

智慧化點滴輸液監控及雲端資料庫服務系統之開發研究

賴維淑¹ 黃威揚² 陳擴屹³ 曾映嘉⁴ 宋旗桂^{*}

¹ 國立成功大學醫學院護理學系

² 國立高雄科技大學資訊管理系

³ 國立臺北科技大學機械工程系

⁴ 國立高雄科技大學財務管理系

^{*} 國立高雄科技大學博雅教育中心

摘要

我們發現病患在進行點滴輸液治療時，有以下痛點導致護理師往往疲於點滴流速控制而疏於對病患身心靈方面的照護：(1) 護理師依經驗設定流速、(2) 由看護人員監視流速及(3) 換藥排程掌控不易。為解決上述問題，本研究採比例控制演算法進行數學建模，開發可自動設定/調節點滴流速，並可由雲端查詢各病床滴輸液狀況之智慧化點滴輸液即時監控及雲端服務系統，以減少護理工作負擔，進而有效提升照護品質。本研究將微型步進馬達及傳統市售點滴調節器以 3D 列印技術加以整合，並配合高精度電子秤，開發智慧點滴輸液監控系統，接著使用 PHP 開發點滴輸液雲端資料庫系統上架亞馬遜雲端運算服務(AWS)，將各病床點滴輸液狀況即時記錄及回報。為瞭解第一線護理人員對本系統的需求，本研究對 223 位護理師及護理系學生進行問卷分析，結果顯示 92.8% 認為監控點滴流速為其工作負擔，93.6% 認為本研究可行性佳且可有效解決臨床上點滴輸液治療時流速監控上的問題，進而提供更完善的護理照護。

關鍵詞：靜脈滴注速率、輸液監控、醫材開發

一、前言

護理師一直都是醫療團隊中照顧病患的最前線，同時扮演照護者、病患代言者等角色，因此護理部一向是智慧醫療的首要實施對象，期許能協助護理師減輕負擔，有更多心力集中於病患照護[1]。Koch 等人[2]開發蠕動微型幫浦，在控制馬達轉速的情況下，蠕動幫浦配合不同直徑的軟性塑膠管(Plastic tube)，以輸注不同的流量值。莊昀笙等人[3]利用 DNN 將點滴袋及點滴瓶個別水位的 RSS 資料進行監督式訓練，讓手機可獨自進行預測動作，並透過 Socket 將預測結果傳輸至後端程式，達到可同時監控多個容器的成果。梁玉珊等人[4]以台灣海外就業人士為例，應用迴歸分析模型探討影響海外就業人士對行動醫療 APP 使用意願的因素。

Nicola Giaquinto 等人[5]透過基於深度學習計算機視覺技術用於監測靜脈內(IV)輸注中流速的新方法。K. R. Rani 等人[6]以 nRF24L01 即時報警的智能滴注監控系統及壓力傳感器(MPX10GP)技術，可確保患者靜脈內沒有任何氣流。A. Cataldo 等人[7]使用基於微波反射計的系統來自動控制和實時監測靜脈輸液中的流量和液位。SS Alagundagi 等人[8]以靜脈輸液監控的光電系統準確地跟蹤流體流動，並通過在檢測到錯誤時發出警報來幫助用戶監控輸液過程。M. V. Caya 等人[9]開發用於輸液監測的圖形用戶界面，為靜脈輸液處方創建數據庫和自動流量控制。S. Yadav 及 P. Jain[10]以 IR 傳感器為醫院開發了遠程滴注監控系統，該系統包含許多輸液監控設備、控制系統和中央監控器。N. Shofa 等人[11]通過 MQTT 協議使用 WIFI(802.11)進行輸液監控，可用於管理多個注入端到服務器的數據。C. Jianwen and Z. Han [12]採用光電傳感器技術、信

號處理技術和無線通信技術，監控每個病房的輸液狀態。H. Amano 等人[13]由多個輸液監控設備和一個中央監控器組成藍牙遠程滴注監控系統，而中央監視器接收來自多個輸液監控設備的數據後，以圖形方式顯示。H. Ogawa 等人[14]使用三個非接觸式銅箔電極完成具有自由流動檢測功能的新型滴注液監控系統。

