

第二屆系統黑客松參賽計畫書

題目：應用於遠距醫療照護之心電壓系統

報名編號：#31

組別：ARMmbed 組

使用平台：STM32F429

隊伍名稱：Care Assistant

隊員：郭威廷

隊員:郝平正

(1) 摘要:

隨著社會高年齡層的老化，慢性病的人口逐漸增加，因此居家看護系統即成為未來醫療保健中重要的一環。針對心血管慢性疾病人口的成長、個人居家醫療照護的需求，以及網路雲端的興起，遠距醫療照護(Telemedicine)將成為未來發展趨勢，如圖1所示。ECG(Electrocardiogram)心電圖於醫學方面應用相當廣泛也是診斷是否有心血管疾病的重要工具。

儘管長時間記錄心電圖可以讓醫護人員診斷出病因，不過長期記錄心電訊號會使的資料量變的龐大，因此有許多心電壓縮技術被提出[2][3][4][5]。心電圖信號經壓縮後可以節省儲存記憶體空間、減少傳輸時間、以及傳輸功率的消耗。而一個有效即時壓縮且傳輸方法可以被廣泛地使用在無線通訊上並應用在遠距心電圖監測管理系統[1]，將心電資料送至雲端資料庫中，以便日後醫師對治療者進行分析及診斷。然而訊號壓縮可分為無損(Lossless)與有損(Lossy)壓縮。儘管有損的壓縮的方式因為有較高的壓縮率的特性以經被廣泛使用，但對於醫療人員而言，如果能提供即時且低功耗的無損心電訊號壓縮不但能有效提升醫療人員診斷心血管疾病的準確度也能提供後續的醫療應用。本作品在於設計一個即時且高壓縮率的心電訊號壓縮處理法來降低網路頻寬與儲存空間的負擔，並將演算法移植到嵌入式系統以達到方便攜帶且低功耗監控的功能。

(2) 作品設計動機及應用對象:

鑑於健康照護服務之傳輸應用已成重要趨勢，越來越多的資料需傳輸至遠端照護中心，以提供更多元之應用服務。其中，心電紀錄儀因可長時間紀錄心電訊號而被廣泛使用，卻也造成大量資料傳輸與處理的需求。然而傳輸之頻寬卻是有限的。此外，新的心電紀錄儀為了可攜式需求，多採用電池供電並搭配有限運算能力之中央處理單元。因此，在有限的運算能力與傳輸頻寬下，心電記錄儀需能提供有效且簡易之資料減量技術。過去心電圖的量測方式多半要病人靜躺在病床上才能完成靜態心電圖的記錄，但病患心律不整的症狀，並不是隨時會發生，因此在現代中發展出可攜式、微小化與居家化的心臟監測產品，以符合需要24小時連續監測的心電訊號監測系統來隨時偵測並分析訊號狀況。量測裝置與通訊結合，可稱為遠距心電圖監測系統/心電圖管理系統，亦為遠端醫療照護涵蓋的範圍，遠端醫療照護如圖一所示:

