

# 基於霧端計算結合警示感測器與模糊派翠網路(FPN)於復健病人鼻胃管(NG)自拔與脫落偵測輔具之研製

陳銘宇<sup>1</sup>, 陳泳志<sup>1</sup>, 何月仁<sup>2</sup>, 李健明<sup>3</sup>, 陳維聆<sup>4</sup>, 林家宏<sup>5,\*</sup>

<sup>1</sup>高苑科技大學電機工程系, e-mail: [daren3807@gmail.com](mailto:daren3807@gmail.com), [theboy851127@gmail.com](mailto:theboy851127@gmail.com).

<sup>2</sup>成功大學生物化學暨分子生物學研究所, e-mail: [yrho@mail.ncku.edu.tw](mailto:yrho@mail.ncku.edu.tw).

<sup>3</sup>奇美醫療財團法人奇美醫學中心感染科, e-mail: [235813cmli@gmail.com](mailto:235813cmli@gmail.com).

<sup>4</sup>高雄榮民總醫院工務室醫工組, e-mail: [lynnchen.k@gmail.com](mailto:lynnchen.k@gmail.com).

<sup>5</sup>勤益科技大學電機工程系, e-mail: [eechl53@gmail.com](mailto:eechl53@gmail.com).

## 摘要

鼻胃管(Nasogastric Tube, NG Tube)係提供復健病人, 暫時性或長期性仰賴灌食和給藥重要的管路, 在臨床上, 復健室的病患放置鼻胃管的比率高達 35%, 其中發生自行拔除事件則高達 70% 比例, 對於長期性放置鼻胃管的病患, 為了提高照護品質與減少醫療上糾紛, 需要一連續監測穿戴裝置, 有效降低自主性(非計畫性)管路拔除事件數。有鑑於此, 本論文提出基於霧端計算(Fog Computing)之連續監測方式, 結合警示感測器與模糊派翠網路(Fuzzy Petri Net, FPN)邏輯推論演算法, 藉由兩個光感測警示器及 FPN 偵測流程, 判定固定鼻胃管的管頭, 是否正常固定於鼻樑上, 或者遭受病人拉扯而部份或完全脫落, 實際測試可驗證本論文所發展智慧型穿戴裝置的可行性, 及商品化後可適用於復健病患使用。

**關鍵詞:** 鼻胃管(NG Tube)、自主性(非計畫性)管路拔除、霧端計算、模糊派翠網路(FPN)。

## 1. 研究動機與目的

根據臺灣病人安全通報系統年報資料示, 管路發生異常事件中位居第三名, 其中以鼻胃管(Nasogastric Tube, NG Tube)自拔導致管路脫落的事件居多, 約佔72.2%的比例[1-2]。鼻胃管係提供吞嚥障礙/困難的病人, 暫時或長期仰賴一條從鼻孔經咽喉、食道、到達胃部, 將食物以灌食的方式來供應病人營養的需求, 例如患者因昏迷、腦中風後造成吞嚥困難、口頸部疾病、嚴重燒傷、手術後、及癌症末期等病人。如圖1所示, 鼻胃管裝置由醫師將PVC或矽膠做的軟管依照病人需求, 估量好鼻胃管置於體內之長度後, 按照病患的需求以切割器截取所需長度, 從體外將鼻胃管經由鼻腔插入至胃內後, 可將管口固定於鼻樑後, 再由管口處接上灌食空針, 使食物可藉由灌食空針經鼻胃管進入胃部, 進而達到進食的目的。對於久病臥床或老人, 因身體功能逐漸退化、中風、或合併吞嚥障礙等, 因無法由口進食, 容易造成營養不良, 常需要藉由留置鼻管路來維



圖1. 中風和手術後患者之鼻胃管裝置與灌食

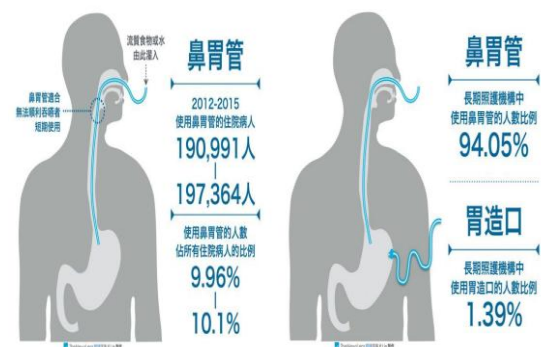


圖2. (a)住院病人使用鼻胃管的比率(2012年至2015年); (b)長照機構使用鼻胃管與胃造口的比例;

持其提供營養所需。因病患因長期留置鼻胃管於體內, 在臨床上常遇到問題, 敘述如下所示:

- 鼻胃管滑脫問題:** 留置鼻胃管之老人或病患, 常因外力或自行拔除而導致鼻胃管滑脫, 根據統計, 管路滑脫事件僅次於老人跌倒, 係台灣最常見的醫療意外事件, 其中自主性(或稱為非計畫性)的管路滑脫事件約佔10%比例, 管路滑脫事件中, 鼻胃管滑脫則占居第二位[3]。
- 鼻胃管固定問題:** 鼻胃管有些則固定在耳後, 容易造成耳部壓瘡, 目前並無合適的固定方式, 亦有專利揭露鼻胃管固定貼片[4-5], 適用於將鼻胃管進行固定於鼻樑, 當鼻胃管非預期性(非計畫性)脫落時, 會影響病患飲食的攝取, 造成營養失衡;