二、智慧點滴輸液監控系統

本研究以醫療輔具設計出發，在既有的點滴架上，以 3D 列印技術將微型步進馬達及傳統市售點滴調節器整合成數控調節器構件(如圖 1)，配合高精度電子秤組成智慧點滴輸液監控系統，可精準計算及自動調節點滴之流速。智慧點滴輸液監控系統具備可酒精消毒後重複使用、重量輕巧、安裝方便等優點。

本研究將 28BYJ-48 微型步進馬達(步進角為 5.625 度，馬達減速比 1:64，電機旋轉度為 0.0879(=5.625/64)，一圈所需步數為 4096 (=360 / (5.625 / 64))與傳統市售點滴調節器，透過 3D 列印技術加以整合，並結合 HX711 高精度電子秤(24 位元 A/D 轉換器芯片，量測精度 1.2mg)，開發智慧點滴輸液監控系統(如圖 2)。



圖 1：數控調節器構件

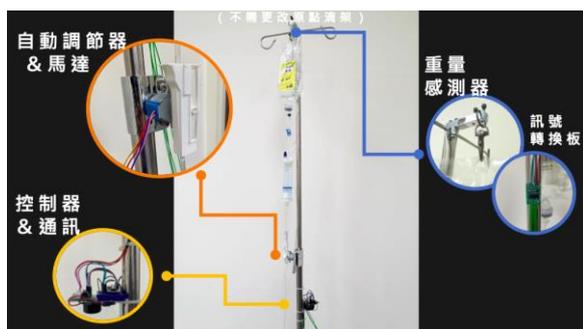


圖 2：輸液裝置系統

本研究採比例控制演算法，控制方式如圖 3 所示，護理師依醫囑完成點滴輸液流速設定後，高精度電子秤可精準感知點滴每滴注一滴後之點滴袋重量變化及時間，則智慧點滴輸液監控系統可依式(1)自動計算每滴滴注間隔時間之理論值，

$$t_s = (B_n - B_{n+1}) \times t_T / B_0 \quad (1)$$

其中

B_0 ：點滴袋總重量

B_n ：點滴袋滴注第 n 滴後之總重量

B_{n+1} ：點滴袋滴注第 $n+1$ 滴後之總重量

t_T ：滴注總時間（由醫囑可知）

t_s ：每滴滴注間隔時間（理論值）

接著數控調節器構件可在 5 至 10 秒內，依式(2)給定步進馬達所需角度，進而控制點滴調節器中點滴軟管之管徑擠壓程度，自動將每滴滴注間隔時間調整至理論值。後續本系統可依病患臥床、翻身、坐立等影響流速情形，繼續以式(2)之計算結果，即時調整流速，達到精準控制點滴流速的效果。

