

國立臺灣大學電機資訊學院電信工程學研究所

碩士論文

Graduate Institute of Communication Engineering
College of Electrical Engineering and Computer Science
National Taiwan University
Master Thesis



近身網路中雙無線多模路由器省電及交叉備援機制

The Power Saving and Backup Mechanism in BAN with
Multi-mode Dual-Routers

劉浩航

How-Hang Liu

指導教授：蔡志宏 博士

Advisor: Zsehong Tsai, Ph.D.

中華民國 105 年 7 月

July, 2016



誌謝



感謝老師這兩年的指導，特別是這段時間的論文和製作口試投影片的幫助，讓我進步很多。把複雜的東西用簡單清楚的話表達出來是件不容易的事。在論文的第四章試算部份一開始也覺得邏輯怪怪的，後來經過改寫數次後才領悟公式和文字描述之間要如何表達，以及邏輯的先後順序要如何排列。真的如老師所說這都不是從天上掉下來的，需要經過一翻努力後才有的成果。

也感謝毓農和競文的幫助，在這兩年許多功課、考古題、作業都是彼此討論的結果，在學習上有同學一起討論真的是件幸福的事。還有帶我去看棒球和唱 KTV，這兩件事是我研究所以前從未從事過的活動，感覺很新鮮。

碩一時感謝陳澄婷和陳柏均學姐對於 IPTV 的指導，讓我省去很多自己摸索的時間。也感謝學弟們禎庭、凱傑、正峰陪我吃飯聊天玩手機遊戲，最重要的是口試當天有你們臨時幫忙借投影線我才不至於使用奇怪顏色的螢幕報告。我會記得碩二即將畢業時我們一直去吃海南雞肉飯的日子。

最後感謝主耶穌這兩年的祝福看顧以及保守，盼望在要來的旅程中也可以繼續有祂的同在。也希望同學老師都能蒙受神的恩典，生活健康平安快樂。

摘要

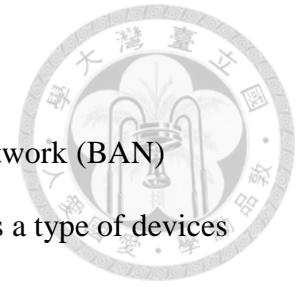
長期以來節能都是近身網路研究中一個重要的議題。在近身網路架構中的個人無線路由器，相對於感測器而言其電池存續時間較短，所以延長無線路由器的存續時間就成為關鍵。而因為近年行動裝置的普及，同時擁有手機和平板的使用者日增，常攜帶行動電源以免手機電量用盡的情況也趨於平常，所以本研究假想將來行動電源也可以連網，則一個使用者可以同時擁有兩個連網裝置。因此我們提出一個新的近身網路架構，在一個近身網路中存在兩個無線路由器，形成雙無線路由器的近身網路架構，其中一台為主要路由器，另一台為備用路由器。

為了延長整個網路壽命，我們設計了兩種機制。第一為備援機制，當任何一個路由器電量耗盡時，另一個路由器需要取代它的工作，作為網路對外的閘道，如此可以延長一個路由器的存續時間。第二為無線卸載機制，因為使用者可能會穿戴傳輸量較大的感測器如穿戴式錄影機，因此我們把傳輸量大的感測器卸載到備用路由器上，以減少主要路由器接收動作。又因 Wi-Fi 上傳大量資料較行動網路省電，因此無線卸載機制也讓備用路由器可以在有 Wi-Fi 情況下上傳大量的影音資料而達到省電的目的。

本研究利用網路模擬軟體 Castalia 驗證雙路由器設計機制的正確性，並且使用電力監測器量測 Android 行動裝置的背景耗電及藍芽、3G、4G、Wi-Fi 介面的耗電情況，並參考相關文獻數據，建立耗電模型，並藉此模型預測雙無線路由器網路的存續時間。最後則考慮多種情境進行試算，推估出雙無線路由器的架構配合本研究設計機制可以有效延長整體網路的壽命。

關鍵字: 近身網路、節能、雙無線路由器、多重無線介面

Abstract



Power saving is always a crucial issue in wireless body area network (BAN) research. In the architecture of a body area network, there often exists a type of devices called the *personal router*. Comparing with the sensors in the BAN, a personal router usually has less battery life. Therefore, it is essential to improve the battery life of personal routers in related research. Since mobile devices have become popular in recent years, there are more and more users equipped with both smart phone and tablet. Moreover, the use of the mobile power bank for preventing smart phone from out of energy also becomes common. Therefore, we assume that mobile power bank will evolve to a new device able to interconnect the internet and BAN in the future, and a user could have two or more networking devices. Therefore, we propose a novel BAN architecture which includes two wireless personal routers: one is the main router, and the other is used for battery backup.

In order to extend the battery life of BAN, we design two instrumental mechanisms. The first is the backup mechanism which is started when one of two routers is in low energy. The second design is an offload mechanism which will offload large volume transmissions from certain sensor devices, such as Video Recorder(s). Moreover, through the offload mechanism a backup router can upload a large number of data packets via the Wi-Fi interface, which consumes much less energy than that when is upload through the 3G interface.

We employ a network simulator called Castalia to verify the correctness of all designed algorithms in our mechanism. We also use power monitor to measure the power consumption of different wireless interfaces and background usage in there

personal routers. Through those measurement results, we develop an energy consumption model which can predict the life time of our dual-router BAN. Finally, we employ several usage scenarios to calculate the expected life time of BAN, and then the effectiveness of our dual-router BAN architecture in extending network life time is validated.

Key words: body area network, power saving, dual-routers, multi-interfaces

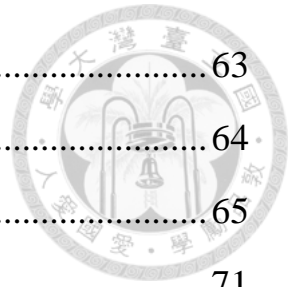
目 錄



口試委員會審定書.....	#
誌謝.....	i
中文摘要.....	ii
ABSTRACT.....	iii
目錄.....	v
圖目錄.....	xi
表目錄.....	xiii
第一章 緒論.....	1
1.1 近身網路路由器發展背景.....	1
1.2 相關技術文獻.....	2
1.3 論文動機與問題定義.....	4
1.4 論文章節架構.....	5
第二章 近身網路和 Android 路由器介紹.....	6
2.1 近身網路介紹.....	6
2.1.1 近身網路分類介紹.....	6
2.1.2 傳統近身網路架構.....	8
2.1.3 近身網路中的裝置節能.....	10
2.2 Android 作業系統重要功能介紹.....	10
2.2.1 Android 作業系統介面與架構.....	10
2.2.2 Android 作業系統存取穿戴式裝置資料功能.....	12
2.2.3 Android 作業系統網路使用管理功能.....	13
2.2.4 Android 耗電量測工具.....	13
第三章 雙路由器近身網路節能備援源設計.....	15
3.1 雙無線路由器近身網路架構.....	15

3.2	雙路由器狀態轉換與傳送訊息定義	19
3.3	雙路由器無線卸載機制設計	23
3.4	雙路由器交互備援機制設計	27
3.5	感測器之搜尋連網機制設計	29
3.6	交互備援演算法正確性驗證	31
3.6.1	模擬軟體介紹	31
3.6.2	模擬環境參數	31
3.6.3	模擬案例驗證	33
3.6.4	模擬測試總結	40
第四章	Android 路由器之耗電量測	41
4.1	量測環境	41
4.1.1	量測裝置與工具	41
4.1.2	量測方法與程序	42
4.1.3	背景傳輸量量測方法	43
4.2	無線介面開關耗電量測結果	44
4.2.1	背景耗電	44
4.2.2	Wi-Fi 介面耗電	47
4.2.3	3G 介面耗電	48
4.2.4	4G 介面耗電	49
4.2.5	藍芽介面耗電	50
4.3	路由器存續時間試算	51
4.3.1	使用情境假設	51
4.3.2	試算結果	52
4.3.3	小結	61
第五章	結論與未來研究工作	63

5.1 結論	63
5.2 未來研究工作	64
附錄一 狀態轉換與觸發事件對應表	65
參考文獻	71

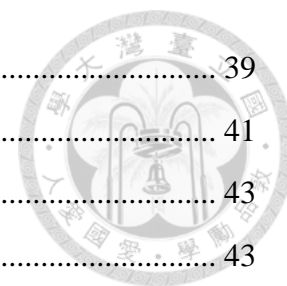


圖目錄



圖 1-1 可攜式無線路由器產品案例[2]	1
圖 1-2 節能方法分類樹狀圖[3]	3
圖 2-1 無線近身網路與其他無線網路比較圖[1]	8
圖 2-2 近身網路的通訊架構[1]	9
圖 2-3 Andoird 架構與介面關係圖[20]	11
圖 2-4 Battery Historian 輸出圖表範例[21]	14
圖 3-1 雙無線路由器腳踏車情境圖	15
圖 3-2 雙無線路由器近身網路標準運作模式架構圖	17
圖 3-3 雙無線路由器近身網路之交互備援模式架構圖	17
圖 3-4 雙無線路由器近身網路無線卸載模式架構圖: 此時週期上傳生理資訊交通 流經 RU_1 連線至 3G/4G 基地台, 另外影音串流上傳交通流經 RU_2 連網至 Wi-Fi.....	17
圖 3-5 行車路徑示意圖, 其中 3G/4G 基地台為全面涵蓋, Wi-Fi 熱點僅在公車站 牌有涵蓋	18
圖 3-6 雙無線路由器交互關係圖	19
圖 3-7 雙路由器狀態移轉圖	22
圖 3-8 雙路由器初始流程圖	23
圖 3-9 主要路由器無線卸載機制	24
圖 3-10 備用路由器無線卸載機制	26
圖 3-11 主要路由器交互備援機制流程圖	27
圖 3-12 備用路由器交互備援機制流程圖	29
圖 3-13 路由器與感測器建立連線流程圖	30
圖 3-14 RU_1 及 RU_2 兩路由器之耗電量與傳輸量比較圖(a).....	34
圖 3-15 RU_1 及 RU_2 兩路由器之耗電量與傳輸量比較圖(b)	36
圖 3-16 RU_1 及 RU_2 兩路由器之耗電量與傳輸量比較圖(c).....	36
圖 3-17 RU_1 及 RU_2 兩路由器之耗電量與傳輸量比較圖(d)	38

圖 3-18 RU_1 及 RU_2 兩路由器之耗電量與傳輸量比較圖(e).....	39
圖 4-1 量測系統架構圖.....	41
圖 4-2 電池接合處.....	43
圖 4-3 電力監測計連接平板電腦.....	43
圖 4-4 ZenFone 2 背景耗電(Bluetooth).....	45
圖 4-5 ZenFone 2 背景耗電(Bluetooth/Wi-Fi/4G).....	45
圖 4-6 ASUS MeMO Pad 8 背景耗電(Bluetooth).....	46
圖 4-7 ASUS MeMO Pad 8 背景耗電(Bluetooth/Wi-Fi/4G).....	46
圖 4-8 ZenFone 2 Laser Wi-Fi 介面開啟耗電.....	48
圖 4-9 ZenFone 2 Laser 3G 介面開啟耗電.....	49
圖 4-10 ZenFone 2 Laser 4G 介面開啟耗電.....	50



表目錄



表 2-1 近身網路應用分類[1]	6
表 3-1 腳踏車情境之裝置代號表	16
表 3-2 傳輸介面代號表	18
表 3-3 雙路由器之間傳送訊息定義表	21
表 3-4 主要路由器無線卸載流程圖代號意義	25
表 3-5 備用路由器無線卸載流程圖代號意義	26
表 3-6 主要路由器交互備援流程圖代號意義表	28
表 3-7 備用路由器交互備援流程圖代號意義表	28
表 3-8 路由器與感測器連線圖代號意義	30
表 3-9 模擬參數設定表	32
表 3-10 流程圖代號數值對應表	33
表 3-11 機制驗證案例整理	40
表 4-1 測量裝置名稱與規格表(智慧型手機)	42
表 4-2 測量裝置名稱與規格表(平板電腦)	42
表 4-3 背景傳輸量表	47
表 4-4 背景耗電量測整理	47
表 4-5 Wi-Fi 介面開啟耗能	48
表 4-6 3G 介面開啟耗能	49
表 4-7 4G 介面開啟耗能	50
表 4-8 藍芽介面開啟耗能	50
表 4-9 情境結果整理之一	62
表 4-10 情境結果整理之二	62
表 4-11 模擬與理論試算存續時間比較	62

第一章 緒論



1.1 近身網路路由器發展背景

近身網路(Body Area Network)近年來由於無線技術及感測器的風行而有長足的發展。例如其中一種近身網路的可行應用是利用感測器以及行動通訊裝置，將使用者的生理資訊加以收集、監測，以利後續的醫療、照護處理。這些裝置通常是無線的，因此它們組成的網路我們稱為無線近身網路。不只在醫療方面，近身網路也存在其它應用；Movassaghi 等人在[1]中就介紹了近身網路在其他方面的主要應用。例如在娛樂方面，使用者可穿戴頭戴式顯示器，在虛擬實境中遊戲。又如運動員穿戴心律感測器，健身教練可隨時監控其身體素質提供訓練參考等，都是近身網路可以應用的領域。

通常在近身網路中必須至少存在一個裝置作為連接網際網路的閘道，這個裝置稱為個人路由器。近幾年個人路由器在市面上越來越普遍。一個典型的個人路由器其特色有以下幾點。第一，支援 802.11 系列標準之高速無線上網技術。第二，提供外接或內建行動網卡，方便行動網路分享。第三，支援乙太網路介面。最後，內建鋰電池可作為行動電源。因此，歸納無線個人路由器的典型功能為具備多種連網介面，不僅提供網路分享，還提供電源充電。



圖 1-1 可攜式無線路由器產品案例[2]

因為現今的智慧型行動裝置如手機與平板具備多種通訊介面，因此本研究以 Android 作業系統的行動裝置作為個人路由器，並聚焦在近身網路中個人路由器的節能議題。



1.2 相關技術文獻

無線近身網路有以下幾項開放性的議題有待解決。首先是在實體層如何克服複雜的通道模型與高的路徑衰減以及感測器之間的干擾，設計出低功耗又可可靠的協定。另外在 MAC 層的協定則需要處理網路節點密度與拓撲控制的問題，需要設計在不同的交通特性下，可以兼顧節能與網路吞吐量表現及延遲表現的協定。最後在傳輸層的服務品質也是另一種挑戰：不同近身網路的應用有不同的資料傳輸速率、頻率、可靠度、延遲需求等等，而同一個人身上可以同時有不同的應用，因此近身網路技術必須可以處理這些種種的需求並提供不間斷的連線與確保資料在不同網路間能有效率的轉換。

Anastasi 等人在[3]曾經整理出在無線感測網路下的省電議題。如圖 1-1 所是，省電技術主要分三類，有工作循環類(Duty-cycling)、和資料量導向(Data-driven)的影響，以及移動(Mobility-based)方面的省電。本篇研究的節能方法屬於工作週期循環類別下的能源管理，能源管理下的醒睡協定(Sleep/Wakeup Protocols)，在醒睡協定下的依照需求取向執行醒睡協定，為本篇研究所提出設計的核心概念。

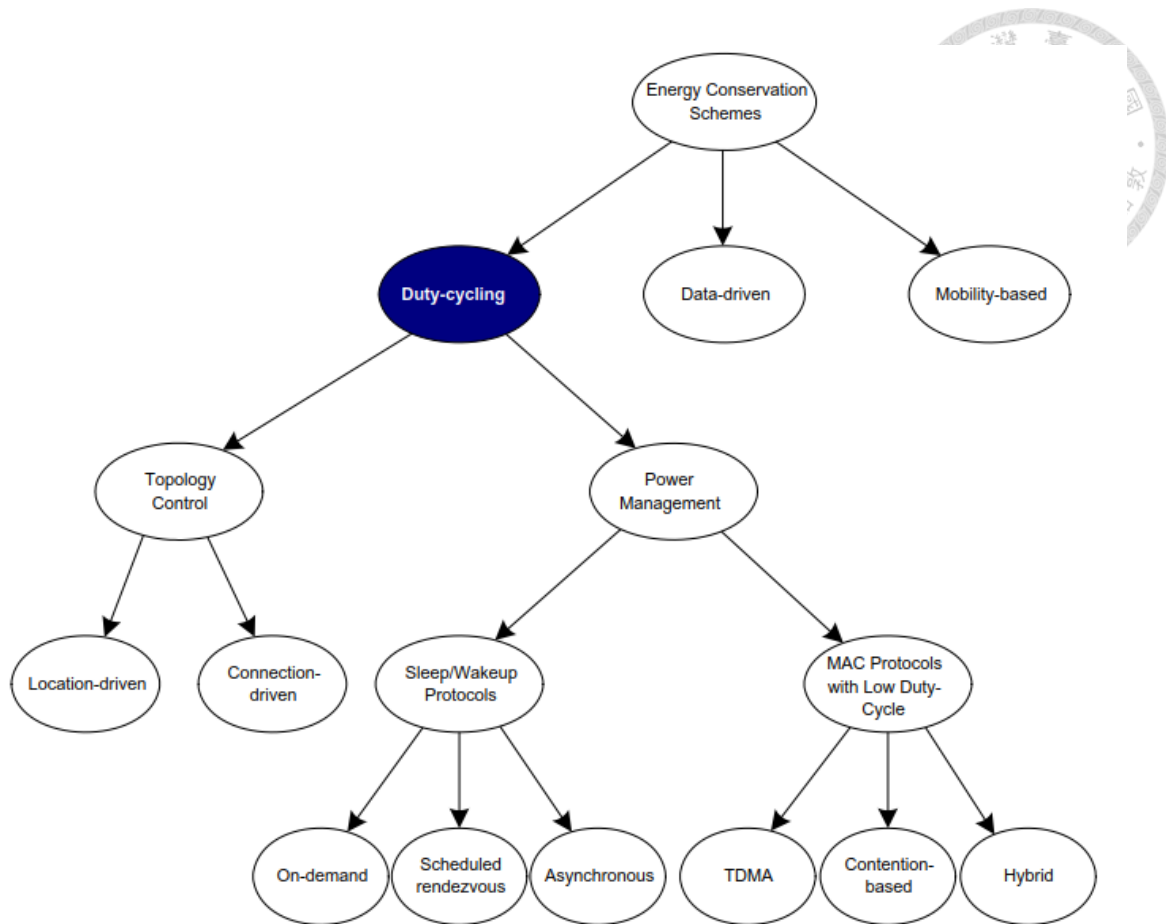


圖 1-2 節能方法分類樹狀圖[3]

不僅設計醒睡協定，本研究也利用目前智慧行動裝置多具備兩種以上通訊模組的特性，依照不同情況使用較節能的通訊介面。以下介紹此領域的國際相關研究。Kalic 等人[4]曾針對三種傳輸協定的耗能作量測，包括藍芽、3G、和 Wi-Fi，並建立耗能的模型，根據提出的模型，給定經過的時間或傳輸的資料量，可以計算出耗電百分比。Oporto 等人[5]曾分析藍芽和 Wi-Fi 建立連線、維護連線、傳輸資料所需要的耗電，並計算出以傳輸時間或傳輸量為參數的耗電模型。針對不同應用來選擇合適的傳輸介面以達到省電的結果。Friedman 等人[6]則對於智慧電話的藍芽和 Wi-Fi 兩種傳輸介面作非常完整的量測，包括藍芽的掃描、被搜尋與非被搜尋模式下的耗電，以及 Wi-Fi 連接存取點時與非連接時、搜尋時的耗電。還有兩者傳輸與接收的耗電都有完整的數據可提供本篇論文在第四章節的試算時的參考。Pering 等人[7]針對藍芽和 Wi-Fi 兩種協定做量測，並提出一個能夠

轉換藍芽和 Wi-Fi 無線傳輸介面的系統以達到省電的結果。[5][6][7]此三篇論文比較藍芽和 Wi-Fi 兩種介面的耗電情況。

Augustyniak [8]提出在醫療監測的近身網路應用上，自動選擇合適傳輸閘道，包括遠距離傳輸的 GPRS 和近距離的閘道如 Wi-Fi 和藍芽，所需要注意的議題。本篇研究利用相似概念設計協定選擇合適的連網閘道。

Ananthanarayanan 等人[9]另外提出一套機制來減少 Wi-Fi 介面閒置的耗電。利用裝置附近藍芽裝置的連線及基地台的資訊，能更準確的連接到可以使用的 Wi-Fi 存取點。Zhang 等人[10]提出的節能方法則利用機率模型預測手機沒有通訊的時間間隔，在沒有通訊的時間內關閉無線傳輸介面，並在要傳輸之前開啟介面。[9][10]此二篇論文是關於 Wi-Fi 傳輸協定省電的研究。

Lee 等人[11]不僅比較不同無線傳輸介面的耗能，同時也量測不同軟體平台的耗電、不同種類的感測器耗電、GPS 不同模式下的耗電、硬體儲存的耗電、計算量的耗能。利用上述量測結果提出了一套耗電分析方法(Active energy profiling method)，可以根據手機目前的狀態、位置，動態決定合適的連網方式並減少 GPS 掃描次數以減少耗電。

針對量測的技巧，Rice 等人[12]利用螢幕的亮暗造成的耗能差距，預先設計一組高低序列作為開始量測的同步訊號。藉由這個方法可以將手機傳輸資料的時間跟耗電的記錄作同步對準。量測結果顯示選擇特定的訊息大小可以減少耗電。Wu 等人[13]則是利用 Monsoon Solutions 的電力監測器(power monitor)，量測無線熱點的 UDP 協定吞吐量與耗能間的關係。實驗結果顯示當接收端的吞吐量超過 7.8Mbps，會造成大量封包遺失進而造成接收端耗電增加。