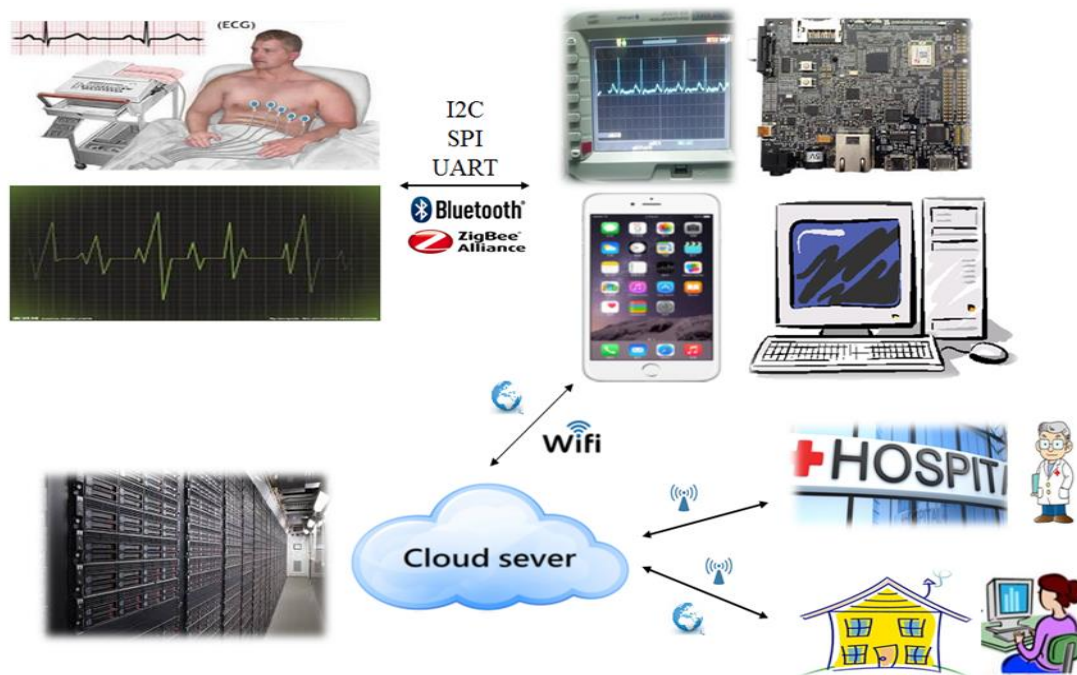


圖1.遠端心電醫療管理系統

本團隊跟專業醫療人員討論後發現針對心電圖分析，因心臟是立體器官，每個人心臟位置和軸向也不盡相同，使用多導程生理量測儀做為基礎，觀察各軸向上的生理訊號可以得到更完整的心臟狀態資訊，且方便醫院醫師做更精準的診斷避免相關醫療糾紛。

另一面有鑑於應用於穿戴式裝置，本專案以低廉成本和攜帶便利性為首要考量目標，只需簡單的 ECG 擷取電路與嵌入式系統晶片處理訊號就能到壓縮效果，進而有效降低因多導程造成巨大心電資料量。

(3) 作品結構及原理說明:

◆ 系統整體架構:

整體系統分成兩部分，分別是心電訊號截取電路與無損壓縮編解碼。為了能詳細診斷心電訊號，在擷取訊號方面儘管我們一次截取12導程的心電訊號來做分析，但在傳輸的資料量上會大幅的增加為了有效降低資料量，經此系統能將原本的資料量降低2~3倍，此舉不但能降低資料在傳輸上消耗掉的功耗，也能確保資料在經過編碼傳輸後還原的資料品質。

