

B. 選擇 P,QRS,T 的最大的點。(P,QRS,T 如圖 3-5 表示)



【圖 3-5】說明所謂的 P,QRS,T



【圖 3-6】取 P,QRS,T

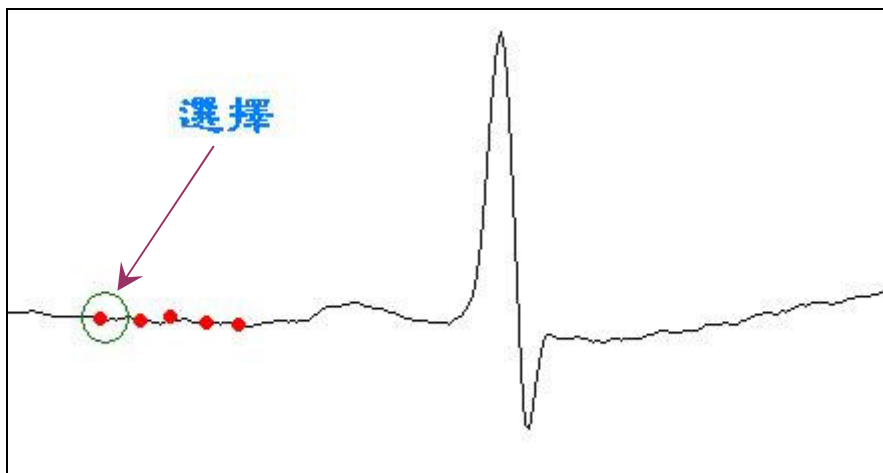
C. 選擇信號的最小點。



【圖 3-7】取最小點

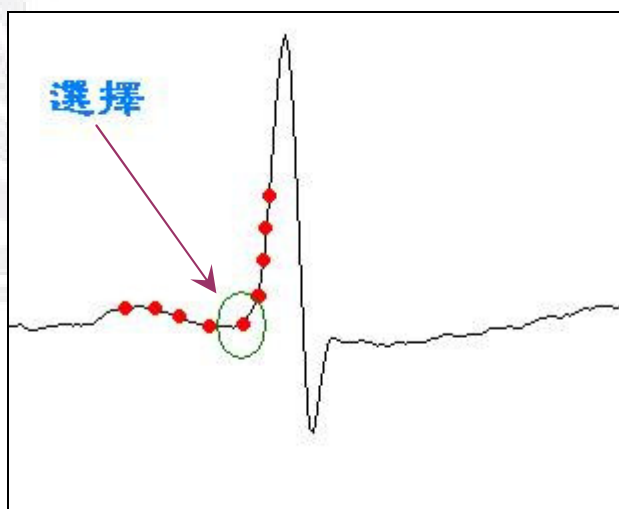
使用 MQ 內插法作 ECG 的信號壓縮

D. 當信號的斜率超過五個取樣點連續是 0，選擇這個範圍的第一個點。



【圖 3-8】

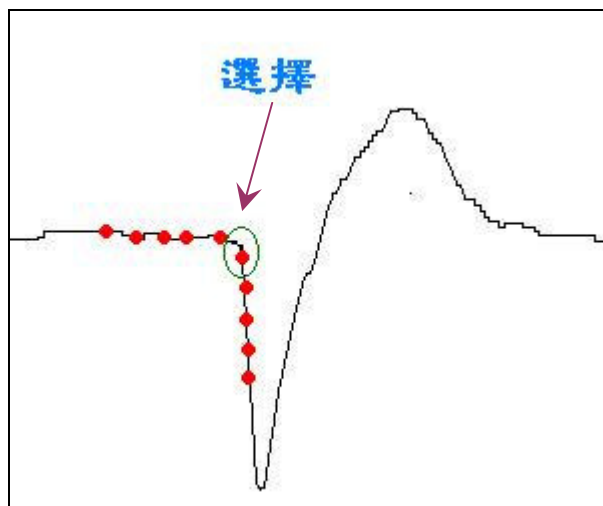
E. 當信號的斜率改變~由 0 到正(+)。而且斜率連續為正(+)超過 5 個取樣點，選擇這個正的範圍的第一個點。