$$\Delta t = (t_{n+1} - t_n) - t_s \quad (2)$$

其中

t_{n+1} ：第 $n+1$ 次點滴袋重量監測時間

t_n ：第 n 次點滴袋重量監測時間

由式(2)知，當 $\Delta t > 0$ 則流速調快、 $\Delta t < 0$ 則流速調慢，若 $\Delta t = 0$ 則無誤差，不需調整。

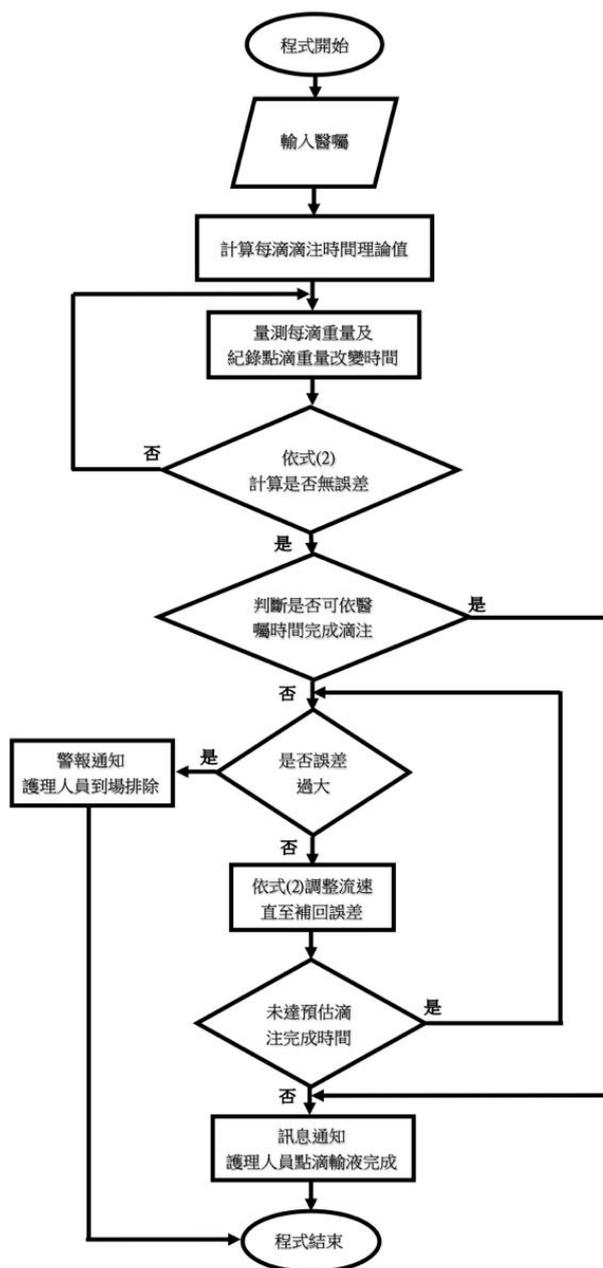


圖 3：控制方式流程圖

三、點滴輸液雲端資料庫系統

使用 PHP 製作病床端及醫院端網頁，病床端採 Android 製做 APP 可以登入網頁查詢看診資料，醫院端可即時在護理站或護理工作車監控區域病床狀況，系統雛形製作拓撲圖(如圖 4)，架設兩台 Server，一台架設網頁，另一台是 MySQL Server 存放醫院人員及病患帳號及密碼(如圖 5)，由 QR code 使用 Google 的 API 放入病例號變數生成(如圖 6)。本研究採用亞馬遜雲端

運算服務 (Amazon Web Services ,AWS) 模擬系統匯入醫院區域網路(如圖 7)建構模型雲端上架，彈性使用虛擬環境於雲端資料庫。

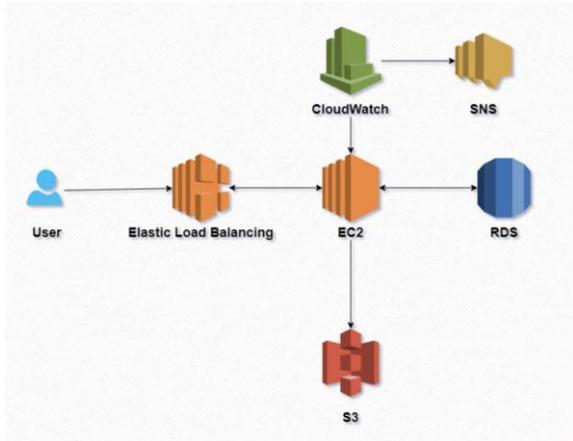


圖 4：系統拓撲圖

```

MariaDB [health_db]> select * from account_patient;
+----+-----+-----+
| id  | username | password |
+----+-----+-----+
| 10001 | cheng123 | cheng456 |
| 10009 | aaaaaa  | aaaaaa  |
| 10010 | 123456abc | 1234    |
+----+-----+-----+
3 rows in set (0.283 sec)
  
```

圖 5：SQL 醫院/病患帳號及密碼

```

session_start();
$_SESSION['id'];
echo "<img src='https://chart.googleapis.com/chart?chs=300x300&cht=ocr&chl='>".$_SESSION['id']."'>";
  
