

使用粒子群最佳化演算法尋找無線人體區域網路低 特定吸收率路徑

吳庭育¹ 李維聰² 林承翰² 吳昱緯¹

¹國立宜蘭大學資訊工程學系

²淡江大學電機工程學系

tyw@niu.edu.tw; wtlee@mail.tku.edu.tw; u45jc@hotmail.com;
steven000083@hotmail.com

摘要

無線人體區域網路中的感測器節點被裝置在人體皮膚表面或嵌入至皮膚裡，當傳送端發送封包時，訊號會經由人體皮膚表面或皮膚內傳輸至接收端，而發送封包時所產生的電磁波輻射會對人體健康造成危害。特定吸收率(Specific Absorption Rate, SAR)是電磁波輻射對人體影響程度的重要指標，特定吸收率的數值愈高，代表人體所吸收的電磁波輻射量愈多，對人體健康造成的危害程度也愈大。本論文使用粒子群最佳化演算法尋找中繼節點合適的佈建位置，使得感測器節點透過此中繼節點轉傳封包到集中裝置這段路徑的特定吸收率較小且封包傳送成功率也能有所提升。

關鍵詞：無線人體區域網路、特定吸收率。

Abstract

The IEEE 802.15.6 sends the signals will reach the receiver through human body or skin. Nevertheless, the step to send packets will generate electromagnetic radiation, which may affect human body negatively. The specific absorption rate (SAR) is an important index that measures the electromagnetic radiation absorbed by human body: the higher the level of SAR means the more harmful effects of the electromagnetic radiation on human body. In our proposed method regulates the power of nodes according to the distances between nodes and therefore allows a node to complete the packet transmission with the minimum power.

Keywords: WBAN, SAR

1. 前言

近幾年來，隨著無線網路的普及與微型感測器製造技術的提昇，人們開始關注到各式各樣的生理資訊且相關的應用也愈來愈多元化。因此，隨時監控與取得生理訊號就顯得更加重要。為了人們對於生理健康資訊的需求，電機電子工程師學會制定一種適合在人體運作的網路協定，即 IEEE 802.15.6，以因應未來生理訊號監控之服務。IEEE 802.15.6 網

路協定應用在人體，故又稱為無線人體區域網路(Wireless Body Area Network, WBAN)，為當前一個重要的技術，和無線個人區域網路(Wireless Personal Area Network, WPAN)、無線感測網路(Wireless Sensor Network, WSN)以及移動通訊(Mobile Communication)都有著密切的關係，並且具有非常廣泛的應用和巨大的市場潛能。

無線人體區域網路中的感測器節點被裝置在人體皮膚表面或嵌入至皮膚裡。當傳送端發送封包時，訊號會經由人體皮膚表面或皮膚內傳輸至接收端，而發送封包時所產生的電磁波輻射會對人體健康造成影響。電磁波輻射的強弱與感測器節點的運作頻率、功率及距離有關，而產生的電磁波輻射會被人體吸收轉化成熱能，而人體的體溫調節是藉由流汗和血液循環來散熱，當人體在短時間內吸收大量的電磁輻射時，會讓人體無法即時散熱，導致體溫瞬間增高，造成皮膚灼傷、心律不整、呼吸困難，嚴重的話會導致人體內的細胞產生突變，進而增加罹患癌症的機率。特定吸收率(Specific Absorption Rate, SAR)是電磁波輻射對人體影響程度的重要指標，高的特定吸收率數值，表示人體吸收較多的電磁波輻射量，對人體健康造成的危害程度也愈大。

而無線人體區域網路的相關研究中，大多數的學者都著重在解決封包碰撞避免[1][2]、提高傳輸成功率[3]、增加網路的生命週期時間[4]等問題；從未探討傳送封包時電磁波輻射對人體所造成的影響。所以本論文根據文獻[5]將 SAR 對人體的影響劃分成數個區域，每個區域各有其權重值，並利用粒子群演算法尋找中繼節點合適的佈建位置，使得感測器節點透過此中繼節點轉傳封包到集中裝置這段路徑的特定吸收率較小且封包傳送成功率也能有所提升。