【圖 3-9】

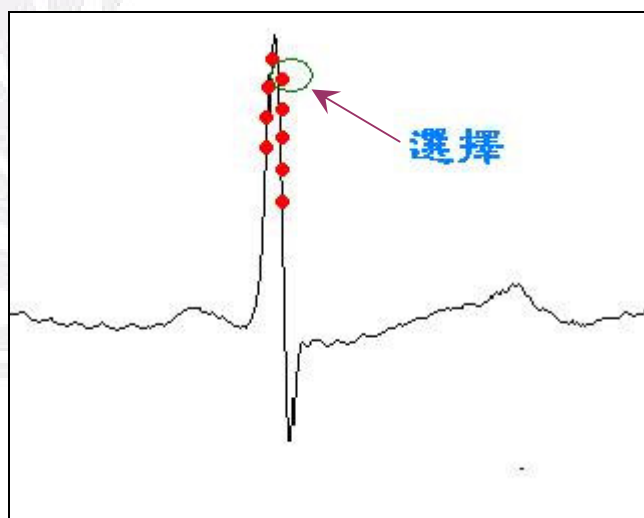
使用 MQ 內插法作 ECG 的信號壓縮

F. 當信號的斜率改變~由 0 到負(-)。而且斜率連續為負(-)超過 5 個取樣點，選擇這個負的範圍的第一個點。



【圖 3-10】

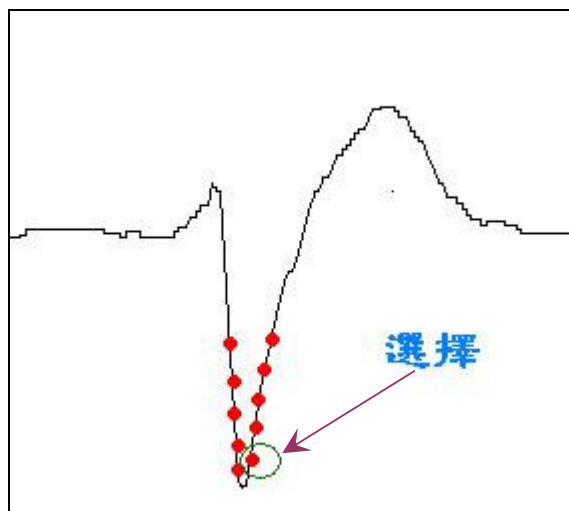
G. 當信號的斜率改變~由正(+)到負(-)。而且斜率連續為負(-)超過 5 個取樣點，選擇這個負(-)斜率的第一個點。



【圖 3-11】

使用 MQ 內插法作 ECG 的信號壓縮

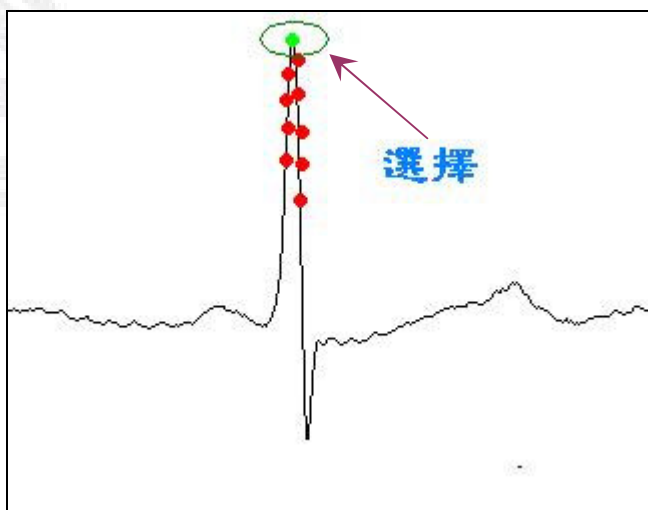
H. 當信號的斜率改變~由負(-)到正(+). 而且斜率連續為正(+)超過 5 個取樣點, 選擇這個正(+)斜率的第一個點。