```

圖 6：API 病歷號變數生成

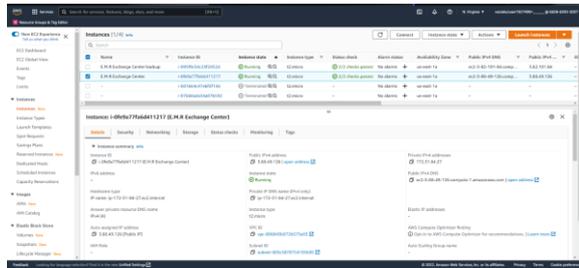


圖 7：亞馬遜雲端運算服務(伺服器)

當醫院的網站流量過大時，透過設計 Elastic Load Balancing (ELB)做伺服器流量分流管理，ELB 設定 HTTP(80)和 HTTPS(443)，來進行負載平衡(如圖 8)，並設定 CloudWatch，自動偵測主機狀態，是否有異常或者停擺(如圖 9)，如在 ELB 中主機異常停擺將自動通知網站管理人員(如圖 10)，在雲端 AWS ELB Https 憑證中，設定好 load balance 在 linux 中生

成Key及CSR(憑證請求)，再到 ssl.com(如圖 11)。本研究使用免費憑證(90天)測試，最後將憑證、Key、中繼憑證放入 AWS Certificate Manager (ACM)，在 load balance 選擇已簽好之憑證(如圖 12)，並在 ACM 管理憑證中查詢 (如圖 13)。