根據2012年至2015年統計，住院病人使用鼻胃管的比率大約是10%(9.96%增加至10.10%)，長照機構使用鼻胃管的比率高達94.05%，胃造口比例占1.39%(因有感染問題)，如圖2(a)和2(b)所示，因鼻胃管使用在老年人族群占有較高比例。接受長期照護的老人或中風復健病患，大多數都將鼻胃管垂放，當翻身或執行照護等措施時，鼻胃管容易因拉扯而造成管路的脫落，此稱為「意外滑脫事件(Accidental Extubation)」；或因病患本身生理及行為因素，有躁鬱症狀或意識不清的情況，病人有異物感、不適與咳嗽，而發生自拔鼻胃管的事件，此稱為「自行拔除事件(Deliberate Self-extubation)」[1, 6]。此外，因鼻胃管脫落而重置，可能會有錯位的危險性，反覆插管導致食道或者胃壁出血，或產生肺炎、氣胸、胃穿孔等合併症[7-9]。根據統計，在復健室的病患放置鼻胃管的病人比例高達35%，其中發生自行拔除事件高達70%比例，其餘30%比例為意外滑脫事件[1, 10-11]，有鑑於此，需要發展一套有效監測的穿戴輔助裝置，可有效監測長期留置於復健病人之鼻胃管的狀況。

在醫療照護機構或復健室，預防鼻胃管滑脫或自拔的方法，包括建立標準照護程序、加強照顧者教育訓練、加強病人與家屬衛教訓練、及適當給予病人約束等策略[1, 12]。在臨床上案例，使用保護約束方式，預防躁動病人之自行拔除事件，係常使用的方法。然而，保護約束方式需要與病人或家屬達成同意，才能夠執行此種措施，護理師臨床照護中，偶發暫時離開病人，仍會發生意外事件及偶發糾紛等，本研究期望發展一穿戴警示感測輔助裝置，可將警示感測器(Warning Sensor)以貼布固定於鼻樑上，其魔鬼氈可固定露出鼻胃管的部分及警示感測器線路(電源及訊號線路)，如圖3所示，並應用連續監測方式，擷取感測器電壓訊號變化，透過模糊派翠網路(Fuzzy Petri Net)[13-16]為基礎智慧偵測邏輯演算法，可自動辨識：(1)鼻胃管正常固定於鼻樑上(Normal Condition)；(2)已部分遭病人拉扯，尚未完全脫落；及(3)已遭病人拉扯而完全脫落等三種狀況，期望預防自主性(非計畫性)拔管之事件，藉此發展輔助穿戴裝置提昇醫療與照護品質。

## 2. 研究方法

### 2.1. 文獻探討

臨床常以聽診方法聽取胃內聲音，進行確認鼻胃管位置是否正確，或者在灌食以及給藥時，反抽胃內容物來確認鼻胃管是否在胃內，然而此種判斷方式仍會誤判的機會，最準確的方法係照射胸部/腹部X光(Chest/Abdomen X-ray)或以酸鹼試紙進行PH值檢測，評估鼻胃管適當放置的位置，當PH值小於5表示鼻胃管在胃內(胃酸(Gastric Acid/ Gastric Juice) pH值約為1.5~3.5)，然而此種

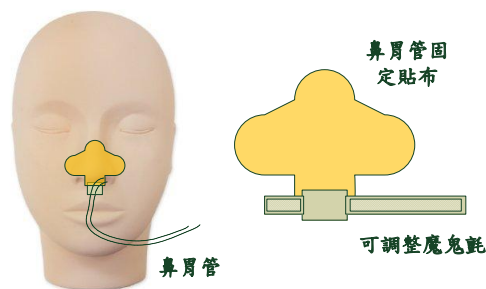


圖3. 固定警示感測器與鼻胃管頭的貼布設計(固定於鼻樑)

表格1. 光感測器之電阻、電流、節點電壓變化與光強度之關係對照

| 狀態       | 光度 (lux) | $R_s$ ( $\Omega$ ) | $R_G+R_s$ ( $\Omega$ ) | 電流 (mA)        | 節點電壓(V)         |
|----------|----------|--------------------|------------------------|----------------|-----------------|
| Dark     | 0        | >10M               | >10M                   | $\approx 0.00$ | $\approx 0.00$  |
| Bright   | $10^2$   | $\approx 2.5K$     | 11.5K                  | $\approx 0.43$ | $4.00 \pm 0.30$ |
| Daylight | $10^4$   | $\approx 0.1K$     | 10.1K                  | $\approx 4.90$ | $\approx 4.95$  |

方法只適用於鼻胃管放置及重置時採用的措施，無法適用於連續監測使用。目前國內外文獻及專利，亦提出鼻胃管固定貼片、鼻胃管收納型裝置[4-5]，以加強固定於鼻樑和靠近鼻孔端的鼻胃管，國內亦有因胃癌住進醫院，在進行全胃切除手術後，病人自行將鼻胃管拔除的案例，係由於留置鼻胃管於體內，造成病人的不適而自行拔除，此動作會造成危險出現感染併發症，還有可能加重病情(吻合口阻擋)。目前尚未提出有效的連續監測之穿戴裝置，因此，本論文提出適用於連續監測光感測穿戴裝置，有效解決臨床鼻胃管脫落偵測的問題。

