

智慧物聯網型漏血偵測貼片與系統之研發

Development of the Blood Leakage Detecting Patches and Systems by Using Smart IoT

劉建源¹、吳建興²、龔皇光³、涂紳騰¹、劉冠緯⁴

¹ 正修科技大學 資訊工程系

² 高雄長庚醫院 腎臟科

³ 正修科技大學 機械工程系

⁴ 台中榮民醫院

摘要

臺灣正由高齡社會邁入超高齡社會，未來40年臺灣會是最老化的國家，屆時臺灣需要居家照護與關懷的高齡人口比例將高達三成。超高齡社會需要結合健全醫療、居家照護、社區關懷，這有賴科技融入居家守護系統以提升高齡者生活上的安全性與便利性。

我國目前接受長期血液透析治療的患者約8萬5千人，隨著超高齡社會來臨，未來國人壽命持續延長，需要接受血液透析治療的人數只會越來越多。在執行血液透析治療時，護理人員需要進行血管造瘻和穿刺。透析過程中可能因病患翻身導致穿刺針滑出而漏血。這可能會危害病患安全以及增加醫療處置成本。

針對血液透析患者在穿刺針滑脫而漏血的情形，本研究將採用當前新興的物聯網技術來實作漏血監測系統。本研究的作法首先是感測病患在透析過程中是否有漏血，並將感測數據經由短距無線通訊，傳輸到警報裝置。警報裝置再依據感測數據來判別嚴重程度並發出警報，以通知護理人員適時介入處置，並將此警報事件透過低功率無線廣域網路(LoRa)傳送到醫療管理系統。醫療管理系統將採用訂閱與發佈的模式，持續接受警報裝置的訊息並推送至醫療管理的應用程式。

本研究根據相關文獻，設計能吸附漏血材質的軟板感測電路，由微控制器來判讀血液滲漏所產生電壓變化，以決定是否驅動警報裝置。微控制器可採用Wi-Fi或藍芽通信，將感測數據傳遞給警報裝置。警報裝置接收同一病房內病床的感測數據，並能顯示對應病床的漏血警示燈號，讓護理人員能適時處理漏血狀況。警報裝置採用LoRa通訊技術結合訊息佇列遙測傳輸(MQTT)協議，將收集到的感測數據，轉送到距離較遠的護理站；護理站醫療管理系統的LoRa Gateway，會將與患者的血液滲漏狀態發佈到相關的MQTT Broker；具有訂閱機制的管理應用程式可以使數據視覺化，讓護理站的管理人員可以即時監控病患的漏血狀態。

關鍵詞：高齡社會、慢性腎臟病、血液滲漏、物聯網、LoRa、MQTT



一. 緒論

臺灣逐漸進入超高齡社會，可說是世界上老化速度最快的國家，加上臺灣少子化速度又居世界之冠，造成需要居家照護與關懷的高齡人口比例太高，因此，未來超高齡社會只能提供比現在更少照顧人力比率來照顧高齡者。要能減緩這個問題的衝擊，需要充分結合醫療體系、居家照護、和社區關懷，尤其有賴運用科技融入居家守護系統以提升高齡者生活上的安全性與便利性。

超高齡社會將帶來前所未有的老化型疾病的挑戰，特別是慢性病和須要長期醫療照護的疾病，例如血液透析治療的患者。依據 2020 年台灣腎病年報，統計至 2018 年我國接受長期血液透析治療的患者約 8 萬 5 千人[1]，隨著超高齡社會來臨，未來國人壽命持續延長，需要接受血液透析治療的人數只會越來越多。在血液透析治療時，透析過程中病患可能因翻身導致穿刺針滑出而漏血，這會危害病患安全並增加醫療處置成本[2, 3]。

例如，根據高雄長庚醫院醫療人員的描述，長期血液透析治療病患約有 970 人，每月的透析次數約有 14,000 人次，每年的透析次數約有 168,000 人次，假如血液透析時漏血機率只有萬分之一，一年仍有 16 位病患發生漏血的事件的可能性，每一件漏血事件對病患而言都是非常嚴重的意外，因此若能運用科技來監測和協助，除了可以減輕護理人員為及早發現漏血意外而不斷巡視的工作負擔；並能隨時主動監測，萬一漏血發生時，可以在最短時間內偵測出漏血意外，同時通知護理人員及時介入處置，以便給予長期透析病者更安全的保障。

近幾年來物聯網技術已大幅進步，許多感測裝置、通訊技術、智慧晶片、控制軟體..等，都已被充分運用並整合設計到智慧生活的各項應用案例中，諸如：智慧城市、智慧交通、智慧農業、智慧工廠、智慧學校、智慧家庭..等。因此，本計畫亦將採用智慧感測、無線通訊、智慧控制晶片、以及智慧控制 APP..等，並加以整合設計成為物聯網實作之高齡居家守護系統之一部份，稱之為漏血監測系統。

