

# 第一線救護人員精確定位及追蹤的感測器融合方法

■作者：Bob Scannell / ADI 公司

讓第一線救護人員 (first responder) 在全球定位系統 (GPS) 無法順利運作的基礎設施中有精確的定位，一直是消防安全和緊急救難人員社群十多年來難以達成的目標。他們的目標是要把位置精確地定位到幾米之內，整個過程要在幾十分鐘完成。這些幾乎是與戰術飛彈中導引系統的目標是一樣的，而這些目標目前可選擇的解決方案之最低成本是 1 萬美元，但它對尺寸，重量和能源的需求卻會讓人望而卻步。在早期第一線救護人員的概念展示驗證中也用過那些相同的解決方案，但也證實了成本和尺寸是實際部署時的障礙。因此，第一線救護人員的定位測定仍然是現今存在的最複雜的定位應用之一。

沒有一個萬能的感測器可以達成所想要的目標，但是多重的技術節點是不可或缺的，每一個技術節點都具備技術領先的能力。此外，它包括了大規模的感測器融合和系統整合方法。具成本效益且高性能的 MEMS 慣性感測器，現可作為潛在解決方案的種子。本文設想一個完整的感測器至雲端感測器的融合系統，包括高度複雜的演算法。

表 1 描述了主要的方法和實現技術。

對系統開發人員所帶來的主要挑戰可以歸納為以下三大類：程序，環境和感測器融合。

表 1: 匹配關鍵目標的全系統方法

目標	使用方法
偵測移動 / 位置方法不多的基礎建設	慣性感測器
能夠準確地確定一個絕對參考點	UWB 無線電測距
感測器處理將所有可能的信號做最佳的融合	Kalman 和粒子濾波演算法
穩健的通信連接	主體和回程可靠的通信
地圖、搜索 / 救援協調	在雲端的分析和資料庫

要充分了解第一線救護人員任務本質的高度複雜，再加上各種不同及極端的環境所帶來的挑戰，才不會在設計一個多重感測器解決方案的過程中而有所妥協。

## 程序

消防火場的安全搜索和救援任務應遵循一套非常嚴格的程序，同時還必須順應完全不確定性的現實場景。可部署的精確定位系統必須要盡可能去適應現有的程序和設備。由此產生了一種需求，也就是要在沒有任何固定或特別指定的基礎設施的情況下進行操作，因為第一線救護人員通常早就背負著重大的設備 (重量和成本)。

任何的系統開發應該從早期階段就要依據以下的目標來進行：實現微型的嵌入式設備和每位應變人員的成本要如智慧型手機的水準。在這裡要明確地指出，現有智慧型手機的定位性能是非常差的，因此這正是個挑戰。

圖 1 概述了所需要系統的最相關的主要和次要操作需求。

## 環境

雖然戶外定位藉由 GPS 的覆蓋範圍而已經是無所不在，但在完全的室內或混合式 (室內 / 有條件的室外) 環境下的支援卻遠遠不足。一些室內定位場所 (例如購物中心) 可以用已安裝的基礎設施來實行，但是，這些對於第一線救護人員的目

圖 1: 定義第一線救護人員設計問題的關鍵操作需求。

主要操作需求	
操作從 GPS 到 GPS 受限制、到 GPS 無法順利運作的環境	支援多重移動場景，包括步行，跑步，爬升，爬行 ...
多層功能	集中式命令控制
定位到幾米之內摔落消防人員的定位報告，超過 30 分鐘	大型 / 有變數的建築尺寸 / 設計；多重建築 ...
次要操作需求	
搜索路徑圖，所產生的實際時間	情況報告；已定位位置的溫度 / 狀態 ...

標來說，既不精確，也不實用。

對於追蹤系統的系統設計者而言，以下注意事項將可帶動設計的定義、元件的選擇和降低風險的方法：

- RF 傳播路徑。
- 感測器的溫度 / 衝擊影響。
- 基礎設施損壞 / 變更的潛在可能。

## 感測器融合

在先前程序和環境中所提到的挑戰，是此一問題 (感測器融合) 中央設計方法的基礎。選擇有關聯的主要感測模組在關鍵運行模組下提供不妥協的性能，同時，對於應用的每個階段，互補感測器會與其關鍵障礙匹配，如表 2 所示。