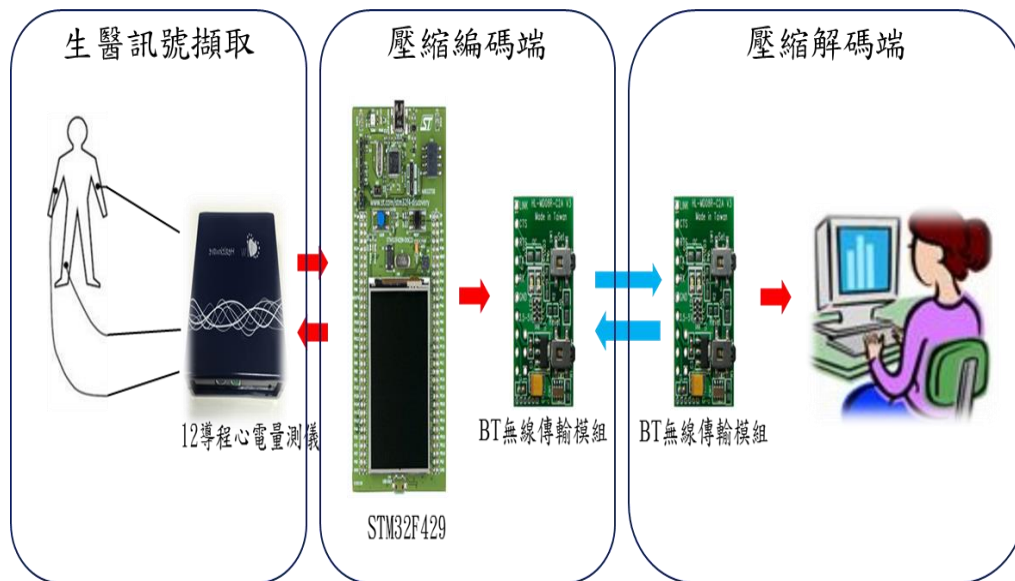


圖2. 整體系統環境示意圖

1.子系統1架構模型:

十二導程心電量測儀藉由 RS232協定通訊將提供心電訊號給 STM32作壓縮處理，同時 STM32也可傳輸控制訊號給心電儀並控制其開關。壓縮的後的數據，如處理資料量、壓縮率等等可以即時顯示在 LCD panel 上讓受測者能即時監控，最後我們利用 STM32提供多組的 UART 接藍芽模組將壓縮資料傳輸至遠端，來達成遠端醫療的概念。

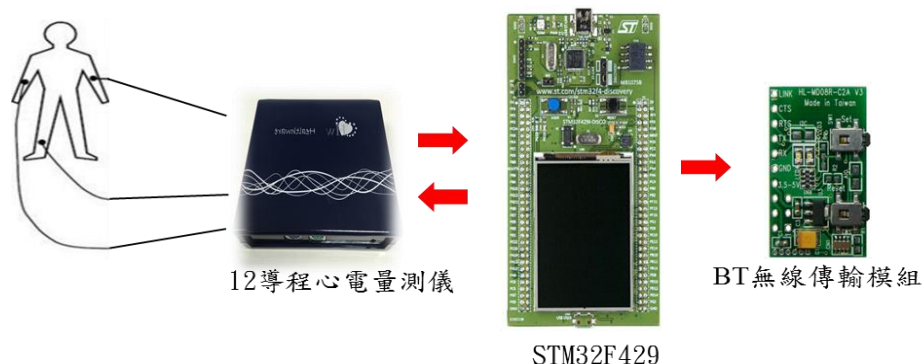


圖3. 子系統1架構示意圖

2.子系統2架構模型:

利用藍芽模組接收資料並將資料傳輸到 PC 端作解碼將原始的心電訊號波形即時顯示在螢幕上，並顯示相關壓縮資訊，未來將在 PC 端判別是否有心電異常病即時通知家人或朋友。