二. 研究動機

慢性腎臟病人的腎功能，在第五期(CKD stage 5: estimated glomerular filtration rate, eGFR < 15 mL/min/1.73m²)時，需要腎臟替代療法以維持生命，在臺灣以血液透析治療為主。接受透析治療的病人，需要手術建立一條血管通路[4]，促使動脈血液流動至靜脈血管，透析前由護理人員使用 15-17 號穿刺針執行侵入性穿刺血管通路後，連接到透析機及其硬體設備等，整個透析治療過程約 4 小時，依據透析機器設定每分鐘 250-300CC 血液流速運轉之體外循環，雖然有護理人員嚴密的監控整個過程，但有時會發生一些意外的異常事件，例如：病人因躁動或翻身等因素致瘻管穿刺及迴路管固定不當，造成穿刺針滑出或因迴路管拉扯而致針尖滑出[5]，若能在發生血液流失當下有一防護措施即發現並立即處理，將可大大提升治療安全性，減少醫療糾紛的發生[6]。



表 1 透析後動靜脈瘻管滲血因素[2]

滲血因素	人數	百分比(%)
沒壓到止血點	32	39.5
加壓力道太輕	24	29.6
加壓時間不足 10 分鐘	14	17.3
有口服抗凝血劑	4	4.9
止血後手部用力	3	2.7
穿刺部位在血管瘤	2	2.5
穿刺部位皮膚薄	2	2.5
合計	81	100

依衛生福利部 107 年公告「107-108 年度醫院醫療品質及病人安全工作目標」。醫院病安目標七、提升管路安全其執行策略落實管路正確置放之評估機制，提升管路照護安全及預防相關傷害 以利病人安全[7]。根據高雄長庚醫院醫療人員的資料，長期血液透析治療病患約有 970 人，每月的透析次數約有 14000 人次，每次的治療皆有潛在性的血液流失，在顯示預防從管路連接之血液流失是不容忽視的議題。

三. 研究目的與方法

1. 研究目的

資通訊與智慧感測技術的快速進步，讓物聯網發展成為全球科技界最重視的趨勢。醫療界已有許多運用智慧感測與物聯網成功的例子，例如：插卡報到系統，血壓、血氧、心率感測裝置，智慧藥盒，和醫材管理系統等[8]。因此，對於血液透析患者穿刺針滑出所可能造成血液流失的問題，應該可以研發出漏血的智慧感測裝置以確認患者是否有滑針致漏血情形，並結合物聯網即時追蹤記錄所有血液透析床位上病人的狀況，對於萬一發生滑針漏血事件，將可即時通知醫護人員給予緊急護理，避免漏血事件擴大而影響到病人的健康。該研發的系統將可造福眾多血液透析患者。未來慢性腎臟病人將可更安心、安全的接受血液透析醫療。

針對血液透析患者在各種因素下導致漏血的情形(表 1)，本研究的目標是利用感測器量測漏液程度，結合微控制器，將感測的資料經由 Wi-Fi 將傳輸到警報裝置。警報裝置依照資料判別嚴重程度，並在嚴重度為中等以上時發出警示。警報裝置與管理系統的伺服器會經由低功耗長距離傳輸的 LoRa 無線通訊技術來進行傳輸。MQTT Broker 將運行在管理系統的伺服器中，會持續接受警報裝置的訊息並發佈給網路應用程式進行管理。

2. 研究方法

如圖 1 所示漏液監測系統由三個單元所構成：第一個單元是漏血感測裝置、警報裝置是第二個單元、第三個單元為醫療管理系統。首先了解現有的漏血偵測技術的運作原理，



實作一個簡化的感測電路，並利用微控制器讀入感測訊號並進行分析。接著研究系統內裝置之間的一般的無線通訊機制，如 Wi-Fi、Bluetooth、LoRa 等。其中 LoRa 的傳輸距離最較且屬較新技術，因此需研讀 LoRa 聯盟發布的規範及理解 LoRa 模組的運作機制，實作能與 LoRa 模組交互溝通的 API。最後理解 MQTT 協定的運作，研究如何將由 LoRa 傳入的資料，轉發佈到 MQTT Broker。