2. 背景知識與相關文獻探討

本章首先會概括描述無線人體區域網路，接著針對電磁波輻射影響的指標-特定吸收率做介紹，最後說明粒子群最佳化演算法的由來與做法。

2.1 無線人體區域網路

相較於無線個人區域網路與無線感測網路，無線人體區域網路是一種具有短距離通訊、低功率消耗、高資料傳輸速率之特性的無線通訊技術[6]，通常用於醫療用途。在無線人體區域網路中，感測器節點被裝置於人體皮膚表面上(穿戴式)或嵌入於人體皮膚內(植入式)[7]，感測器節點負責蒐集各種生理訊號，並經由單躍(One hop)或兩躍(Two hops)的無線傳輸方式將封包上傳至人體上的集中裝置儲存。集中裝置可透過Wi-Fi或3G將所儲存的資料上傳至遠端的電腦。醫院或相關研究單位可透過所蒐集到的資料來分析人體的健康狀況和相關的醫療生理資訊研究。

2.2 特定吸收率

特定吸收率(Specific Absorption Rate, SAR)[8]是電磁波能量吸收的比值，如公式所示，其定義為單位時間內單位質量的人體組織所吸收的電磁輻射功率，單位為W/Kg。

$$SAR = \frac{d(\frac{dW}{dm})}{dt} \quad (2.1)$$

其中

W ：功率，單位為瓦(W)

m ：質量，單位為公斤(kg)

t ：時間，單位為秒(Sec)

國際上各國對於 SAR 於人體上的限制值各有不同，又有區分人體全身與人體局部的 SAR 限制值。目前全世界所公認的 SAR 標準值是由美國聯邦通訊委員會(FCC)[9]制定的 1.6W/kg 標準值；而國際非游離輻射防護委員會(ICNIPR)[10]則對人體全身和局部有不同的 SAR 限制，頭部和軀幹的標準值為 2W/kg、人體四肢為 4W/kg。

2.3 粒子群最佳化演算法

粒子群最佳化演算法[11](Particle Swarm Optimization, PSO)是由 Kennedy 和 Eberhart 兩位學者於 1995 年所提出，Kennedy 和 Eberhart 觀察鳥群的覓食行為，發現牠們具有和人類相同的群體智慧。鳥在尋找食物的過程中會傳遞訊息給牠的同伴，彼此形成資訊的共享。因此，鳥會根據自己目前的方向、個體最佳經驗方向和群體最佳經驗的方向來改變自己尋找食物的方向，最後將使得整個鳥群都往同一個方向前進。在粒子群演算法的過程中，初始化粒子是由電腦隨機產生的，目的是使眾多粒子能均勻的散佈在欲搜尋之空間。透過適應函數以判斷粒子在整個空間中的優劣程度。粒子在搜尋的過程中會記錄適應值較好的位置，並根據自己目前的速度、區域最佳解的位置和全域最佳解的位置來更新自己的速度與位置，其數學表示如下：

$$V_i^{k+1} = wV_i^k + c_1r_1(P_i^k - X_i^k) + c_2r_2(P_g^k - X_i^k) \quad (2.4)$$

$$X_i^{k+1} = X_i^k + V_i^{k+1} \quad (2.5)$$

公式2.4可以分成三個部分解釋。若 $V_i^{k+1} = V_i^k$ ，則表示該粒子堅持已見，仍依上一次迭代的速度作為前進的方向；若 $V_i^{k+1} = V_i^k + c_1r_1(P_i^k - X_i^k)$ ，表示該粒子稍具智慧，會參考自己過去的經驗作為方向改變的依據；若

$V_i^{k+1} = V_i^k + c_1r_1(P_i^k - X_i^k) + c_2r_2(P_g^k - X_i^k)$ ，表示該粒子具群體智慧，除了參考自己過去的經驗，還會參考別的粒子的經驗來改變粒子前進的方向。