表 2: 候選感測器的優點和限制

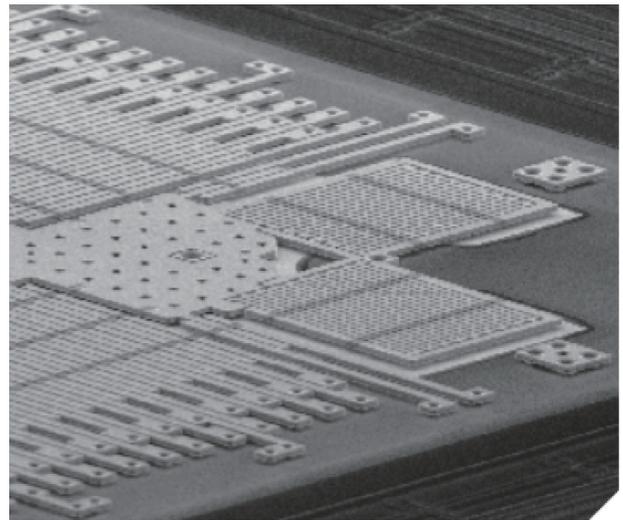
感測器	優點			限制
	絕對限制 參考	動態 響應	免基礎 設施	
外部的 GPS/RF	*			無視線存取
慣性 MEMS		*	*	漂移錯誤
磁性	*		*	場干擾
壓力	*		*	環境敏感度

因為 MEMS 能夠在沒有外部基礎設施的情況下運行自如，並且能在動態環境中提供精確性，因此如果能夠在極端環境中運作並且能適當地與次要的感測器結合，它可望在整個解決方案中扮演著主要功能的角色。

## MEMS 的發展

雖然消費性慣性 MEMS 設備已經朝著商品化的方向發展 (但對性能規格的專注有限)，而昂貴

圖 2: 即使在極端運動的動態狀況下，以工業應用為目標的 MEMS 設備還是能夠維持低雜訊並且穩定操作。



的軍用 MEMS 依然讓人望而卻步，但工業與汽車 MEMS (見圖 2) 已經在朝著性能與成本能夠達到一定水準的目標前進。

相較於消費性產業，工業和汽車產業兩者要求在相對複雜與極端的環境中仍具有精確的感測，並且此一產業的供應商已經加入了一些架構上的特性，這些特性特別經過調整，可以抑制造成性能衰減的因素，例如離軸運動、振動與衝擊事件，以及由時間與溫度導致的誤差。

雖然經由更大的感測器或更高成本的程序，就可以很容易地將這種設計特性加進來，但是汽車市場和日益重要的工業市場兩者的經濟壓力，迫使大家採用一種更關鍵的方法，以設計出兼具性能與成本效益的方案。其結果是，具有高度誘人性能 / 價格定位的 MEMS 組件問世了，它們是專門為工業應用而開發的，如表 3 所示，其中比較了三種主要組件類別關於行進距離的誤差百分比。

表 3: MEMS 導航性能在各等級與行進距離的誤差百分比比較

MEMS 的性能	誤差，行進距離的百分比
軍用	約 0.1
工業用	約 0.5
消費性	>>25

工業級 MEMS 可以提供與高端軍用設備幾乎一樣好的導航能力，同時又具有相較於商品化消費性 MEMS 組件的合理的價格差異。

這種優勢的原因需要更深入地觀察相關於目標應用的 MEMS 元件關鍵規格。

在第一線救護人員目標的情況下，MEMS 感測器的一項關鍵任務是辨識出正在經歷的行動的類型，並且測量步距與幅度。與行人步行的行動模型相反，第一線救護人員的行動是更加隨機的、動態的，並且是難以辨別的。此外，由於準確性目標，感測器必須要能夠抑制假動作，諸如振動、衝擊，以及腳或身體左右搖擺 / 搖動。

第一線救護人員模型不僅是一個基於感測器雜訊的簡單精確性分析 ( 這對於行人步行的行動模型也許足夠 )，它還必須包括一些關鍵規格，諸如線性 -g 抑制與橫軸靈敏度等。

表 4 提供了工業和低階 MEMS 裝置的並排比較，檢查了三個顯著規格的 RSS 誤差組合。其中，可以容易地看出，雜訊不是不利的因素，線性 g 和橫軸性能才是首要關注的因素，許多低階裝置甚至並沒有將它們列入。

雖然在幾年前，高性能慣性感測器主要還是要以光纖等方法才能達成，工業的 MEMS 程序現在已經很清楚地證明它們可勝任此一任務，與關鍵導航指標的相關比較則列在以下的表 5 中