前述相關文獻提供了本論文關於手持裝置及其傳輸介面的耗電研究基礎，如省電機制設計技巧，本論文將加以參考並予以延伸之。

1.3 論文動機與問題定義



從文獻回顧我們可以發現，越來越多學者已投入近身網路的研究，尤其在有效率的能源管理方面尚需要更有彈性的協定使整個網路延長壽命。所以本研究目的在尋找合適的方法節省裝置耗電。而在整個近身網路架構中，存在許多感測裝置，這些感測裝置會與無線路由器連線，無線路由器則提供對外連接網際網路的功能，相對而言，無線路由器較感測器耗電，因此本研究考慮的是節省無線路由器的耗電。

因為無線路由器可以是手機或者平板電腦，而同時擁有手機與平板電腦的使用者在生活中也越來越平常。再者，隨著 1-1 節所述可攜式無線路由器的降價與普及，使用者在未來可能同時擁有多個具備多重傳輸介面及連網功能的路由器。因此，本研究環境考慮在近身網路的環境中，同時存在兩個無線路由器的使用情境。我們將兩個無線路由器視為一個系統，以如何最大化這個系統的電池壽命為本研究的目標。又因為路由器可以具備多種無線介面，包括藍芽、Wi-Fi、行動網路，利用這些介面耗電量的差異並透過兩個路由器彼此之間的切換備援，分配傳輸資料負載，來達到兩個路由器的整體壽命達到最久的研究目標。

1.4 論文章節架構

本篇論文章節規劃如下，第一章簡介了論文動機以及相關研究。第二章簡介了近身網路的架構與節能議題與 Android 路由器。第三章提出了雙路由器的交互備援和 wifi 卸載機制，以及利用網路模擬軟體驗證設計的協定。第四章記錄了 Android 路由器的多種無線介面的開起與關閉時耗電的情形，並利用所量測到的參數作效能試算。最後提出結論與未來發展。

第二章 近身網路和 Android 路由器介紹



本章介紹近身網路的特性與 Android 作業系統無線路由器有關的基本功能。

2.1 近身網路介紹

近身網路是由許多可穿戴、可運算的裝置所組成的無線網路。隨著裝置的微型化趨勢，智慧裝置、可運算感測器已經十分便於攜帶、穿戴、甚至可以植入人體。在典型的近身網路中除了感測器之外，還存在一個無線個人路由器來收集感測資料並提供對外連網的閘道。以下從近身網路的應用、近身網路與其它無線網路的比較、近身網路的架構、近身網路裝置的節能等項目做進一步的介紹。

2.1.1 近身網路分類介紹

本章節根據[1]的內容作整理，介紹近身網路的主要應用類型以及使用的通訊技術。近身網路的應用分成兩類，如表 2-1 所示分為醫療應用與非醫療應用。

表 2-1 近身網路應用分類[1]

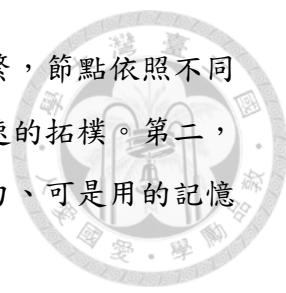
WBAN Applications	Medical	Wearable WBAN	Assessing Soldier Fatigue and Battle Readiness
			Aiding Professional and Amature Sport Training
			Sleep Staging
		Asthma	
		Wearable Health Monitoring	
		Cardiovascular Diseases	
	Implant WBAN	Cancer Detection	
		Ambient Assisted Living (AAL)	
		Patient Monitoring	
	Remote Control of Medical Devices	Tele-medicine Systems	
		Real Time Streaming	
		Entertainment Applications	
Non-Medical	Emergency (non-medical)		

醫療用途的應用又可以分為三種，第一為穿戴式的感測節點；第二是植入式的感測節點，最後是遠端控制的應用。在非醫療部份的應用如即時的影音串流，如在博物館內的語音解說。也有在娛樂方面的應用，如最近剛起步的虛擬實境。或者，在緊急事件通報感測，例如在居家安裝感測器，在火災發生的時後可以即時通知家人。以上是近身網路在醫療與非醫療方面的應用。

首先介紹 IEEE 802.15.6 標準的發展歷史，以及在這個標準下的近身網路環境所能達到的效能如下。近身網路的前身為無線個人區域網路(WPANs)，在 2006 年 IEEE 802 工作小組(working group)就致力於發展國際性的近身網路標準，到 2010 年 IEEE 802.15.6 工作小組提出第一份通訊標準草稿，針對近身及體內的節點作低耗電的最佳化。在 802.15.6 標準必須滿足的效能要求有很多，在此僅列舉出下列五項：第一，節點與節點的連結可以提供傳輸速率從 10 kbps 到 10 Mbps。第二，封包錯誤率(packet error rate)要低於 10%。第三節點要加入或移出網路需要在三秒以內完成。第四，在醫療應用上延遲須小於 125 毫秒，在非醫療應用則是 250 ms。第五，近身網路要可以支援到 256 個節點。

除了 802.15.6 通訊標準外，論文[14]介紹其它類別的通訊技術，在此僅列舉三項。第一為藍芽 3.0，此技術可以提供較高的資料傳輸速率，最高可到 24Mbps 所以可供影音串流應用使用。第二為藍芽 4.0，此技術專為低耗電應用設計，並且同步時間較藍芽 3.0 更短。因為其低耗能與低延遲的特性，藍芽 4.0 合適用於近身網路中的醫療用途。第三為 ZigBee，其特色為低功耗、低傳輸速率，並且在叢集(cluster)和網目(mesh)拓樸中支援多重跳接，此特性可提供近身網路更有彈性的調整覆蓋率，因此也是近身網路常使用的通訊技術。

接著比較近身網路與其他網路的差異，圖 2-1 依照地理覆蓋範圍將無線網路作分類。我們可以發現無線近身網路(WBAN)是覆蓋範圍最短的，大約一到二公尺。而無線個人區域網路(WPAN)的範圍則擴大到人周圍環境，最遠可以到達十公尺。無線區域網路(WLAN)傳輸的距離可以到達一百公尺。最後最外層為無線廣域網路(WWAN)為行動通訊或衛星通訊可以提供公里級的傳輸距離。在技術方



面近身網路要考量的需求有以下幾項。第一，網路拓撲變動頻繁，節點依照不同身體部位會移動，因此網路必須可以更有彈性更能應付改變快速的拓撲。第二，有限的資源，跟其他網路不同的是在近身網路中的節點通訊能力、可是用的記憶體、計算能都受到限制。

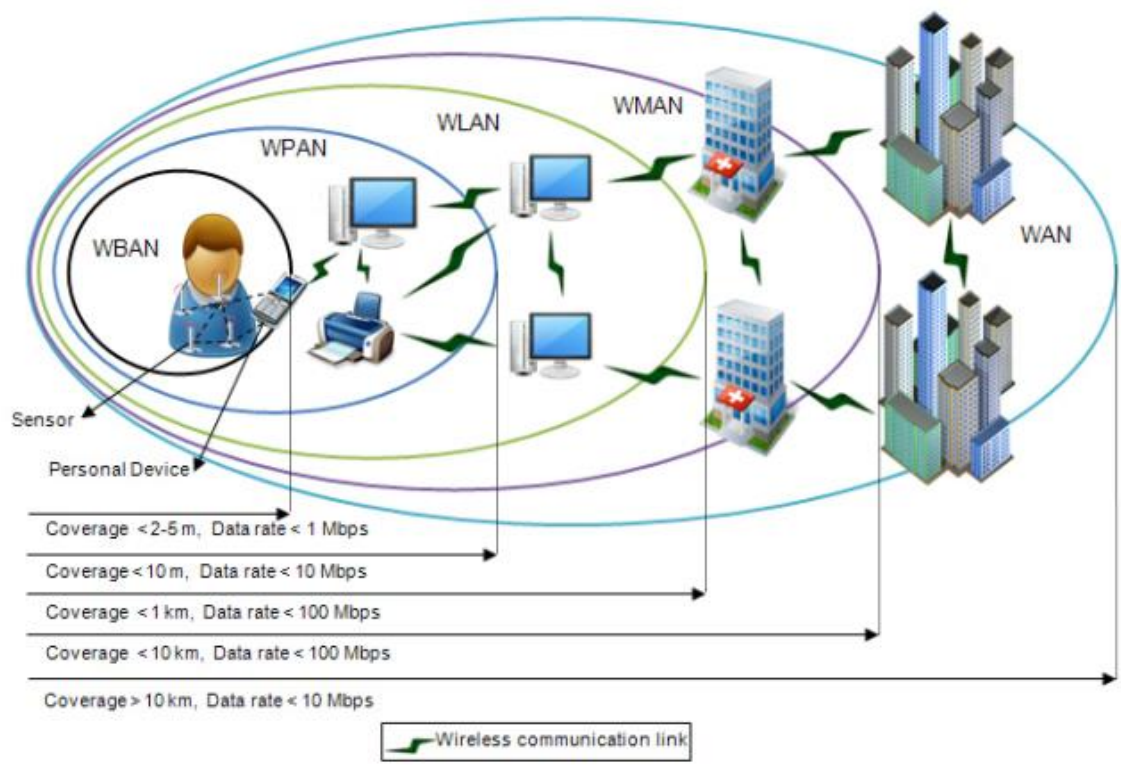
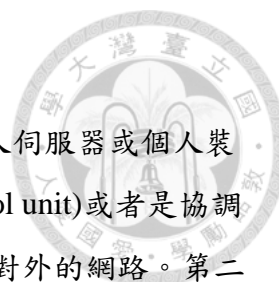


圖 2-1 無線近身網路與其他無線網路比較圖[1]

第三，在資料傳輸方面。近身網路通常是固定的資料傳輸速率，並且有嚴格的傳輸延遲限制。另外，因為身體是一個損耗的介質，所以近身網路中的傳輸也要克服衰減的問題。

最後，相對於無線感測網路(wireless sensor network)，近身網路的傳輸的資料有關個人的隱私，因此需要解決安全上的問題。

2.1.2 傳統近身網路架構



無線近身網路節點依照功能，可以區分為三類。第一是個人伺服器或個人裝置(personal server/device)，也可以稱為身體控制單元(body control unit)或者是協調器(coordinator)，這個裝置是負責收集感測資料並作為閘道連接對外的網路。第二是感測器，依照不同應用有不同的種類，如心電、血糖、血氧、溫度、濕度感測器等等。第三是執行器(actuator)，這個裝置的角色是根據感測資料會執行一些動作，舉例來說，在醫療照護應用中，執行器可以根據感測到的資料將正確的藥劑釋放到身體中。

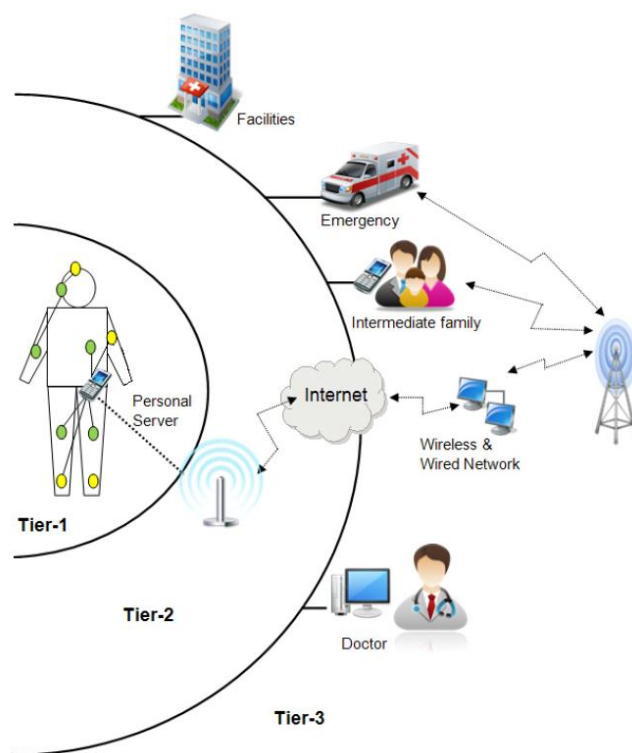


圖 2-2 近身網路的通訊架構[1]

在通訊架構上可以把無線近身網路分成三層，第一層為近身區域內通訊 (intra-WBAN communication)。如圖 2-2 感測器將感測資料傳輸到個人伺服器。第二層為近身區域間通訊(inter-WBAN communication)，這一層是從個人伺服器到網路存取點(AP)，一般是連接到無線區域網路(WLAN)。最後是近身區域外通訊 (beyond-WBAN communication)，個人伺服器除了可以連接到第二層的網路存取

點外也直接透過行動網路連接到第三層，在醫療應用上第三層會有資料庫紀錄病患資料並且在緊急的時後通知醫療人員或病患。



2.1.3 近身網路中的裝置節能

在近身網路中一個主要的限制就是有限的電源。從圖 2-3 我們可以知道在近身網路中的節點依據不同應用，傳輸速率落差很大。在裝置的耗電上，主要有以下三種的耗電方式，第一為感測耗電；第二為通訊耗電；第三為資料處理的耗電。Latr'e[15]等人曾歸納出通訊是最耗電的項目。在所有近身網路的裝置中，又以個人伺服器為最耗電的裝置，因此本研究設法利用不同的通訊介面來節省個人伺服器的耗電。

Latr'e 等人在[15]中整理出近身網路中各階層中的節能方法。在 MAC 層的協定常用的節能方式為控制無線電的功率和工作週期。在網路層的協定致力於設計有效率且考慮節能的路由方式，現今的路由協定通常不考慮節點的資料處理、存取記憶體耗能、有效傳輸與接收所花費的成本，也忽略節點的異質性，因此還需要特別為近身網路設計的協定。

2.2 Android 作業系統重要功能介紹

在應用層面，因為 Android 系統由 linux 系統發展而來，因此可以容易實作為個人路由器，因此本節介紹 Android 作業系統以及其支援路由器的相關有用的 API，如存取穿戴式裝置的資料，與網路管理功能。

2.2.1 Android 作業系統介面與架構

在 Android 開源計畫網頁[20]已清楚介紹 Android 架構，從最上層開始介紹，最上層為 Application framework。這一層是所有應用程式安裝與執行的地方，相關的應用如手機遊戲、電話應用、流覽網頁等等。

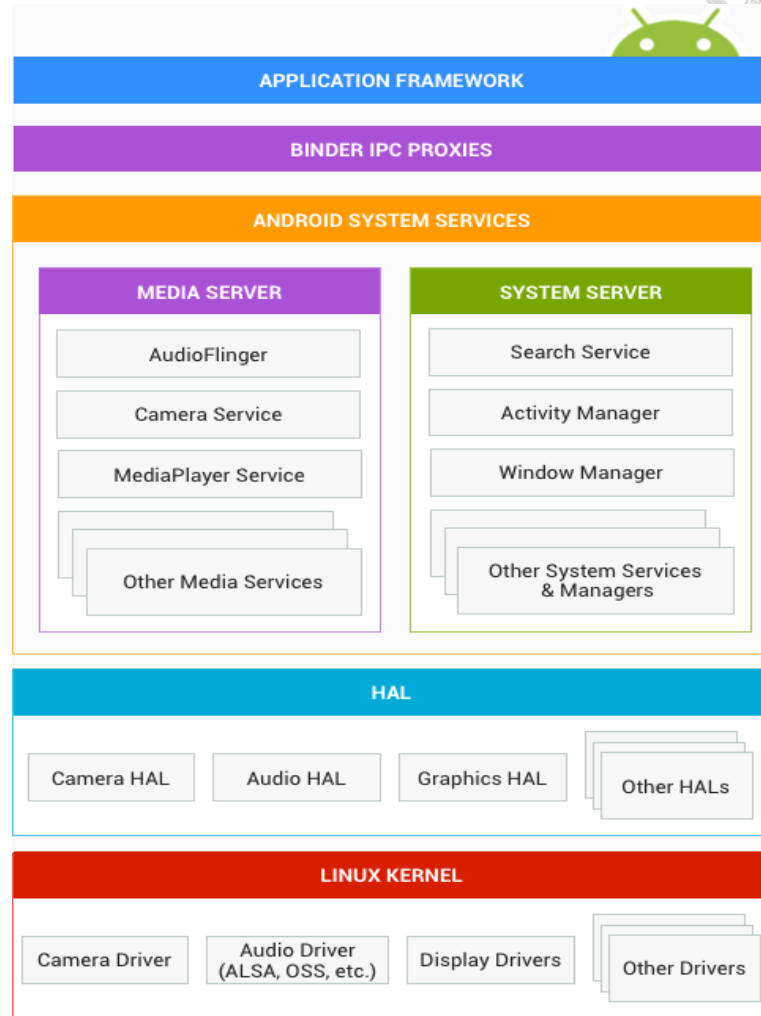


圖 2-3 Andoird 架構與介面關係圖[20]

第二層是 Binder IPC，IPC 全名為 Inter-Process Communication，這是一個應用層與 Android 系統服務溝通的介面。

第三層是 System services，應用層利用 IPC 介面可以與 system services 溝通而存取硬體資源。例如，室窗管理，搜尋服務等等。Android 系統將服務分為兩方面，一個為系統服務，另一個為媒體服務。

第四層是 Hardware abstraction layer (HAL)，制定了硬體使用的規範，讓 Android 可以不必了解底層的驅動程式如何實做，也可以在不影響及變動上層系統情況下實做功能。通常 HAL 以不同模組實做。



最底層為 Linux kernel，這層提供了最基本的系統功能，如記憶體管理，處理程序管理，裝置管理等等。另外也處理許多裝置的驅動程式如圖所示。

2.2.2 Android 作業系統存取穿戴式裝置資料功能

在 Android developer 網頁[21]中有一個章節提供了穿戴式資料層的 API 使用教學，這個 API 由一組資料物件組成(data objects)，讓系統可以傳送和同步資料，作為手持裝置和穿戴式裝置的應用之間的溝通橋梁。以下簡介三種重要類別。

第一個是 Messages Object，MessageAPI 類別用來傳送訊息，可以遠端程序的呼叫(remote procedure calls)，如利用穿戴式裝置控制手機的媒體播放器。因此 Message 是一個強大的物件作為單方向的要求服務(或執行動作)，或是雙向的溝通(要求及回覆)。當手機與穿戴式裝置以連線，則系統會回覆一個成功訊息，相反的，系統回覆錯誤訊息。

第二是 Channel Object，ChannelAPI 類別是特別設計用來傳送大量的資料，例如將手機上的音樂和電影檔案傳送到穿戴式裝置上。它可以提供比 MessageAPI 對於大封包更可靠的傳輸，並且相較於其他物件(Data Items)不會自動同步，因此不會暫用硬體的儲存空間。最後，它傳送的是串流的資料，因此適合用來傳送聲音與音樂等等。

第三是 Data Items Object，這個物件提供資料儲存與手持裝置和平板之間的自動同步。



2.2.3 Android 作業系統網路使用管理功能

在[21]中的最佳化電池壽命的章節裡，有一個部份是「確定和偵測網路連線狀態」(Determining and Monitoring the Connectivity Status)介紹如何利用一些有用的物件管理網路達到省電。以下介紹兩個重要的物件：

ConnectivityManager Object：利用這個物件可以知道網路目前的連線狀況，也可以知道什麼時候網路連線有改變。

NetworkInfo Object：這個物件可以描述目前網路使用的種類，如行動網路亦或是 Wi-Fi 網路。

利用 ConnectivityManager 與 NetworkInfo 這兩種物件，我們可以切換使用目前使用的網路也可以在網路連線改變時作出相對應的動作以達到省電的目的。

2.2.4 Android 耗電量測工具

除了知道存取穿戴式裝置的資料和網路介面的管理，Android 還有一些工具可以知道電池的耗電的歷史資訊並讓我們了解電耗在哪些地方。在[21]中提到 Batterystats 收集裝置的電池資訊，而 BatteryHistorian 則是將這些資訊轉換成 HTML 圖表，讓我們可以方便的利用瀏覽器瀏覽。此功能的條件是 Android 5.0 或更高的版本。

最後顯示的結果如圖 2-5，此章圖表顯示以下幾個資訊。目前電池電量 093 代表 93%；目前使用的應用程式，如果應用程式出現在 top 的欄位代表目前正在前景使用；顯示目前有否 Wi-Fi 連線；顯示螢幕是否開啟；紀錄打電話的時間；CPU 運作的時間；行動網路是否開啟；GPS 是否開啟；顯示應用程式是否進行同步等等。



本工具為 Android 內建的耗電量測工具，若反覆使用可能造成額外的耗電情形。

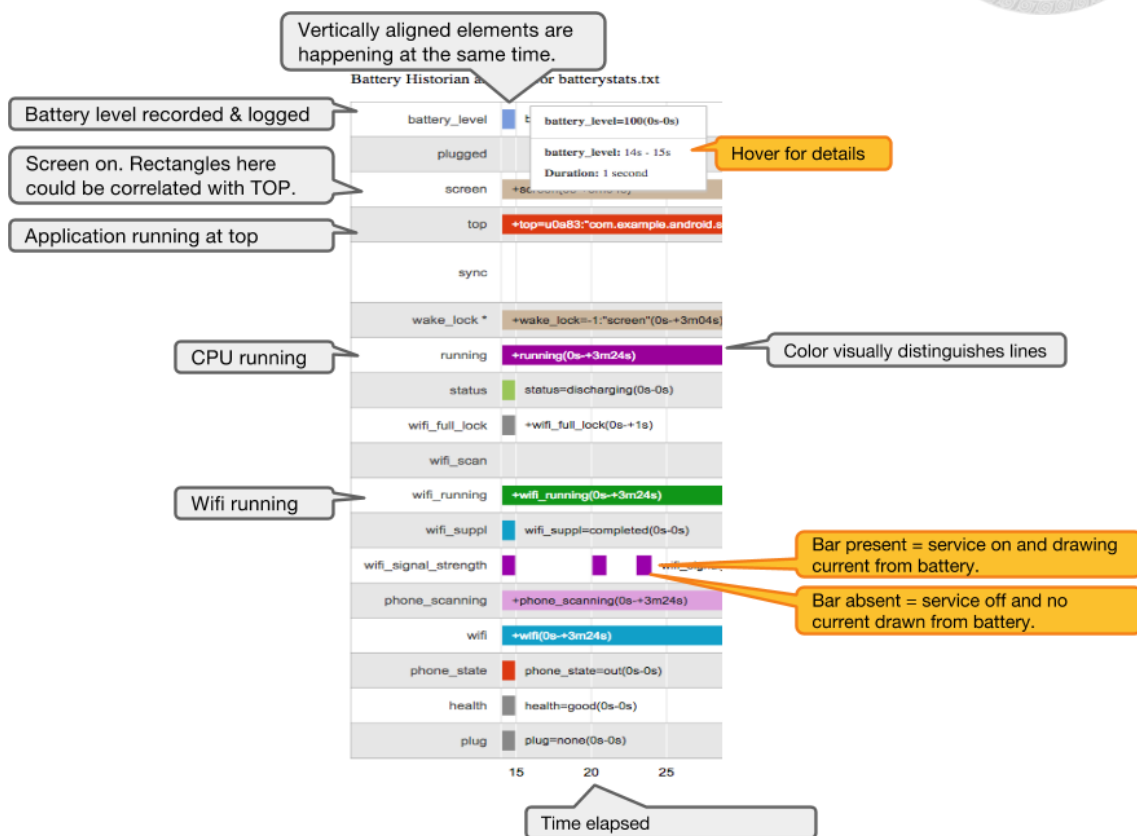


圖 2-4 Battery Historian 輸出圖表範例[21]