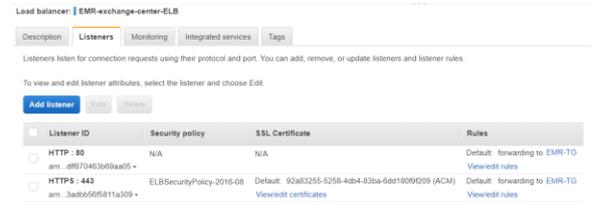


圖 8：HTTP 和 HTTPS 進行負載平衡

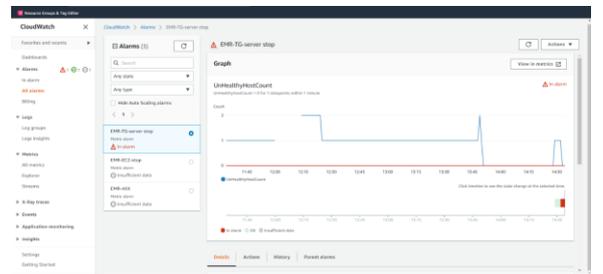


圖 9：CloudWatch 自動偵測主機停擺

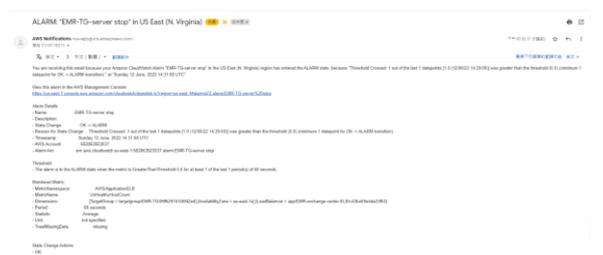


圖 10：主機停擺自動通知網站管理員

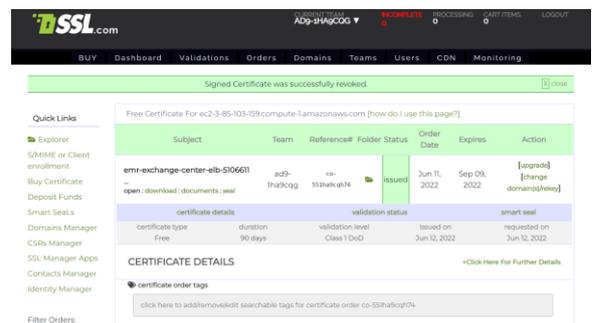


圖 11：使用 SSL.com 簽發憑證

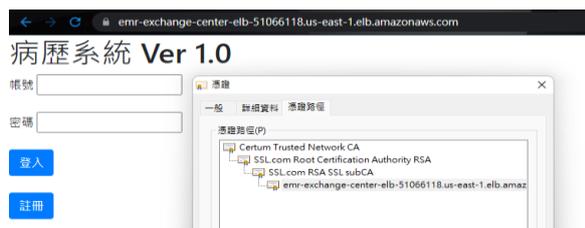


圖 12：成功使用 HTTPS 連線到網頁

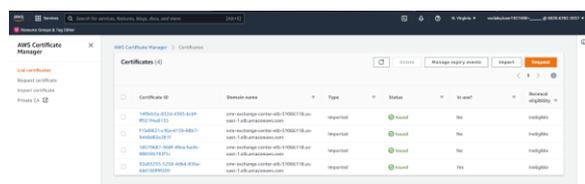


圖 13：AWS 管理憑證頁面

點滴輸液雲端資料庫系統，可查詢醫療端及病床端的系統頁面，醫療端登入後顯示個資、病例、聯絡資訊等等(如圖 14)；病床端登入後可查看病患個資及個人之用藥相關資訊(如圖 15)。

病歷系統(發財診所) Ver 1.0

病歷號	姓名	性別	電話	出生日期	身分證字號	查看更多
10012	林德傑	男	0997270796	2003/3/12	E145842221	查看更多
10013	陳浩凱	男	0937732979	2003/1/27	E129182127	查看更多
10014	黃成澤	男	0985688837	2003/5/14	E118636729	查看更多
10015	黃允誠	男	0935938659	2003/7/17	E178218706	查看更多
10001	王睿傑	男	0983307189	2003/1/23	E130361157	查看更多

圖 14：診所端登入後畫面



圖 15：病患端登入後畫面

四、實例說明

本研究可於傳統市售點滴架上進行安裝，當護理師接受本實驗模擬醫囑 (RO 水 30 ml，加入 RO 水 60 ml 於精密輸液套管容器內，預計 50 分鐘滴完) 後可於系統雲端進行藥量及給藥時間設定，智慧點滴輸液監控系統透過 WIFI 接收醫囑資訊，即可依式(1)演算出點滴輸液所需之每滴滴注

間隔時間理論值 (t_s)，接著智慧點滴輸液監控系統以高精度電子秤(HX711)對點滴袋進行即時重量及重量改變時間監測，監測值讀入控制器後依式(2)進行計算，再將計算結果(Δt)導入數控調節器構件，可將每秒點滴滴速精準控制於醫囑之給藥時間內(控制流程如圖 3)。

本研究採滴注實驗以驗證系統精確性，實驗進行至 10 分鐘時，我們將輸液軟管某段對折固定，模擬點滴因病患壓住軟管而分別停止輸液 3 分鐘、5 分鐘及 10 分鐘，使輸液流量分別減少約 5.4g、9g 及 18g(如表 1)，實驗顯示本系統可在用藥安全的條件下完成點滴輸液(如圖 16)。

表 1 智慧化點滴輸液監控實驗

停止輸液時間	點滴減少量	穩定所需時間
3 min	5352 mg	5.6 min
5 min	9024 mg	12.2 min
10 min	18096 mg	23.8 min

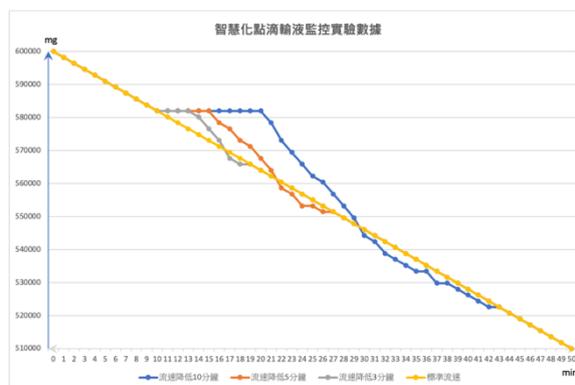


圖 16：智慧化點滴輸液監控實驗數據圖

接著將所建構之點滴輸液雲端資料庫系統上架亞馬遜雲端運算服務 (Amazon Web Services, AWS)，用以模擬匯入醫院之區域網路系統，使點滴給藥過程之即時流速變化資訊，可即時的通知醫護人員各病床之點滴輸液狀況(如圖 17)。



