

# 基於 MAX32664 的穿戴式光學測量解決方案

■作者：Terry Wu / ADI 資深應用工程師

## 簡介

在時下流行的穿戴式裝置市場中，基於光電容積脈搏波 (PPG) 技術的光學測量解決方案的應用日趨廣泛。ADI 推出綜合性的光學生物感測解決方案，旨在支援這些裝置的健康監測功能。本文將介紹這些感測器解決方案，重點介紹 ADI 的光學人體生理指標測量演算法和 MAX32664 低功耗生物識別感測器中樞的性能和優勢。

## ADI 提供完整的光學生物感測解決方案

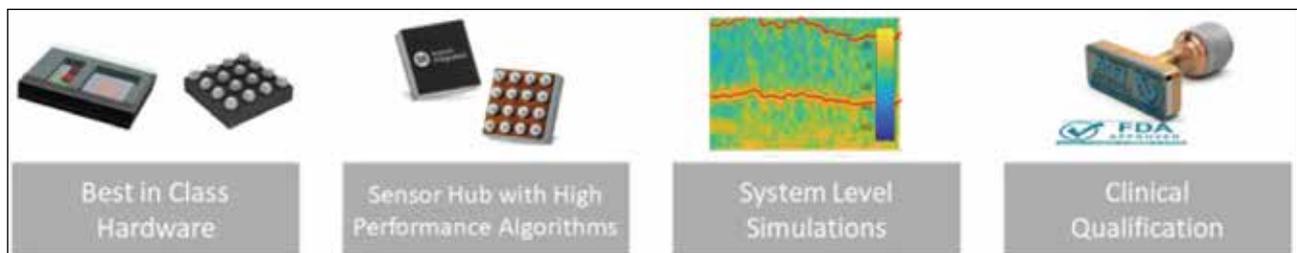
如圖 1 所示，一個完整的可穿戴光學生物感測解決方案由四個主要部分組成：

- 性能卓越的感測器**：ADI 推出了一系列光學測量感測器，適用於人耳、手腕、指尖、前額、腹部等身體測量部位。這些感測器可以測量心率 (HR)、心率變異性 (HRV)、血壓趨勢 (BPT) 和血氧飽和度 (SpO<sub>2</sub>) 等生理特徵。該系列產品體積小、功耗低、訊號雜訊高，可為測量系統提供高品質的原始資料。
- 高性能、高精度人體生理指標測量演算法**：ADI

的演算法團隊完成了基本生理指標 (HR、HRV、SpO<sub>2</sub>、BPT) 的測量，並確定演算法輸出精度可以滿足美國食品藥品監督管理局 (FDA) 的測量標準要求。此外，ADI 演算法可以輸出支援先進應用的結果，例如行為和運動檢測，以及睡眠監測。客戶可以為特定應用選擇不同的演算法模組。所有演算法都整合至 MAX32664 低功耗生物感測器中樞中，使 MCU 可以自由執行系統中的其他任務，且消除了各種類型的演算法許可負擔。

- 系統級設計類比與驗證**：生理特徵測量需要涵蓋不同的人群，以及膚色、體毛、血量和可能影響測量結果的差異化的生物因素。光學測量方法在結構上容易受到環境光的干擾，其微小訊號也會受到硬體設計中的其他高頻訊號的干擾。這些因素都會大幅增加產品設計的難度。ADI 可以提供完整的設計規範和參考設計，以支援結構和硬體設計過程。客戶只需簡單修改參考設計即可完成客製化設計，大幅縮短產品設計週期。
- 專業臨床驗證指導**：ADI 在產品開發過程中累積了豐富的臨床驗證經驗，並與全球各地的權威認證機構保持著良好的合作關係。在相關權威機構執行臨床驗證和認證過程期間，這些寶貴經驗可以

圖 1: 完整的光學生物感測開發解決方案





為客戶提供指南。

綜上所述，ADI 的完整的光學生物感測開發解決方案讓客戶能夠彈性選擇產品特性，大幅縮短了產品的設計週期和驗證時間。其還可以將解決方案無縫整合到他們自己的開發平台中，以協助縮短上市時間。

### 感測器中樞介紹

MAX32664 是 ADI 人體生理指標測量解決方案的一部分，內建穿戴式裝置韌體和演算法。其可以無縫致能客戶所需的感測器功能，包括與 ADI 的光學感測器解決方案通訊，並輸出原始數據或演算法資料。主機只需透過 I<sup>2</sup>C 介面讀取 MAX32664 的輸