第三章 雙路由器近身網路節能備援源設計



在第一章中提到傳統的近身網路架構為星狀拓樸，中間節點為個人裝置或個人伺服器，於以下章節均稱為個人無線路由器。本章提出一個新的網路拓樸架構，在近身網路中存在兩個無線路由器；並將介紹兩個路由器之間交互備援的協定。再者，本研究假設在近身網路中存在傳輸量大的節點，如運動用的錄影機。本研究提出將此節點的工作量交由另一路由器分擔，以達到兩台路由器整體壽命延長的工作卸載協定。

3.1 雙無線路由器近身網路架構

本研究假設在近身網路中存在兩個無線個人路由器分別標示為 RU_1 及 RU_2 ，以及若干感測器 C_1, C_2, C_3, \dots ，另外還存在高用量的裝置 H_1, H_2, H_3, \dots 。

為方便展示及解釋雙路由器之功能，再此先假設使用情境為腳踏車運動，如圖 3-1 所示。在腳踏車運動這個應用中，近身網路有兩個無線路由器 RU_1 及 RU_2 ，並且假設有其餘四個感測器 C_1, C_2, C_3, H_1 。

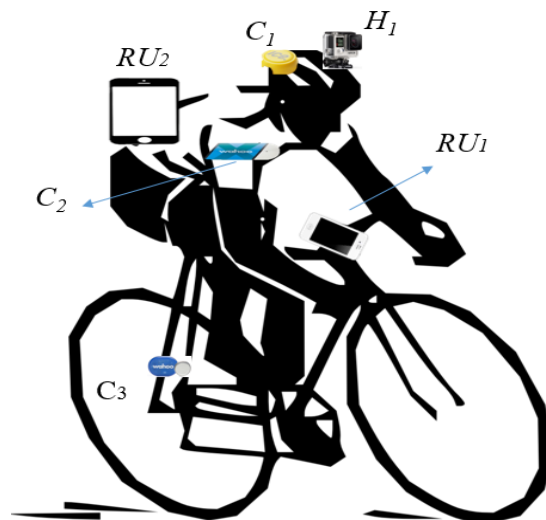


圖 3-1 雙無線路由器腳踏車情境圖



這四個感測器分別為 Gopro 頭戴式錄影機，以及危險偵測感測器，這兩個感測器安裝安全帽上。在使用者身上的是心律感測器。另外還有一個速度及一個踏頻感測器安裝在腳踏車上。代號與裝置名稱的對應表為表 3-1。

表 3-1 腳踏車情境之裝置代號表

代號	裝置名稱
H_1	Gopro Camera
C_1	Crash sensor
RU_1	Wireless router1 (smartphone)
RU_2	Wireless router2 (Tablet)
C_2	Heart rate sensor
C_3	Cadence and speed sensor

在標準運作模式下的雙無線路由器近身網路架構圖如圖 3-2。在第一章中，相關研究指出近身網路中的節點其通訊是主要耗能項目，因此從圖 3-2 可以很容易發現， RU_1 無線路由器將會耗電非常迅速，因此在標準模式下備援路由器盡可能節省耗電，等待 RU_1 電量耗盡 RU_2 即可以備援。無線路由器具備多模組通訊介面， RU_1 與感測器之間的通訊使用藍芽傳輸如圖中藍色虛線；並且也可以使用行動通訊與基地台連線，如圖綠色虛線；另外也可以在有 Wi-Fi 熱點的時後使用 Wi-Fi 上傳如紅色虛線。

圖 3-3 為交互備援模式下的雙無線路由器近身網路架構，當 RU_1 電量耗盡時會通知 RU_2 ，並切斷和感測器的連線。當收到通知後 RU_2 ，將開啟 Wi-Fi 介面和行動網路介面，並掃描周圍感測器，取代原本 RU_1 的位置，使得整個網路應用可以持續。所以整個拓撲會以 RU_2 為中心，此時的 RU_1 僅剩一個藍芽介面開啟，其餘的通訊介面關閉以節省耗電。



圖 3-4 為無線卸載模式下的近身網路架構，因為使用 3G 上傳影像會消耗大量能量，因此我們將高用量感測器卸載到 RU_2 ， RU_2 可以經由 Wi-Fi 介面上傳大量的資料以達到省電的目的，同時 RU_1 也可以利用行動網路上傳生理訊號。

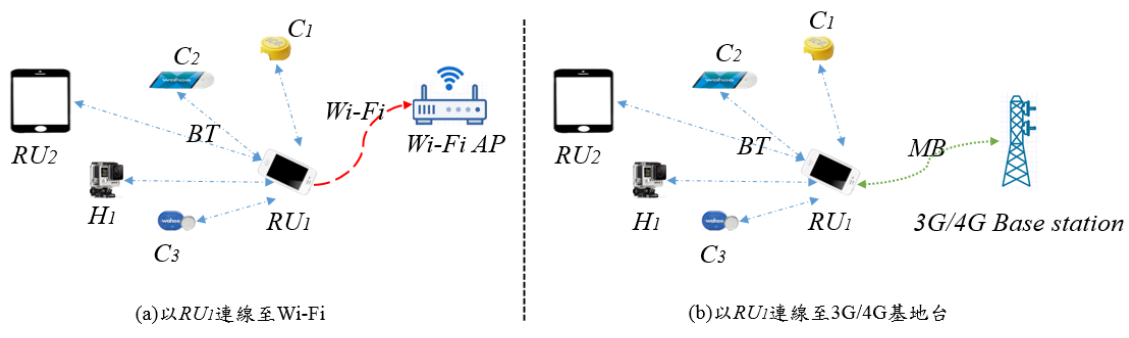


圖 3-2 雙無線路由器近身網路標準運作模式架構圖

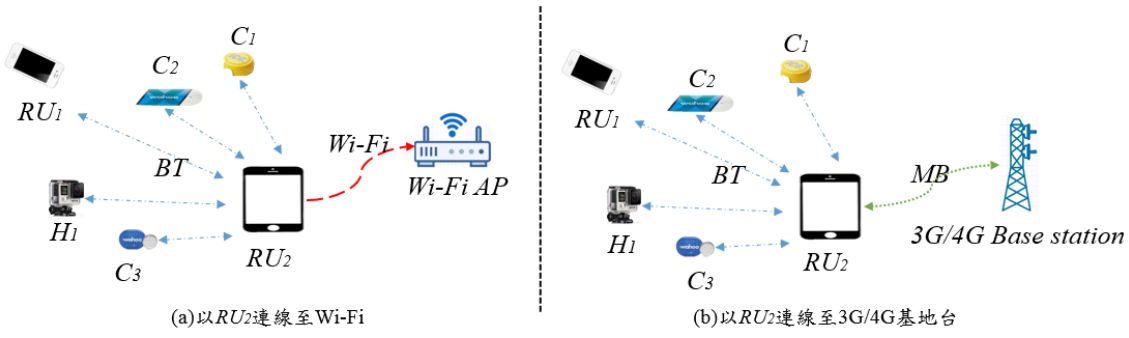


圖 3-3 雙無線路由器近身網路之交互備援模式架構圖

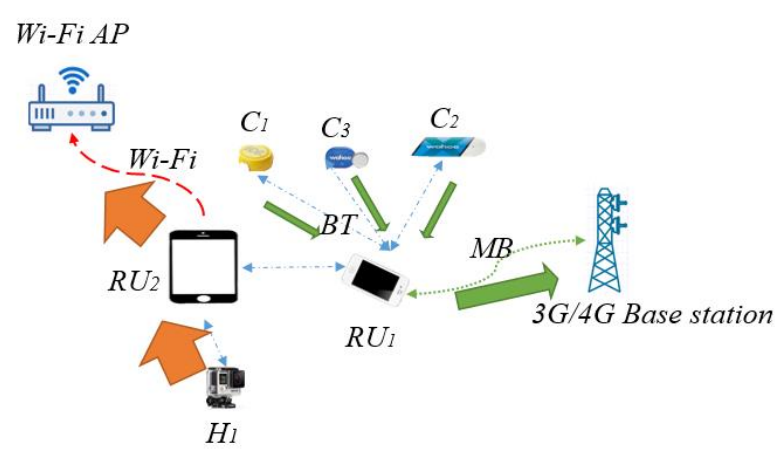


圖 3-4 雙無線路由器近身網路無線卸載模式架構圖：此時週期上傳生理資訊交通流經 RU_1 連線至 3G/4G 基地台，另外影音串流上傳交通流經 RU_2 連網至 Wi-Fi



上述代號和相對應的傳輸介面如表 3-2。

表 3-2 傳輸介面代號表

代號	傳輸介面名稱
<i>BT</i>	Bluetooth
<i>Wi-Fi</i>	Wi-Fi
<i>MB</i>	3G/4G Mobile Broadband

圖 3-5 為行徑路徑示意圖，我們假設在腳踏車運動員的行車路線中存在許多免費的 Wi-Fi 熱點，這些熱點可能在公車站牌附近。在路徑中藉由錄影收取到的影音資料會先傳輸到 RU_2 並暫存在 RU_2 路由器，當進入 Wi-Fi 熱點時由 RU_2 迅速將大量資料上傳到伺服器，在沒有 Wi-Fi 連線的時後就使用行動網路連線。一般生理感測訊號則一律只經由 3G/4G 連網通道來傳輸。

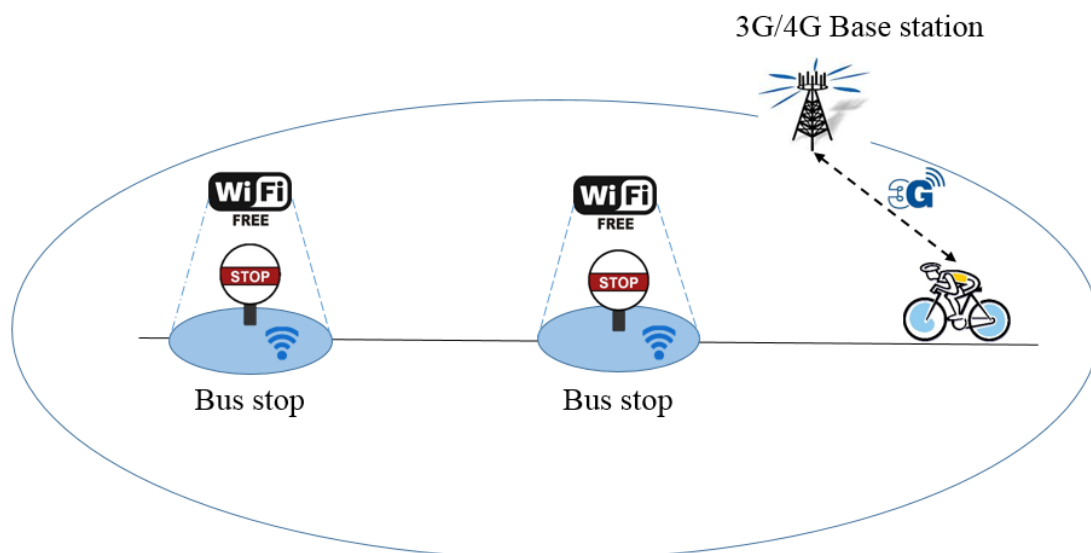


圖 3-5 行車路徑示意圖，其中 3G/4G 基地台為全面涵蓋，Wi-Fi 熱點僅在公車站牌有涵蓋



3.2 雙路由器狀態轉換與傳送訊息定義

在進入備援機制細部的流程之前，我們先分析兩個無線路由器之間所需要處理主要的事件和彼此之間有主要的傳輸的訊息。首先在近身網路中的兩個路由器，我們區分為扮演主要運作的路由器，還有備用路由器。分別如圖 3-2 的 RU_1 與 RU_2 。主要路由器會先開啟藍芽介面並搜尋與附近的感測器與備用路由器連線，如圖 3-6 左側區域。相對的，右側為備用路由器的起始動作，首先會開啟可搜尋模式等代主要路由器連線，當連線建立後就會聽取主要路由器傳送的訊息。主要有兩個事件會觸發主要路由器傳送訊息給備用路由器，第一是當主要路由器的電量已經耗盡，主要路由器就會傳送換手訊息給備用路由器。第二是當主要路由器進入 Wi-Fi 區域時，會傳送 Wi-Fi 喚醒的訊息給備用路由器。相同的，當備用路由器電量耗盡時，也會傳輸換手訊息給主要路由器如圖 3-6 虛線部份。

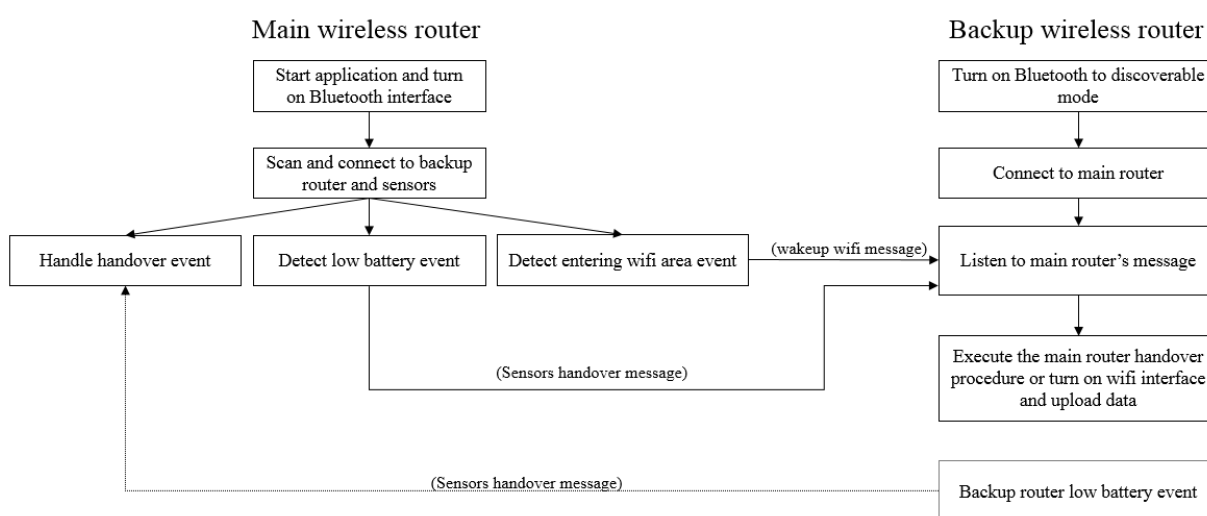


圖 3-6 雙無線路由器交互關係圖

本研究進一步將兩個路由器運作的關係區分為八個狀態，如圖 3-7 所示。分別介紹八個狀態代表的意思，前四個狀態描述主要路由器，後四個狀態描述備用路由器。



- 狀態 1：主要路由器有電，並且與所有感測器包括錄影機連線
- 狀態 2：主要路由器有電，並且與感測器但不包括錄影機連線
- 狀態 3：主要路由器沒有電，並且與所有感測器包括錄影機連線
- 狀態 4：主要路由器沒有電，並且與感測器但不包括錄影機連線
- 狀態 5：備用路由器有電，並且沒有與感測器連線
- 狀態 6：備用路由器有電，並且與錄影機連線
- 狀態 7：備用路由器沒有電，並且沒有與感測器連線
- 狀態 8：備用路由器沒有電，並且與錄影機連線

接著我們介紹狀態之間的轉換，我們先從主要路由器的角度出發，預設的初始狀態為狀態 1，狀態轉移有兩種可能。第一，當備用路由器有電時，主要路由器會將錄影機卸載到備用路由器，狀態即轉移到狀態 2；第二，當主要路由器電量耗盡時，狀態從一轉換到 3。若目前狀態是狀態 2，有兩種可能會狀態轉換。第一，此時電量耗盡時就轉移到狀態 4；第二，此時備用路由器電量耗盡，則錄影機會被換手回主要路由器回到狀態 1。若目前的狀態是狀態 3，則有兩種可能會改變狀態。第一，主要路由器重新有電，則回到狀態 1；或者，成功換手，備用路由器變成主要路由器的角色，狀態轉移到狀態 7。狀態 4 與狀態 3 概念雷同就不贅述。若目前狀態為狀態 7，則只有一種可能發生狀態轉換，就是電量足夠後就會轉移到狀態 5。

如果從備用路由器的角度出發，初始狀態為狀態 5，則有三種情況會發生狀態轉換。第一，當此時主要路由器沒有電，則需要換手，狀態即轉移到狀態 1；第二，當此時主要路由器有電，則會將錄影機卸載過來，因此狀態轉移到狀態 6；第三，若備用路由器本身電量耗盡則狀態轉換到狀態 7。若目前狀態為狀態 6，則有兩種可能會轉換。第一種與狀態 5 的第一種情況相同；第二種與狀態 5 第三種情況相同，但狀態轉移到狀態 8。若目前狀態為狀態 8，則有兩種可能改變狀態。第一，當備用路由器本身電量充足，則狀態即轉移到狀態 6；第二，當主要路由器有電，則可以將錄影機換手回主要路由器，則狀態轉移到狀態 7。

我們將雙路由器之間傳送之訊息搭配驅動事件及其當下的狀態整理成下表 3-3，總共有三種主要的傳送訊息，分別為備援請求、無線卸載、Wi-Fi 喚醒訊息，搭配對應的確認訊息。



表 3-3 雙路由器之間傳送訊息定義表

傳送訊息名稱	觸發條件	送出時所處狀態
備援請求訊息	電量低於 B%	3,4,8
備援確認訊息	收到備援請求訊息	5,6
無線卸載訊息	狀態 1 預設傳送	1
無線卸載確認訊息	收到無線卸載訊息	5
Wi-Fi 喚醒訊息	偵測 Wi-Fi 訊號	2
Wi-Fi 喚醒確認訊息	收到 Wi-Fi 喚醒訊息	6

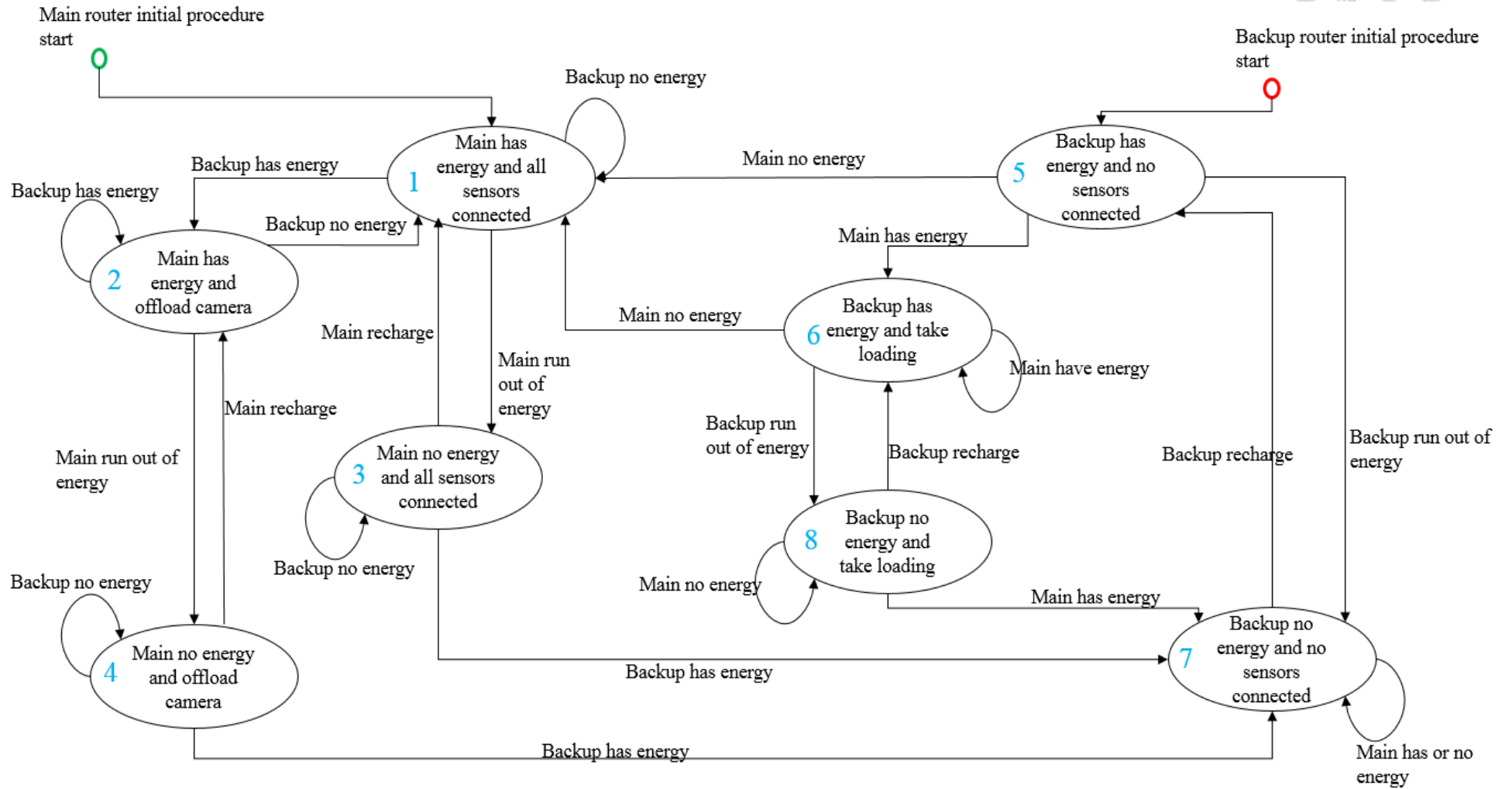


圖 3-7 雙路由器狀態移轉圖



3.3 雙路由器無線卸載機制設計

介紹完雙無線路由器之間的整體運作概念之後，我們進入細部機制的流程圖。我們介紹三個機制。第一，Wi-Fi 卸載機制；第二，交互備援機制；第三，感測節點連網機制。首先介紹在這些機制執行前的初始流程，如圖 3-8 左側所示，主要路由器會搜尋附近的感測器和備用路由器，若收到備用路由器或是其它感測器的確認連線封包後就結束初始流程；若沒有收到確認封包則延遲 T_{nbs} 秒後再進行一次掃描。