圖 17：醫院監控端

本研究可依護理站之需求設定輸液流速調節時間，當點滴輸液異常且系統無法在所設定的時間內完成輸液流速調節時，點滴輸液雲端資料庫系統將發佈緊急號誌及聲響通知護理師(如圖 18)。點滴輸液雲端資料庫系統亦可將病患個人之用藥相關資訊(藥品名稱、換藥時間、滴注時間、滴注排程等)及衛教需知以 APP 開放病患本人查詢(如圖 19)。



圖 18：醫院自訂通知介面



圖 19：病患查詢端

五、使用端問卷分析

為瞭解第一線護理人員對本系統的需求，本研究以 223 位國立成功大學醫學院附設醫院護理師、國立成功大學護理系學生及 Dcard 護理版實施問卷分析

(<https://www.surveycake.com/s/02v1Q>)，結果發現 92.8%認為在執行護理工作時，常因點滴輸液異常或滴注完成未能及時換藥，而造成無可避免之工作負擔。93.6%認為本研究可行性佳且可減輕其工作負擔(如圖 20)。顯示藉由解決臨床的點滴給藥問題，可提高護理品質、改善醫病關係，進而減少護理人員負擔、提升醫療品質及護理效能。



圖 20：問卷分析結果

六、結論

本研究透過 3D 列印技術自行設計製作夾具，用以整合傳統市售點滴調節器、微型步進馬達(28BYJ-48)及高精度電子秤(HX711)開發智慧點滴輸液監控系統，可依醫囑精準控制點滴輸液流速；再將所建構之點滴輸液雲端資料庫系統於亞馬遜雲端運算服務(AWS)上架，用以模擬匯入醫院之區域網路，成功開發智慧化點滴輸液監控及雲端資料庫服務系統。實驗中發現當點滴輸液不順暢時，本系統可在用藥安全的條件下完成點滴輸液；並在護理師及護理系學生的問卷回饋中發現，92.8%認為監控點滴流速為其工作負擔，93.6%認為本研究可行性佳且可減輕其工作負擔。

本研究以傳統市售點滴架及點滴調節器為基礎進行研發，除安裝快速且便利外，更具備重量輕巧及可酒精消毒後重複使用之特點，有效提高醫護端應用及推廣上的可行性，然尚需申請醫療認證及實際市場規模分析。本研究之控制理論數學模