3. 以粒子群最佳化演算法尋找中繼節點佈建位置

3.1 問題描述

在無線人體區域網路中，單躍傳輸模式下的封包傳送成功率普遍偏低[18]。圖 3.1 為[18]的實驗場景，共有四個感測器節點與一個置於腰部的集中裝置。圖 3.2 為實驗場景在單躍傳輸下的封包傳送成功率。由圖 3.2 可以發現，在單躍傳輸模式下，節點 1、節點 2 與節點 3 的封包傳送成功率皆不到 20%，對於負責監控人體生理狀況的網路型態而言是相當不可靠的。而本論文為了減少封包在傳輸時對人體的傷害，以文獻[7]SAR 對人體影響的權重值為基準，使用粒子群演算法求解中繼節點的佈建位置，使得感測器節點透過中繼節點轉傳封包至集中裝置時，該路徑對人體的影響程度較小且封包傳送成功率也有顯著地提高。

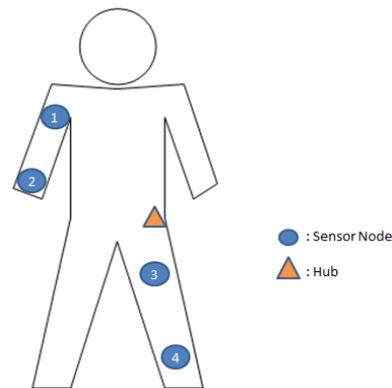


圖 3.1 網路節點佈建示意圖

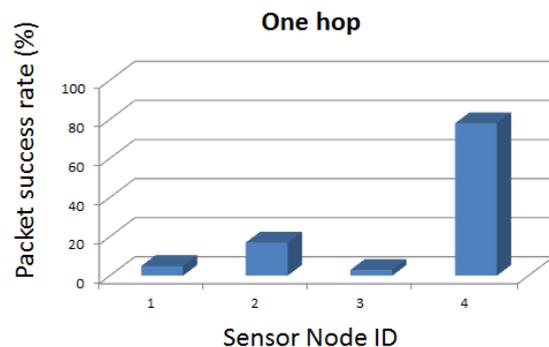


圖 3.2 封包傳送成功率

3.2 特定吸收率權重值

本論文根據文獻[7]中的SAR數值分布圖，將人體劃分數個區域，並給予不同的權重值，如圖所示。權重值表示電磁波輻射對於人體該部位傷害影響程度的大小，權重值愈大表示電磁波輻射對於該部位損害的程度愈大，要避免節點在此部位上運作。

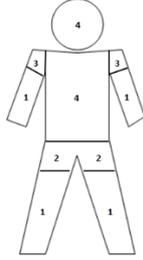


圖 3.3 SAR 對人體局部影響之權重分布圖

3.3 使用粒子群最佳化演算法求解

3.3.1 粒子編碼

為了使粒子群演算法能在本論文正常運作，須先將問題轉換成粒子的形式。在本篇論文中，每一個粒子是極座標系中的一個點，若有 20 個粒子則代表極座標系中有 20 個不同的座標點在運作，這 20 個座標點在經過多次迭代後會趨近於一個座標點，此點即是本論文中繼節點佈建的位置。本論文定義粒子的形式為：

$$X_i^k = (a_i^k, b_i^k), \forall i = 1, \dots, n \quad (3.1)$$

$$\begin{cases} a_i^k = r_i^k \cos \theta_i^k \\ b_i^k = r_i^k \sin \theta_i^k \end{cases} \quad (3.2)$$

X_i^k 為第 i 個粒子在第 k 次迭代在極座標系上的座標， (a_i^k, b_i^k) 即空間中解的位置，是在第 k 次迭代後，由集中裝置與中繼節點的距離和旋轉角度所組成的座標點。 r 與 θ 是速度參數，透過 r 與 θ 可改變粒子前進的速率與方向並改變下一次迭代的位置。 r_i^k 是第 k 次迭代後與集中裝置的距離， θ_i^k 是第 k 次迭代後與集中裝置偏離的角度。所以粒子 i 的初始速度與位置可由公式 3.3、3.4 得到：

$$V_i^0 = (r_i^0, \theta_i^0) \quad (3.3)$$

$$X_i^0 = (a_i^0, b_i^0) = (r_i^0 \cos \theta_i^0, r_i^0 \sin \theta_i^0) \quad (3.4)$$