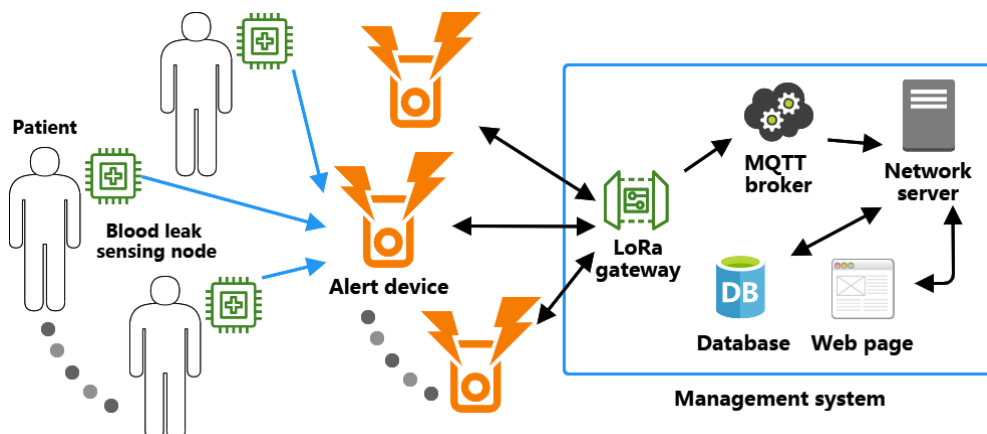


圖 1 漏液監測系統的架構圖

漏液監測系統的第一個單元是漏血感測裝置。此裝置將設計一個內含如圖 2 的分壓電路，並以醫療用吸收材料包覆的軟性感測器，來接收血液滲漏時的電壓變化，並結合微控制器轉化為數位訊號，進行邏輯判斷來驅動裝置內的警報顯示元件，並經無線傳輸技術同時發送到警報裝置。該無線傳輸技術可以採用 Wi-Fi 或 Bluetooth 來實現。

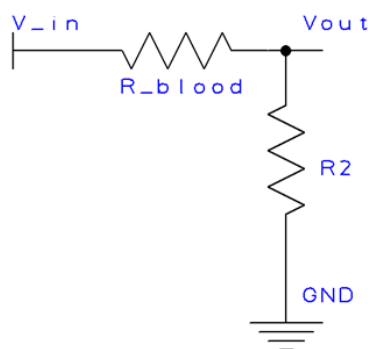


圖 2 分壓電路

接著需要一種能收集漏血感測狀態的無線訊號的通知裝置，簡稱為警報裝置。此裝置是漏液監測系統的第二個單元，這種裝置的主體為一個微控制器。警報裝置以病床為單位，在特定範圍數量內(4 床到 10 床為一組)，接收各病床的感測狀態訊號，並分別地顯示漏血的嚴重程度警報，讓就近的醫護人員能即時處理病患的危險情況。為了讓距離較遠的護理站能監控病患的狀態，警報裝置將再經由低功耗長距離傳輸的無線通訊技術(LoRa)，將收集到的各種感測狀態，傳送到漏液監測系統的第三個單元，稱之為醫療管理系統。



醫療管理系統能集中監控所有血液透析病患的漏血情況的系統，這個系統將架設在護理站。管理系統將包含一個 LoRa Gateway，收集管理範圍內警報裝置的 LoRa 訊息，並轉化為每個病患的漏血狀態資料，收集到的資料將存放在資料庫中。為了能讓護理站的管理人員可以監控病患漏血狀態，管理系統必須建立 Application Server，並使用軟體框架設計通用的 API，最後將資料視覺化地呈現在使用者介面。

3.系統分析與設計

系統的第一個單元是漏血感測裝置。如圖 3 所示，漏血感測裝置的架構由下列功能區塊所組成：軟性感測器是被醫療用吸收材料包覆的軟性電路板，當血液滲漏時將產生電壓變化；警報顯示元件是根據微控制器對感測資料的判斷來驅動警報的顯示；微控制器是針對輸入的數位訊號判別血液滲漏的程度以控制警報顯示元件，並使用支援的無線通訊模組傳遞感測資料到警報裝置；類比數位轉換器(ADC)是將軟性感測器產生的電壓變化轉換為數位訊號；通訊部分，若採用 Wi-Fi 通訊協定，感測裝置將成為 STA，連結附近對應的警報裝置內的 AP；若採用 Bluetooth 則感測裝置將成為藍牙通用屬性(GATT)伺服端，讓附近對應的警報裝置掃描並建立連結。雖然漏血感測裝置能經由無線通訊模組告知警報裝置病患是否陷於血液滲漏的危險，但如果因為外在干擾而導致無法建立通訊連結，警報裝置會無法根據當前的感測資料來驅動警報。為了避免這種情況發生，感測節點也包含了警報元件，能及時地顯示血液滲漏警報。

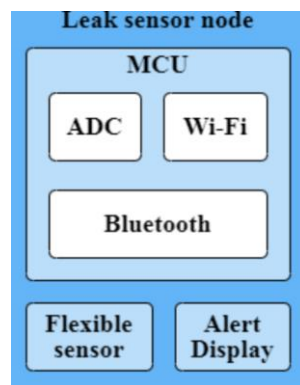


圖 3 漏血感測裝置的功能區塊圖

警報裝置的架構由如圖 4 所示的功能區塊所構成。微控制器：使用支援的無線通訊模組接收感測節點的資料，並根據資料控制警報顯示元件；另外，並使用 LoRa 通訊模組傳送資料到管理系統。Bluetooth：若採用 Bluetooth 的通訊協定，警報裝置將成為 GATT 客戶端，掃描附近對應的感測節點並建立連結。Wi-Fi：若採用 Wi-Fi 通訊協定，警報裝置將成為 AP，讓附近對應的感測節點內的 STA 建立連結。SPI：微控制器透過 SPI 聯繫 LoRa 收發器模組，實現 LoRa Class A 的終端設備。警報裝置有多組的警報顯示，可對應於附近聯繫著的感測裝置；根據微控制器對感測資料的判斷來驅動對應警報的顯示。最後警報裝置將收集到的感測資料經由 LoRa 通訊傳送到醫療管理系統。