### 2.2. 預防自主性(非計畫性)拔管監測警示感測器

本論文以如圖3所示的固定貼布，可將露出鼻胃管頭的部分固定於鼻樑上，其魔鬼氈亦可固定預防拔管之警示感測器線路(電源及訊號線路)，預防自主性(非計畫性)拔管之警示感測裝置，如圖4所示。此警示感測裝置包含兩個光感測器(Photocell Sensor)，分別裝置於鼻樑左右兩邊，光感測器之內部電阻變化與光強度(lux)有直接關係，如表格1所示。環境光強度增加則內部電阻減少(成反比)，反之，光強度減小，則內部電阻增加。光感測器在完全無光照射的狀況下(Dark)，內部電阻呈現高阻抗(約  $M\Omega$ )稱為暗電阻，約 $>10M\Omega$ 高阻抗，若有充足光照射，則內部電阻稱為亮電阻，則電阻下降為至 $\approx 2.5k\Omega$ ，其靈敏度與入射光的波長(500 nm- 700 nm)有關，其響應速度在數毫秒之間。

如圖4所示，將兩個光感測器(內阻 $R_s$ )以並聯方式連接，與下拉式電阻 $R_G$ (Pull-down Resistor)串聯，並供應+3.3VDC電壓，構成一電阻式分壓器(Resistor Voltage Divider)。本論文將光感測器探頭與貼布結合後固定於鼻樑上，設計2個感測



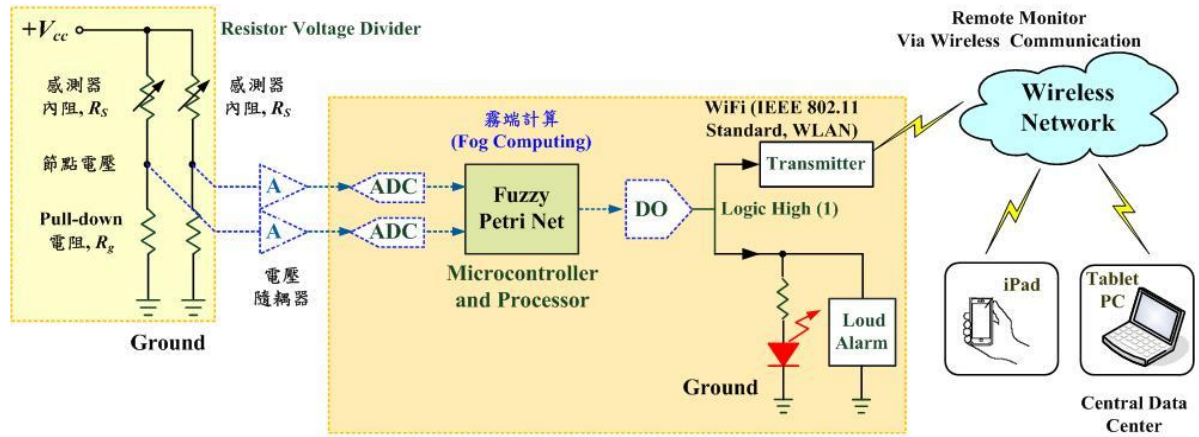


圖4. 預防自主性(非計畫性)拔管監測之光感測裝置與霧端計算架構

節點可偵測鼻樑左右兩邊光強度的變化，以Pull-Down輸入至嵌入式系統的連接埠，光電阻與下拉式電阻之匯合點，以分壓方式(分壓定律)可直接量測電壓變化值：

$$V_{mea,i} = V_{cc} \times \frac{R_{int}}{R_s + R_g}, i=1,2 \quad (01)$$

其中  $V_{cc}=+5.00VCD$  為直流電源電壓； $R_s$  為光感測器內阻； $R_g$  為下拉式電阻(固定電阻)； $V_{mea,i}$  為節點電壓量測值(類比)； $i=1,2$  為節點個數。

本論文應用 Arduino® (Uno, Atmel 8-bit CMOS microcontroller 32 kB self-programmable mechanism, 6 analog inputs, 14 digital inputs / outputs, DI / DO) 開發電路板進行資料型態的轉換(ADC 轉換)，將讀取類比節點電壓變化值轉換成數位資料，如(02)式：

$$V_i = V_{mea,i} \times \frac{V_{cc}}{1023.0} \quad (02)$$

其中  $V_i$  為數位訊號，透過解析度 10-bit ADC 將類比電壓訊號轉換成數位訊號， $V_{cc}=0 \sim 5.00VCD$ ，其數值轉換為  $0 \sim 1023$  階，最大讀取率為 10,000 times/s，節點電壓變化值可直接在 Arduino® 開發電路板進行霧端計算(Fog Computing)，再藉由歸屬函數(Membership Function)產生高電位邏輯(High Voltage Level)或低電位邏輯(Low Voltage Level)後，直接驅動 LED 及蜂鳴器。

由於長照機構/醫院復健室環境需要進行多床位的監測，在霧端計算(Fog Computing)的架構下[17-18]，若需要監測多個資料的節點，每個感測節點即進行初步數據分析，這些節點的資料不需要統一傳送到大型資料中心，在長照機構即為監測中心/護理站，只需將異常數據回傳至資料處理中心及儲存，不會佔用大量網路頻寬，亦可有效減輕網路流量，因此在雲端運算(Cloud Computing)負擔也可減輕，並在霧端計算處理層即可啟動警示裝置(警報或閃警示燈)。並在雲端計算處理層，即啟動監測中心/護理站的警示裝置，及同步以WiFi 區域網路(IEEE 802.11 Standard, Wireless Local Area Network)應用無線傳輸技術[19]，在智慧型行動載具(iPad & iPhone)顯示偵測結果或警示訊息，讓醫護人員得以即早做出適當的處理；即達到即時雙重