型未來可朝向 PID(Proportional-Integral-Derivative)控制演算法進行延伸，以提高系統之靈活性、準確度與使用效能。

七、誌謝

感謝國立成功大學醫學院附設醫院及國立成功大學醫學院護理學系的協助，使本研究得以順利完成。

參考文獻：

- [1] 蔣榮先, "從 AI 到智慧醫療", 商周出版, 台灣 (2020/05)。
- [2] Koch, C., Remcho, V., and Ingle, J. (2009), "PDMS and Tuning-Based Peristaltic Micropumps with Direct Actuation," *Sensor and Actuators B: Chemical*, Vol. 135, pp. 664-670, 2009.
- [3] 莊昀笙, "基於 DNN 之智慧點滴系統研發", 銘傳大學資訊傳播工程學系碩士論文, 2020。
- [4] 梁玉珊, "以科技接受模式探討行動醫療 APP 使用之意願之研究-以台灣海外就業人士為例", 國立清華大學經營管理碩士在職專班碩士論文, 2021。
- [5] N. Giaquinto, M. Scarpetta, M. Spadavecchia and G. Andria, "Deep Learning-Based Computer Vision for Real-Time Intravenous Drip Infusion Monitoring," in *IEEE Sensors Journal*, vol. 21, no. 13, pp. 14148-14154, 1 July 2021.
- [6] K. R. Rani, N. Shabana, P. Tanmayee, S. Loganathan and G. Velmathi, "Smart drip infusion monitoring system for instant alert-through nRF24L01," 2017 International Conference on Nextgen Electronic Technologies: Silicon to Software (ICNETS2), pp. 452-455, 2017.
- [7] A. Cataldo, G. Cannazza, N. Giaquinto, A. Trotta and G. Andria, "Development of a remote system for real-time control of intravenous drip infusions," 2011 IEEE International Symposium on Medical Measurements and Applications, pp. 234-237, 2011.
- [8] S. S. Alagundagi, K. Pasala and M. Arora, "Opto-electronic system for intravenous infusion monitoring," 2018 10th International Conference on Communication Systems & Networks (COMSNETS), pp. 688-692, 2018.
- [9] M. V. Caya, M. U. Cosindad, N. I. Marcelo, J. N. M. Santos and J. L. Torres, "Design and Implementation of an Intravenous Infusion Control and Monitoring System," 2019 IEEE International Conference on Consumer Electronics - Asia (ICCE-Asia), pp. 68-72, 2019.
- [10] S. Yadav and P. Jain, "Real time cost effective e-saline monitoring and control system," 2016 International Conference on Control, Computing, Communication and Materials (ICCCCM), pp. 1-4, 2016.
- [11] N. Shofa, A. Rakhmatsyah and S. A. Karimah, "Infusion monitoring using WiFi (802.11) through MQTT protocol," 2017 5th International Conference on Information and Communication Technology (ICoICT7), pp. 1-7, 2017.
- [12] C. Jianwen and Z. Han, "Design of intravenous infusion monitoring and alarm system based on wireless communication technology," 2011 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation, pp. 130-

- 134, 2011.
- [13]H. Amano, H. Ogawa, H. Maki, S. Tsukamoto, Y. Yonezawa and W. M. Caldwell, "A remote drip infusion monitoring system employing Bluetooth," 2012 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, pp. 2029-2032, 2012.
- [14]H. Ogawa, H. Maki, S. Tsukamoto, Y. Yonezawa, H. Amano and W. M. Caldwell, "A new drip infusion solution monitoring system with a free-flow detection function," 2010 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology, pp. 1214-1217, 2010.

Development of A Real-Time Monitoring and Controlling Smart Intravenous Dosing System Through Cloud Computing

**Wei-Shu Lai¹, Wei-Yang Huang², Kuo-Yi Chen³, Ying-Chia Tseng⁴,
Chi-Kuei Sung^{*}**

¹ Department of Nursing, College of Medicine, National Cheng Kung University

² Department of Information Management, National Kaohsiung University of Science and Technology

³ Department of Mechanical Engineering, National Taipei University of Technology

⁴ Department of Finance, National Kaohsiung University of Science and Technology

^{*}National Kaohsiung University of Science and Technology, Center for the Liberal Arts

Abstract

This project aims to solve the problems such as setting the flow rate based on nurses' experience before the infusion, monitoring the flow rate by the caregiver during the infusion process, and the difficulty in scheduling IV administration. The project is to reduce the nursing workload and improve the quality of care by developing a system capable of automatically setting, monitoring, controlling, and adjusting the IV drip rate, together with querying the infusion status of each hospital bed in connection with a cloud database service in real-time. The proposed system adopts mathematical modelling based on the proportional controller algorithm in parallel with 3D printing technology. In which the system integrates micro-stepping motors, commercially available IV flow regulators, and high-precision electronic balance to develop an intelligent IV system capable of real-time monitoring and controlling. Then, create a cloud database system for IV medication by PHP to be installed on Amazon cloud computing services (AWS) to record and report the infusion status of each hospital bed in real time. This project aims to explore the needs of the frontline nursing staff for this system, the researchers conduct a questionnaire analysis on nurses and nursing students to know whether the stability of the IV flow rate affect the nursing workload and the clinical feasibility of the proposed system. A total of 223 nurses and nursing students were recruited for the survey. The results showed that 92.8% of the participants believed that monitoring the infusion flow rate would increase a workload, and 93.6% believed that this project was feasible and could effectively solve the problem of flow rate monitoring in clinical practice. This project contributes to better nursing care.

Key words : IV drip rate, infusion monitoring, medical device development