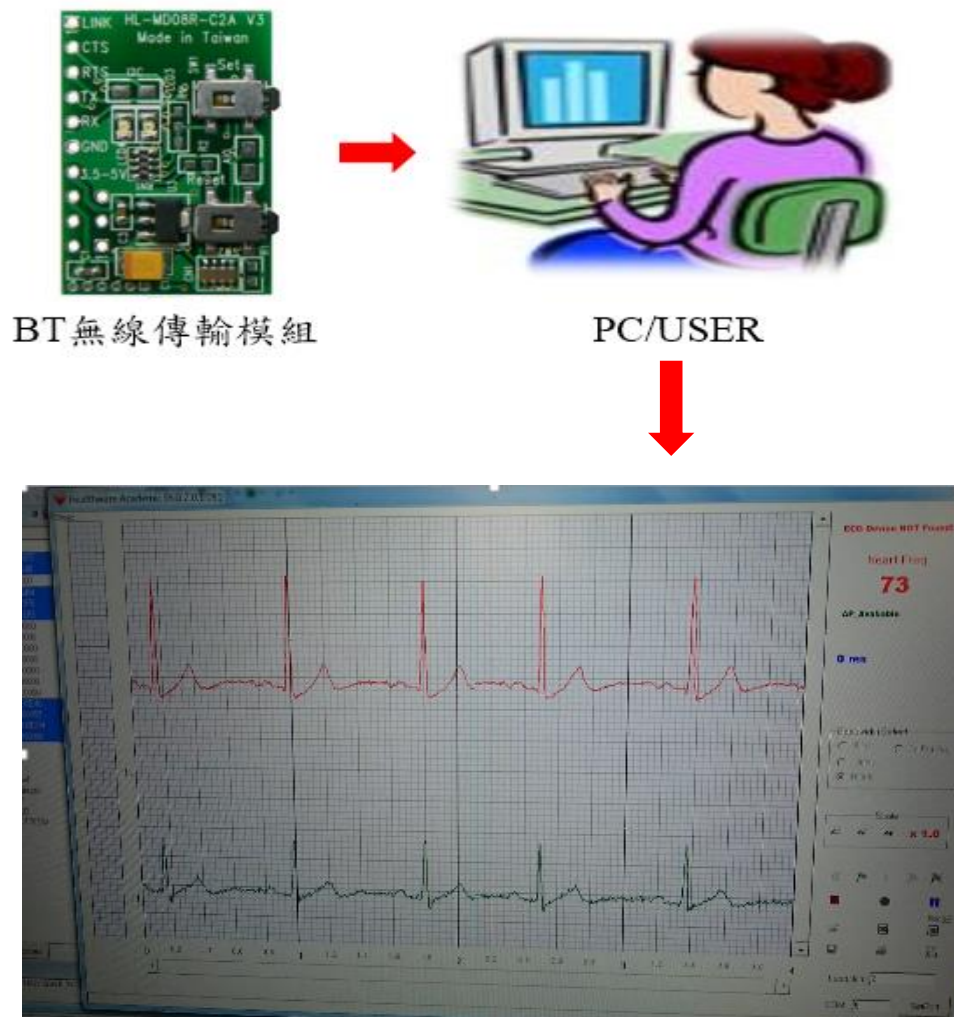


圖4. 子系統1架構示意圖

◆ 演算法原理說明:

此演算法我們專注於心電訊號無損(Lossless)壓縮演算法的開發。當前端心電感測儀器接收到心電訊號時，利用可變動式心電線性預測演算法(Adaptive Linear Prediction) 來降低原始信號的動態範圍。在熵編碼(Entropy coding)部分，我們利用 Content-adaptive 哥倫布編碼將經預測後的預測錯誤(Prediction error)進行壓縮編碼，最後再經由藍芽傳輸方式將壓縮後的資料傳輸到遠端並還原心電訊號，來完成遠距醫療的雛型。整體心電訊號無損編解碼架構圖如圖5所示:

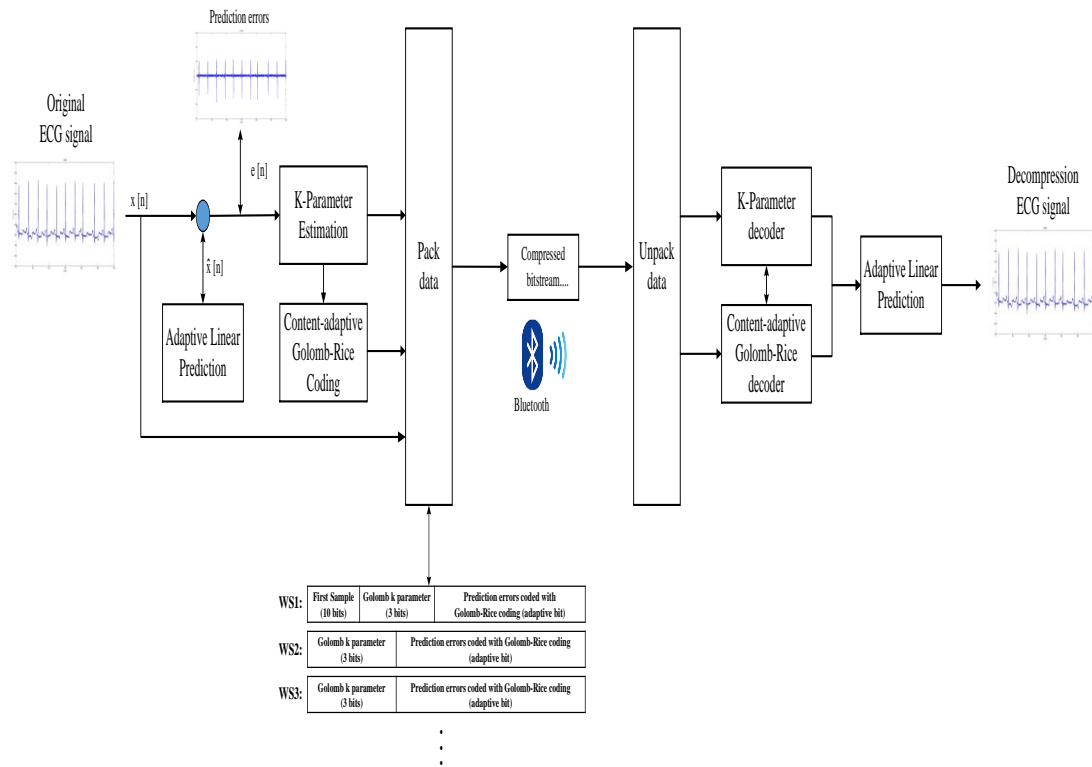


圖5.心電訊號無損壓縮編解碼架構圖

一般傳統的無損壓縮編碼如下圖6所示，主要分成兩部分 Prediction module 與 Entropy coding module。Prediction module 主要利用訊號的相關特性來降低預測錯誤以提升預測準確度。Entropy coding module 主要是利用一些有名的壓縮編碼，如：霍夫曼編碼、算數編碼、哥倫布編碼.....等，將預測錯誤的差值做訊號壓縮處理來提升整體壓縮率。

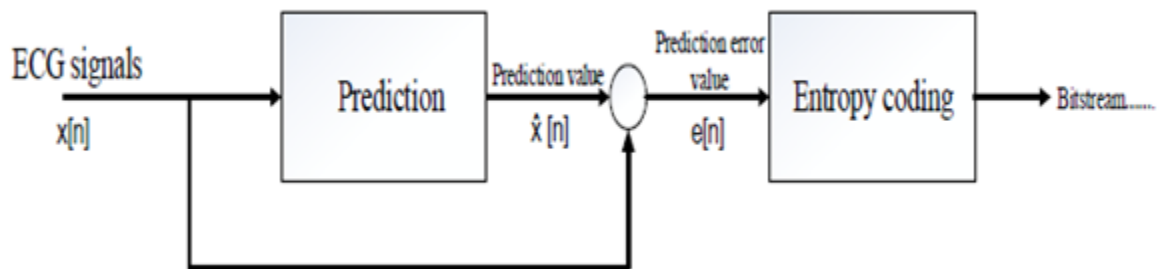


圖6.傳統心電訊號壓縮演算法

在我們所提出的壓縮演算法裡，主要是使用一個可適性預測編碼(Adaptive linear prediction)來大幅降低預測錯誤，並根據[6]所提出的 Content Golomb Rice code 來當作 entropy coding 相關壓縮流程圖如下圖所示。