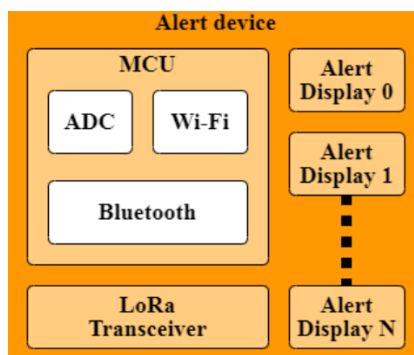


圖 4 警報裝置的功能區塊圖

醫療管理系統的架構由如圖 5 的各功能區塊所組成。MQTT 伺服器實現 MQTT 協議，讓感測資料能發佈到應用程式。LoRa Gateway 接收並解析警報裝置轉送的感測資料，並依照規劃發佈解析後的資料到 MQTT Broker。MQTT Broker 負責控制與感測資料相關的主題發佈及管理相關的訂閱。網路伺服器執行反向代理 MQTT Broker 運作的網址，控制路由及負載平衡。應用程式伺服器是經由 MQTT client 的訂閱來收集感測資料，再透過 API 儲存到資料庫或發送到使用者介面。MQTT client 則根據 MQTT 協議使用 TCP 或 WebSocket 來訂閱主題，將接收到的感測資料再交由 API 處理。API 是依照需求將感測資料儲存到資料庫；處理使用者介面發出的要求，從 MQTT client 或資料庫中擷取資料傳回給客戶端。資料庫儲存了血液滲漏監測及其餘應用程式所需的資料。使用者介面則視覺化的呈現病患在治療過程中是否有血液滲漏的狀況。

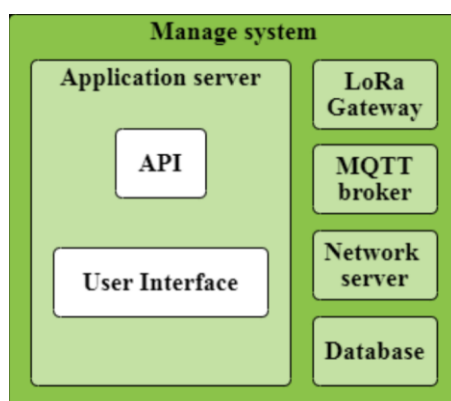


圖 5 醫療管理系統的功能方塊圖



四. 研究成果

1. 系統實作

漏液監測系統全部硬體電路均採用 Fritzing 開源軟體來模擬電路的規劃。漏血感測裝置的微控制器採用 Espressif Systems 的 ESP32 系列，此微控制器是一個整合 Wi-Fi 和藍牙的低功耗單晶片微控制器，被廣泛應用在物聯網的設備。本研究使用的模組為 ESP32-WROOM-32，核心為 ESP32-D0WDQ6 的晶片。該晶片包含雙核 Xtensa 32-bit LX6 微處理器，時鐘頻率可在 80 MHz 至 240 MHz 之間調節運作。漏血感測裝置的電路設計如圖 6 所示。漏血感測裝置的實作電路板如圖 7 所示。