3.3.2 適應函數

在本論文的問題中，目標是要求一個中繼節點的佈建位置，使得感測器節點透過此中繼節點轉傳封包到集中裝置這條路徑的特定吸收率最小。在只有一個感測器節點的情境下，欲求一條由感測器節點透過中繼節點轉傳封包到集中裝置的最小特定吸收率路徑為各節點的最小發送功率乘上該節點所在區域的 SAR 權重值。而最小發送功率可由公式 3.5 訊號衰減公式計算得到。

$$10 \log_{10} P + 95dB - 25dB = 32.45 + 20 \log_{10} D + 20 \log_{10} F \quad (3.5)$$

其中

P ：功率，單位為毫瓦(mW)

D ：兩個節點之間的距離，單位為公里(Km)

F ：節點運作的頻帶，單位為赫茲(MHz)

$95dB$ ：節點接收靈敏度

$25dB$ ：空氣造成的訊號衰減

由公式 3.5 可得到感測器節點 s 發送封包給中繼節點的最小發送功率 P_s 以及中繼節點轉傳封包到集中裝置的最小發送功率 P_R ，如公式 3.7、3.8 所示：

$$P_s = 10^{\frac{32.45+20\log_{10}2400\sqrt{(x_s-r_i^k \cos \theta_i^k)^2+(y_s-r_i^k \sin \theta_i^k)^2}}{10}} \quad (3.6)$$

$$P_R = 10^{\frac{32.45+20\log_{10}2400\sqrt{(r_i^k \cos \theta_i^k - a)^2+(r_i^k \sin \theta_i^k - b)^2}}{10}} \quad (3.7)$$

如圖 3.6 所示，本論文假設在極座標系中，集中裝置的座標為原點(0,0)，若某個感測器節點 s 的座標為 (x, y) 欲求一個中繼節點座標為 (a, b) ，使得從 (x, y) 發送封包到 (a, b) ，再從 (a, b) 轉傳到 $(0, 0)$ 這條路徑的特定吸收率最小。

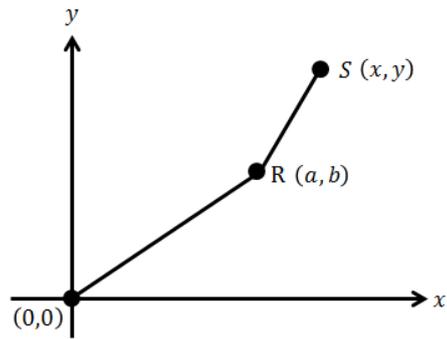


圖 3.4 平面直角坐標系節點示意圖

因此，問題的適應函數 f 如公式 3.8 所示：

$$f = P_s \times w_s + P_R \times w_R \quad (3.8)$$

其中

P_s ：感測器節點 s 最小發送功率

P_R ：中繼節點最小發送功率

w_s ：感測器節點 s 的 SAR 權重值

w_R ：中繼節點的 SAR 權重值

本論文中感測器節點個數有 4 個，故整個網路系統的適應函數 f 為：

$$f(X_i^k) = \frac{\sum_{s=1}^4 P_s \times w_s}{4} + P_R \times w_R \quad (3.9)$$

3.3.3 更新粒子速度與位置

粒子會根據 r 與 θ 這兩個參數來更新下一個世

代中繼節點與集中裝置的距離與旋轉角度，然後透過新世代的 r 與 θ 更新粒子在極座標系上的座標值。速度更新公式如公式 3.8、3.9。

$$r_i^{k+1} = wr_i^k + c_1rand_1(Pr_i^k - r_i^k) + c_2rand_2(Pr_g^k - r_i^k) \quad (3.10)$$

$$\theta_i^{k+1} = w\theta_i^k + c_1rand_1(P\theta_i^k - \theta_i^k) + c_2rand_2(P\theta_g^k - \theta_i^k) \quad (3.11)$$

由公式 3.10、3.11 得到 r_i^{k+1} 與 θ_i^{k+1} 後即可得到第 i 個粒子在第 $k+1$ 迭代的位置 X_i^{k+1} ，如公式 3.12 所示：

$$X_i^{k+1} = (a_i^{k+1}, b_i^{k+1}) = (r_i^{k+1} \cos \theta_i^{k+1}, r_i^{k+1} \sin \theta_i^{k+1}) \quad (3.12)$$