表 4: 工業和低階 MEMS 的 RSS 誤差比較，顯示雜訊不是性能的限制者

MEMS 規格	工業用		低階	
	規格	影響	規格	影響
雜訊密度 ( $^{\circ}/\text{sec}/\sqrt{\text{Hz}}$ )	0.004	0.036	0.0100	0.089
線性 g ( $^{\circ}/\text{sec}/\text{g}$ )	0.01	0.020	0.100	0.200
橫軸 (%)	0.09	0.090	2.00	2.000
預估誤差 ( $^{\circ}/\text{sec}$ )		0.099		2.012

假設：50 Hz BW，2 g rms 振動，100 $^{\circ}/\text{sec}$  離軸旋轉

表 5: 具成本效益的工業 MEMS 與傳統光纖陀螺儀之間的關鍵導航指標的比較

誤差	工業 MEMS ( $^{\circ}$ )	光纖 ( $^{\circ}$ )
方位角	0.14	0.13
翻轉	0.10	0.08
傾斜	0.10	0.08

ADIS16488A 是一個工業 MEMS IMU 的範例，如圖 2 所示，它加進了十自由度的高性能感測，並且也已被證明可滿足最嚴苛的應用、商業航空電子等 ( 如表 6 所示 )，展現出它已經為第一線救護人員的極端應用需求做好準備。

慣性 MEMS 性能的提升，在品質和耐用性的

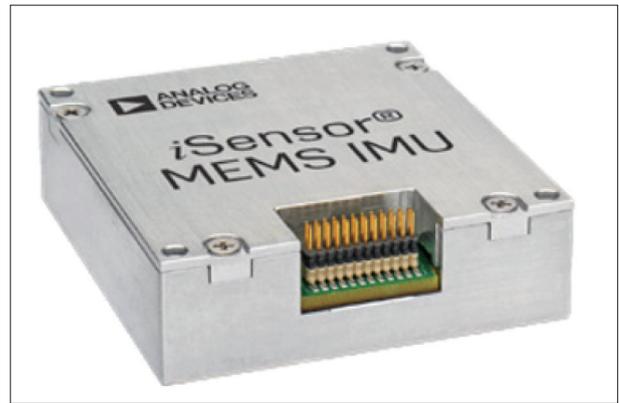


表 6: ADIS16488A MEMS IMU; 成本效益和已證實的高性能 + 可靠性

慣性感測器，穩定性	50/hr, 32 micro-g
頻寬	330 Hz
線性 g 效應，振動整流	9 mdps/g; 0.1 mdps/g <sup>2</sup>
溫度係數 ( 偏差，靈敏度 )	2.5 mdps/ $^{\circ}\text{C}$ ; 35 ppm/ $^{\circ}\text{C}$
溫度 / 振動 / 衝擊	G0-160G, Mil-Std-810G
可靠性	>35,000 hours
設計保證	D0178/254

持續驗證，現正與有長足進步的整合要相結合。這最後一個障礙特別具有挑戰性，因為如果沒有謹慎地處理，感測器尺寸將會與性能和耐用性成反比。一系列具高度戰略性、協調性和挑戰性的製程技術之進展，必須經過驗證和合併，以達到該應用所需的性能密度等級，如圖 3 所示 MEMS 性能和整合的提升實現了可部署系統。

圖 3: 工業 MEMS IMU 在性能, 尺寸, 成本和整合 (無妥協) 方面不斷發展, 以獨一無二的方式實現關鍵性的應用, 如第一線救護人員。

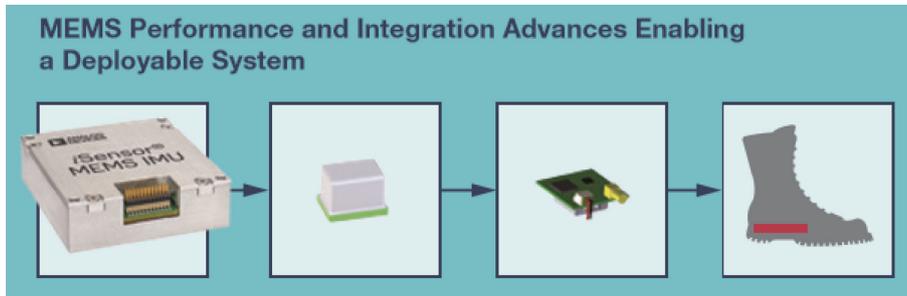


圖 4: 智慧型手機型態的行人導航主要是依靠 GPS, 具有補充但不是優化的預先嵌入式感測器, 在高可信心或可靠度的運動檢測範圍中留下顯著的差距, 這些單有演算法是無法修復的。