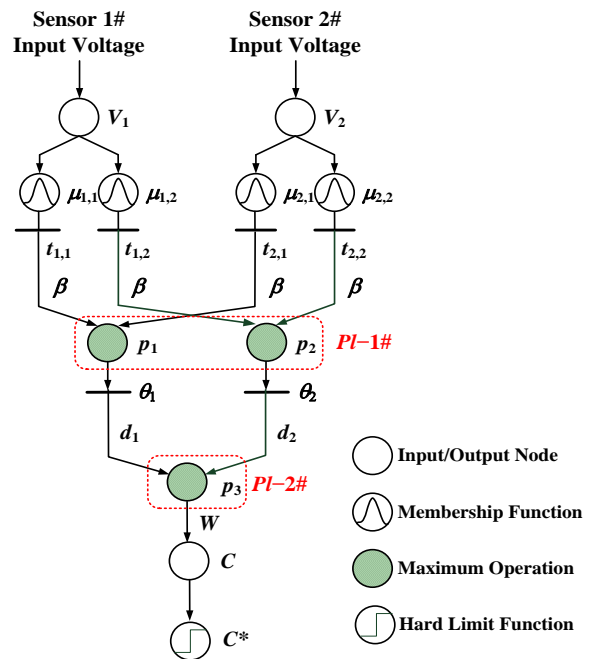


圖5. 模糊派萃網路(FPN)邏輯推論架構

確認的機制，提供可信賴的偵測結果。

### 2.3. 模糊派萃網路(FPN)

C. G. Looney 於 1988 年首先提出模糊派萃網路(Fuzzy Petri Net, FPN)[20]，同時具有模糊法則與推論機制，並進行決策，發展至今已有多位學者提出不同型態的 FPN(J. Lee, H. Scarpelli, S. M. Chen 等學者)。一基本的 FPN 具有八個要素，本論文定義的 FPN 可表示：

$$FPN = (Pl, Tr, D, V, C, \mu, \theta, \beta, W) \quad (03)$$

$$Pl \cap Tr \cap D = \emptyset \text{ and } |Pl| = |D|$$

其中  $Pl=[p_1, p_2, p_3, \dots, p_m]$  為一有限個數的位置(Place,  $Pl$ )之集合； $Tr=[t_{1,1}, t_{1,2}, t_{2,1}, t_{2,2}]$  為一有限個數的轉置(Transition,  $Tr$ )之集合； $D=[d_1, d_2]$  為一有限個數的命題(Proposition)的集合； $V=[V_1, V_2]$  為一輸入變數之集合(節點電壓)； $C$  為一輸出變數； $\mu=[\mu_{1,1}, \mu_{1,2}, \mu_{2,1}, \mu_{2,2}]$  為輸入歸屬函數之集合；指定輸

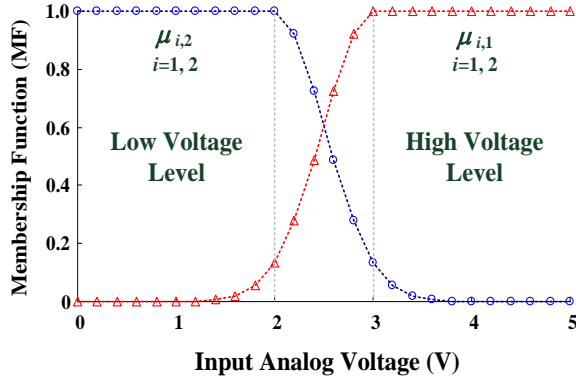


圖 6. 輸入電壓之高電位邏輯或低電位邏輯的模糊集合

入變數轉置介於 0 至 1 之間的數值， $\mu \in [0, 1]$ ； $\theta = [\theta_1, \theta_2]$  為輸出歸屬函數； $\beta=1$  為權重值，指定轉置與位置之間的權重值； $W=1$  為權重值，指定位置與輸出變數之間的權重值。本論文建構 FPN 邏輯推論之架構，如圖 5 所示。

輸入歸屬函數(Membership Function, MF)，可定義成 S 型函數、Z 型函數、和高斯型函數，本論文選擇 S 型與 Z 型函數作為輸入歸屬函數，可表示成：

$$\mu_{i,1} = \begin{cases} 1, & 3.0 \leq V_i \leq 5.0 \\ \exp\left(-\frac{1}{2} \times \left(\frac{V_i - 3}{\sigma}\right)^2\right), & 0.0 \leq V_i < 3.0 \end{cases} \quad (04)$$

$$\mu_{i,2} = \begin{cases} 1, & 0 \leq V_i \leq 2.0 \\ \exp\left(-\frac{1}{2} \times \left(\frac{V_i - 2}{\sigma}\right)^2\right), & 2.0 < V_i \leq 5.0 \end{cases} \quad (05)$$