4. 模擬環境與結果分析

在這個章節中，使用粒子群最佳化演算法對本文所提出的方法進行模擬與分析並以[12]作為模擬對照組。4.1 節為模擬場景說明。4.2 節中探討在兩躍傳輸的情況下，中繼節點佈建的位置與各個感測器節點之特定吸收率的關係，並比較加入中繼節點後，各個感測器節點的傳輸封包效能。

4.1 模擬場景與參數設定

模擬場景分為三種情境，分別為(a)兩手臂向下伸展、(b)兩手臂向左右伸展與(c)兩手臂向上伸展。每個情境皆有 4 個感測器節點和置於腰部的集中裝置，節點運作頻段為 2.4GHz。

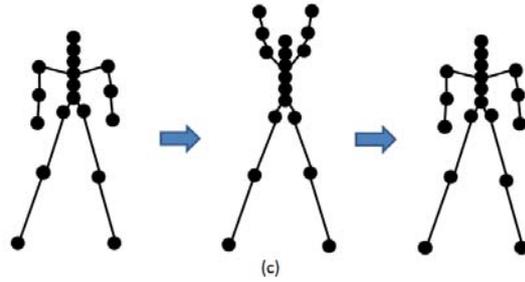
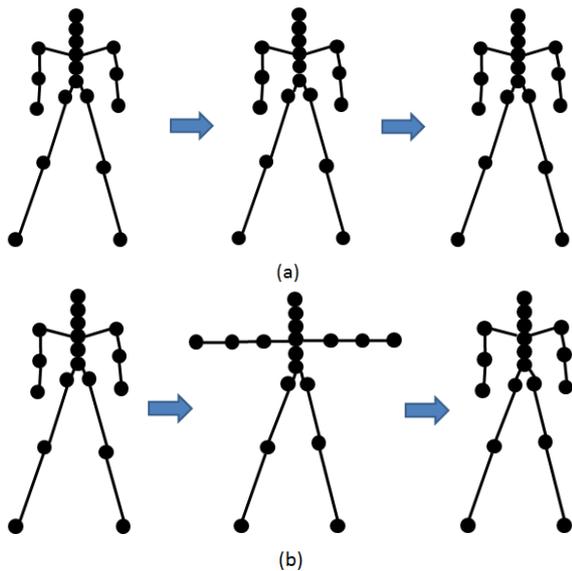


圖 4.1 模擬情境

表 4.1 參數設定

參數名稱	參數內容
粒子數	30
慣性權重值	1
區域最佳解權重值	2
全域最佳解權重值	2
迭代次數	100
封包大小	1024 bytes
資料傳輸率	500 kbp/s
時間延遲	250 ms
發送次數	100

4.2 結果分析

在情境(a)的狀況下，相較於[12]的最小覆蓋演算法，本論文透過粒子群最佳化演算法所得到的中繼節點佈建位置較具有較低的特定吸收率，降低的幅度約為 3 到 6 倍。在情境(b)的狀況下，特定吸收率有稍微增加，這是因為手臂向左右伸展，增加了節點與中繼節點的距離，導致節點需要更大的運作功率來發送封包，但是和[18]比較起來，仍是一個較低的特定吸收率網路。情境(c)為手臂向上伸展，可以明顯看出節點 2 的特定吸收率高於節點 1，這是因為在此情境下，節點 2 與中繼節點的距離大於節點 1，因此須調整為較大的運作功率。由圖 4.2、4.3 與 4.4 可說明本論文所提出的方法能有效降低電磁波輻射對人體的影響。