圖 2: 系統功能框圖

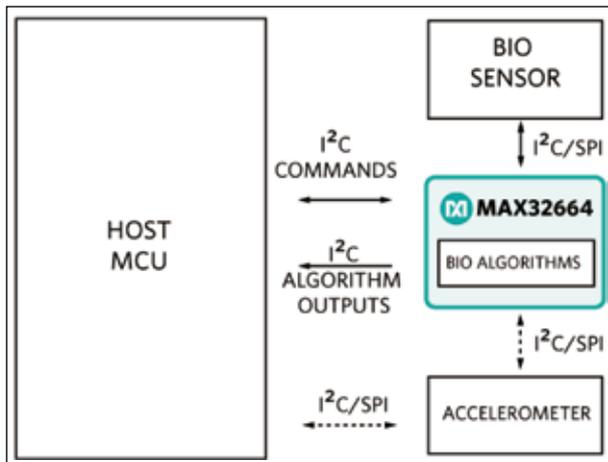
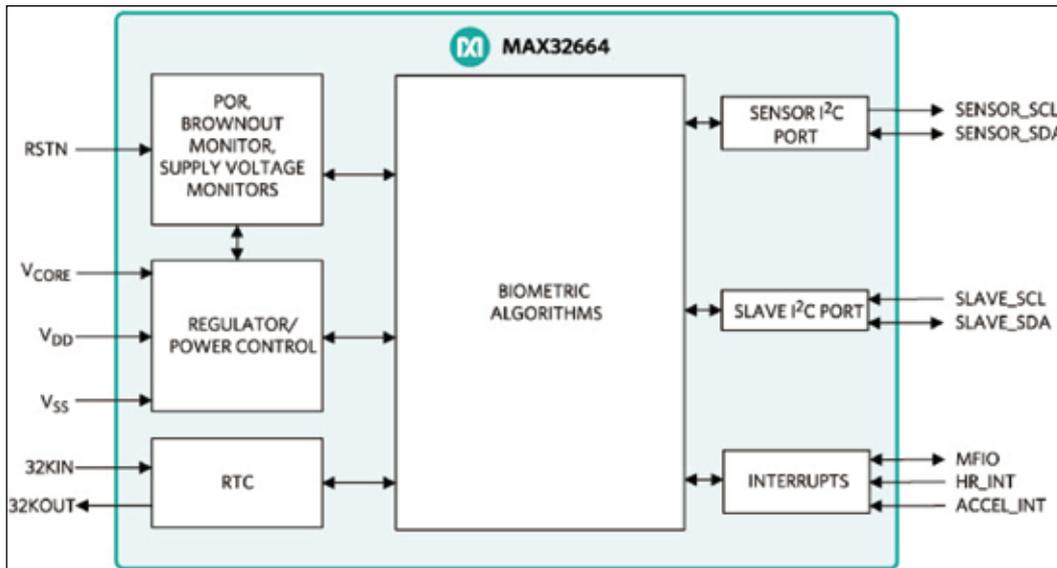


圖 3: MAX32664 硬體功能框圖



出，即可獲得所需的生物特徵測量結果。圖 2 顯示其系統功能框圖。

### 感測器中樞的硬體介紹

MAX32664 是 ADI 推出的一款新一代超低功耗 MCU。如圖 3 中的框圖所示，MAX32664 具有以下特性：

- 卓越的運算能力：超低功耗 Arm Cortex -M4 MCU，具有浮點單元 (FPU) 和最高工作時脈 (96MHz)。
- 高度整合：內建 256KB 快閃記憶體、96KB RAM、16KB 指令緩存、14 個通用 I/O 接腳。
- 周邊資源：1 個 SPI/I<sup>2</sup>C 介面，用於與感測器通訊，1 個 I<sup>2</sup>C 介面，用於與主機通訊；即時時脈 (RTC) 和 UART 支援。
- 尺寸精巧：WLP (1.6mm x 1.6mm x 0.65mm)
- 超低功耗：工作模式下為 45uW/MHz，資料保持模式下為 85nW/KB。

### 豐富的高性能演算法

多年來，ADI 演算法團隊持續積極投身於生理指標演算法領域，並開發出豐富的基礎演算法和先進的應用演算法。該演算法團隊制定了關於此一領

域的長期計畫，不僅要持續優化現有演算法，還要開發新的應用演算法。以上演算法模組可以整合至 MAX32664 感測器中樞，主機則可透過 I<sup>2</sup>C 介面讀取演算法，結果大幅縮短了開發週期。此外，每個感測器中樞版本都提供參考設計，協助大幅

縮短了設計階段，讓您能夠即刻收集資料進行評估。

如圖 4 所示，演算法模組包含：

■ 基礎演算法：

- 類比前端 (AFE) 管理：控制光學感測、計算訊號品質、在不犧牲演算法精度的情況下實現最

低功耗、選擇最佳的光學感測器驅動模式。

- 行為檢測和運動補償：對休息、跑步、騎行等基本活動進行分類，並對生理指標進行運動補償。
- 心率檢測：HR 和 HRV。
- SpO<sub>2</sub> 測量：適用於手腕、額頭、耳朵等部位。