其中  $V_i$  為感測節點數位訊號， $i=1, 2$ ； $\mu_{i,1}$  和  $\mu_{i,2}$  可判斷輸入電壓為高電位邏輯(High Voltage Level)或低電位邏輯(Low Voltage Level)之模糊集合，歸屬函數值介於 0 和 1 之間， $\mu_{i,1} \in [0, 1]$  和  $\mu_{i,2} \in [0, 1]$ ，如圖 6 所示模糊集合；標準差  $\sigma = +0.5$  VDC。

本論文以合成運算子(Compositional Operator)執行合成運算 AND(Minimum Operator)或 OR 運算(Maximum Operator)[16, 20]，逐一建構推論規則，推論步驟如下：

**步驟 1)** 輸入節點電壓  $V=[V_1, V_2]$ ；

**步驟 2)** 計算輸入歸屬函數值  $\mu=[\mu_{1,1}, \mu_{1,2}, \mu_{2,1}, \mu_{2,2}]$ ，

轉置  $[t_{1,1}, t_{1,2}, t_{2,1}, t_{2,2}]=[\mu_{1,1}, \mu_{1,2}, \mu_{2,1}, \mu_{2,2}]$ ；

**步驟 3)** 執行 OR 運算，計算輸出位置  $Pl-1\#$ ： $p_1 = \max\{(t_{1,1} \times \beta), (t_{2,1} \times \beta)\}$  及  $p_2 = \max\{(t_{1,2} \times \beta), (t_{2,2} \times \beta)\}$ ；

**步驟 4)** 計算輸出歸屬函數質  $\theta(p_i)$ ， $i=1, 2$ ，即為命題  $d_i = \theta(p_i)$ ，其中  $\theta(p_i)$  為高斯型歸屬函數：

$$\theta_i = \exp(-(1 - p_i)), 0 < \theta(p_i) \leq 1 \quad (06)$$

**步驟 5)** 執行 OR 運算，計算輸出位置  $Pl-2\#$ ： $p_3 = \max\{d_1, d_2\}$ ， $j=i^*$ ，其中  $i^*$  為最大值的索引；

**步驟 6)** 計算最後輸出， $C = W_j \times d_j$ ，

$$\begin{cases} W_1 = 1, & d_1 \geq d_2 \\ W_2 = 0, & d_1 < d_2 \end{cases} \quad (07)$$

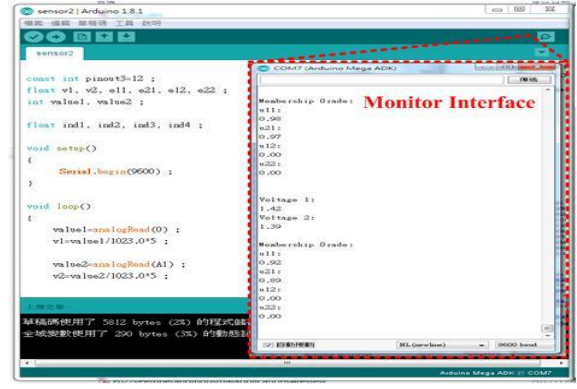


圖 7. Arduino® 開發電路板之程式語言編輯器

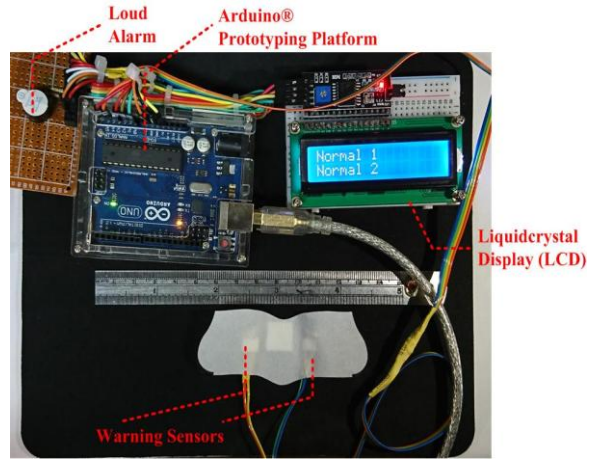


圖 8. 以 Arduino® 開發電路板實現連續監測光感測穿戴裝置

其中  $W_1 = 1 (d_1 \geq d_2)$ ，且  $C > 0.3679$ ，表示鼻胃管已部分遭病人拉扯，尚未完全脫落，或已遭病人拉扯而完全脫落； $W_2 = 0 (d_1 < d_2)$ ，且  $C = 0.0000$ ，表示鼻胃管正常固定於鼻樑上。以硬限制函數產生高電位邏輯(1)訊號或低電位邏輯(0)訊號：

$$C^* = \begin{cases} 1, & C \geq 0.50 \\ 0, & C < 0.50 \end{cases} \quad (08)$$

索引  $C^*$  輸出邏輯訊號可驅動 LED 及蜂鳴器。

### 3. 測試結果

本論文將 FPN 為基礎智慧偵測邏輯演算法，實現於 Arduino® 開發電路板，可達成霧端計算的功能。Arduino® 開發電路板所使用的程式語言為 C/C++ 高階程式語言，如圖 7 所示程式語言編輯器，應用 C/C++ 高階程式語言撰寫 FPN 模型演算法，達成霧端計算與警報顯示的功能。適用於連續監測光感測穿戴裝置，如圖 8 所示硬體，包括主要核心 Arduino® 開發電路板、兩個警示感測器、LED 與蜂鳴器、及液晶螢幕顯示器(LCD)。本論文所發展的適用於復健病人連續監測穿戴裝置之雛型，則是考慮三種狀況：(1)鼻胃管正常固定於鼻樑上；(2)已部分遭受病人拉扯，尚未完全脫落；(3)已遭受病人拉扯而完全脫落等三種可能狀況，