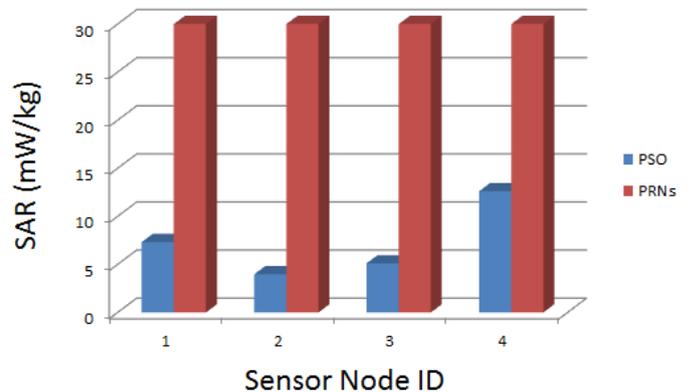


圖 4.2 情境(a)特定吸收率

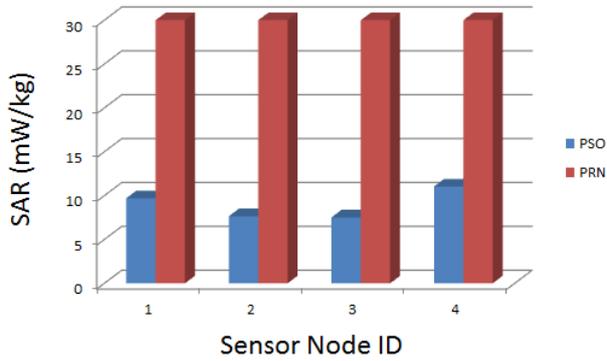


圖 4.3 情境(b)特定吸收率

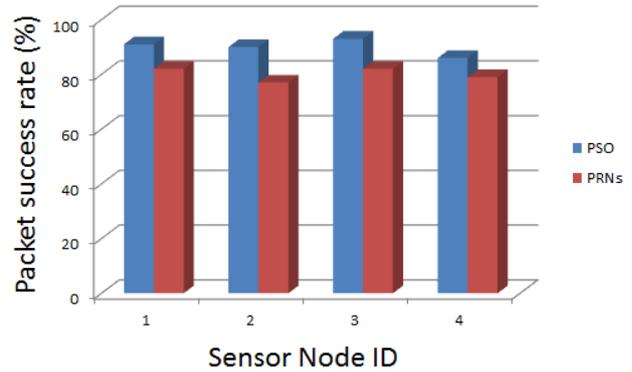


圖 4.7 情境(c)封包傳送成功率

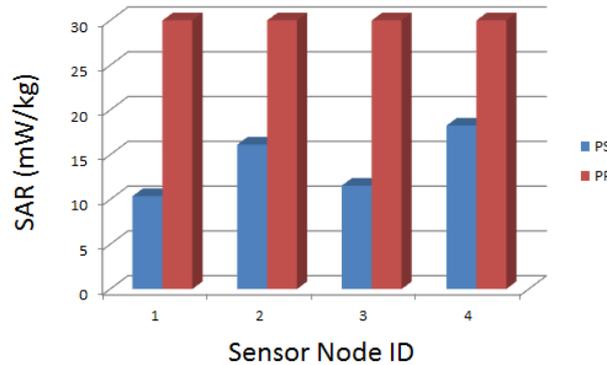


圖 4.4 情境(c)特定吸收率

接著比較加入中繼節點後，各節點的封包傳送成功率。在各種情境下封包傳送皆有 90% 至 95% 的成功率，相較於以提高封包傳送成功率為訴求的 PRNs，本論文提出的方法不僅能減少電磁波輻射對人體的傷害，對於網路的可靠度也能有效提升。