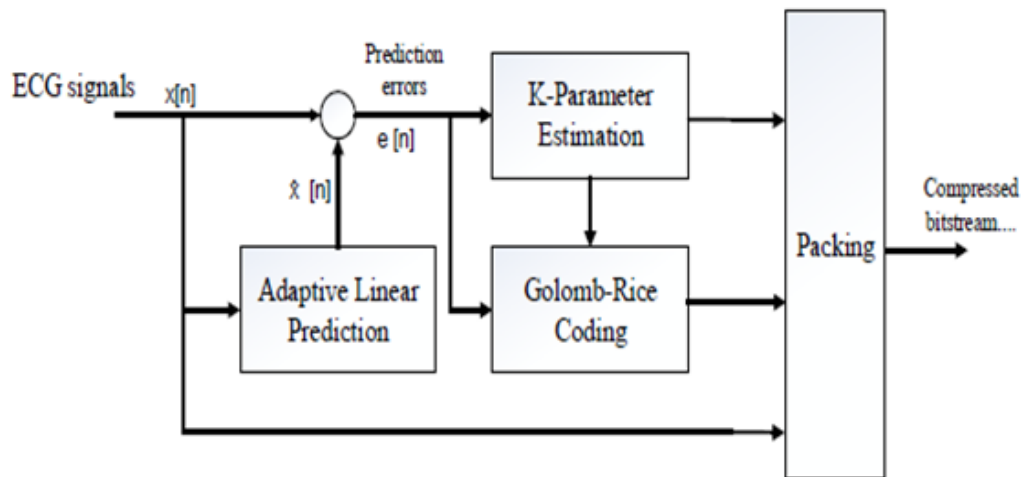


圖7.心電圖訊號壓縮演算法流程圖

(1) 可變動式心電線性預測演算法(Adaptive Linear Prediction):

對於 ECG 訊號如圖8所示，可分成許多不同的斜率區域，如 QRS 波、P 波、T 波。這些波形會導致較高的 Prediction error。為了有效降低預測錯誤率，我們提出了參考前3筆心電資料與彼此之間斜率大小與方向來預測下個資料的大小，如圖9. 圖10所示。並由圖10可知，此方法能有效將低預測錯誤率並提升預測準確度。