表格 2. FPN 邏輯推論結果：正常狀況、部份脫落、完全脫落

| Situation              | Input (V)  | MF, $\mu$        | Tr             | Pl-1#   | D                        | Pl-2#                                    | Output   |
|------------------------|------------|------------------|----------------|---|--------------------------|--|--|
| Normal Condition       | $V_1=0.00$ | $\mu_{1,1}=0.00$ | $t_{1,1}=0.00$ | $p_1=\max(t_{1,1}\times\beta, t_{2,1}\times\beta)=0.00$ | $d_1=\alpha(p_1)=0.3679$ | $p_3=\max(d_1, d_2)=1.0000$<br>$j=i^*=2$ | Goal: $C=p_3\times W_2=0.0000$<br>$C^*=0.0000$ |
|                        |            | $\mu_{2,1}=0.00$ | $t_{2,1}=0.00$ |   |                          |  |  |
|                        | $V_2=0.00$ | $\mu_{1,2}=1.00$ | $t_{1,2}=1.00$ | $p_2=\max(t_{1,2}\times\beta, t_{2,2}\times\beta)=1.00$ | $d_2=\alpha(p_2)=1.0000$ |  |  |
|                        |            | $\mu_{2,2}=1.00$ | $t_{2,2}=1.00$ |   |                          |  |  |
| Partial Dislodgment    | $V_1=4.06$ | $\mu_{1,1}=1.00$ | $t_{1,1}=1.00$ | $p_1=\max(t_{1,1}\times\beta, t_{2,1}\times\beta)=1.00$ | $d_1=\alpha(p_1)=1.0000$ | $p_3=\max(d_1, d_2)=1.0000$<br>$j=i^*=1$ | Goal: $C=p_3\times W_1=1.0000$<br>$C^*=1.0000$ |
|                        |            | $\mu_{2,1}=0.00$ | $t_{2,1}=0.00$ |   |                          |  |  |
|                        | $V_2=0.00$ | $\mu_{1,2}=0.00$ | $t_{1,2}=0.00$ | $p_2=\max(t_{1,2}\times\beta, t_{2,2}\times\beta)=1.00$ | $d_2=\alpha(p_2)=1.0000$ |  |  |
|                        |            | $\mu_{2,2}=1.00$ | $t_{2,2}=1.00$ |   |                          |  |  |
| Partial Dislodgment    | $V_1=0.00$ | $\mu_{1,1}=0.00$ | $t_{1,1}=0.00$ | $p_1=\max(t_{1,1}\times\beta, t_{2,1}\times\beta)=1.00$ | $d_1=\alpha(p_1)=1.0000$ | $p_3=\max(d_1, d_2)=1.0000$<br>$j=i^*=1$ | Goal: $C=p_3\times W_1=1.0000$<br>$C^*=1.0000$ |
|                        |            | $\mu_{2,1}=1.00$ | $t_{2,1}=1.00$ |   |                          |  |  |
|                        | $V_2=4.02$ | $\mu_{1,2}=1.00$ | $t_{1,2}=1.00$ | $p_2=\max(t_{1,2}\times\beta, t_{2,2}\times\beta)=1.00$ | $d_2=\alpha(p_2)=1.0000$ |  |  |
|                        |            | $\mu_{2,2}=0.00$ | $t_{2,2}=0.00$ |   |                          |  |  |
| Whole Tube Dislodgment | $V_1=3.95$ | $\mu_{1,1}=1.00$ | $t_{1,1}=1.00$ | $p_1=\max(t_{1,1}\times\beta, t_{2,1}\times\beta)=1.00$ | $d_1=\alpha(p_1)=1.0000$ | $p_3=\max(d_1, d_2)=1.0000$<br>$j=i^*=1$ | Goal: $C=p_3\times W_1=1.0000$<br>$C^*=1.0000$ |
|                        |            | $\mu_{2,1}=1.00$ | $t_{2,1}=1.00$ |   |                          |  |  |
|                        | $V_2=4.03$ | $\mu_{1,2}=0.00$ | $t_{1,2}=0.00$ | $p_2=\max(t_{1,2}\times\beta, t_{2,2}\times\beta)=0.00$ | $d_2=\alpha(p_2)=0.3679$ |  |  |
|                        |            | $\mu_{2,2}=0.00$ | $t_{2,2}=0.00$ |   |                          |  |  |