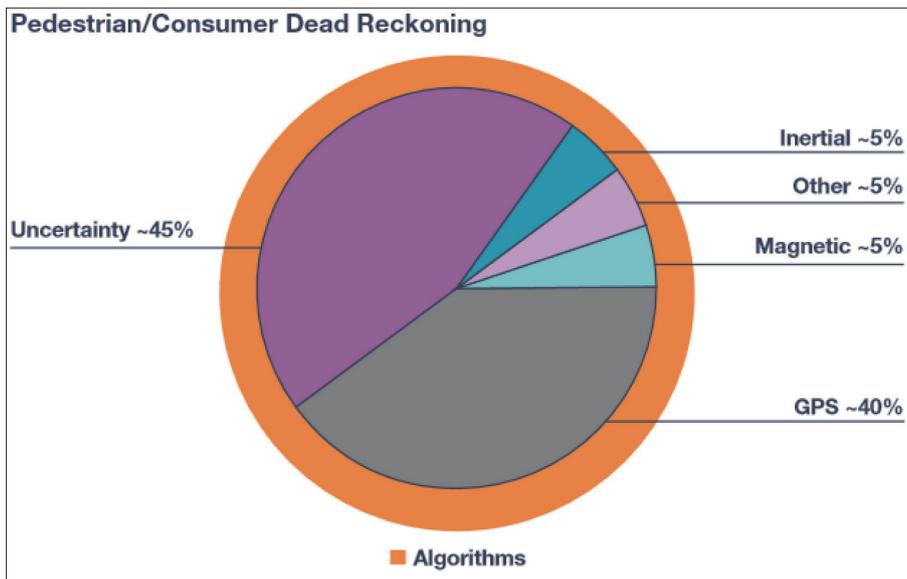
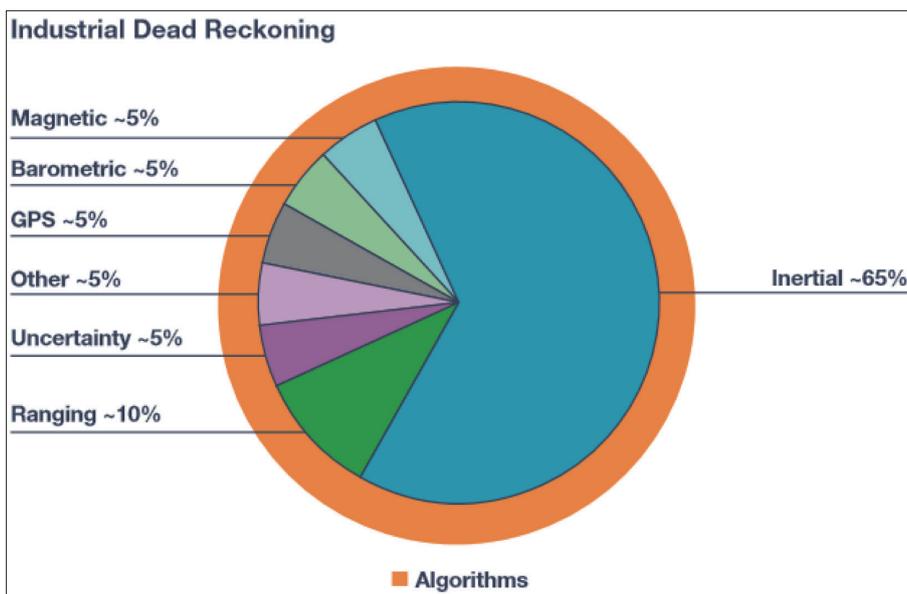


圖 5: 藉由選出特別以第一線救護人員任務的完整涵蓋為目標之感測器, 系統的準確性和可靠性可大幅提高。



## 感測器加權

在經過深入分析以了解感測器在整個任務的不同階段期間的權重 (相關性) 後, 才能針對特定的應用挑選出適當的感測器。在行人定位推算的情況下, 解決方案的制定主要是受可用設備 (例如智慧型手機中的嵌入式感測器) 來決定, 而不是經由性能設計。因此, 對確定有用位置資訊的任務而言, 高度依賴 GPS, 再加上其他可用的感測器, 例如嵌入式的慣性感測器和磁性感測器, 僅為該任務提供些微百分比的貢獻。

