

13th GOLDEN SILICON AWARDS

D13-106

A Microwatt-level Multi-Functional Cardiac SoC for Portable Healthcare Applications

用於可攜式行動照護的微瓦級多功能心臟訊號感測處理單晶片

隊伍名稱

貼心小秘書 / Heart Secretary

隊長

許書餘 交通大學電子研究所

隊員

張博堯 交通大學電子研究所
古方如 交通大學電子研究所
廖英秀 交通大學學生醫工程研究所



作品摘要

心臟病為世界人口死因之第一位，包含慢性與突發症狀。然而現有的醫療習慣，往往待身體不適時才到醫院，因而錯失治療良機，或是無法第一時間將突發之症狀做緊急的處理。有鑒於此，若能由可攜式的行動照護系統，長期將相關生理訊號（心電圖、心音圖）紀錄並傳送至醫療服務平台，便可能即時發現突發症狀，或提供慢性疾病追蹤。

可攜式行動照護藉由無線傳輸將生理訊號傳送至手機與服務平台，藉此減少使用者的不便，然而現有的感測與傳輸機制受到以下限制：

1. 在非醫院內靜態量測的狀態中，由於人體的活動或是外在的環境，將對生理訊號的感測與紀錄造成干擾，使得紀錄之生理訊號產生失真或是雜訊過大，因此影響後續分析的正確性。
2. 多通道的生理訊號可提供較多資訊以分析使用者狀況，但也將大幅增加資料傳輸時間、儲存與傳送能量的消耗，因此造成可攜式裝置的使用時間減少。此外，傳輸的過程也造成對緊急狀況處理的延遲，並也可能有資料被竊取的危險。

基於以上因素，本作品提出一多功能心臟訊號感測處理單晶片，可偵測人體活動狀態進而改善生理訊號品質，並對於不同心臟活動監測調整組態。在晶片上執行智慧型的訊號分析，減少90%以上傳輸資料並達到即時身體狀態警示，配合加密的機制，提升可攜式行動照護的可行性，並妥善觀測使用者身體狀態。

本作品之多功能感測處理單晶片配合整合在處理器的感測介面電路，與相關處理引擎，以符合行動照護的需求，關鍵電路包含1) 低電壓低功率的生理前端及電容感測電路，用於記錄生理訊號並感測身體活動狀態以調整系統組態；2) 低複雜度動態壓縮引擎，藉以減少處理、儲存與傳輸的能量；3) 多重特徵擷取

引擎與可重組化的中央處理器，由壓縮的訊號中，擷取出重要的心電圖、心音圖資訊與活動狀態，並即時完成身體狀態的分析，以供後續慢性疾病追蹤、症狀警示或是增進訊號品質。最後藉由4) 低能耗安全加密引擎，以公開加密與對稱性加密技術，提供使用者隱私權的保護。

考量可攜式裝置的電池能量有限，此作品必須以非常低的功率消耗實現，因此，此作品的實現過程包含非同步處理技術、0.5V低電壓電路設計、記憶體壓縮、低工作週期與電源閘技術，由演算法與電路層級降低功耗，並藉由身體狀態的變化，由系統組態層級完成能量的最小化。使單晶片功率可降低至微瓦級，以符合可攜式行動照護裝置的需求。在有限的功率消耗下，提供智慧型的處理機制，即時地完成心臟與身體狀態分析與警示，擷取相關訊號特徵以供後續慢性疾病追蹤，並而減少90%以上的傳輸資料，進而延長可攜式照護觀測的時間。

指導教授**李鎮宜 / 交通大學電子工程學系暨電子研究所**

1982 年於交通大學電子工程學系取得學士學位，並於 1986 年與 1990 年獲得比利時天主教魯汶大學電子所之碩士與博士學位。博士班研讀期間進入比利時校際微電子研究中心 (IMEC)，並於 1991 年返國於交通大學任教，現為交通大學電子工程學系暨電子研究所教授。同時擔任智慧電子國家型科技計畫共同主持人、IEEE TCAS-II Associate Editor、IEEE ASSCC TPC Member、IEEE VLSI Symposium JFE Circuits Program Committee Member。

研究領域

超大型積體電路設計、系統晶片設計、低功耗電路、生醫電子與多媒體通訊等。

蘇朝琴 / 交通大學電機工程學系

1990 年取得美國威斯康辛大學電機電腦工程學系博士。1990-2002 年任教於中央大學電機系教授，2002 年迄今任交通大學電控系教授。另擔任經濟部技審會，技審委員；經濟部技術處，SBIR 審查委員以及 SBIR 電子領域召集委員等。

研究領域

混合信號電路設計與測試、高速資料鏈結、低電壓低功率晶片設計、生醫類比前端電路以及車用電子設計等。

Abstract

Heart disease is the top cause of death in the world, including the chronic and sudden syndromes. Therefore, it's desired to design a portable healthcare system, which continuously records and transmits the related biomedical signal (ECG, PCG) to the healthcare service platform and enables timely syndrome detection and long-term chronic diseases monitoring.

The portable healthcare system transmits the user's vital signal to the mobile phone and service platform. Besides, the wireless transmission enhances the user's convenience. Nevertheless, the current sensing and transmission scheme suffers from:

1. The human activity and external environments degrade the sensed signal quality and the successive analysis accuracy.
2. Multi-channel biomedical signal provide more information but also increase the data storage and transmission energy, resulting in reduced monitoring duration. In addition, the transmission leads to the delayed process of emergent events and also suffers data security issues.

Accordingly, this work proposes a multi-functional cardiac SoC for portable healthcare applications. The SoC detects the human activity level and adjusts the signal quality for different monitoring requirements. Based on on-chip intelligent analysis, the transmission

data is reduced over 90% and the real-time abnormal events are alarmed. Moreover, the private data are protected.

The key SoC techniques include 1) the low voltage and low power biopotential and capacitive sensor interfaces to record the biomedical signal, and detects activity level for configuration adjustments; 2) A low complexity adaptive compression engine for processing, storage, and transmission energy reduction; 3) A multi-feature extraction engine and programmable CPU that extracts the key ECG/PCG information and activity level. Besides, the body status analysis is real-time performed for successive chronic disease monitoring, syndrome detection, or configuration adjustments. 4) A low energy security engine protecting the user's privacy based on public key and symmetric key cryptography.

Considering the limited battery lifetime, this work should achieve very low power consumption. The applied low power techniques include low complexity algorithms, asynchronous architecture, 0.5V voltage scaling, memory compression, duty-cycling and power gating. Based on the user's body status, the system level configuration adjustment minimizes the energy dissipation. Accordingly, the proposed SoC performs versatile functions with micro-watt scale power consumption for the portable healthcare applications.