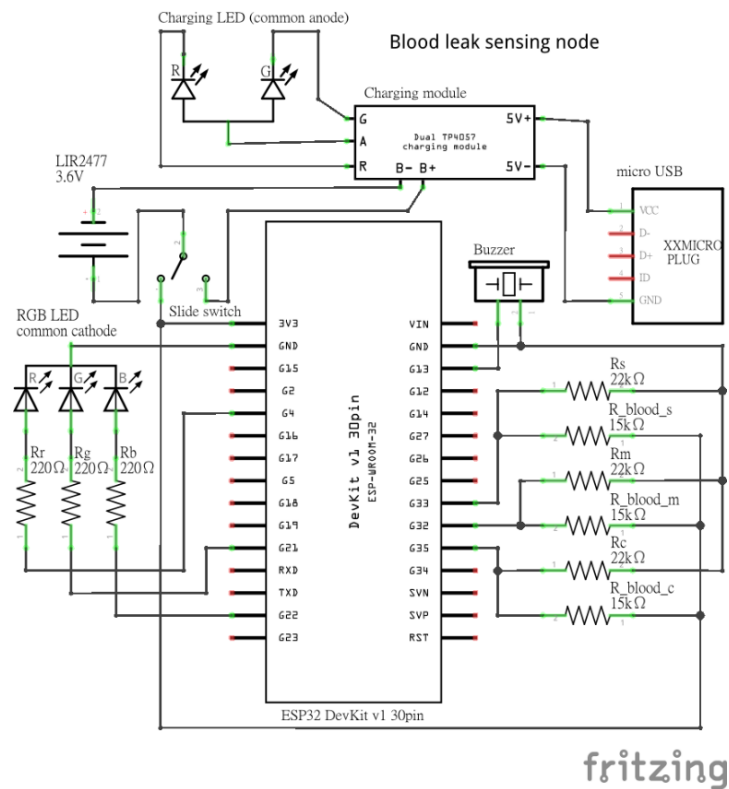


圖 6 漏血感測裝置的電路圖



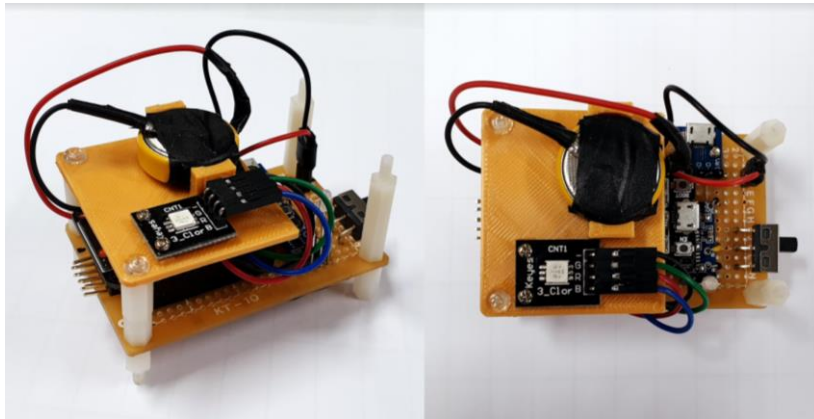


圖 7 實作漏血感測裝置的電路板

如圖 8 所示，漏血感測貼片的感測區域為寬 150mm，高 100mm 的圓角矩形，中間有寬 100mm，高 50mm 的割除區域用於露出血液透析穿刺位置，未割除的感測區域會附著吸水材料。感測區域共有 6 條裸銅線迴圈，並分為 3 組由內至外代表滲血程度輕微(Slight)、中度(Medium)或危急(Critical)的感測迴路。

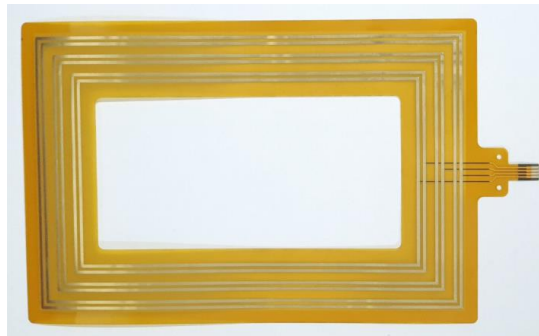


圖 8 實作漏血感測貼片的電路軟板

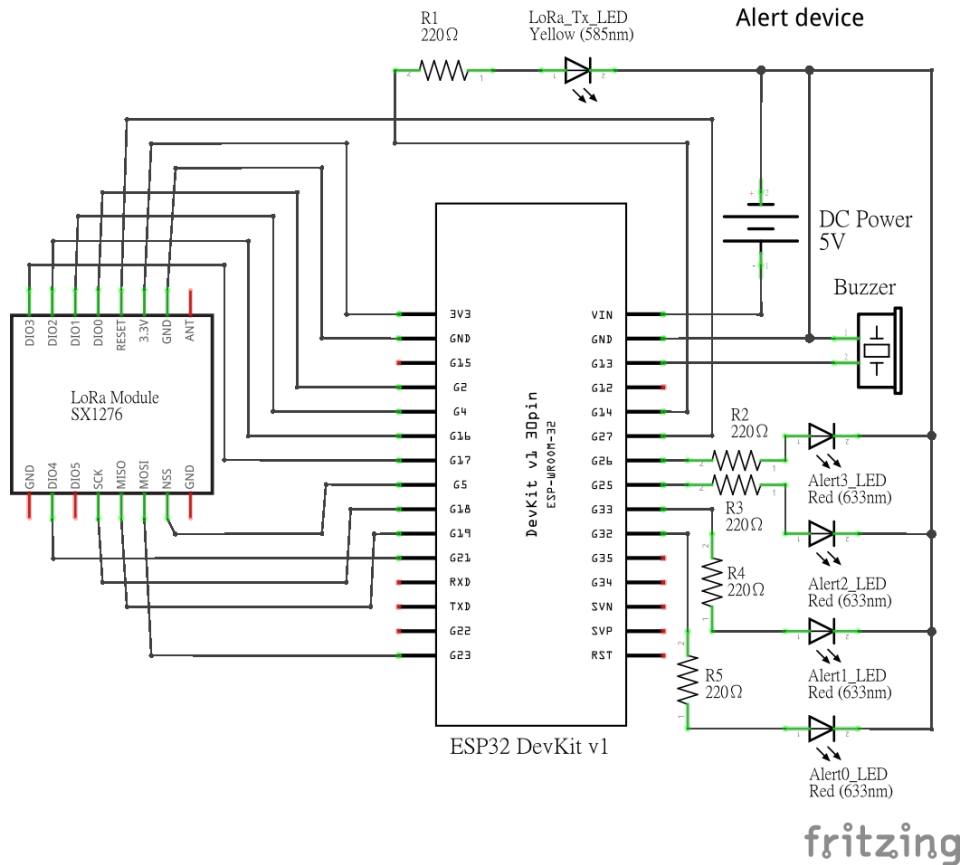


圖 9 警報裝置的電路圖

警報裝置之電路架構如圖 9 所示。警報裝置一樣採用 ESP32 微控制器並結合 LoRa 模組來實現 Wi-Fi AP 及 LoRa node 的功能。微控制器採用 30 pins 的開發版，GPIO13 連結 Buzzer，GPIO32、33、25、26 連結警示用的 LED，GPIO16 連結 LoRa 傳送顯示的 LED。LoRa 模組採用運作在 137 - 1020 MHz 的 SX1276。警報裝置之原型電路板架構如圖 10。