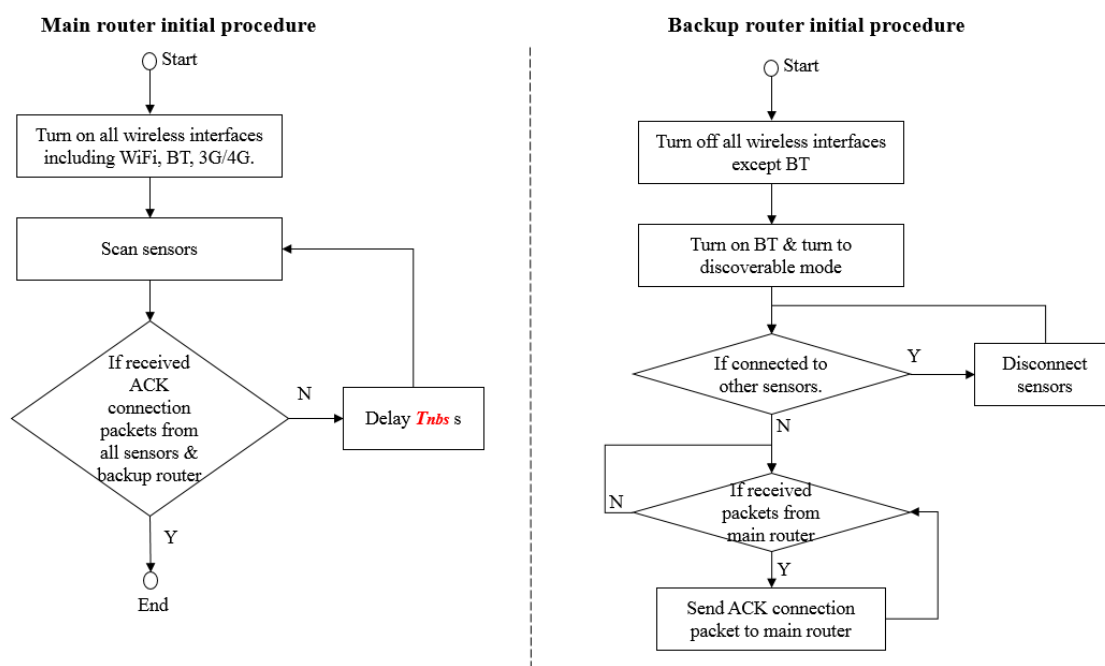


圖 3-8 雙路由器初始流程圖

圖 3-8 右側為備用路由器程式初始的流程，若有任何感測器與之連線則會先斷開那些連線，然後等待主要路由器的連線封包。如果有接收到主要路由器的連線封包就立刻回傳確認連線封包，若沒有收到則一直維持在等待狀態。

在介紹初始流程後，繼續介紹第一個機制，Wi-Fi 卸載機制。因為使用 Wi-Fi 上傳大量資料較使用行動網路省電，因此設計此機制，將高用量的裝置卸載到備

用路由器。我們先從主要路由器開始介紹，首先會先確認是否有錄影機連線，若有錄影機連線則會傳送卸載訊息給備用路由器。傳送完後會等待一段時間，若這段時間內備用路由器沒有回應，則需要重新傳送卸載封包。若收到確認卸載的封包，則主要路由器即可以與錄影機斷開連線。如果錄影機原本就沒有與主要路由器連線，表示錄影機已經和備用路由器連線，則主要路由器需要感測附近有沒有可以使用的 Wi-Fi 存取點，若是可使用的 Wi-Fi 訊號大於一定強度，則等待 T_{ss} 的時間，若是可使用的 Wi-Fi 信號強度仍然很強，就傳送喚醒 Wi-Fi 的訊息給備用路由器，並且等待回覆，若收到回覆訊息即完成整個卸載的過程。若經過 T_{wr} 時間內沒有收到備用路由器的卸載確認回覆就會檢查 Wi-Fi 訊號是否依舊夠好，若是就再傳送一次喚醒的封包給備用路由器，直到傳送 K 次，傳送 K 次後會再延遲一段時間 T_{rws} 直到下一次的 Wi-Fi 訊號感測。

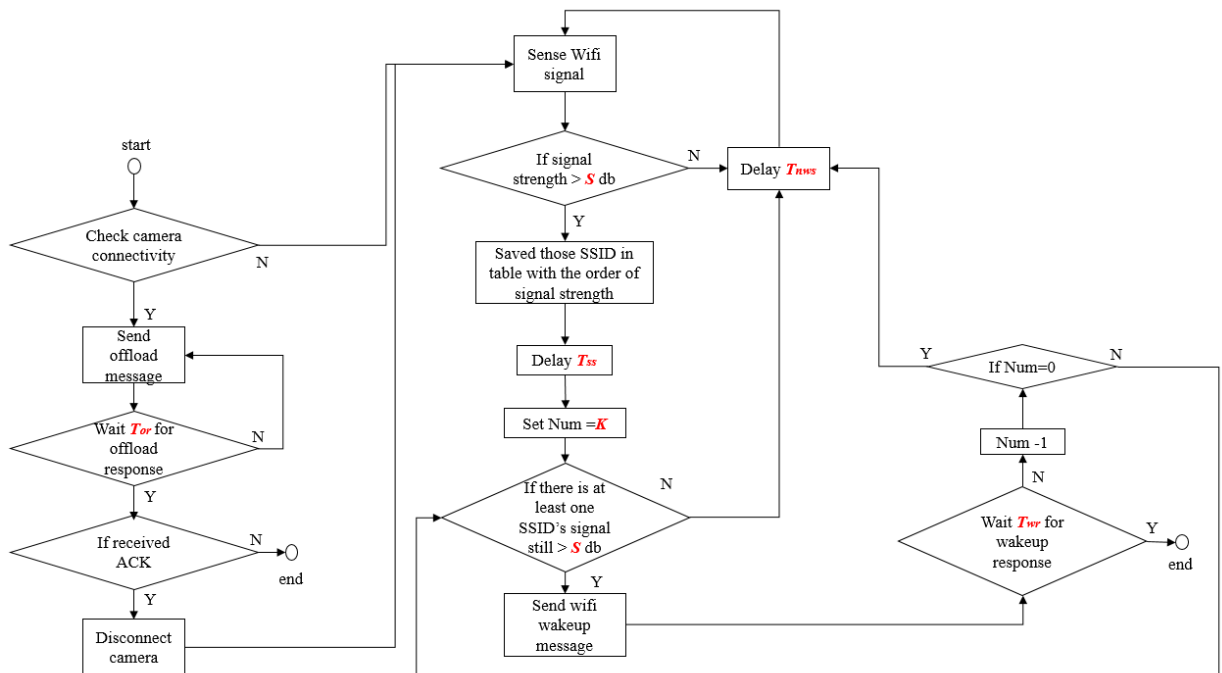


圖 3-9 主要路由器無線卸載機制

表 3-4 列出圖 3-9 的各種代號之意義。 T_{or} 為等待路由器回覆確認卸載的時間； S 為 Wi-Fi 信號的門檻值，低於此值表示信號微弱，可能使用者已經遠離存取點； T_{ss} 時間代表等待一段時間若此存取點訊號仍然夠強，表示使用者還在這個

Wi-Fi 區域內。 K 是整數用來計算重傳的次數； T_{nws} 代表下一次感測 Wi-Fi 訊號強度的時間； T_{wr} 則是代表等待備用路由器回覆喚醒 Wi-Fi 介面的時間。



表 3-4 主要路由器無線卸載流程圖代號意義

parameter	meaning
T_{or}	Time for offload response
S	Signal strength
T_{ss}	Timer indicating “Still Strong”
K	Integer
T_{nws}	Time for next wifi sense
T_{wr}	Time for wakeup response

至於備用路由器的流程如圖 3-10，首先會檢查錄影機的連線，若沒有連線就會等待主要路由器傳送卸載訊息，當收到卸載訊息後，若是本身電量足夠，則會回傳送確認卸載的訊息，若電量不夠則不會進行動作。若錄影機已經與自身連線，則等待主要路由器傳送 Wi-Fi 喚醒的訊息，若收到此訊息就回傳確認喚醒封包，並等待 T_{dw} 時間，期間如有收到同樣喚醒封包則一律回覆確認喚醒封包給主要路由器。經過 T_{dw} 時間後仍沒有再收到主要路由器的 Wi-Fi 喚醒訊息就開啟 Wi-Fi 介面，然後上傳影像資料。當影像上傳完畢或是網路的流量小於一個門檻值或是連線中斷，可能是使用者已經離開熱點區域，則將 Wi-Fi 介面關閉。

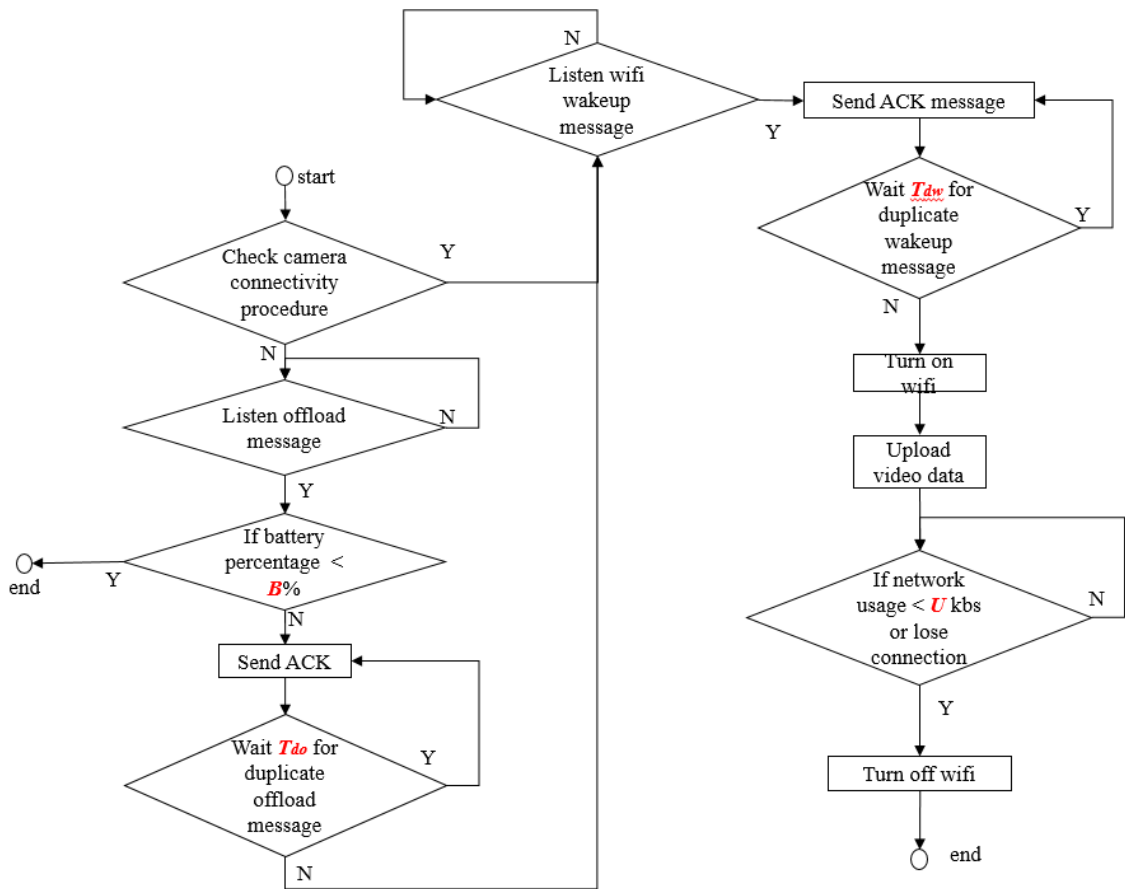


圖 3-10 備用路由器無線卸載機制

表 3-5 描述圖 3-10 中代號表示意義。 T_{do} 為等待主要路由器重覆傳送卸載封訊息的時間； B 為電池電量； U 為網路使用量； T_{dw} 與 T_{do} 類似，這段時間是為了避免主要路由器沒有收到確認喚醒的封包，而重覆傳送喚醒訊息。

表 3-5 備用路由器無線卸載流程圖代號意義

parameter	meaning
T_{do}	Time for waiting duplicate offload message
B	Battery life
U	Network usage
T_{dw}	Time for waiting duplicate wakeup message



3.4 雙路由器交互備援機制設計

以下介紹交互備援機制，此機制發生於任一台路由器電量耗盡時，先介紹主要路由器的流程圖。如圖 3-11 所示主要路由器會定期檢查電池電量，當電量小於一個門檻值的時後就判定是發生低電量事件，並且開始傳送換手訊息，傳送完換手訊息後會等待 T_{hr} 秒，若備用路由器回應確認換手訊息就會將所連線的感測器斷線並且把行動網路與 Wi-Fi 介面關閉。但若是這段時間內沒有收到備用路由器的確認訊息則會再傳一次換手訊息，此時 K 值會減一。當 K 值等於零時，會等待到下次檢查電量的時後再作是否換手的判斷，因為可能此時備用路由器是無法連線上的。

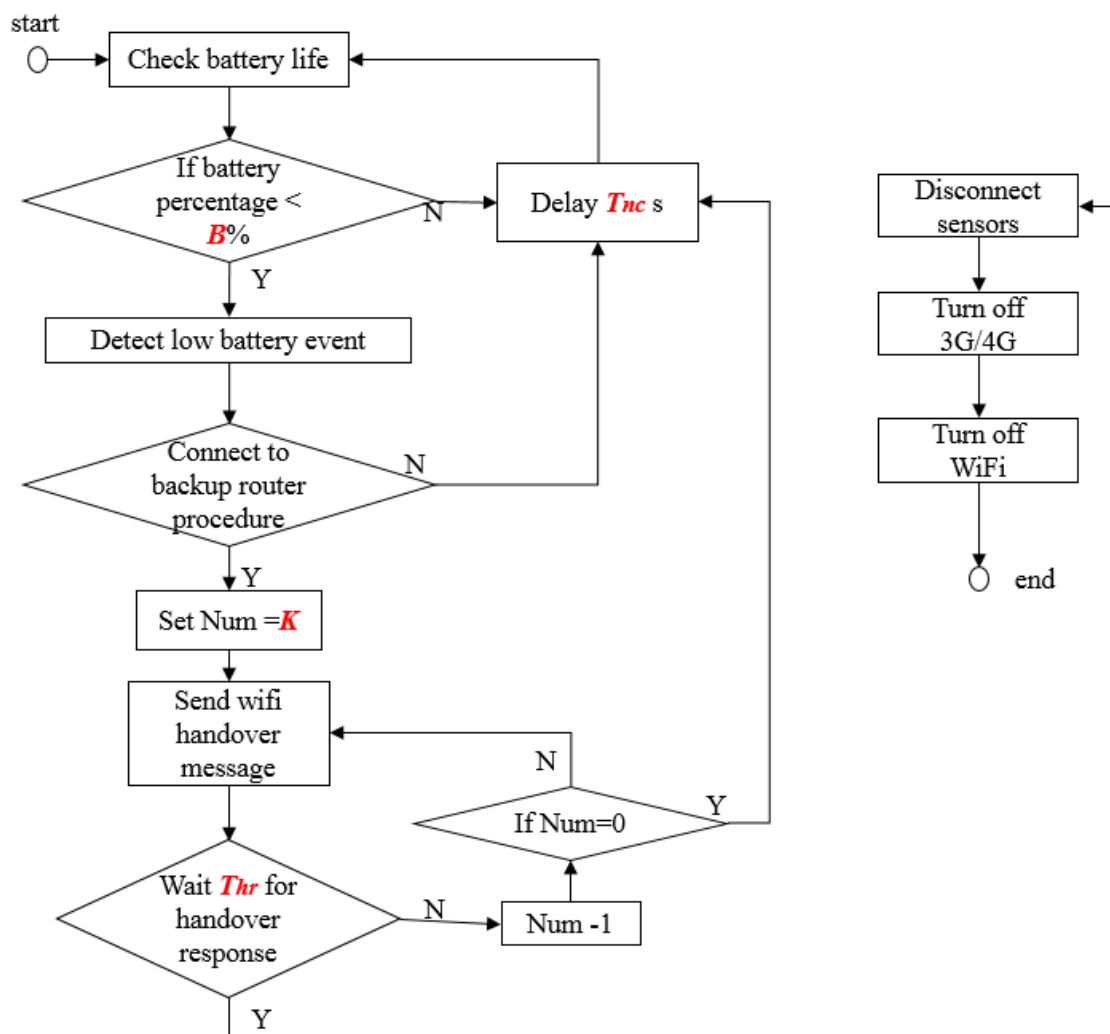


圖 3-11 主要路由器交互備援機制流程圖



表 3-6 描述圖 3-11 代號對應其代表意義。 B 為電池的電量百分比； T_{nc} 是檢查電池電量的頻率； K 是一個整數，用來計算要重傳幾次換手訊息； T_{hr} 為等待備用路由器回應的時間。

表 3-6 主要路由器交互備援流程圖代號意義表

parameter	meaning
B	Battery life
T_{nc}	Time for next check of battery life
K	Integer
T_{hr}	Time for handover response

相對應的備用路由器備援機制流程圖如圖 3-12，備用路由器會一直聆聽是否有換手的訊息來自主要路由器，當收到訊息後先檢查自身的電量，若本身也處於低電量的狀態則不會執行進一步的動作。若本身電力足夠，就會傳送確認訊息給主要路由器，但因為確認訊息可能遺失，因此需要等待一段時間 T_{dh} 秒，經過這段時間後若是沒有再收到主要路由器傳來的換手訊息，則判定主要路由器已收到訊息，並且開啟藍牙介面要連接所有的感測器，和 Wi-Fi 以及行動網路介面。若是在 T_{dh} 時間內仍然收到主要路由器傳來的換手訊息，則須馬上回傳確認訊息。

表 3-7 備用路由器交互備援流程圖代號意義表

parameter	meaning
B	Battery life
T_{dh}	Time for waiting duplicate handover message
T_{nbs}	Time for next BT scans

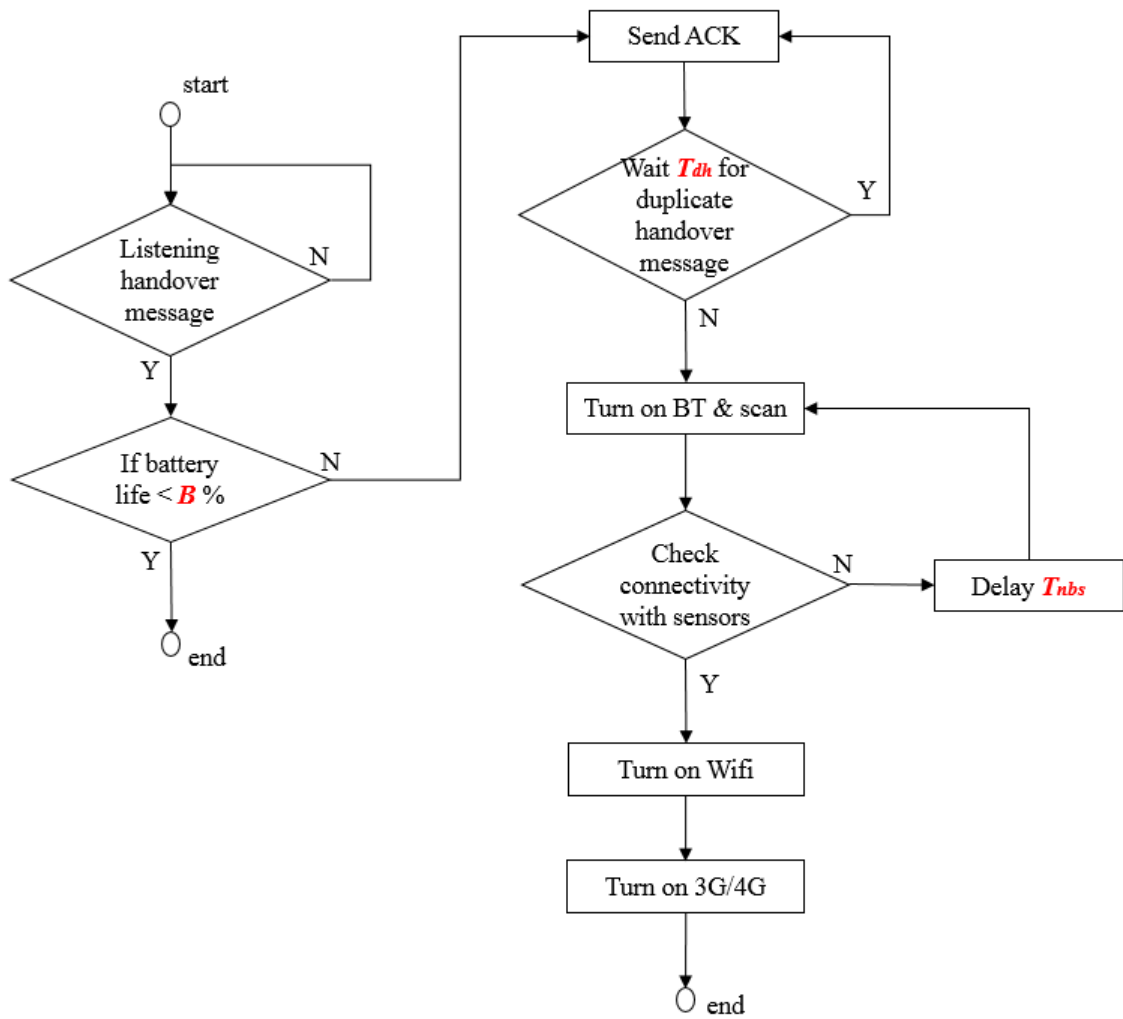


圖 3-12 備用路由器交互備援機制流程圖

表 3-7 描述圖 3-12 的代號對應意義，與表 3-3 不同的有 T_{dh} ，這段時間是為了避免備用路由器傳送確認換手訊息遺失，導致主要路由器重覆傳送換手訊息； T_{nbs} 為藍芽掃描的時間間隔，若感測器連線不上，則需要重覆嘗試連線。