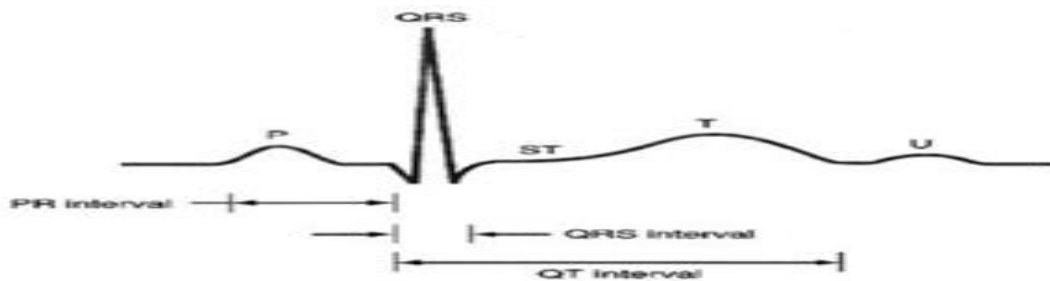


圖7.ECG 心電訊號

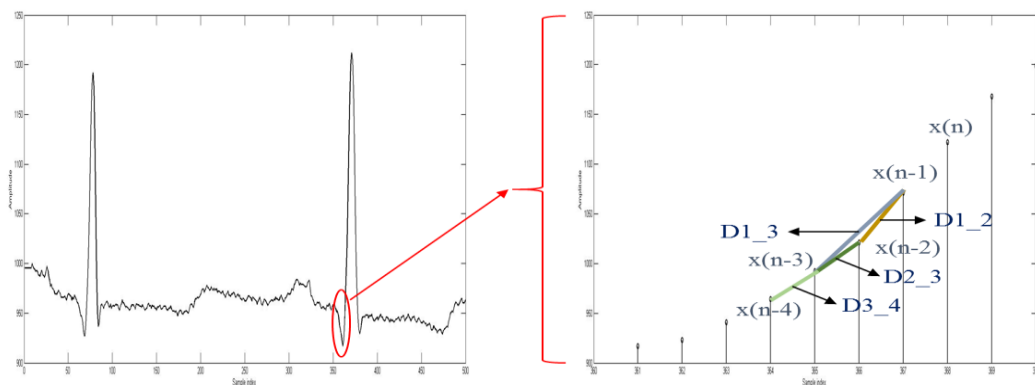


圖8.心電資料擷取示意圖

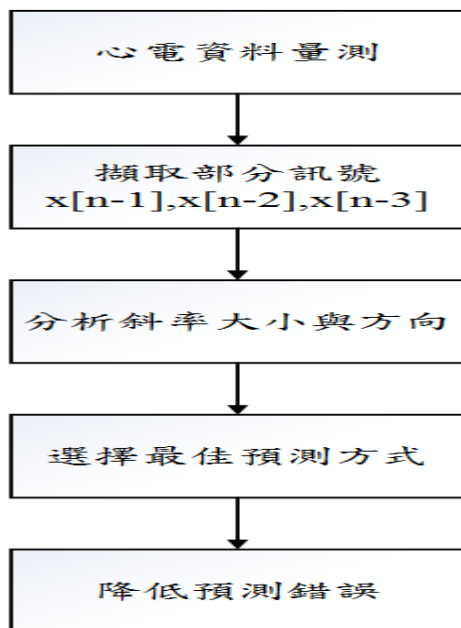


圖9.可變動式心電線性預測演算法

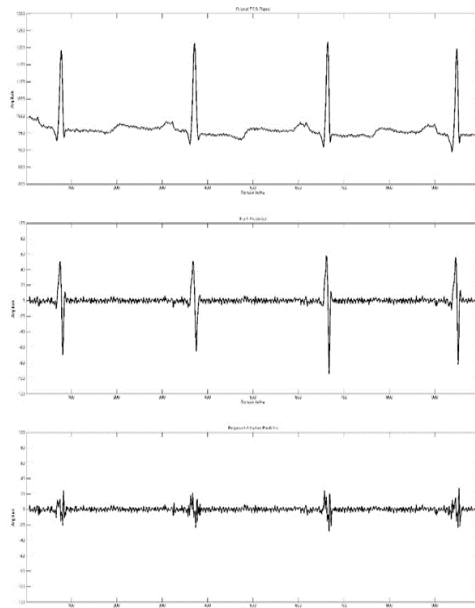


圖10.心電預測結果示意圖

(2) 內容可變動式哥倫布編碼(Content-Adaptive Golomb rice coding):

然而降低預測錯誤差值主要是利於後續的壓縮處理，壓縮方式我們將參考[6]所提出針對感測壓縮的哥倫布編碼(Golomb-Rice Codes)，此編碼是由 Golomb 編碼修改而成，適用於具有指數衰減機率分佈之非負數整數的編碼。這裡我們提出一個可依據資料特性去做修改的內容可變動式哥倫布編碼(Content-adaptive Golomb-Rice code)此方法主要是利用一個 Window size(WS)去計算每個 WS 裡的資料，資料大小將影響後續 Golomb-Rice code 的 k 值。k 值大小將影響後續壓縮率的高低，流程圖如下所示。