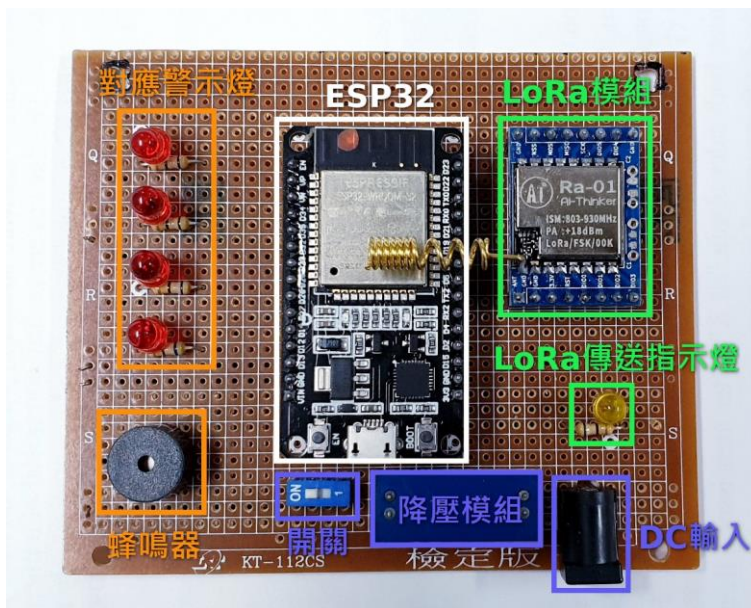


圖 10 實作警報裝置的原型電路板

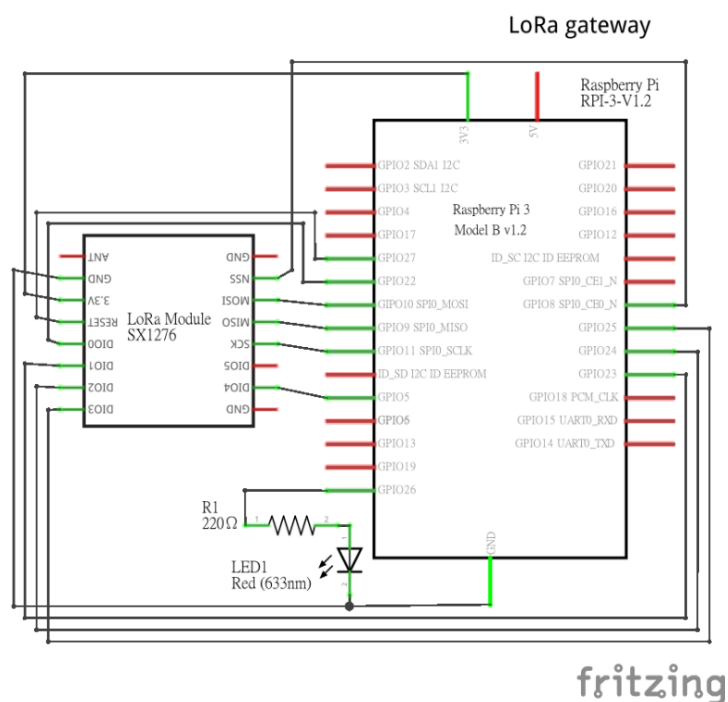


圖 11 LoRa Gateway 之電路圖

醫療管理系統採用 Raspberry Pi 3 B+來當作其微處理器，同時結合一 LoRa Gateway。LoRa 模組採用運作在 137 - 1020 MHz 的 SX1276。LoRa Gateway 之設計電路如圖 11 所示，其原型如圖 12 所示。