3.5 感測器之搜尋連網機制設計

最後介紹節點與路由器之間的連線機制，如圖 3-13 左側為路由器執行動作流程，假設總共有 N 個節點，每一個節點有一個相對應的參數與連線有關，預設值為零。路由器會傳輸連線封包給每一個節點，並等待 T_{cr} 秒，若這段時間沒有任何一個感測節點回傳確認封包，則再傳輸一次連線封包給所有節點。若在這段時

間內有感測器回應則將該感測節點的參數設為一，沒有收到回應的節點會重覆傳送連線封包，直到收到確認封包為止。感測器流程如圖 3-13 右側，若接收到路由器傳送來的建立連線封包則判斷是哪一個路由器，回傳確認連線封包給該路由器。

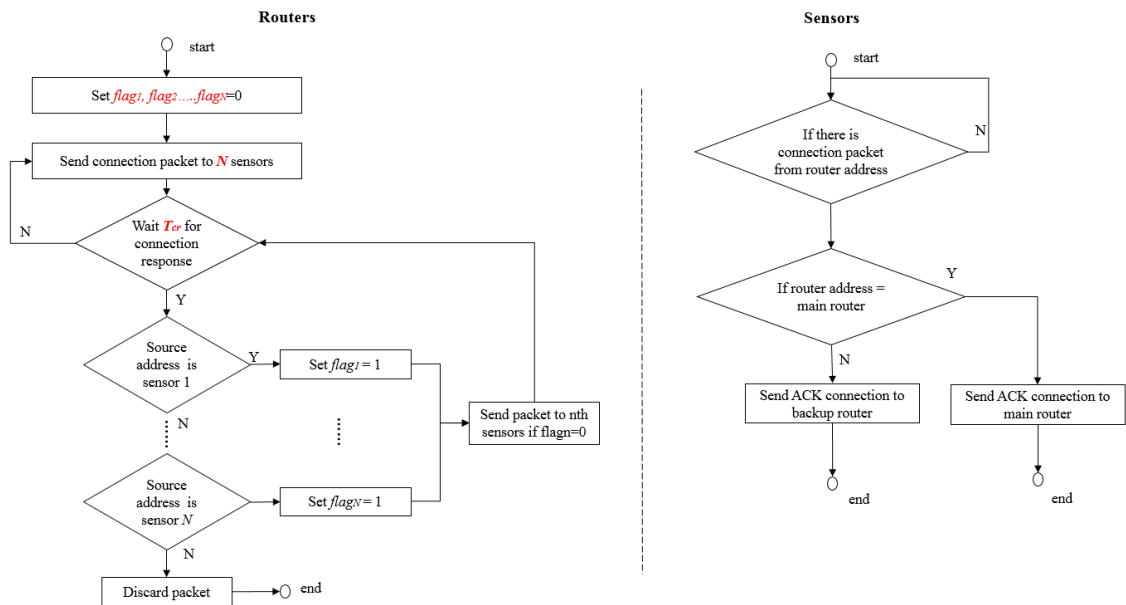


圖 3-13 路由器與感測器建立連線流程圖

表 3-8 解釋圖 3-13 代號意義， N 表示總共感測器數量有 N 個，每個感測器有一個參數從 $flag_1$ 到 $flag_N$ 。當路由器收到該編號節點回傳確認連線封包後就會把相對應的 $flag$ 值設定成一。最後 T_{cr} 是路由器等待感測器回應的時間。

表 3-8 路由器與感測器連線圖代號意義

parameter	meaning
N	Number of sensors
$flag_1, flag_2, \dots, flag_N$	Integer for each sensor
T_{cr}	Time for connection response



3.6 交互備援演算法正確性驗證

3.4 節之所有流程圖均已納入附錄一之狀態轉換與觸發事件對應表。本節則進行其正確性驗證。我們利用網路模擬軟體來驗證機制的正確性。首先會先簡介本研究所使用的模擬軟體，接著介紹模擬參數，最後分案例作驗證。

3.6.1 模擬軟體介紹

本研究使用 Castalia 網路模擬軟體[23]，此軟體是用來模擬無線感測網路，以及近身網路和一般的低功耗嵌入式設備的網路。Castalia 是以 OMNeT++平台[24]為基礎所發展的模擬軟體，用來測試在實際無線通道以及無線電模型下的分散式演算法和協定。它使用數學模型模擬通道的損耗，並且通道損耗會隨著時間改變，好逼近真實感測節點會移動的情況影響通道狀況的情況。Castalia 還有其它的特色如，實體層處理過程建模，以及實作一些 MAC 層協定和路由協定。

Castalia 是由澳洲國家資通訊科技研究中心[25]在 2006 開始研發，從 2007 年完成後開始作為學術用的開放軟體。目前最新的版本為 3.3。

3.6.2 模擬環境參數

在本研究所模擬的參數中，僅改變應用層使用的參數，在實體層、MAC 層路由層都是軟體本身預設的參數和環境。在模擬通道損耗時使用一個額外的檔案 (pathLossMapFile)當作輸入參數，檔案內容是通道節點傳輸和所感受到的通道損耗[26]。通道隨時間改變的模型，由另外一個檔案描述 (temporalModelParametersFile)其中記錄時間和對應的機率密度函數，無線電的參

數描述在 BANRadio.txt 檔案內，是根據 IEEE 802.15.6 工作小組題出的窄頻無線電文件。



在 MAC 層協定，我們使用 Castalia 預設的 MAC 協定，在[26]第 4.3.1 章節中稱為 Tunable MAC，它提供很多參數可以讓應用層設定，可以用來模擬多種以工作周期(duty-cycling)為基礎的協定，同時此協定在傳輸上使用 CSMA/CA 的協定，所以也是以競爭為基礎的 MAC。在路由協定方面使用最基本的 bypassRouting，也就是沒有實作任何額外的路由機制。

接著除了預設的參數，其它需要設定的參數如表 3-8，模擬時間、實體層傳輸速度與傳輸功率、應用層名稱、應用層傳輸速率、應用層封包資料量。在本研究的近身網路環境中，總共有七個節點，節點零和一分別為主要路由器和備用路由器，其它節點都是感測器，節點六為錄影機。

在模擬過程中我們加入 Wi-Fi 上傳之簡化做法，直接假設存在 Wi-Fi 存取點可以連網。

表 3-9 模擬參數設定表

Number of node	7						
Simulation time	1500 second						
Physical layer data rate	1024						
	Node 0	Node 1	Node 2	Node 3	Node 4	Node 5	Node 6
Transmission power	-10db	-10db	-15db	-15db	-15db	-15db	-15db
Application name	main router	backup router	sensor test app	sensor test app	sensor test app	sensor test app	sensor test app
Application packet rate	1/sec	1/sec	0.5/sec	0.5/sec	0.5/sec	0.5/sec	5/sec
Application data payload	25	20	5	10	3	1	500



在本章流程圖中有許多計時器，當時間倒數歸零後會觸發事件，執行對應的動作。這些計時器在模擬時所設定的數值如表 3-9 所示。其中 B 為路由器剩餘電量的百分比， K 為常數，其於的參數的單位都是秒。

表 3-10 流程圖代號數值對應表

parameter	意義	value
T_{nbs}	藍芽掃描間隔	10 s
B	剩餘電量百分比	20%
T_{nc}	檢查電量週期	30 s
K	封包重傳次數上限	5
T_{hr}	等待確認換手時間	5 s
T_{dh}	等待重覆接收換手封包時間	20 s
T_{or}	等代確認卸載時間	5 s
T_{ss}	確保 Wi-Fi 訊號強度週期	30 s
T_{nws}	感測 Wi-Fi 訊號間隔	60 s
T_{wr}	等待確認喚醒封包時間	5 s
T_{do}	等待重覆接收卸載封包時間	20 s
T_{dw}	等待重複接收喚醒封包時間	20 s

3.6.3 模擬案例驗證

在介紹完參數後，將以五個案例分析所設計的機制。

案例一：交互備援機制

案例一為最單純的情況在近身網路中沒有存在錄影機，所以總共節點數有六個，包括兩個路由器和四個感測節點。我們將主要路由器的電量設定為百分之十六，而備用路由器的電量設定為百分之二十。圖(a)為時間對應無線路由器剩餘電量百分比圖，紅色線為主要路由器，藍色線為備用路由器。當紅色線低於百分之十五時(低於黑線)，主要路由器要求備用路由器備援，綠線即為備援發生時間。



圖 3-14(b)圖為路由器傳輸的情況，(c)圖為無線路由器接收封包情況，我們可以發現在 300 秒之前主要是主要路由器在傳輸，包括傳送和接收，但經過備援機制後，主要通訊的裝置變為備用路由器。

總結案例一驗證了交互備援機制可以正確運作。

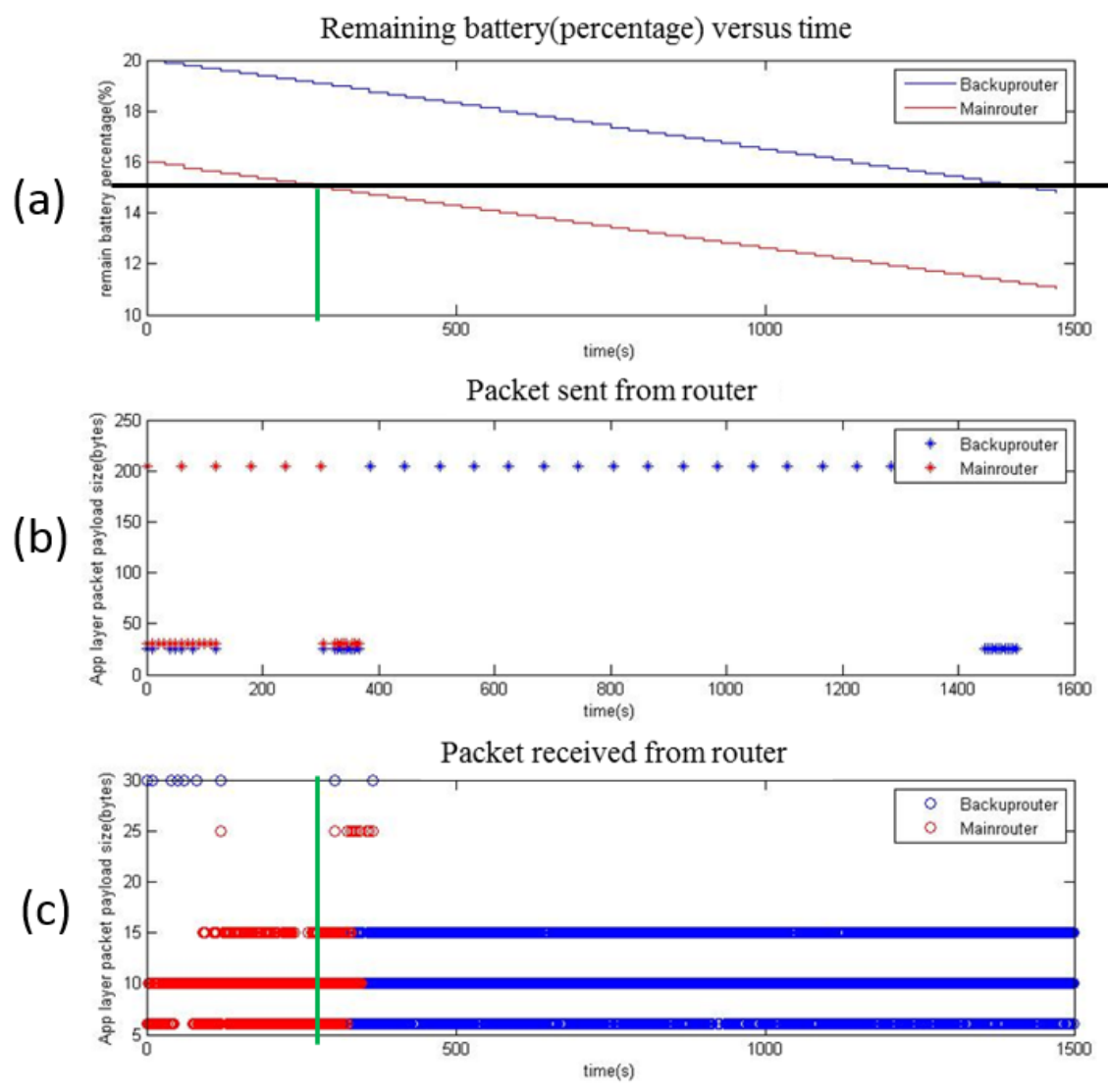
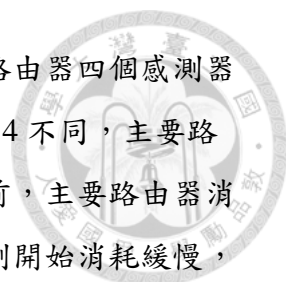


圖 3-14 RU_1 及 RU_2 兩路由器之耗電量與傳輸量比較圖(a)

案例二：交互備援機制和錄影機連線



接著我們加入一個錄影機，所有節點共有六個，包括兩個路由器四個感測器與一個錄影機。首先我們可以發現圖(a)，在耗電速度上與圖 3-14 不同，主要路由器和備用路由器耗電趨勢都有改變，在換手備援機制執行之前，主要路由器耗電量比較快去，但經過換手後耗電變慢。反之，備用路由器剛開始消耗緩慢，但經過備援機制後耗電量增加。所以我們可以發現紅色線和藍色線越來越接近。這是因為錄影機是一個傳輸量大的感測器，我們從圖(c)可以看出來，相

對於圖 3-14 主要路由器接收到 500 byte 的資料。

案例二同樣驗證交互備援機制之正常運作，與案例一不同之處在於加入錄影連線，造成路由器耗電快速。

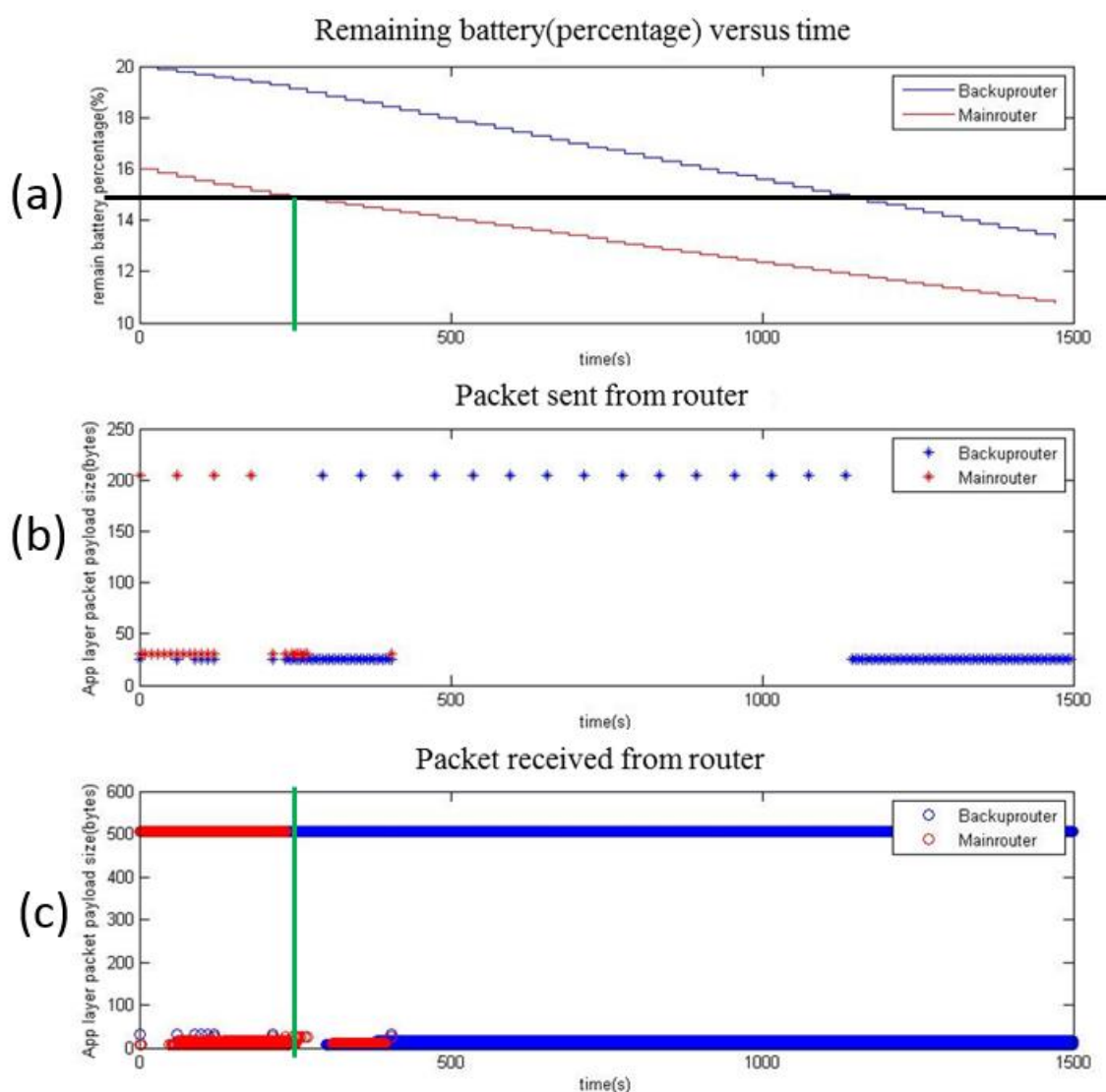


圖 3-15 RU_1 及 RU_2 兩路由器之耗電量與傳輸量比較圖(b)



案例三：交互備援機制和影像串流使用行動網路上傳

在第三個案例中，我們假設與錄影機連線的無線路由器需要上傳影像串流資料，所以在圖 3-16 的(b)，從 600 秒開始由主要路由器上傳 10000 bytes 資料，然後我們可以發現對應的耗電圖(a)圓圈處會有一個較大的遞減，因為使用 3G 上傳資料會花費很多能量。然後大約在 1100 秒的時後會執行備援機制(綠線)，因此從那時開始幾乎就是備用路由器在接收和傳輸。

案例三驗證了使用 3G 行動網路上傳大量資料會非常耗電。

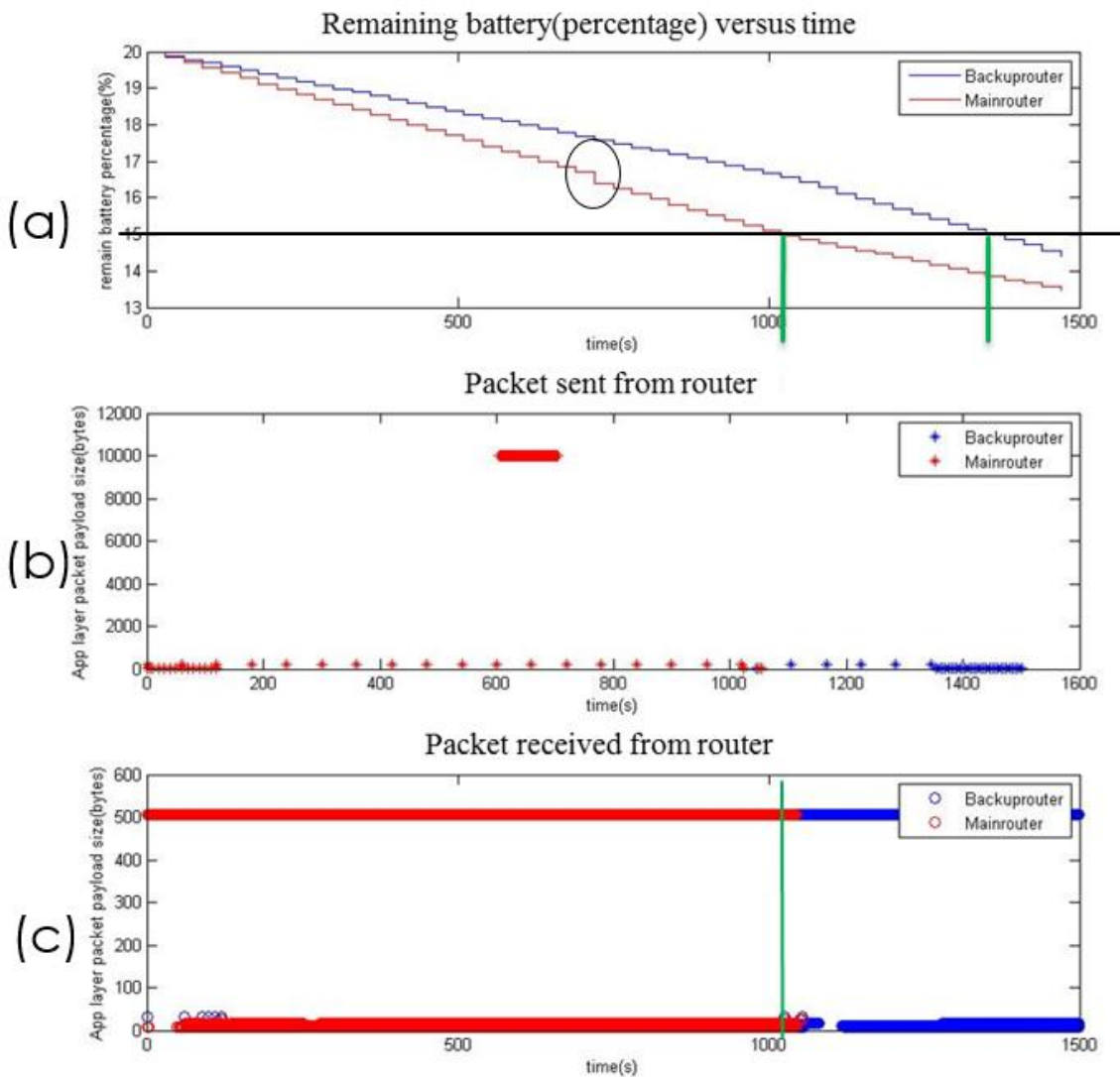


圖 3-16 RU_1 及 RU_2 兩路由器之耗電量與傳輸量比較圖(c)