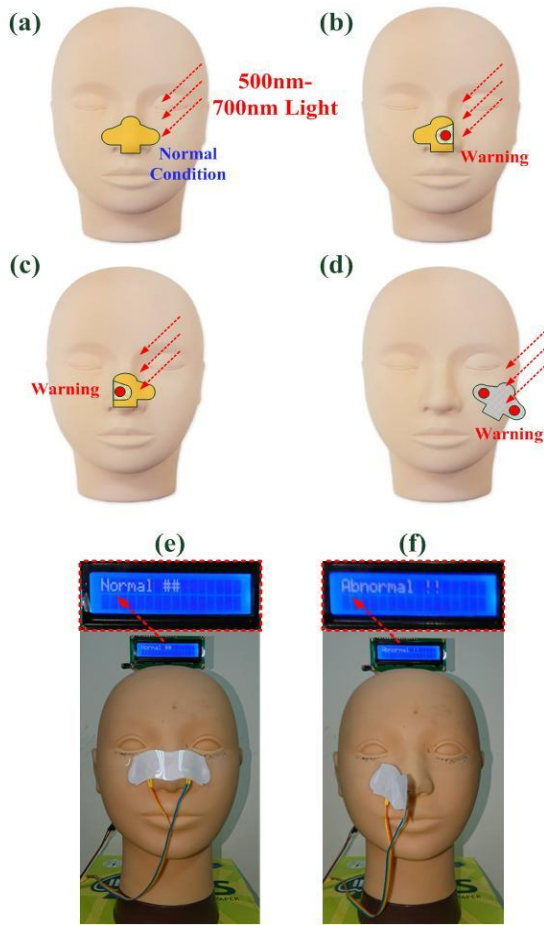


圖 9. (a)鼻胃管正常固定於鼻樑上；(b)(c)左邊或右邊已部分遭病人拉扯，尚未完全脫落；(d)已遭受病人拉扯而完全脫落；(e)正常狀況測試；(f)部分脫落狀況測試

如圖9(a)-(d)所示，其FPN邏輯推論結果如表格2所示，以第二種狀況為例，如圖9(e)-(f)所示，其兩個感測節點電壓如表格2所示，其鼻胃管(NG)自拔或脫落偵測結果，如下步驟所示：

**步驟 1)**讀取輸入連接埠的節點電壓值， $V=[4.06, 0.00]$ (左邊已部分遭病人拉扯)；

**步驟 2)**計算輸入歸屬函數值 $\mu=[\mu_{1,1}, \mu_{1,2}, \mu_{2,1}, \mu_{2,2}]$

$= [1.00, 0.00, 0.00, 1.00]$ ，轉置 $[t_{1,1}, t_{1,2}, t_{2,1}, t_{2,2}] = [\mu_{1,1}, \mu_{1,2}, \mu_{2,1}, \mu_{2,2}] = [1.00, 0.00, 0.00, 1.00]$ ；

**步驟 3)**執行 OR 運算，計算輸出位置 Pl-1#： $p_1 = \max\{(t_{1,1} \times \beta), (t_{2,1} \times \beta)\} = 1.00$  及  $p_2 = \max\{(t_{1,2} \times \beta), (t_{2,2} \times \beta)\} = 1.00$ ；

**步驟 4)**計算輸出歸屬函數質 $[d_1, d_2] = [\theta_1, \theta_2] = [1.00, 1.00]$ ；

**步驟 5)**執行 OR 運算，計算輸出位置 Pl-2#： $p_3 = \max\{d_1, d_2\} = 1.00$ ，索引  $j=i^*=1$ ；

**步驟 6)**計算最後輸出， $C=W_1 \times d_1 = 1.00$ ， $d_1 \geq d_2$ ，以(08)式硬限制函數產生高電位邏輯(1)訊號，進而驅動LED及蜂鳴器，並於LCD顯示"Abnormal"警示字串，如圖9(f)所示，圖9(e)為正常狀況。

本論文應用光感測器內部阻抗與光強度(lux)成反比關係，造成感測電路之節點電壓產生變化，內部阻抗值從 $>10M\Omega$ 下降至約 $2.5k\Omega$ ，感測分支電路之分壓從 $+0.00VDC$ 上升至 $+4.00 \pm 0.30VDC$ ，分支電流上升至約 $0.43mA$ ，其響應速度在數毫秒之間。藉由光感測內部阻抗與節點電壓變化，可判斷固定鼻胃管的管頭，是否正常固定於鼻樑上，或者遭受病人拉扯而部份或完全脫落。經實際測試後，可正確判斷正常狀態、左邊或右邊部份脫落、及完全脫落三個等級，並已驗證本論文所發展的穿戴裝置，可應用於長照機構/醫院復健室之連續監測的可行性。

#### 4. 結論

目前長照機構/醫院復健室已逐漸建立鼻胃管照護標準作業流程(SOP)，提供給臨床護理師在照顧病患管路遵循依據，提高病人照護的品質。然而需要復健的病患，多數係屬於需要長期性放置鼻胃管的病患，發生自主性(非計畫性)管路拔除的事件較多，可能發生原因如(1)對於特殊病患，未進行適當雙手約束；(2)缺乏對病患完整的評估；(3)沒有妥善固定管路；(4)管路固定技術與臨床訓練不足等因素[21]。對於特殊病患增加護理師在照護上的困難，也相對提高醫療負擔成本，亦容易產生醫



療上的糾紛。本論文提出連續監測方式，結合警示感測器與模糊派萃網路(FPN)邏輯推論機制，可判定固定鼻胃管的管頭，是否正常固定於鼻樑上，或者遭受病人拉扯而部份或完全脫落，藉由實測已驗證本論文提出智慧型警示穿戴裝置的可行性，期望可降低自主性(非計畫性)管路拔除事件數。本論文發展智慧型警示穿戴裝置亦有高商品化的可行性，未來可進行感測貼片之生物相融性之檢測，與警示感測器之電器電性安全性檢測(IEC 60601-1) [22]，制定器材相關安全性、安定性、功效性、和偵測系統(包括智慧型邏輯推論軟體)的規格，及符合皮膚刺激性規範，使商品化後的智慧型穿戴裝置可適合置於人體。