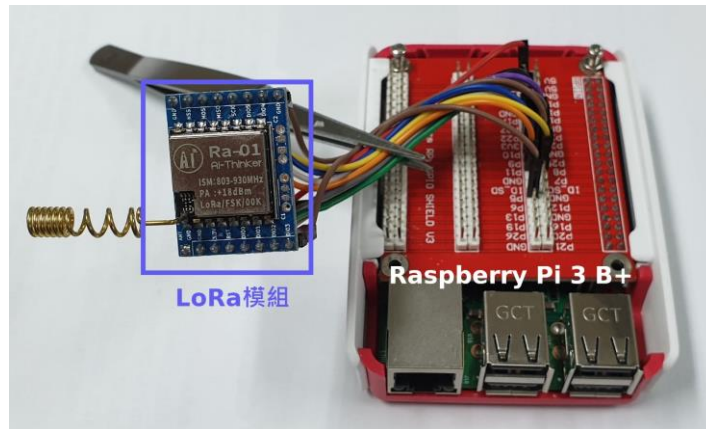


圖 12 實作 LoRa Gateway 之原型電路板

表二 漏液監測系統的驗證測試結果

裝置名稱	功能項目	測試結果
(1) 漏血感測裝置	漏血感測	正常
	漏血警示燈號	正常
	漏血警示聲響	正常
	WiFi 通訊	正常
(2) 警報裝置	WiFi 通訊	正常
	漏血警報燈號	正常
	漏血警報聲響	正常
	LoRa 通訊	正常
	MQTT 發佈主題	正常
(3) 醫療管理系統	LoRa 通訊	正常
	MQTT Broker	正常
	MQTT 顯示訂閱主題	正常

2. 系統驗證

首先開啟漏液監測系統的醫療管理系統，再依序開啟警報裝置和漏血感測裝置。針對漏血感測裝置，我們實際以真人血液滴在漏血感測軟性電路板上，由於漏血感測軟性電路是以人體血液電阻值(15 千歐姆)來設計分壓範圍，因此可以正確偵測出漏血狀況。測試不同漏血狀況時，軟體會以較嚴重漏血狀況做成判斷，例如當圖 6 右下方所示 R_blood_s(輕微)和 R_blood_m(中度)腳位信號同時都成立時，漏血感測裝置會判斷出發生中度漏血狀況，並依功能要求啟動黃色警示燈號與發出蜂鳴器聲響，並可將此漏血狀況，如規劃設計般地透過 WiFi 傳輸到警報裝置。警報裝置也如預期點亮對應病床的警示燈號，並發出較大聲警報聲響，同時也會將此漏血訊息正確地透過 LoRa 傳輸到醫療管理系統的 LoRa Gateway。醫療管理系統上的 APP 經由其 Raspberry Pi 的 GPIO，可正確地讀取 LoRa Gateway



所收到的漏血訊息。漏血訊息事實上是以前端以 MQTT over LoRa 方式傳輸，Raspberry Pi 上建有 MQTT Broker，警報裝置上則有 MQTT Client APP。以 FireFox 瀏覽器上的 MQTT Client 觀察所訂閱的漏血訊息主題，瀏覽器內容可以正確地顯示出漏血狀況。上述漏液監測系統的驗證測試結果如表二所示。如圖 13 監看網頁畫面所示，護理站人員可一眼看出透析時第一病房的第二床患者有紅色警報，表示該患者有嚴重漏血狀況。

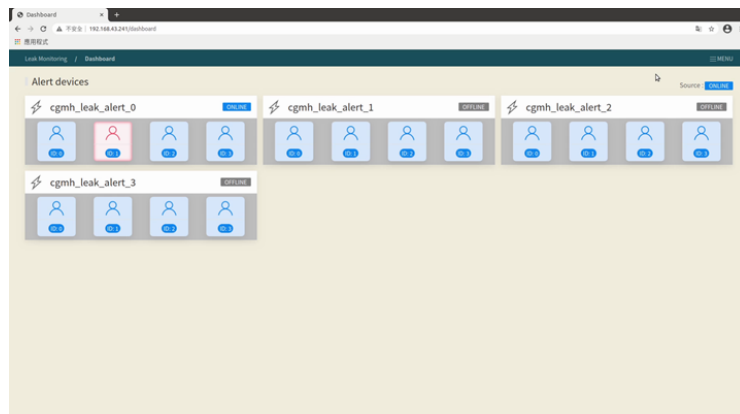


圖 13 透析時漏血狀況之實作監看網頁畫面

五. 結論

本研究採用了當前新興的物聯網技術，實作用於血液透析的漏血監測系統。根據功能驗證，選擇適當的 ADC 感測範圍(等效於電壓變化範圍)，病患身上的漏血感測裝置就能夠經由邏輯判斷來驅動警示，讓護理人員能即時處理危險情況。系統中的警報裝置能經由 Wi-Fi 結合 UDP 協議來收集附近病患的漏血資料。接著經由 LoRa 結合 MQTT-SN[15]協議，警報裝置能漏血訊息傳送到醫療管理系統的 LoRa Gateway 並發佈到 MQTT Broker。醫療管理系統的應用程式能向 MQTT Broker 訂閱漏血監控的主題，顯示病患的情況。經過上述驗證，本研究確實完成了漏血監測系統的基礎功能，而在未來的實務運用上系統尚有優化的空間。

目前漏血感測裝置及警報裝置之間採用 Wi-Fi 來進行溝通，需要慎選頻道來避免重疊，減少訊號互相干擾，而且警報裝置與附近的感測裝置作匹配的方式是採用特定的帳號及密碼來篩選，這樣感測裝置本身必須先保存驗證資料才能與警報裝置進行連線，在實務規劃上缺乏擴展性。未來可以採用藍芽進行通訊，其運用的跳頻技術及配對的機制能改進上述問題。醫療管理系統目前採用 LoRa 通訊結合 MQTT-SN 協議來實現與警報裝置之間的訊息傳遞，未來可以遵循 LoRaWAN 的規範將監測系統集成至醫療物聯網。