案例四：無線卸載機制和影像串流使用行動網路上傳

案例四中我們測試了卸載機制與備援機制。假設兩台路由器的電量都剩下百分之二十。原本錄影機會跟主要路由器連線，所以我們可以從圖 3-17(c)看出主要路由器接收到較大的封包，接著因著備用路由器的電量足夠，所以主要路由器就將錄影機卸載到備用路由器，紫色線為無線卸載機制發生的時機。當機制發生後可以看到備用路由器開始接收到大封包的資料。大約到六百秒的時後，備用路由器開始上傳影像串流，大約在七百五十秒時，耗電量有一個較大的遞減(圖(a)圓圈處)，使得兩者剩餘電量百分比趨近相等。直到一千秒時，備用路由器的電量已經低於百分之十五，所以啟動備援機制(綠線)，但因為主要路由器也處於電量狀態，因此沒有辦法將錄影機換手回主要路由器。最後我們可以發現在傳輸方面，主要路由器和備用路由器都有密集的傳輸在模擬的後半段，原因是因為彼此都沒有電，因此會不斷發出備援封包，請求對方備援。

案例四驗證無線卸載機制，所以上傳大量資料由備用路由器處理。由於錄影機備卸載到備用路由器，因此兩台路由器的耗電速率幾乎相同。

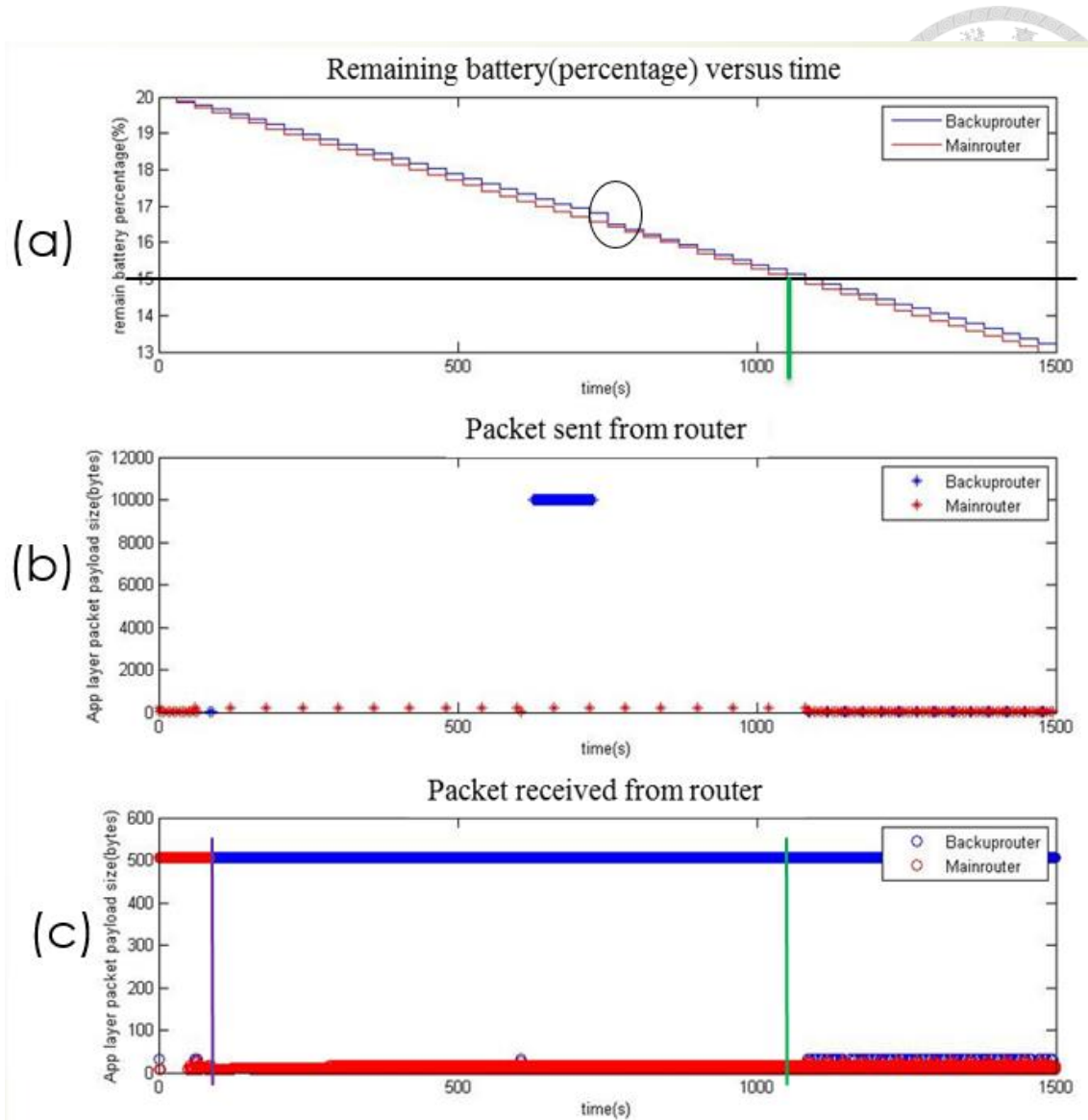


圖 3-17 RU_1 及 RU_2 兩路由器之耗電量與傳輸量比較圖(d)

案例五：無線卸載機制和影像串流使用 Wi-Fi 網路上傳和交互備援機制

最後，我們假設卸載後可以使用 Wifi 上傳影像串流，則可以發現上傳一樣大小的資料，使用 Wi-Fi 沒有像使用 3G 行動網路有一個大的遞減，如圖 3-18(a)所示。模擬開始時，與範例四相同，假設兩個路由器的電量剩餘百分之二十，錄影機開始與主要路由器連線，所以從圖(c)可以看見主要路由器接收到 500 bytes 的封包，接著啟動卸載機制(紫線)，之後我們發現備用路由器開始接受到錄影機的資料。直到約六百秒時開始上傳影像串流。大約在一千一百秒時，主要路由器已經低於百分之十五的電量，因此隨即啟動備援機制(綠線處)，也就是主要路由器

將連線在其上的感測器換手到備用路由器，所以從圖(c)可以發現主要路由器接收的封包量明顯變少，但是仍有周期性的接收到傳輸資料，原因是因為備用路由器也跟著電量低於百分之十五，因此備用路由器就會定期的詢問主要路由器可否備援，但因為主要路由器已經電量耗盡，因此不會執行任何動作。從圖(a)可以發現，耗電量的斜率會有改變，原本主要路由器耗電較快，但換手後耗電速度趨緩，所以可以發現兩條線在接近一千兩百五十秒時交錯。

案例五表達的是利用 Wi-Fi 上傳大量資料較 3G 網路來的省電。且同時驗證卸載和備援機制。

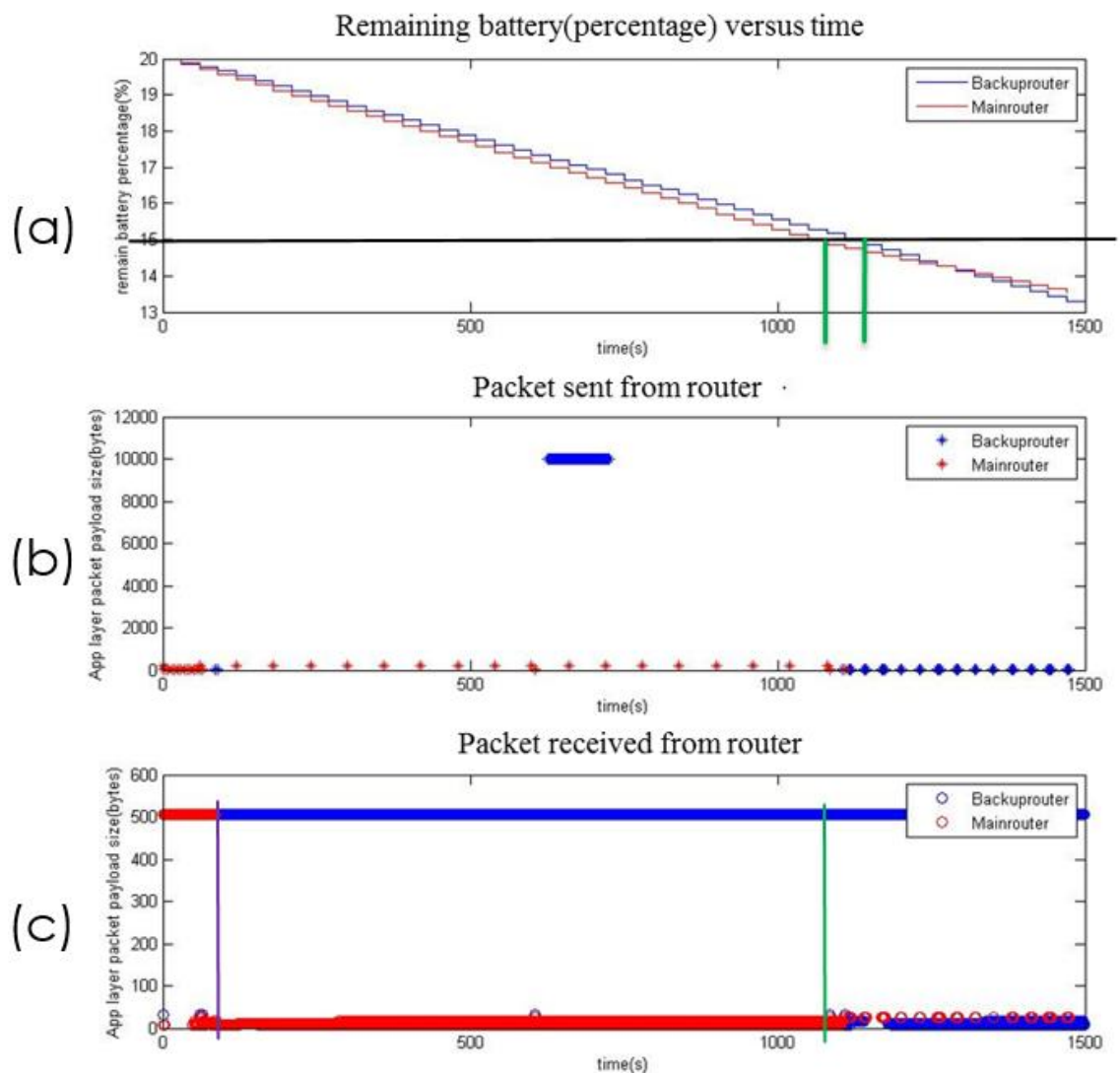


圖 3-18 RU_1 及 RU_2 兩路由器之耗電量與傳輸量比較圖(e)



3.6.4 模擬測試總結

我們整理五個案例內容如表 3-11。案例一和二可以視為一組，驗證交互備援機制。主要路由器都已經接近需要備援的情況。差別在於有錄影機連線的情況耗電會快很多。

案例三和四可以一起比較，兩者都使用 3G 網路上傳大量資料，差別在於案例四會執行無線卸載機制，所以案例四主要路由器和備用路由器機會同時接近低耗電狀況。

案例四和五也可以拿來比較，差別在於案例五使用 Wi-Fi 上傳大量影音資料，因此較為省電，備用路由器較案例四延長 30 秒低於 15% 電量。

表 3-11 機制驗證案例整理

案例	主要路由器起始剩餘電量	備用路由器起始剩餘電量	案例內容說明
案例一	16%	20%	啟動備援並以 3G 上傳生理訊號
案例二	16%	20%	啟動備援並以 3G 上傳生理訊號 (支援錄影機)
案例三	20%	20%	啟動備援並以 3G 上傳影像
案例四	20%	20%	啟動卸載並以 3G 上傳影像
案例五	20%	20%	啟動卸載並經 Wi-Fi 上傳影像， 最後啟動備援

第四章 Android 路由器之耗電量測



在第三章中，我們使用網路模擬軟體驗證了設計的協定，其中的耗電模型是經過實際量測後的數據和現有的文獻提供的數據經過計算得到。因此本章介紹本研究實際量測 Android 作業系統路由器的多種介面的開關耗電量測。

4.1 量測環境

在本小節中，我們將介紹量測 Android 無線路由器的工具與待測裝置，最後是量測的方法。

4.1.1 量測裝置與工具

本研究使用的量測工具是 Monsoon Solutionis Inc. 的電力監測器[27]，分別對於一台智慧型手機以及一台平板電腦進行量測。產品型號與規格分別如下表 4-1 與 4-2。這兩台裝置都具備有藍芽、Wi-Fi、行動網路三種不同的介面。量測架構如圖 4-1，將手機電池連接電力監測器，並量測三種無線介面的耗電。

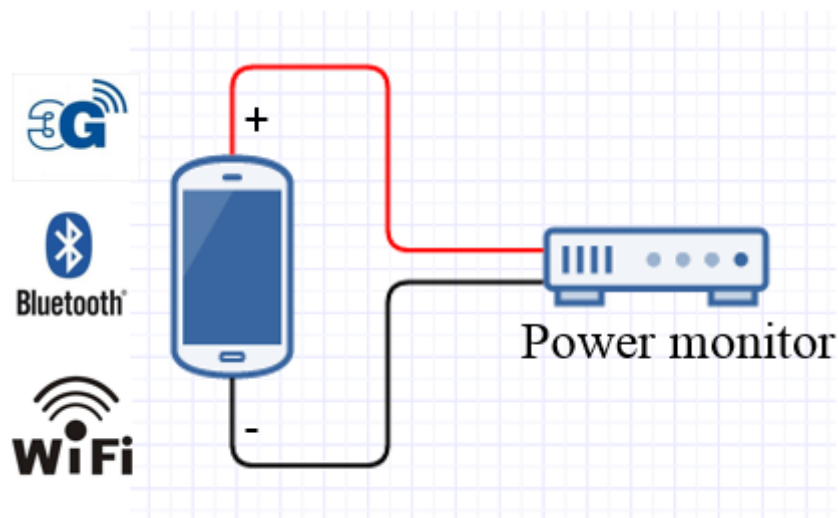
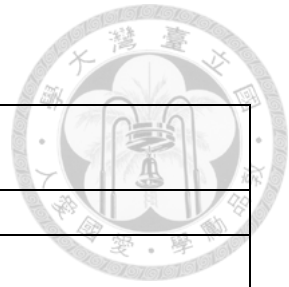


圖 4-1 量測系統架構圖

表 4-1 測量裝置名稱與規格表(智慧型手機)



產品名稱	ZenFone 2 Laser (ZE550KL)
平台	Android™ 5.0
WLAN	802.11 b/g/n
藍牙	V4.0+EDR +A2DP
2G	GSM : 850(5)/900(8)/1800(3)/1900(2)
3G	WCDMA: 850MHz(5)/900MHz(8)/1900MHz(2) /2100MHz(1)
4G	FDD-LTE: (TW/JP version) 2100MHz(1)/1900MHz(2)/1800MHz(3)/850MHz(5)/850MHz(6)/900MHz(8)/1800MHz(9)/800MHz(18)/850MHz(19)/700MHz(28)
Data Rate	DC-HSPA+: UL 5.76 / DL 42 Mbps LTE Cat4:UL 50 / DL 150 Mbps

表 4-2 測量裝置名稱與規格表(平板電腦)

產品名稱	ASUS MeMO Pad 8 (ME581CL)
平台	Android™ 5.0
WLAN	802.11a/b/g/n/ac
藍牙	藍牙 V4.0, NFC
2G	EDGE/GSM : 850/900/1800/1900
3G	WCDMA : 850/900/1900/2100
4G	FDD-LTE : 800/1800/2100/2600
Data Rate	LTE 下載速度:150 Mbps/上傳速度:50 Mbps DC-HSPA+ 下載速度:42 Mbps/上傳速度:5.76 Mbps

4.1.2 量測方法與程序

欲量測智慧型手機與平板，首先需要把它拆解，手機與平板在電池與機身接合處略有不同，如圖 4-2 左側紅圈處，平板電腦的機身與電池接合處有六個金屬薄片，相對應的電池就有六個凹槽，並且連接六條電線，兩條紅色、兩條綠色、

兩條藍色，最左邊兩條紅色線為電池正極，最右邊兩條黑色線為電池負極。右側紅圈處為手機機身與電池接合處，共有四個金屬凸起物，相對應在電池上有四個凹槽，左右兩邊分為電池正負極。



圖 4-2 電池接合處

在拆解完手機與平板後，為了量測裝置的耗電情況，我們需要將電力監測器連接電池的正負極，並且電池仍需要與裝置連接供電，因此我們使用兩條銅片，寬度為電池正負極的寬度。以平板電腦為例，如圖 4-3 左側所示，我們裁剪兩條銅片，寬度大約為兩條紅線的寬度，並且把此兩條銅片放置於電池接合處，一條接正極(兩條紅線)，另一條接負極(兩條黑線)，使銅片可以接觸到電池，然後使用電力監測器的電力線夾處兩條銅片，一個接電力偵測器的正極另一個負極。如圖 4-3 右側所示。

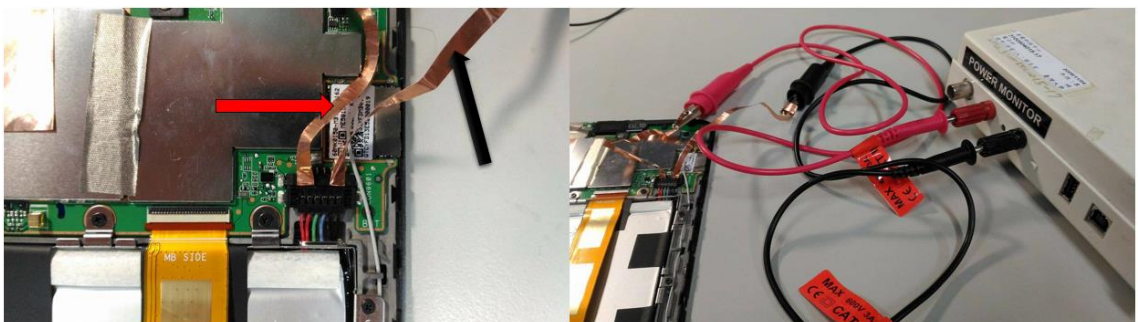


圖 4-3 電力監測計連接平板電腦

4.1.3 背景傳輸量量測方法

背景傳輸耗電量測我們利用的方法如 2.2.4 章節所提到的方法。因為兩台裝置都是 Android5.0 因此都符合條件可以使用。步驟簡單來說利用內建的 shell 指令，將耗電的資料取出存成文字文件，再另外下載 python 程式將資料轉成圖形化介面呈現。



4.2 無線介面開關耗電量測結果

本章節計錄了無線路由器開啟介面的耗電結果，分別有 Wi-Fi 介面、3G、4G、藍芽共四種介面。並且在最後一章節 4.3 會使用這些結果搭配第三章的演算法計算出本研究提出省電方法的表現。

4.2.1 背景耗電

我們第一個量測的項目是路由器的背景耗電，我們分別量測只有開啟藍芽的耗電，和開啟藍芽、行動網路、Wi-Fi 的耗電情況，在後者的量測中，我們也利用 4.1.3 提供的方法量測背景的傳輸量，好佐證當下環境沒有特別的傳輸量。

● ZenFone 2 Laser

首先量測 ZenFone 2 Laser 僅開啟藍芽介面的背景耗電，如圖 4-4 所示，由電力監測器輸入的電壓為 3.8 伏特，量測的總時間為 235 秒，平均消耗能量為 $643.33 \mu\text{Ah}$ ，平均功率為 12.57mW，圖中顯示其中的 60 秒平均功率的變化。

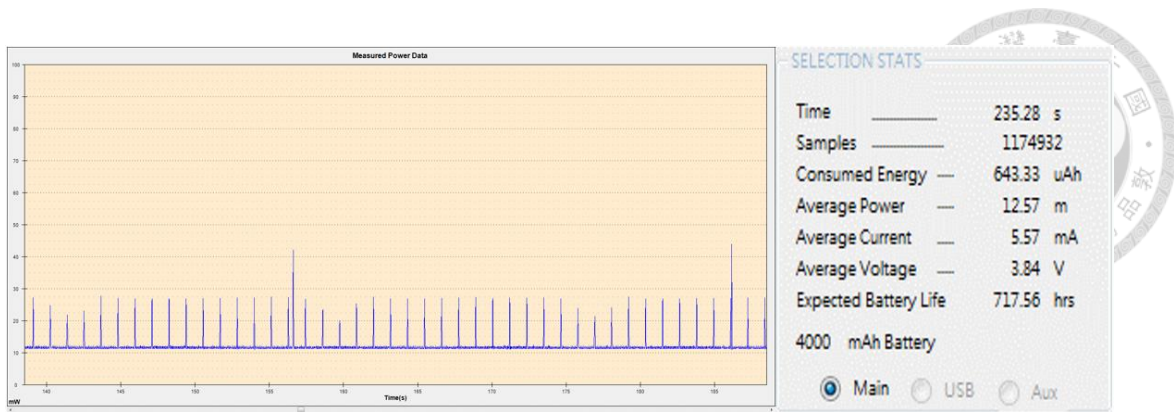


圖 4-4 ZenFone 2 背景耗電(Bluetooth)