【圖 3-12】

I. 如果發生絕對信號斜率沒有超過 20, 如果這個點的絕對信號斜率之前是少於 10 且信號斜率後是大於 15。且這兩信號斜率間的不同是超過 10。選擇這個點(從正到負 或 負到正)

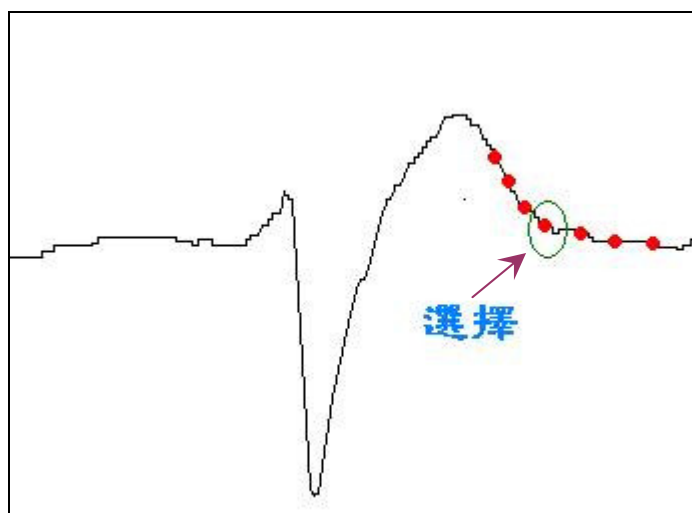
J.



【圖 3-13】

使用 MQ 內插法作 ECG 的信號壓縮

K. 如果發生絕對信號斜率沒有超過 20，如果這個點的絕對信號斜率之前是大於 15 且信號斜率後是少於 10。且這兩信號斜率間的不同是超過 10。選擇這個點(從正到正 或 負到負)



【圖 3-14】

L. 如果發生絕對信號斜率超過 20，假如絕對信號斜率連續的增加或減少。且絕對信號斜率超過 20 但是兩信號斜率相差小於 40。選擇這個點，但有些信號是非必要去選擇的，是為了更好的壓縮比率，如果重建的錯誤遠遠超過選擇那點。

§ 3.4 使用 MQ 參數做 ECG 的信號重建

有意義的點(上一節所說)將被用來做 MQ 的參數，為了信號重建或資料儲存。

由(1)，使 $Q_{ij}|X - X_j|$ 然後由(1)

$$[H_j] = [\alpha_j I Q_{ij}] \quad (4)$$

有意義點的振幅是 H_j 且有意義點的取樣點數目是 X_j ，為了 Q_{ij} 在(4)式中和係數矩陣 $[\alpha_j]$ 分別，被表示成：

$$[\alpha_j] = [Q_{ij}]^{-1} [H_j] \quad (5)$$

因此，由有意義的點所選擇的 MQ 參數，(4)式、(5)式是 α_j 和 X_j 。它們在(3)式中使用。

對於 ECG 信號來說， Δ 影響是很小的位元錯誤(小於 0.01%)且 $0.3 \leq \Delta \leq 0.7$ 是效果最好的，從試驗中得知，由於 Δ 用於信號平滑，幾乎接近 ECG 的原始信號。

§ 3.5 結論：

在我們這篇專題報告裡，MQ 的方法是一個對於 ECG 信號的壓縮有效率的方法也提供好的性能。當比較使用”高斯函數定理”做 ECG 信號壓縮；PDR(Percent Root Mean Square Different)比高斯的方法好。這報告裡用到的標準是為了兩個疾病的求值—惡性室性心律失調和心律不整。假如 MQ 被應用在其他的疾病的標準，那就需要被重新探究。