最後補充說明：本論文所介紹之智慧物聯網型漏血偵測貼片與系統之研發成果，係屬整體系統之先期功能性與可行性探討為主，由於尚未進入第二年計畫的研發與改進，故臨床人體試驗與臨床試驗數據收集與改良均尚未進行，漏血偵測貼片與系統之臨床安全性與有效性仍有待後續研究與印證。



參考文獻

- [1] 財團法人國家衛生研究院, “2020 台灣腎病年報,” 台灣腎臟醫學會, https://www.tsn.org.tw/UI/L/TWRD/ebook_2020年報.pdf
- [2] Ding Q, Ye Q, "Needle dislodgement in hemodialysis patients: Progress in prevention and early intervention," *Hemodialysis International*, 2021: No.25, pp.281-287.
- [3] Axley B, Speranza-Reid J, Williams H, "Venous needle dislodgement in patients on hemodialysis," *Nephrology Nursing Journal*, 2012, Vol.39(6), pp.435-445.
- [4] 陳思怡, 陳子玉, 吳芳怡, and鄧映君, “提昇血液透析管路固定完整率之專案,” 臺灣腎臟護理學會雜誌, vol. 13:3, pp. 026-040, 2014.
- [5] 李怡萱, 林莊秋萍, and張鳳纓, “低血液透析後病人動靜脈瘻管穿刺部位滲血率,” 臺灣腎臟護理學會雜誌, vol. 17:2, pp. 013-025, 2018.
- [6] 陳世宜, “血液透析照護面面觀~從管路安全、成染管制到病人整體評估,” 台灣醫界雜誌, vol. 57:1, pp. 27-30, 2014.
- [7] 衛生福利部, “107-108年度醫院醫療品質及病人安全工作目標,” 衛生福利部台灣病人安全資訊網, 2018. [Online]. Available: <http://www.patientsafety.mohw.gov.tw/>. [Accessed: 21-Sep-2018].
- [8] P.Gope and T.Hwang, “BSN-Care: A Secure IoT-Based Modern Healthcare System Using Body Sensor Network,” *IEEE Sens. J.*, vol. 16, no. 5, pp. 1368-1376, Mar.2016.
- [9] W.-S.Ciou, Y.-C.Du, B.-Y.Lim, and M.-J.Wu, “Novel wearable device for blood leakage detection during hemodialysis using an array sensing patch,” in *2016 11th International Microsystems, Packaging, Assembly and Circuits Technology Conference (IMPACT)*, 2016, pp. 255-258.
- [10] Ho-Chiao Chuang, Chen-Yu Shih, Chin-Hui Chou, Jung-Tang Huang, and Chih-Jen Wu, “The Development of a Blood Leakage Monitoring System for the Applications in Hemodialysis Therapy,” *IEEE Sens. J.*, vol. 15, no. 3, pp. 1515-1522, Mar.2015.
- [11] J.-X.Wu, P.-T.Huang, C.-M.Li, and C.-H.Lin, “Bidirectional Hetero-Associative Memory Network With Flexible Sensors and Cloud Computing for Blood Leakage Detection in Intravenous and Dialysis Therapy,” *IEEE Trans. Emerg. Top. Comput. Intell.*, vol. 2, no. 4, pp. 298-307, Aug.2018.
- [12] K.Mikhaylov, J. Petaejaevaervi, and T.Haenminen, “Analysis of Capacity and Scalability of the LoRa Low Power Wide Area Network Technology,” in *European Wireless 2016; 22th European Wireless Conference*, 2016, pp. 1-6.



- [13] LoRa Alliance Technical Committee, “LoRaWAN 1.1 Specification,” *LoRaWAN 1.1 Specif.*, no. 1.1, 2017.
- [14] Semtech Corporation, “SX1276-7-8-9 Datasheet,” *SX1276-7-8-9 Datasheet*, no. Revision 6, 2019.
- [15] Semtech Corporation, “LoRa Modulation Basics,” *LoRa Modul. Basics*, no. Revision 2, 2015.
- [16] E.Karapistoli, F.Pavlidou, I.Gragopoulos, and I.Tsetsinas, “An overview of the IEEE 802.15.4a Standard,” *IEEE Commun. Mag.*, vol. 48, no. 1, pp. 47–53, 2010.
- [17] OASIS, “MQTT Version 3.1.1 Plus Errata 01,” *OASIS Stand.*, no. 3.1.1 Plus Errata 01, 2015.
- [18] A.Stanford-Clark and H. L.Truong, “MQTT for sensor networks (MQTT-SN) protocol specification,” *Ibm*, p. 28, 2013.
- [19] Espressif System, “ESP32 Series Datasheet,” *Espr. Syst.*, no. 3.3, 2020.
- [20] Nicolas Jouanin, “HBMQTT.” Beerfactory organization (GitHub), Nantes, France, 2015.
- [21] A.Rudd, “MQTT.js.” MQTT.js organization (GitHub), Cologne, Germany, 2011.