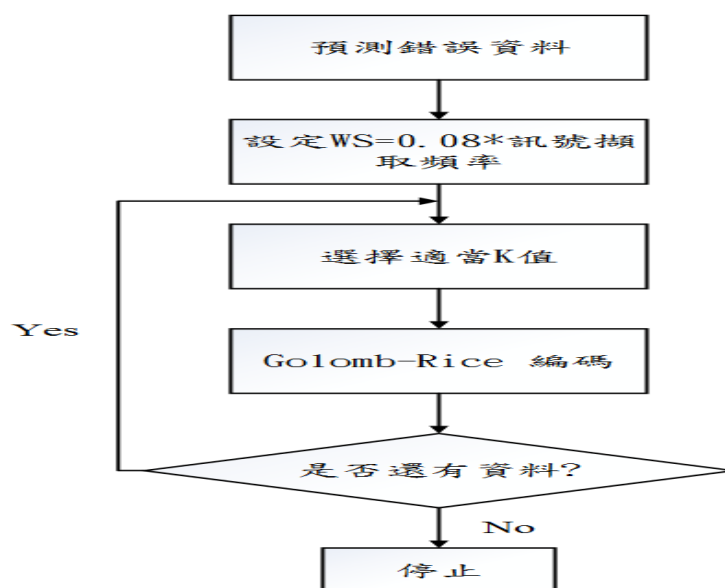


圖11.內容可變動式哥倫布編碼流程圖

(4) 預期成果:

本演算法為了跟過去相關文獻做比較，我們找到由以 MITBIH Arrhythmia Database 為基礎的數據庫來當我們的心電數據來源，各筆詳細資料壓縮率如表二所示，由此表可知最高的壓縮率能達到3.147，平均壓縮率也有2.77x。跟過去相關文獻相比較能提供較優越的壓縮比，比較表如 TABLE I 所示。

TABLE I.與過去文獻之比較

Prediction technique	Entropy coding	CR	Ref
Delta predictor	Golomb-Rice coding	2.38	[2]
Short term linear predictor	Fixed length coding	2.38	[3]
LMS predictor	Fixed length coding	2.28	[4]
Dual slope predictor	Two-stage Huffman coding	2.53	[5]
Simple predictor	Huffman coding	1.92	[7]
Adaptive linear prediction	Content-adaptive Golomb-Rice coding	2.77	Proposed algorithm

實際量測上，因前端心電截取電路提供每秒600Hz 的訊號取樣率，且訊號解析度為10 bit，以下表格為量測壓縮 Lead I 導程的壓縮數據，平均量測時間為1分鐘。由 TABLE II 可知，我們所提出的壓縮演算法能達到平均壓縮率能達3.36x，能提供相當好的壓縮效果。

TABLE II 實際量測數據表現

	Person1	Person2	Person3	Person4	Person5
原始信號大小 (bits)	360000	360000	360000	360000	360000
壓縮後資料大小 (bits)	103270	103527	112428	117417	100784
壓縮率(CR)	3.486	3.474	3.202	3.066	3.572

(5) 參考文獻:

- [1] “World Health Statistics 2013,” World Health Organization
- [2] E. Chua and W. C. Fang, “Mixed bio-signal lossless data compressor for portable brain-heart monitoring systems,” *IEEE Trans. Consum. Electron*, vol. 57, no.1, pp.267-273, Feb, 2011
- [3] C. J. Deepu and Y. Lian, “A low complexity lossless compression scheme for wearable ECG sensors,” *IEEE International Conference on Digital Signal Processing. (DSP)*, Singapore, pp. 449–453, Jul. 2015.
- [4] C. J. Deepu and Y. Lian, “A joint QRS detection and data compression scheme for wearable sensors,” *IEEE Transactions on Biomedical Engineering.* , pp. 165-175, July. 2014.
- [5] G. A. Luo, S. L. Chen and T. L. Lin, “ VLSI implementation of a lossless ECG encoder design with fuzzy decision and two-stage Huffman coding for wireless body sensor network,” *Information, Communications and Signal Processing (ICICS)*, Tainan, pp. 1–4, Dec. 2013.
- [6] W. Leon-Salas, “Encoding compressive sensing measurements with Golomb-Rice codes,” *IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS)*, Lisbon, pp. 2177–2180, May. 2015.
- [7] S. L. Chen, H. Y. Lee, C. A. Chen, H. Y. Huang, “Wireless body sensor network with adaptive low-power design for biometrics and healthcare applications,” *IEEE Systems Journal*, pp. 398-409, Oct. 2009.