## 5. 參考文獻

- [01] 陳秋曲、賴美玉、林玉茹、李愛誠，復健科病人鼻胃管自拔與滑脫事件相關因素探討，醫療品質雜誌，第 10 卷第 4 期，第 56-65 頁。
- [02] 財團法人醫院評鑑暨醫療品質策進會：臺灣病人安全通報系統 2012 年度報表。臺灣病人安全通報系統網站：[http://www.tpr.org.tw/images/pic/files/臺灣病人安全通報系統 2012 年度報表 10207\(Final\)\\_201308131652.pdf](http://www.tpr.org.tw/images/pic/files/臺灣病人安全通報系統 2012 年度報表 10207(Final)_201308131652.pdf)。
- [03] 財團法人醫院評鑑暨醫療品質策進會：臺灣病人安全通報系統 2016 年度第 2 季報表。
- [04] 姚怡如、姬嫻姝、賴彥儒、高郁茹、林芷妘、阮淑萍，鼻胃管固定貼片，中華民國新型專利公報，專利號數：M531845，公告日 105 年 11 月 11 日。
- [05] 張雲英，頭頸導管整理頭帶，中華民國新型專利公報，專利號數：M544335，公告日 106 年 07 月 01 日。
- [06] 陳佳蓉、陳淑芬、林靖芸、周育庄，降低老年病患鼻胃管滑脫發生率，亞東學報，2008 年，第 28 期，第 127-136 頁。
- [07] S. Teramoto, T. Ishil, H. Yamamoto, Y. Yamaguchi, and Y. Ouchi, "Nasogastric tube feeding is a cause of aspiration pneumonia in ventilated patients," *European Respiratory Journal*, vol. 27, no. 2, 2006, pp. 436-437.
- [08] Abmad Z. Qureshi, Randolph M. Jenkins, and Tina H. Thornbill, "Percutaneous endoscopic gastrostomy versus nasogastric tube feeding during neuro-rehabilitation," *Neurosciences*, vol. 21, no. 1, 2016, pp. 69-71.
- [09] 汪淑貞、張雯玲、王明珠等，降低居家護理個案鼻胃管非預期重覆置放發生率，馬偕護理雜誌，2010 年，第 4 卷第 2 期，第 13-23 頁。
- [10] Marilyn Schallom, "How to recognize, prevent, and trouble-shoot mechanical complications of enteral feeding tubes," *American Nurse Today*, vol. 11, no. 2, 2016, pp. 1-7.
- [11] N. A. Metheny, R. Schnelker, J. McGinnis, G. Zimmernan, C. Duke, B. Merritt, M. Banotai, and D. A. Oliver, "Indicators of tube site during feedings," *J. Neurosci Nurs.*, vol. 37, 2005, pp. 320-325.
- [12] 何淑遠、蘇芬蘭、許淳雅、章淑娟等，降低某內科病房住院病人非計畫性鼻胃管滑脫率，醫療品質雜誌，2010 年，第 4 卷第 5 期，第 46-57 頁。
- [13] Shi-Jaw Chen, Tung-Sheng Zhan, Cong-Hui Huang, Jian-Liung Chen, and Chia-Hung Lin, "Non-technical loss and outage detection using fractional-order self-synchronization error based fuzzy Petri nets in micro-distribution systems," *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 6, no. 1, January 2015, pp. 411-420.
- [14] Kai-Qing Zhou and Azlan Mohd Zain, "Fuzzy Petri nets and industrial applications: a review," *Artificial Intelligence Review*, vol. 45, no. 4, April 2016, pp. 405-446.
- [15] M. Kouzehgar, M. A. Badamchizadeh, and S. Khanmohammadi, "Fuzzy Petri nets for behavior verification and validation," *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, vol. 2, no. 12, 2011, pp. 106-114.
- [16] Wei-Ling Chen, Chung-Dann Kan, Chia-Hung Lin, and Tain-song Chen, "A rule-based decision-making diagnosis system to evaluate arteriovenous shunt stenosis for hemodialysis treatment of patients using Fuzzy Petri nets," *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, vol. 18, no. 2, March 2014, pp. 703-713.
- [17] F. Bonomi, R. Milito, J. Zhu, and S. Addepalli, "Fog computing and its role in the internet of things," *Proceeding of the First Edition of MCC Workshop on Mobile Cloud Computing*, 2012, pp. 13-16.
- [18] I. Stojmenovic and W. Sheng, "The fog computing paradigms: scenarios and security issue," *2014 Federated Conference on Computer Science and Information Systems*, 2014.
- [19] Institute of Electrical and Electronics Engineers. IEEE Std. 802.11-2007, Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, 12 June 2007.
- [20] C. G. Looney and A. R. Alfize, "Logical controls via Boolean rule matrix transformations," *IEEE Trans. Syst., Man, Cybern.*, vol. SMC-17, Dec. 1987, pp. 1077-1082.
- [21] 財團法人醫院評鑑暨醫療品質策進會，由病人自拔管路事件探討以病人為中心的照護，醫學倫理品質繼續教育專欄，2009 年，第 52 卷第 6 期，第 20-23 頁。
- [22] IEC 60601-1 International Standard, Medical electrical equipment – Part 1: General requirements for basic safety and essential performance.