§ 3.6 參考資料：

- [1] J.Mateo,P.Serrano,R.Bail'ón,E. Gutiérrez,A.del Río,JACasasonvas,IJ Ferreira, P.Laguna,"ECG-Based Clinical Indexes During Exercise Test, Depolarization and HRV,"IEEE Computer in Cardiology, vol.27,pp.833-836,2000.
- [2] J.Mateo,P.Serrano,R.Bail'ón,S.Olmos,J. García,A.del Río,IJ Ferreira, P.Laguna,"ECG-Based Clinical Indexes During Exercise Test Including Repolarization,Depolarization and HRV,"IEEE Computer in Cardiology,vol.28,pp.309-312,2001.
- [3] Rami Lehtinen,Harri Sievonen,Jari Viik,Vaano Turjanmaa,Kari Niemela,Jaakko Malmivuo,

- "Accurate Detection of Coronary Artery Disease by Integrate Analysis of the ST-Segment Depression/Heart Rate Patterns During the Exercise and Recovery Phases of the Exercise Electrocardiography Test," American Journal of Cardiology, vol.78, pp.1002-1006, November.1996
- [4] Thomas Schimming, "Analysis and Modeling of ECG signal using nonlinear methods," <http://lanoswww.epfl.ch/personal/schimmin/uni/beleg/body.html>, April, 1997.
- [5] Ranveig Nygaard, Dag Haugland, "Compressive ECG Signals by Piecewise Polynomial Approximation," ICASSP-23, May 1998.
- [6] Fabio Badilini, Arthur J. Moss, Edward Titlebaum, "Cubic Spline Baseline Estimation in Ambulatory ECG Recordings for the Measurement of ST Segment Displacement," IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, vol.13, no.2, pp.584-585, 1991.
- [7] Raimon Jane, Salvador Olmos, "A Comparative Study of Adaptive Algorithms for ECG Data Compression using Hermite Models," 16th Annual International Conference of the

使用 MQ 內插法作 ECG 的信號壓縮

IEEE, Vol.2, pp.1262-1263, November, 1994 .

[8] R.L.Hardy, "Theory and Applications of the Multiquadric-Biharmonic Method," Computers Math. Applic, Vol.19, no.8/9, pp.163-208, 1990.

[9] R.L.Hardy, "The Multiquadric-Biharmonic Method as Used for Mineral Resources, Meteorological, and Other Applications," Journal of Applied Science & Computations, vol.1, no.3, pp.437-475, February, 1995.

[10] Harvard-MIT Division of Health Sciences and Technology, "MIT-BIH Database," <http://ecg.mit.edu/>, October, 2002.

[11] 資料壓縮 作者:戴顯權 紳藍出版社 pp.8-14~8-24

§ 附錄一：

AZTEC 編碼程式

```
#include <iostream.h>
#include <string.h>
#include <fstream.h>
#include <math.h>

long src[5001];
long target;
void main()
{
char ch;
long x[5001];
long xmax,xmin,xx,xn,m;
int count,i,range;

range=10; // λ 值
target=0; //i
for(i=0;i<5001;i++)
{
x[i]=0;
src[i]=0;
}
ifstream fip("100.CH1");
count=1;
while (fip.get(ch))
{
```

使用 MQ 內插法作 ECG 的信號壓縮

```
    if (ch!= '\n')
    {
        src[count]=src[count]*10+(((long)ch)-((long)('0')));
        //cout << src[count] << ch << "+++";
    }
    else
    {
        count++;
        //cout << src[count-1] << "---";
    }
}
fip.close();
ofstream fop("100.CH1.ans");
//fop << src[i] << endl;
```

step1:

```
target++;
if (target>=count)
{
    goto step7;
}
x[1]=src[target];
target++;
if (target>=count)
{
```