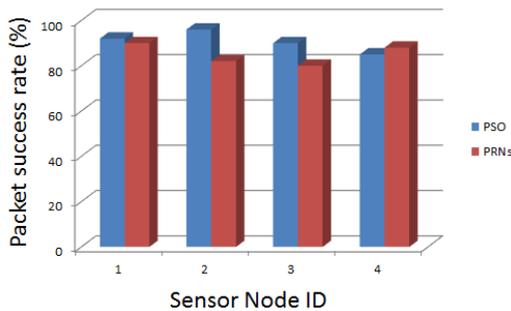


圖 4.5 情境(a)封包傳送成功率

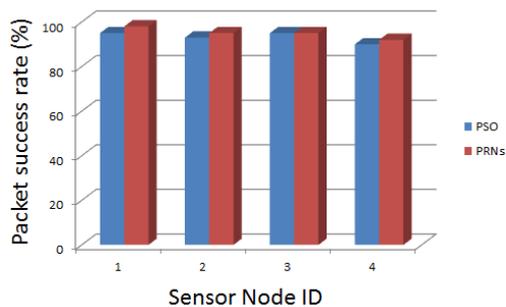


圖 4.6 情境(b)封包傳送成功率

5. 結論與未來工作

在本論文之中提出利用粒子群演算法尋找中繼節點合適的佈建位置，讓各個感測器節點在傳送封包時，能減少電磁波輻射對人體造成的影響。由於電磁波輻射與節點運作的功率有關，我們根據感測器節點與中繼節點之間的距離，讓節點只需提供小的傳輸功率即可滿足封包在此段距離之間的傳輸，這麼做的好處不但可以降低電磁波對人體的傷害也能延長節點的運作時間。對於中繼節點的佈建位置，本研究建議將中繼節點放置在人體的右手腕至右手臂這段區域。模擬結果顯示，將中繼節點佈建在右手腕至右手臂的部位上能有效降低特定吸收率且封包傳送成功率也有顯著提升。

在未來的工作中期望依服務品質區分感測器節點的服務類型，將相同優先權值的感測器節點歸類在同一群，以分群的方式來考慮中繼節點佈建的位置，讓每個群都有一個專屬的中繼節點，以提升無線人體區域網路的服務品質。

參考文獻

- [1] R P Findlay and P J Dimbylow. "Effects of posture on FDTD calculations of specific absorption rate in a voxel model of the human body," INSTITUTE OF PHYSICS PUBLISHING, Phys. Med. Biol. 50 2005, pp.3825-3835.
- [2] Timmons, N.F. and Scanlon, W.G., "An adaptive energy efficient MAC protocol for the medical body area network," Wireless Communication, Vehicular Technology, Information Theory and Aerospace & Electronic Systems Technology, 2009. Wireless VITAE 2009. 1st International Conference on, 2009, pp. 587-593.
- [3] Marinkovic, S., Spagnola C. and Popovici, E., "Energy-Efficient TDMA-Based MAC Protocol for Wireless Body Area Networks," Sensor Technologies and Applications, 2009. SENSORCOMM '09. Third International Conference on, 2012, pp. 247-248.
- [4] Ortiz, A.M., Ababneh, N., Timmons, N. and Morrison, J. "Adaptive routing for multihop IEEE 802.15.6 Wireless Body Area Networks, " Software, Telecommunications and Computer Networks, 2012 20th International Conference on, 2012, pp.1-5.
- [5] Eberhart, R.C. and Shi, Y., "Parameter Selection in Particle Swarm Optimization," Lecture Notes in Computer Science Evolutionary Programming VII, 1998, 591-600.

- [6] Arif Onder ISIKMAN, Loris Cazalon, Feiquan Chen, and Peng Li, "Body Area Networks," Group 6 of the course SSY145 Wireless Networks.
- [7] W. Astrin, Huan-Bang Li, Ryuji KOHNO, "Standardization for Body Area Networks, " IEICE TRANS. COMMUN., 2009, vol.E92-B.
- [8] Findlay, R.P. and Dimbylow, P.J., "SAR in children from exposure to wireless local area networks (WLAN)," Electromagnetic Compatibility (APEMC), 2012 Asia-Pacific Symposium on, 2012 , pp.733-736.
- [9]"FCC OET BULLETIN 65 SUPPLEMENT C 01-01.", IEEE Std 1528-2003 and 1528a-2005, 2013. <http://infam.antville.org/static/infam/files/google-glass-fcc-4-15-2013.pdf>
- [10] ICNIRP: "Guideline for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz)," Health Physics, 1998, vol. 74, pp. 494-522
- [11] Eberhart, R.C. and Shi, Y., " Particle Swarm Optimization," IEEE International Conference On neural networks, vol 4. 1995, pp.1942-1948.
- [12] 張宜穎, "無線人體區域感測網路之中繼節點佈建方法" 國立清華大學資訊工程學系碩士論文, 2010年09月.