這種工作在戶外非常適合, 但在受限的城市環境或室內, GPS 並不適用, 而其他可用感測器的性能表現也差, 在位置信息的品質中留下很大的差距, 或換句話說不確定性。

雖然合併這些感測器的典型方式是採用先進的濾波器和演算法, 而非額外的感測器或品質更好的感測器, 但軟體無助於在實際上縮小這種不確定性的差距, 這最終將會大幅降低回報位置的可信度。圖 4 說明了此一概念。

相比之下, 工業定位推算方案, 例如第一線救護人員, 是針對性能所設計的, 具有由明確精準度要求所引導的系統定義與元件選擇。

值得注意的是, 更高品質的慣性感測器讓它們可以發揮

主要作用，並小心利用其他的感測器，以縮小不確定性的差距。

演算法在概念上更著重於感測器之間的最佳權重，傳遞和交互關聯，以及感測器連同對環境和即時運動動態的認識，而不是在推斷 / 估計可靠感測器讀數之間的位置 ( 參見圖 5)。

在上述任一情況下的精確度可以經由提升感測器品質來改善，而且當感測器過濾和演算法是解決方案的關鍵部分時，它們本身無法消除在品質較差感測器範圍內的差距。

## 精確定位和映射 (PLM) 系統

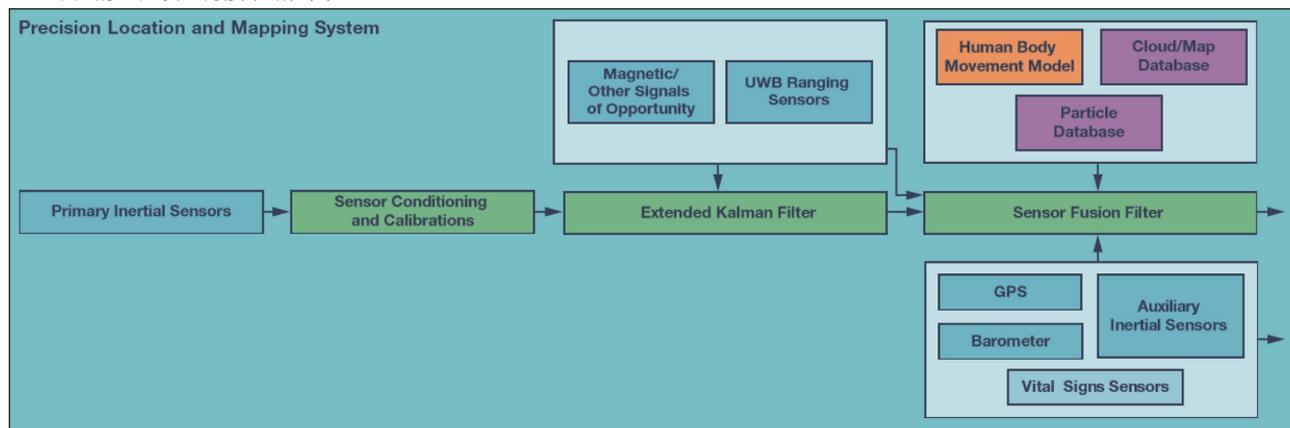
對於第一線救護人員追蹤的特殊情況，任務會被劃分為以下幾個階段，以便最佳地評估感測器的處理需求：到達現場、部署、建築物內部，以及救援，如表 7 所示。表 7 假設救火車配備有高階 GPS/INS 系統，它能夠在到達現場時地理修正 (geofixing) 車輛的位置，以作為已知的基準點。

從這一點，直到消防隊員進入建築物，將會有一不確定和隨機的移動序列，對於該移動序列，精確定位和映射系統有賴於一種超寬頻測距實施方

表 7: 第一線救護人員任務在不同階段時的感測器要求

任務間隔	主要感測器	輔助感測器	期間	精確度
到達現場	GPS	慣性		地圖修正
部署	UWB	慣性	未知	公分
建築物內部	慣性	泛在無線信號	30 分鐘內	公尺
救援	慣性	路徑圖，其他	分鐘	