圖 4: 演算法模組框圖



圖 5: 算法演解決方案

Body Location	Feature	Sensor Hub	Sensor IC	Demo
Finger Tip	HR, IBI, SpO <sub>2</sub>	<a href="#">MAX32664A</a>	MAX30101/2	MAXREFDES220 (same HW, different FWs for A and D) 
	HR, IBI, SpO <sub>2</sub> , Blood Pressure Trending	<a href="#">MAX32664D</a>		
Wrist	HR, IBI, HRV, Sleep Monitoring, Respiration, Stress, SpO <sub>2</sub>	<a href="#">MAX32664B</a>	MAX86140/1	MAXREFDES101 (Not recommended for PPG) 
	HR, IBI, HRV, Sleep Monitoring, Respiration, Stress, SpO <sub>2</sub>	<a href="#">MAX32664C</a>	MAX86140/1	MAXREFDES103 
			MAXM86146 (integrated sensor hub)	MAXM86146EVSYS 
Ear	HR, IBI, HRV, Sleep Monitoring, Respiration, Stress, SpO <sub>2</sub>	<a href="#">MAX32664C</a>	MAXM86161	MAXM86161EVSYS 



這是衡量睡眠品質的基本指標。

■先進應用演算法：

- 睡眠品質與睡眠狀態。
- BPT 測量：目前只支援指尖解決方案，精度可達到 FDA 測量標準要求。
- 呼吸頻率。

### 基於不同測試點的演算法解決方案

如圖 5 所示，ADI 根據不同的測試位置，採用不同的光學測量感測器，推出了四種不同的演算法解決方案，以滿足客戶的需求：

- MAX32664 A 版本：該版本採用 MAX30101/2 光學測量模組，從指尖測量 HR、HRV 和 SpO<sub>2</sub>。
- MAX32664 D 版本：該版本採用 MAX30101/2 光學測量模組，從指尖測量 HR、HRV、SpO<sub>2</sub> 和 BPT。
- MAX32664 B 版本：該版本採用 MAX86140/1 光學測量 AFE，可以從手腕或前額測量多種生理指標，包括 HR、HRV、步數、卡路里計算、行為分類等。
- MAX32664 C 版本：該版本採用 MAX86140/1 光學測量 AFE，可以從手腕或前額測量多種生理指標，包括 HR、HRV、SpO<sub>2</sub>、步數、卡路里計算、行為分類等。

### 利用感測器中樞設計超低功耗應用

■MAX32664 支援兩種供電方式，如表 1 所示。在

表 1: MAX32664 模式和功耗

工作模式	單電源 (VDD)	雙電源 (VDD+Vcore)
啓動	15.5664	9.64106
深度睡眠	0.00756	0.01383

不同的供電方式下，MAX32664 在啓動模式下的功耗有很大不同。如果主機的供電方式靈活可行，建議選擇雙電源模式。

■MAX32664 支援兩種供電方式，如表 1 所示。在不同的供電方式下，MAX32664 在啓動模式下的功耗有很大不同。如果主機的供電方式靈活可行，

建議選擇雙電源模式。

■MAX32664 進入深度睡眠模式後，主機只需拉下睡眠喚醒接腳 MFIO 即可進行喚醒，非常易於實現。

### 演算法線上升級

表 2: MAX32664 的平均功耗

演算法	CPU 的平均計算時間，百分比 (%)		平均功耗 (mW)	
	單電源	雙電源		
連續心率 + 連續供氧	4.7%		0.74	0.47
連續心率	4.3%		0.68	0.43
單次心率	4.3%		0.68	0.43
行為檢測	4.3%		0.68	0.43

(V<sub>DD</sub> : 1.8V, V<sub>CORE</sub> : 1.1V, CPU 時脈 : 96MHZ, 感測器中樞測量間隔 : 1 s)

MAX32664 具有支援 I<sub>2</sub>C 介面的出廠設定引導載入程式，支援線上升級演算法。換句話說，生物識別感測器中樞可以在出廠後升級為新的或更優化的演算法。

### 參考文獻：

1. MAX32664 網站, ADI MAX32664 website, ADI Integrated
2. MAX32664 產品手冊, ADI MAX32664 data sheet, ADI Integrated
3. MAX30101 產品手冊, ADI MAX30101 data sheet, ADI Integrated
4. MAX86140 產品手冊, ADI MAX86140 data sheet, ADI Integrated
5. MAX32664 使用者指南 MAX32664 user guide

### 參考電路

1. MAX32664 website,
2. MAX32664 data sheet,
3. MAX30101 data sheet,
4. MAX86140 data sheet,
5. MAX32664 user guide