使用 MQ 內插法作 ECG 的信號壓縮

```
    goto step7;
}
x[2]=src[target];
m=2;
if (x[2]>x[1])
{
    xx=x[2];
    xn=x[1];
}
else
{
    xx=x[1];
    xn=x[2];
}
```

step2:

```
if ((xx-xn)<range)
{
    m++;
    target++;
    if (target>=count)
    {
        goto step7;
    }
    x[m]=src[target];
    xmax=xx; //Xmax
```

使用 MQ 內插法作 ECG 的信號壓縮

```
xmin=xn; //Xmin
if (x[m]>xx)
{
    xx=x[m]; //更新 Xmax
}
if (x[m]<xn)
{
    xn=x[m]; //更新 Xmin
}
goto step2;
}
else
{
    goto step3;
}
step3:
if (m-1>=3)
{
    fop << (m-2) << endl;
    fop << ((xmax+xmin)/2) << endl; //輸出長度(Xmax - Xmin)/2
    x[1]=x[m-1];
    x[2]=x[m];
    m=2;
    if (x[2]>x[1])
```

使用 MQ 內插法作 ECG 的信號壓縮

```
{
    xx=x[2];
    xn=x[1];
}
else
{
    xx=x[1];
    xn=x[2];
}
goto step2;
}
else
{
    m++;
    target++;
    if (target>=count)
    {
        goto step7;
    }
    x[m]=src[target];
    goto step4;
}
```

step4:

```
while (abs(x[m]-x[m-1])>range && (x[2]-x[1])*(x[m]-x[m-1])>0)
{ // |  $X_i - X_{i-1}$  |  $> \lambda$  且斜率之正負號與線段  $X_1X_2$  相同
    m++;
    target++;
    if (target>=count)
    {
        goto step7;
    }
    x[m]=src[target];
}
```

step5: //輸出 $-(i-1)$ 及 X_{i-1} ; 斜線的時間間隔用負數表示

```
fop << -(m-2) << endl;
fop << (x[m-1])<< endl;
```

step6:

```
if (abs(x[m]-x[m-1])<range)
{
    x[1]=x[m-1];
    x[2]=x[m];
    m=2;
    if (x[2]>x[1])
    {
        xx=x[2];
        xn=x[1];
    }
}
```


使用 MQ 內插法作 ECG 的信號壓縮

```
    }  
    else  
    {  
        xx=x[1];  
        xn=x[2];  
    } //更新  $X_{\max}$  、  $X_{\min}$   
    goto step2;  
}  
else  
{  
    x[1]=x[m-1];  
    x[2]=x[m];  
    m=3;  
    target++;  
    if (target>=count)  
    {  
        goto step7;  
    }  
    x[m]=src[target];  
    goto step4;  
}
```

step7:

```
    fop.close();  
}
```

§ 附錄二：

➤ 數值壓縮與分析

在心電圖中以數值方式儲存資料所需的空間遠遠少於以圖形儲存心電圖資料。

接下來介紹數字型態心電圖資料的壓縮結果：

在固定時間因子下假設每個時間區段的心跳數據如下所示

995	995	995	995	995	995	995	995	1000	997	995	994
992	993	992	989	988	987	990	993	989	988	986	988
993	997	993	986	983	977	979	975			

經過壓縮法之後數據的呈現：

7	995	-1	1000	-2	995	4	993.5	-2	988		
2	988.5	-2	989		3	987.5	-1	993	-1	997	
	-2	986	-2	977	-2	975	2	973.5	4	970.5	
2	972	-2	966	5	966	-2	967	4	968		
-1	963	2	964.5	-1	968	-2	964	-2	960	

分析

<u>7</u>	<u>995</u>	-1	1000	-2	995	4	993.5	<u>-2</u>	<u>988</u>	2	988.5 ...
----------	------------	----	------	----	-----	---	-------	-----------	------------	---	-----------

↑
時間長度為 7 數值為 995 的水平線

↑
負號表示為一斜線，連接
993.5 與 988 且時間長度為
2，斜率為正。