圖 6: PLM 系統是一完整的感測器融合解決方案，以高性能感測器、互補的感測器過濾和處理、和基於雲端的資料庫和分析為基礎。其輸出是準確的定位及一份搜索路徑圖。



式，以保持消防人員位置和方向的準確定位。

在進入建築物時，慣性感測器成為主要追蹤感測器，目的是提供定位到幾米之內的精準度。如果必要時，該系統會被設計成僅依賴慣性感測器，但是還能夠利用當可用且可靠時的其它泛在無線信號，諸如 UWB 測距信號、磁力計校正和大氣壓力測量。如前所述，所執行的演算法不僅追蹤定位，而且還會產生搜索模式的即時路徑圖。

從開始的路徑所產生的地圖是救援消防人員的一個補充感測器輸入，同時救援消防人員也是以慣性感測來引導。

雖然高性能感測器肯定是 PLM 系統的核心，但以下也是系統的關鍵實現因素：

- 深入了解元件感測器及其在重力下的漂移特性 / 限制因素。
- 廣泛的人體運動模型的知識。
- 詳細的應用層面的洞察和操作模式定義。

這些提供了感測器融合處理執行時的定義、指引和邊界 ( 見圖 6)。處理的核心是粒子濾波器，它可追蹤隨時間變遷的多個可能移動，因為濾波器可分辨出它們，因此消除了錯誤的路徑。感測器本身分佈在為了有最佳性能的消防人員和無線體網絡，以及堅固且與消防人員、救援人員、命令和控制無縫連接的回程通信網絡，以及基於雲端且盡可能與有用的地圖和及協調。精確定位和映射系統提供了一種無基礎結構的方法來檢測位置，利用高性能感

測器和高級演算法，以最佳的方式融合所有的泛在無線信號。系統目標是儀表級精確度和即時路徑圖產生。

工業級 MEMS 慣性感測器的提升已經實現了 PLM，並且讓全系統開發方法解決了技術上的障礙，還同時達到商業指標的目的。接續工作的重點是整合最新一代感測器的進展，並讓它們與第一線救護人員操作場景定義中的新見解相匹配。最終整合將包括優化的形狀因數和主體放置，以及更完整地執行所需的通信線路和最終系統資格。

## 作者簡介

Bob Scannell 是 ADI 的 MEMS 感測器產品業務開發經理。他在 ADI 工作 20 多年，負責過從感測器到 DSP 到無線等等各種技術行銷和業務開發工作，在這之前，他曾任職於 Rockwell International 公司，負責設計和行銷方面的工作。他擁有 UCLA(加利福尼亞大學洛杉磯分校)的電氣工程學士學位，以及 USC(南加州大學)的計算機工程碩士學位。 

## 工研院新科院士出爐 再添重量級產業智囊團

工研院新科院士出爐！今年新任院士包括光寶集團董事長宋恭源、加州大學柏克萊分校電機系台積電傑出講座教授胡正



新紀元；孫弘院士是機械業的老前輩，期許孫弘能以敏銳的洞察力，領導台灣的智慧機械產業升級；蔡輝亮院士在全球累積許多專利，

明、盟立自動化董事長孫弘、台光電子材料策略長蔡輝亮、漢民集團董事長黃民奇，五位新任院士以創新思維投入科技研發，受到工研院院士遴選委員會一致肯定。總統蔡英文親自為新科院士授證，期勉院士們以豐富的專業知識、深厚企業家精神，向政府提出前瞻的建言，有院士助一臂之力，政府有信心帶動台灣經濟轉型！

蔡英文在院士授證典禮上，推崇五位新任院士是「值得一提再提、讓台灣感到驕傲的優秀人才」，蔡英文指出，宋恭源是台灣光電產業的開拓者，希望宋院士以深厚的產業經驗，助台灣抓住下世代的潮流發展；胡正明院士橫跨學術、產業，在微電子領域有傑出成就，推動台灣半導體產業邁向

設下難以超越的門檻，是台灣 ICT 產業不可或缺的重要推手；黃民奇院士成就台灣自製半導體設備的夢想。

工研院董事長吳政忠致詞時表示，最近幾年發現，年輕人在創新、創業的動能不足，例如現在許多學生在談未來出路時，都說「找工作就好了」，這跟三、四十年前在座院士們，當初創業時的企圖心與毅力大不相同。今年的院士頒獎典禮很大的意義，就是希望以工研院歷屆二十六位院士為案例，喚醒更多年輕人對科技研究的堅持，加強創新創業不會被打倒的精神，面對未來產業轉型升級的重要階段，希望院士們能從產業界的角度，給政府更多創新政策的建言。