第二，我們將其它介面(Wi-Fi、4G)打開再量測一次耗電情形，如圖 4-5 所示，右邊刻度是 100mW，量測的總時間為 79.84 秒，平均耗電 652.95 μ Ah，平均功率 111.85mW。

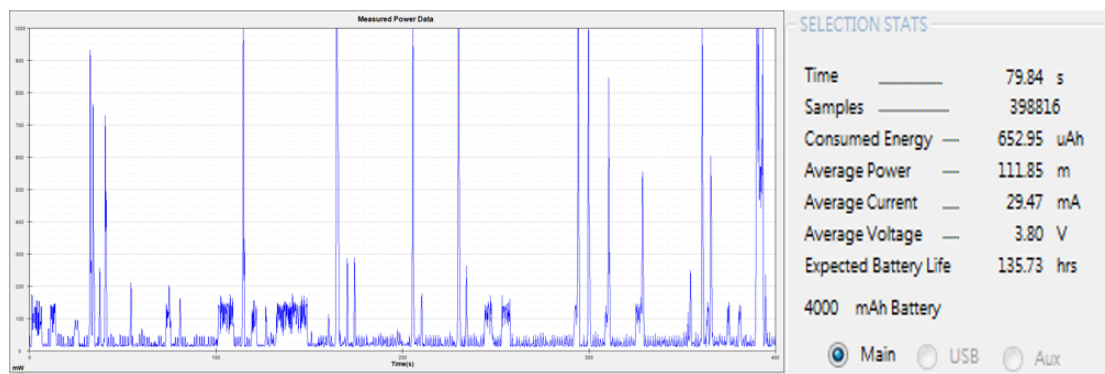


圖 4-5 ZenFone 2 背景耗電(Bluetooth/Wi-Fi/4G)

● ASUS MeMO Pad 8

在平板 ASUS MeMO Pad 8 僅開啟藍芽的背景耗電量，如圖 4-5 所示，由電力監測器輸入的電壓為 3.8 伏特，量測的總時間為 280 秒，平均消耗能量為 2512.76 μ Ah，平均功率為 122.50mW，圖中顯示其中的 80 秒平均功率的變化。

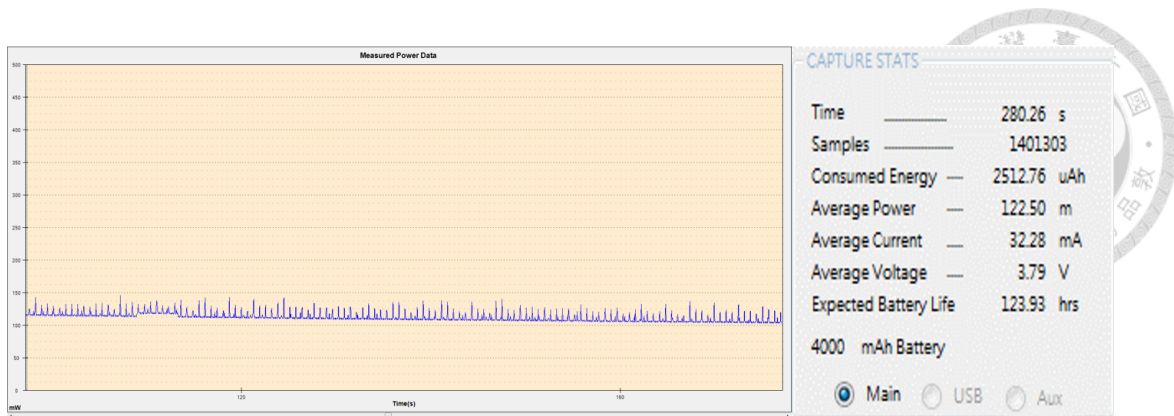


圖 4-6 ASUS MeMO Pad 8 背景耗電(Bluetooth)

然後和手機一樣我們也量測了將 Wi-Fi、4G、Bluetooth 三種介面開啟時的背景耗電。量測的總時間為 148.15 秒，平均消耗能量為 1865.25 μ Ah，平均功率為 172.03mW，圖中顯示其中的 20 到 40 秒平均功率的變化，縱軸是每個刻度 100mW。

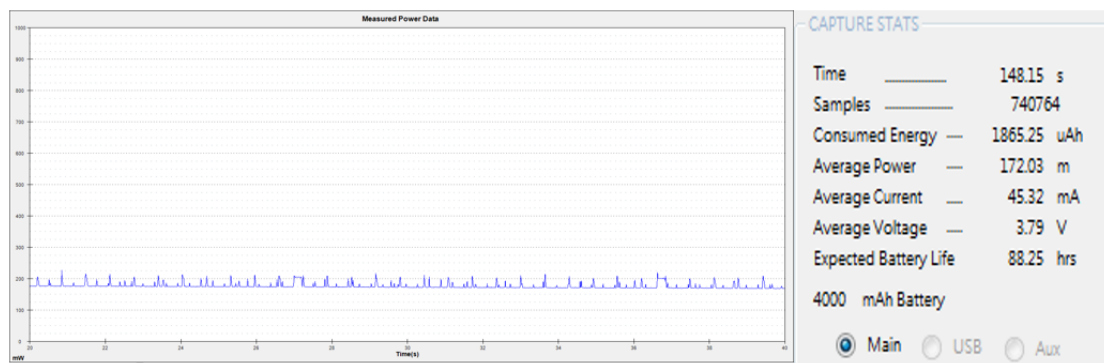


圖 4-7 ASUS MeMO Pad 8 背景耗電(Bluetooth/Wi-Fi/4G)

另外我們也量測了開啟 Bluetooth 和 Wi-Fi 和 3G 的背景耗電情況，總共量測 133.68 秒，平均功率為 198.18mW。

針對平板電腦我們使用先前介紹的耗電量測工具計錄了背景使用的交通量，整理如下表 4-3。總計測量時間為兩小時十七分鐘，雖然開啟了行動網路介面但因為同時也開啟 Wi-Fi 介面，作業系統預設會先使用 Wi-Fi 連網傳輸，因此行動網路的接與收都為零。在 Wi-Fi 方面，平板電腦在沒有使用下，兩小時中傳輸了二十多 MB。



最後我們把此章節量測到的資料整理到表 4-4，當僅開啟藍芽介面的時後，耗電量低，因此為了延長電池壽命，我們需要將沒有使用到的路由器盡量關閉無線介面。

表 4-3 背景傳輸量表

Time on battery	2h 17m 49s 682ms
Time on battery screen off	2h 13m 13s 627ms (95.2%)
Mobile total received	0B
Mobile total sent	0B
Phone signal levels	great 2h 17m 49s 682ms (100.0%)
Wi-Fi total received	21.62MB (packets received 15967)
Wi-Fi total sent	513.04KB (packets sent 3803)

表 4-4 背景耗電量測整理

Average background power			
	only Bluetooth	Bluetooth+4G+Wi-Fi	Bluetooth+3G+Wi-Fi
ZenFone 2 Laser	13 mW	112 mW	146 mW
ASUS MeMO Pad 8	123 mW	172 mW	198 mW

4.2.2 Wi-Fi 介面耗電

● ZenFone 2 Laser

開啟 Wi-Fi 介面的耗電變化如圖 4-8 陰影區域，平均開啟時間為 9.713 秒，平均功率消耗為 838.66mW，經過多次平均後再扣除當時的背景耗電，得到開啟 Wi-Fi 介面的耗電為 208.676 mW。

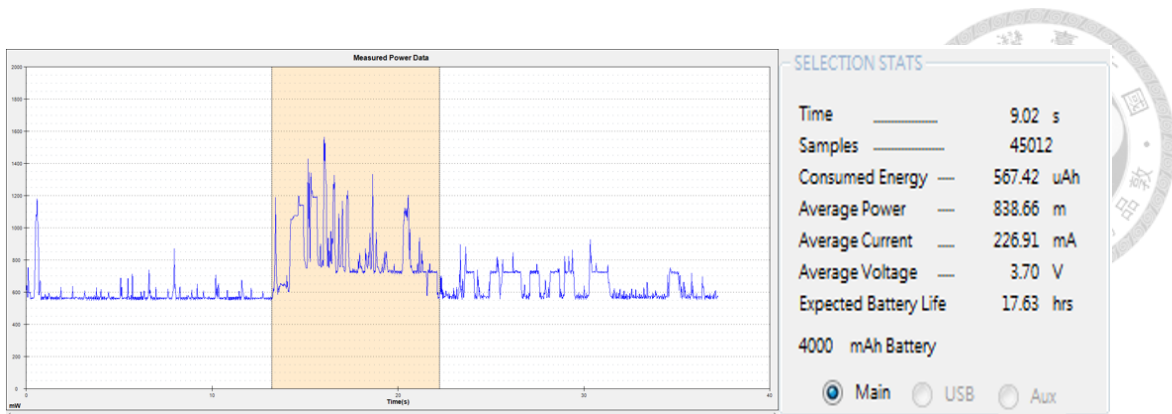


圖 4-8 ZenFone 2 Laser Wi-Fi 介面開啟耗電

- **ASUS MeMO Pad 8**

平板電腦開啟 Wi-Fi 介面的時間平均為 5.23 秒，平均功率消耗為 307.78mW。

我們整理手機與平板開啟 Wi-Fi 介面的平均耗能與時間如下表 4-5。

表 4-5 Wi-Fi 介面開啟耗能

Wi-Fi 介面開啟耗能		
	time(s)	power(mW)
ZenFone 2 Laser	9.71	209
ASUS MeMO Pad 8	5.23	308

4.2.3 3G 介面耗電

- **ZenFone 2 Laser**

接著量測 3G 介面的開啟情況，圖 4-9 為其中一次量測結果，縱軸刻度為 200mW 橫軸時間刻度為 20 秒，從圖中陰影處，我們可以看到一段長時間維持較高的功率，這是 3G 介面可能較其他介面耗能的原因。經過平均後得到開啟介面平均花 16.81 秒，平均功率 328.574mW。

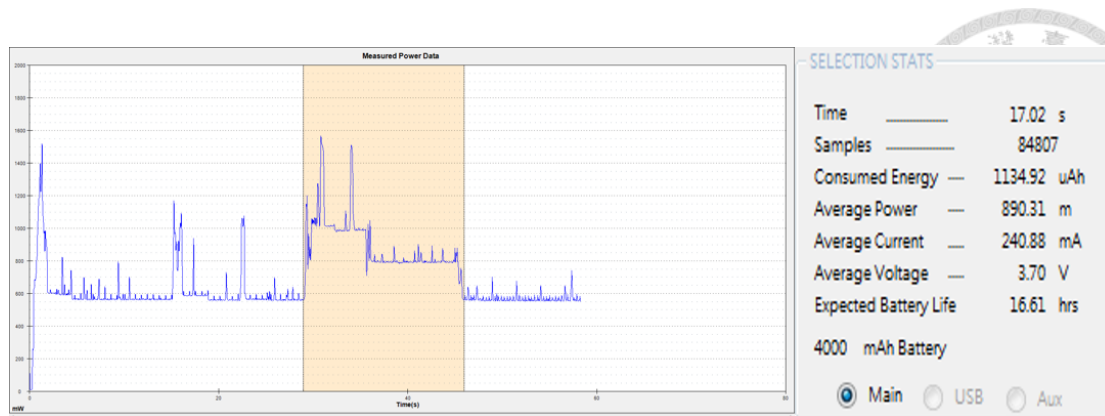


圖 4-9 ZenFone 2 Laser 3G 介面開啟耗電

- **ASUS MeMO Pad 8**

平板部份與手機類似，平均開啟介面時間為 14.73 秒，平均消耗 330.98mW。

整理手機與平板的 3G 介面如下表，整體而言，開啟時間比 Wi-Fi 介面長，耗電量也較多。

表 4-6 3G 介面開啟耗能

3G 介面開啟耗能		
	time(s)	power(mW)
ZenFone 2 Laser	16.81	329
ASUS MeMO Pad 8	14.73	331

4.2.4 4G 介面耗電

- **ZenFone 2 Laser**

除了 3G 和 Wi-Fi 的量測，此兩台 Android 行動裝置都具備 4G 行動網路連網的功能，因此我們也做了 4G 的量測。圖 4-10 顯示在開啟 4G 介面時會有兩個峰值，平均開啟介面花費的時間大約為 5.205 秒，平均耗電量為 874.477mW。

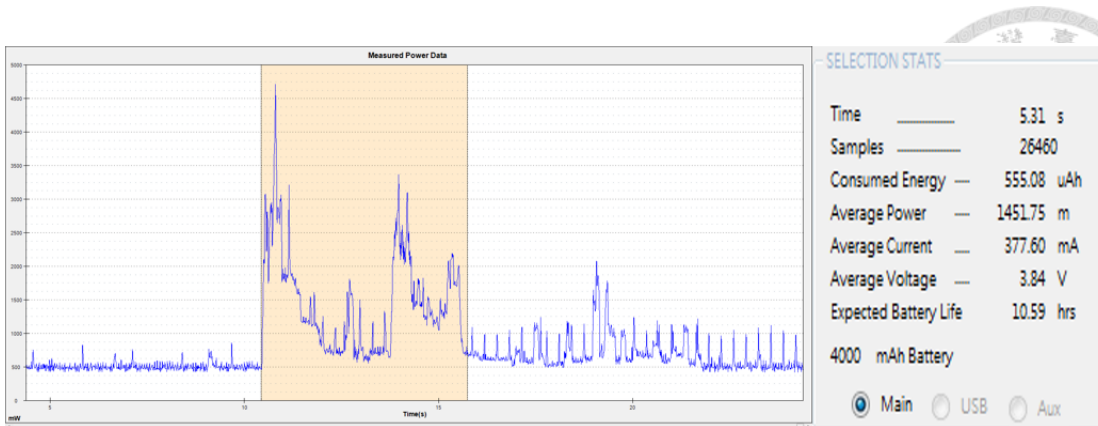


圖 4-10 ZenFone 2 Laser 4G 介面開啟耗電

● **ASUS MeMO Pad 8**

在平板部份，開啟 4G 介面平均花費 6.02 秒，平均消耗 316.84mW。

我們將 4G 介面作整理如下表 4-7，開啟 4G 介面和開啟 Wi-Fi 所花的時間差不多，所花費的能量會比 Wi-Fi 高。

表 4-7 4G 介面開啟耗能

4G 介面開啟耗能		
	time(s)	power(mW)
ZenFone 2 Laser	5.21	874
ASUS MeMO Pad 8	6.02	317

4.2.5 藍芽介面耗電

藍芽雖然是低耗能的介面但是因為它有一個很長的搜尋時間，因此所花費的能量也很可觀，我們量測平板電腦與手機藍芽掃描耗電。量測結果為下表。

表 4-8 藍芽介面開啟耗能

藍芽介面開啟耗能		
	time(s)	power(mW)
ZenFone 2 Laser	14.89	98
ASUS MeMO Pad 8	15.86	80



4.3 路由器存續時間試算

在本節我們使用上述的量測結果，以及第三章介紹的省電機制，計算出此套機制可以延長多久的電池壽命。手機的總電量為 3000mAh，平板的總電量為 4350mAh。所有介面耗能情形詳見表 4-4 到表 4-8。

Android 路由器所配置的電池餘電監測功能可在系統初始時使用，但其反覆使用將會造成路由器額外耗電，因此在後續時間需減少監測週期，僅用耗電模型進行耗電預估。

為了方便比較我們作了一些簡化，假設使用者擁有兩台裝置，一台智慧型手機與平板電腦，假設這兩台裝置都有 Wi-Fi、3G、藍芽三種傳輸介面。以下分三種情境作假設。

4.3.1 使用情境假設

情境一：假設使用者身上有兩台裝置可以當作無線路由器，手機為主要路由器，平板電腦為備用路由器。並且使用者沒有穿戴運動用錄影機，只有三個一般傳輸量較小的感測器，並且路由器並不需要定期上傳資料到後端伺服器。兩台裝置都剩下百分之二十的電量且手機與平板與其他感測器使用藍芽連線。假設裝置之間傳輸不會發生封包遺失。

情境二：假設使用者身上同時有感測器和運動用錄影機，並在沒有 Wi-Fi 存取點的區域，僅使用 3G 行動網路上傳，平常需要週期性上傳資料，假設需要上傳一次大量的影像串流資料。在此情境下我們假設還不會執行無線卸載的機制，也就是上傳影音串流部分並不會讓使用平板進行上傳。至於其餘的假設與情境一相同，假設兩台裝置分別剩下百分之二十的電量，手機與平板和三個感測器使用藍芽連線，假設不會發生傳輸遺失的情況。



情境三：假設使用者同時穿戴感測器和錄影機，並且有免費的 Wi-Fi 存取點，此情境會執行無線卸載機制，讓平板藉由 Wi-Fi 上傳影音資料。

4.3.2 試算結果

首先我們定義參數 B_p 為每次從網路初始至完成所有上傳動作之耗電百分比。耗電的多寡分成四個方面，個別加總後就是 B_p 的百分比值。 b_1 為無線路由器本身背景耗電， b_2 為感測器建立連線的耗電， b_3 為開啟無線介面的耗電 b_4 為上傳網際網路的耗電。故 B_p 可表示為：

$$B_p = b_1 + b_2 + b_3 + b_4$$

其中 $b_1 \sim b_4$ 均以%為單位。 (4.1)

接著我們逐項來介紹這四方面的耗電量如何計算。 b_1 為一個時間的的函數，定義 t 為持續時間，單位為小時， E_{bg} 為每單位時間因為背景耗電消耗多少百分比的電量。 B_L 為電池的總電量，單位為 mWh， E_{bg} 為電池背景耗電量單位 mW。此時 b_1 可表示為：

$$b_1 = E_{bg}t/B_L \cdot 100 \% \quad (4.2)$$

(4.1)式中 b_2 為感測器建立連線的耗電。在此因為感測器分為兩種，一種為傳輸量低的一般感測器，另一種為傳輸量高的穿戴式錄影機，以 k_s 代表一般感測器的個數，而 k_c 代表穿戴式錄影機的個數。 t_s 與 t_c 分別代表路由器與一般感測器或錄影機連線的時間，單位為小時。 E_{BTrs} 與 E_{BTrc} 分別是感測器和錄影機使用藍芽與路由器連線每小時的耗電，單位為 mW。則 b_2 可表示為：

$$b_2 = (E_{BTrs}k_s t_s/B_L + E_{BTrc}k_c t_c/B_L) \cdot 100\% \quad (4.3)$$

b_3 為開啟無線介面的造成的耗電。因為無線介面有三種，所以括號內的三項分別是 3G 介面、Wi-Fi 介面、以及藍芽介面開啟一次造成的百分比消耗。令 g 和 w 和 b 代表開啟的次數， T_{on3G} 與 T_{onwifi} 與 T_{onBT} 為開啟介面需要的時間，單位為

秒。此時為了保持時間單位一致，需要除以 3600 秒作正規化。最後， E_{on3G} 與 E_{onwifi} 與 E_{onBT} 為每次開啟三種介面所耗的能量，單位為 mW。故 b_3 之公式為：

$$b_3 = (T_{on3G}E_{on3G} + T_{onWifi}E_{onWifi} + T_{onBT}E_{onBT})/3600B_L \cdot 100\% \quad (4.4)$$

最後 b_4 代表單次網路上傳所消耗的電量。若我們假設該次上傳時間為 S 秒，且電池電量完全提供 3G 上傳時之總使用時間長度為 h 小時(不計背景耗電)，我們可依兩者比例估算 b_4 百分比。以 3G 上傳為例，此時 b_4 可依(4.5)式計算。

$$b_4 = \frac{S}{3600h} \cdot 100\% \quad (4.5)$$

其中

$$S = 8M/B \quad (4.6)$$

$$h = \frac{B_L}{1000W} \quad (4.7)$$

$$W = J/S = MJ_{3G}/S \quad (4.8)$$

(4.6)式之 S 值為單次上傳時間，等於上傳資料量(以 bytes 計算)除以頻寬(單位為 Mbps)。(4.7)式為路由器單次上傳的總時間，單位為小時。等於電池總電量除以 3G 上傳瓦數，上傳瓦數推導如(4.8)式。因為瓦特等於焦耳除以秒，所以 W 為單次上傳總瓦特， J 為單次上傳總焦耳， S 為上傳花費秒數，另外 B 為 3G 網路頻寬， M 代表上傳的資料量，單位為 bytes。 J_{3G} 和 J_{wifi} 為傳輸每 Mbytes 所消耗的能量，單位焦耳。

因為上傳方式有使用 3G 與 Wi-Fi 兩種，因此我們使用常數 k 來決定使用哪一種介面。所以可將(4.5)寫成通用的格式，如(4.9)式。

$$b_4 = X \cdot M [k J_{3G} + (1 - k) J_{wifi}] / B_L \% \quad (4.9)$$



其中 $k = 0$ or 1 , $k=1$ 代表使用 3G 上傳, $k=0$ 代表使用 Wi-Fi 上傳。 X 為一常數, 其值計算如下, 首先將(4.6)式代入(4.8)式得到 W 為 $J_{3G}B/8$ 。接著將 W 代入(4.7)式得到 h 的常數部份為 0.008。將 0.008 代入(4.5)式的 h , 同時將(4.6)式的常數 8 代入(4.5)式的 S 即可計算出常數 X 之值為 27.78。

接下來我們利用上述的耗電模型來預測雙路由器系統的電池壽命。

● 情境一

情境一為最單純的情況, 表 4-4 量測的結果代入(4.2)式。手機的背景耗 b_{1_phone} 可以推得:

$$b_{1_phone} = \frac{146.47}{3000} \cdot t \cdot 100\% = 4.88233 \cdot t\% \tag{4.10}$$

其中 t 的單位為小時。另外手機與四個感測器連線的耗電可依照(4.3)式, 其中的 E_{BTrs} 和 E_{BTrc} 的數值我們使用[6]所得到的結果, 利用藍芽傳輸, 接收每秒 128Kbytes, 會消耗 456mW。根據[1][28][29][30][31]我們假設四個感測器加起來的資料傳輸率為 26Kbps, 因此按比例換算所需要花費的能量為 92.625mW。因為沒有錄影, 所以 t_c 為零, 並且假設感測器從計算開始就與手機連線, 因此 t_s 等於 t , 故根據(4.3)

$$b_{2_phone} = \left(1 \cdot \frac{92.625}{3000} \cdot t + 0 \right) 100\% = 3.088t\% \tag{4.11}$$

由於第三種耗能為開啟介面的耗能, 而手機不需要重複開啟任何一種介面, 因此我們不需要計算此項耗能。並且在情境一也不需要上傳資料, 因此也沒有第四項耗能。

假設目前手機剩下百分之二十的電量, 當剩下百分之十五時判定需要平板備援。因此將(4.10)與(4.11)式相加並推估如下:

$$5\% = (4.882 + 3.088)t\%$$

將 t 值解出，為 0.63 小時，約等於 37 分鐘。接著我們來計算平板，也就是備用路由器的耗電量，在還沒有執行備援機制之前，備用路由器僅開啟藍芽介面，因此背景耗電量低。從 4.2.1 我們得到平板的背景耗電在只有藍芽的情況下為 122.50mW。由(4.2)式中得到平板在還沒有執行備援機制前的耗電公式為(4.12)。

$$b_{1_tablet} = \frac{122.50}{4350} \cdot t \cdot 100\% = 2.816t\% \quad (4.12)$$

將上述的 0.63 小時代入，依(4.12)可解得平板在背景耗電已經消耗了 1.766% 的電量。

手機和平板之的藍芽連線我們假設資料速率為 10kbps，根據[2]換算得到 35.625mW。假設從開始運作時，手機和平板間已經建立藍芽連線，因此 t_s 與 t 相等，代入(4.3)式得到(4.13)式。

$$b_{2_tablet} = \left(1 \cdot \frac{35.625}{4350} t + 0\right) \cdot 100\% = 0.819t\% \quad (4.13)$$

接著將 0.63 小時，代入(4.13)式，得到耗電 0.514%，再用 20% 減去 1.766% 和 0.514% 得到 17.72%。所以當平板需要備援時電量剩下 17.72%。接著平板需要執行一次藍芽掃描，因為不需要上傳所以就沒有開啟 Wi-Fi 和 3G 介面。當備援成功時，平板會開啟藍芽介面掃描，我們假設理想狀況下只需要掃描一次。此時 b_{3_tablet} 可以用以下計算而得到。

$$b_{3_tablet} = \frac{41.86}{4350/180.345} \cdot \frac{1}{36}\% = 0.048\% \quad (4.14)$$

截至目前為止平板電腦的電量剩下 17.72% 減去 0.048% 等於 17.672%。在藍芽掃描後，平板將會與手機及其他三個感測器使用藍芽連線，所以我們使用(4.3)式來計算，因為所有感測器已換手到平板上，因此 E_{BTrs} 值與計算手機的藍芽連線耗電值相同，為 92.625mW。又因為手機已經處於低電量，因此不會再發生轉

換。感測器會和平板連線直到平板電量耗盡。接著我們計算還有多久時間平板電量才會耗盡。其計算式為:

$$b'_{2_tablet} = 1 \cdot \frac{92.625}{4350} \cdot t \cdot 100 \% = 2.129t \% \quad (4.15)$$

我們將所計算出來藍芽連線的耗電(4.15)與背景耗電相加(4.12)得到4.95t%。再利用剩餘的電量百分比(17.72%)把剩餘可使用時間求出為3.58小時。最後我們得到結論，在兩台裝置都剩下百分之二十的狀況下。利用平板當作備用路由器可以讓手機(主要路由器)進入低電量後，可以讓整個近身網路再運作3.58個小時。

若不執行備援機制，我們將20%的電量除以(4.10)及(4.11)造成的耗電，可推得手機存續時間為2.51小時，因此使用備援機制可以讓整體將整體近身網路延長1.7小時。

● 情境二

情境二開始假設路由器必須定期上傳少量資料到伺服器，並且還需要上傳大量的影音串流資料。因為手機的背景耗電量與時間的關係和情境一相同為4.882t%。所以我們直接計算藍芽連線所消耗的電量。我們套用(4.3)式，現在與手機連線的裝置有一個錄影機和一個平板和三個感測器。首先我們計算與錄影連線的耗電，假設錄影機的資料傳輸速率為500kbytes[29]，換算成耗電為1781.25mW。又因為感測器和錄影機從開始就與手機連線，所以 t_s 和 t_c 都等於 t 。

$$b_{2_phone} = \left(1 \frac{92.625}{3000} t + \frac{1781.25}{3000} t \right) 100\% = (3.088 + 59.375)t \% = 62.463t \% \quad (4.16)$$

我們假設路由器每分鐘需要上傳100Kbytes的資料，每小時上傳6Mbytes。為了使單位一致，我們將時間換算成小時，且將資料換算成Mbytes。除了週期性的上傳還有一次的大量影音資料上傳，我們假設為5Mbytes。我們將此值套入

(4.5)式，根據[5]我們假設 J_{3G} 的值為 100 焦耳。 J_{3G} 為每使用 3G 網路上傳 1Mbytes 所消耗的能量。又因為我們使用 3G 上傳因此 k 等於一。

$$b_{4_phone} = 27.78 \frac{5 + 6t}{3000} 100 \% = (4.63 + 5.556t) \% \quad (4.17)$$

因為沒有牽涉到無線介面的開關所以我們忽略 b_{3_phone} 造成的影響，因此我們將剩餘的耗電項目相加，手機背景耗電(4.10)加上藍芽連線耗電(4.16)再加上上傳的耗電(4.17)後，推得(4.18)式。

$$4.882t \% + 62.463t \% + (4.63 + 5.556t)\% = (72.901t + 4.63)\% \quad (4.18)$$

距離低電量的門檻值還有百分之五，因此我們根據(4.18)式預測，如果上傳影音串流就會低於電量，因此我們選擇不上傳。若我們不上傳 5Mbytes 的影音資料，則可以解得 t 為 0.069。所以，再使用 0.069 小時(4.115 分鐘)，手機剩餘電量低於百分之十五，就會開始執行備援機制。

因為平板與手機的藍芽連線耗電和背景耗電都跟情境一相同。因此我們將(4.12)與(4.13)式相加後，我們將上述 0.069 小時代入公式，解得 0.251%。所以在備援機制執行前平板電腦電量消耗 0.251%，剩下 19.749%的電量。

當備援機制完成後會執行藍芽掃描，並開啟 3G 介面，所以我們代入(4.4)式，計算藍芽掃描耗電式子如(4.19):

$$b_{3_tablet} = \left(\frac{14.73}{4350/330.98} + 0 + \frac{41.86}{4350/180.345} \right) \cdot \frac{1}{36} \% = 0.079\% \quad (4.19)$$

我們計算的剩餘電量減去開啟藍芽介面的耗電後剩下 19.67%的電量。接著計算感測器和錄影機換手過後的平板藍芽連線耗電，感測器連線數目為四，並有一個錄影機，我們將參數代入(4.3)得到(4.20)式如下。

$$b'_{2_tablet} = \left(1 \cdot \frac{92.625}{4350} t + \frac{1781.25}{4350} t \right) 100\% = 43.078 t\% \quad (4.20)$$



平板背景耗電計算如(4.21)式，周期性上傳的耗電計算為(4.22)。背景耗電因為開啟了 Wi-Fi 和 3G 介面因此消耗速度比較高。

$$b'_{1_tablet} = \frac{198.18}{4350} t \cdot 100 \% = 4.556t \% \quad (4.21)$$

假設使用 3G 每分鐘上傳 100kbytes。並且需要上傳一次 5Mbytes 的影音資料，所以總上傳資料量為。5 + 6t Mbytes，代入(4.9)式得(4.22)如下。

$$b_{4_tablet} = 27.78 \cdot \frac{5 + 6t}{4350} \cdot 100 \% = (3.193 + 3.832t) \% \quad (4.22)$$

將此三項 b'_{2_tablet} 和 b'_{1_tablet} 以及 b_{4_tablet} 相加可得到 $(3.193 + 51.466t)\%$ 。我們利用此式以及 19.67% 剩餘電量，算出電池剩餘可使用的時間為 0.32 小時(19.21 分鐘)，加上開始的 4.115 分鐘，平板總共存活了 23.324 分鐘。若不執行備援機制則，我們利用(4.18)式計算手機電池的壽命在剩餘百分之二十的電量下的存續時間，其計算式如下。

$$20 \% = (72.901t + 4.63) \%$$

解得當手機需要週期性上傳資料又需要上傳大量影音資料的情況下為 12.65 分鐘。因此使用平板當作備援路由器可以讓整體網路壽命延長到 23.324 分鐘，

● 情境三

與情境二相似，手機的背景耗電計算可參照(4.10)式，平板的背景耗電則參考(4.12)式。接著計算藍芽連線造成的耗電，因為無線卸載機制所以錄影機會與平板連線，因此套用(4.3)可以得到手機的連線耗電為(4.23)且平板的則為(4.24)

$$b_{2_phone} = \left(1 \frac{92.625}{3000} t + 0\right) 100 \% = (3.088 + 0)t \% = 3.088t \% \quad (4.23)$$

$$b_{2_tablet} = \left(\frac{35.625}{4350}t + \frac{1781.25}{4350}t \right) 100\% = 41.767t\% \quad (4.24)$$

假設平板使用 Wi-Fi 上傳影音資料，因此根據[16]，使用 Wi-Fi 上傳 1Mbytes 所需要的能量假設為 10J，所以套用(4.9)式得到(4.25)如下。

$$b_{4_tablet} = 27.78 \cdot \frac{5}{4350} \cdot 10\% = 0.319\% \quad (4.25)$$

因為感測器與手機連線，因此平板只上傳 5Mbytes 的資料，沒有額外的上傳並解出消耗 0.319% 的電量。另外，因為上傳之前也需要開啟 Wi-Fi 介面，因此利用(4.4)式推得平板開啟 Wi-Fi 介面耗電為(4.26)，相關參數參考表 4-5。

$$b_{3_tablet} = \left(0 + \frac{5.23}{4350/307.78} + 0 \right) \cdot \frac{1}{36}\% = 0.01\% \quad (4.26)$$

所以利用(4.25)及(4.26)計算，開啟 Wi-Fi 介面並使用 Wi-Fi 上傳完 5Mbytes 後平板剩餘電量為 19.671 百分比。接著計算平板還剩下多少時間會低於百分之十五的電量。我們利用(4.24)和(4.12)計算，推導如下：

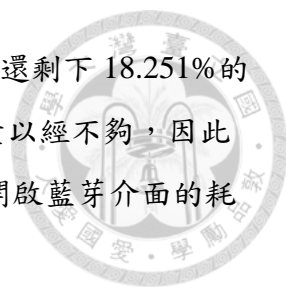
$$4.671\% = (41.767 + 2.816)t\% = 44.583t\%$$

解得 t 值為0.105 小時(6.28 分鐘)，所以平板再經過 0.105 小時後會進入低電量狀態並執行備援機制。另一方面，手機仍會使用 3G 網路週期性上傳資料，與情境二相同套用(4.5)式推得(4.27)如下。

$$b_{4_phone} = 27.78 \frac{6t}{3000} \cdot 100\% = 5.556t\% \quad (4.27)$$

我們計算 0.105 小時內，手機因為背景耗電以及和感測器連線還有週期性上傳所消耗的電量，因此將(4.10)(4.23)(4.27)三式相加，計算如下：

$$b_{1_phone} + b_{2_phone} + b_{4_phone} = 4.882t\% + 3.088t\% + 5.556t\% = 13.526t\%$$



並將 0.105 小時代入上式，解得總共耗電 1.42%，因此手機還剩下 18.251% 的電量。當手機剩下 18.251% 電量時會發生備援動作因為平板電量以經不夠，因此手機會開啟藍芽掃描，而錄影機也會連線回手機。所以先計算開啟藍芽介面的耗電套用(4.4)式，推得(4.28)式如下。

$$b_{3_phone} = \left(0 + 0 + \frac{15.86}{3000/80.345} \right) \cdot \frac{1}{36} \% = 0.012\% \quad (4.28)$$

手機電量減去開啟藍芽介面耗能後，所剩餘電量為 18.239 %。接著連線耗電也跟著改變，因為錄影機已經連接上手機，所以再一次套用(4.4)式，推得手機備援的背景耗電如(4.29)。

$$b'_{2_phone} = \left(1 \frac{92.625}{3000} t + \frac{1781.25}{3000} t \right) 100\% = (3.088 + 59.375)t \% = 62.463 \% \quad (4.29)$$

最後我們將所有的耗電項目加總，推導出隨時間的消耗的電量公式如(4.30)。

$$b_{1_phone} + b'_{2_phone} + b_{4_phone} = 4.882t \% + 62.463t \% + 5.556t\% = 72.901t \% \quad (4.30)$$

利用上式及手機剩餘電量 18.239% 解得手機存續時間為 15.011 分鐘，加上開始時經過的 6.28 分鐘，總共為 21.29 分鐘。

最後比較手機沒有備援與無線卸載機制，剩下 20% 電量的存續時間。先計算使用 Wi-Fi 上傳 5Mbytes 須要的電量，套用(4.9)式得到(4.31)如下。

$$b_{4_phone} = 27.78 \frac{5}{3000} \cdot 10 \% = 0.463\% \quad (4.31)$$

將 Wi-Fi 上傳耗電加上其餘項目的耗電，也就是(4.31)加上(4.30)式，可解得存續時間為 0.268 小時(16.08 分鐘)。但如果有備用的平板電腦當作路由器，且執行無線卸載機制，可以延長整體網路到 21.29 分鐘。



4.3.3 小結

將三個案例整理之後可得到表 4-9。換言之，藉由本章的能量消耗模型可以預測路由器的存續時間，雙路由器的存續時間為從起始電量到任一台路由器電量規零為止。在情境一時，因為沒有錄影機連線因此電池壽命最久。在情境二時需要使用 3G 網路上傳大量資料，因此會很耗電，所以同樣初始為 20% 的電量下，能存續的時間最短。而情境三雖然使用 Wi-Fi 上傳較省電，單路由器存續時間較情境二長，但因為機制設計的關係，將錄影機械載到平板後只用了百分之五的電量，然後就將裝置換手回手機，因此整體而言沒有情境二延長的時間多。

若將剩餘初始電量改為百分之八十重新試算，則可發現三種情境的延長幅度大為增加，情境二甚至可以達到 123%，可以超過百分之百的原因在於雙路由器網路存續時間是一台手機加上一台平板的壽命，此兩台裝置總電量不同。而單路由器是指僅一台手機的存續時間。從表 4-10 可以看出情境三，也就是執行無線卸載機制利用 Wi-Fi 上傳確實可以達到省電的效果，相對於初始電量為 20% 的雙路由器存續時間進步了將近 70%。

另外我們也利用第三章模擬程式進行情境二和三的雙路由器存續時間之模擬，其模擬結果與試算之比較如表 4-11。路由器存續時間與我們試算的結果相近，誤差約為三分鐘，此誤差來源係因為在模擬程式中已將 packet loss 情形納入模擬，packet loss rate 約為 5.72%，造成傳輸活動增加，而提升耗能。

表 4-9 情境結果整理之一

情境	內容簡介	主要路由器起 始剩餘電量	備用路由器起 始剩餘電量	單路由器 存續時間	雙路由器 存續時間	延長幅度
情境一	無錄影機， 無上傳行為	20%	20%	2.51 hrs	4.21 hrs	67.73%
情境二	支援錄影機 3G 上傳， 無卸載機制	20%	20%	12.65 mins	23.32 mins	84.35%
情境三	執行卸載機 制使用 Wi- Fi 上傳	20%	20%	16.08 mins	21.29 mins	32.4%

表 4-10 情境結果整理之二

情境	內容簡介	主要路由器起 始剩餘電量	備用路由器起 始剩餘電量	單路由器 存續時間	雙路由器 存續時間	延長幅度
情境一	無錄影機，無 上傳行為	80%	80%	10.04 hrs	18.32 hrs	82.47 %
情境二	支援錄影機， 3G 網路上傳， 無卸載機制	80%	80%	1.03 hrs	2.3 hrs	123.3%
情境三	執行卸載機 制，使用 Wi- Fi 上傳	80%	80%	1.09 hrs	2.2 hrs	101.8%

表 4-11 模擬與理論試算存續時間比較

情境	內容簡介	雙路由器試算 存續時間	雙路由器模擬 存續時間
情境二	支援錄影機 3G 上傳， 無卸載機制	23.32 mins	20 mins
情境三	執行卸載機制， 使用 Wi-Fi 上傳	21.29 mins	18.5 mins

第五章 結論與未來研究工作



5.1 結論

因為近身網路中裝置電池的續航力有限，其中又以個人無線路由器的續航力最差，因此本研究提出在傳統的近身網路中同時存在兩個無線路由器的新近身網路架構以及備援節能機制，研究目的是要延長兩個路由器的總壽命。

本研究中我們定義兩個路由器扮演的角色，一台為主要路由器，另一台為備用路由器。為了讓兩台路由器協同運作以省電，本研究提出兩個機制，第一為交互備援機制，第二為無線卸載機制。在交互備援機制中，當其中一台路由器電量耗盡，另一台路由器需要取代原本路由器的工作，收集感測器的資料並且定期上傳到後端伺服器。當兩者都有電時，備援路由器盡量不作任何動作僅保持與主要路由器的藍芽連線以省電。另外在啟動無線卸載機制時，主要路由器可以利用備用路由器上傳大量交通流至 Wi-Fi 以達省電。我們並將所提出的機制利用網路模擬軟 Castalia 體進行完整測試，證明設計機制運作正確可行。透過本研究設計的機制可以在不中斷網路連線的情況下延長整體近身網路壽命，確保使用者有更長久且穩定的近身網路應用。

此外本研究也針對手機與平板進行量測，利用量測結果和參考文獻的量測數據，建立耗能模型，將耗電來源分成四個項目，分別為背景耗電、藍芽連線耗電、開啟無線介面耗電、上傳資料耗電。最後我們也分情境作耗電的試算，可以依照目前兩台路由器的電量預測近身網路可以存活的時間。此計算程序可延續複製再其他行動裝置的耗電預估，提供使用者在其裝置電量有限的情況下，一個確保使用穩定的判斷依據。



5.2 未來研究工作

建議此領域未來可以朝幾個方面繼續深入研究，第一，時間延遲方面可考慮特定應用為延遲時間之要求。第二，利用數學最佳化方法最大化兩台裝置的電池壽命，決定備援機制執行的時間。第三，將此協定實作在真實以 Android 為作業系統的平板和手機上，再進行更完整的量測。以下分別予以說明。

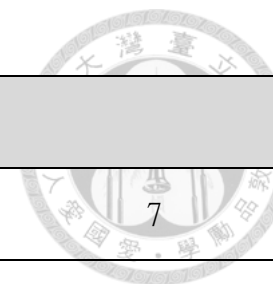
本研究的機制設計僅考慮到路由器節能的議題，但在近身網路中另一個重要的問是延遲，在某些醫療監測或控制上的應用需要很低的延遲，所以若加入延遲的限制，則協定中的參數和計時器如何設定是可以研究的問題，並且如何在延遲與節能兩者間取得平衡也是一個值得探討的議題。

第二方面，因為我們假設低於百分之十五電量時為低電量情況，需要進行備援機制，但因為不同裝置的電池容量不同，所以每台裝置的百分之十五所包含的剩餘電量不同，因此在備援機制執行時機，可以再作進一步研究。另外，無線卸載機制僅考慮把傳輸量最大的錄影機卸載到備用路由器，但假設沒有錄影機存在，那剩下的感測器如何依照傳輸量以及兩台路由器的剩餘電量，分配要連接哪台路由器，使得整體壽命最大化。這個最佳化問題仍有待解決。

最後若是能將所設計的機制實作在 Android 手機或平板上再針對運作中各種動作做更完整的耗電量測，包括備援以及無線卸載的耗電成本有實際的數據。因為在試算耗電的時候都是考慮理想的通訊，也就是沒有封包遺失，但實計的近身網路傳輸存在高的封包遺失率，所以實際上執行機制的成本還需要做進一步的量測與計算。

未來若能持續投入研究，相信有助於以近身網路科技來提升人類的生活方便與福祉。

附錄一 狀態轉換與觸發事件對應表



		Next state											
		1		2		3		4		5	6	7	8
Current state	1 (Main start)	1 timer Tnc expires	1-1 check battery life 1-2 set timer Tnc	1 rev ACK_offload	1 disconnect camera	1 battery life < B%	1-1 send handover message 1-2 set Num=K 1-3 set timer Thr 1-4 set timer Tnc						
	2	2 timer Tor expires	2-1 send offload message 2-2 set timer Tor										
		1 Tdh expires	1 BT scan and connect to camera	1 rev handover message	1-1 set timer Tdh 1-2 check battery life 1-3 set flag=1			1 battery life < B%	1-1 send handover message 1-2 set Num=K 1-3 set timer Thr 1-4 set timer Tnc				
				2 timer Tnc expires	2-1 check battery life 2-2 set flag =0								
				3 battery life > B%	3-1 If flag=1, send ACK_handover 3-2 If flag=0, set timer Tnc								



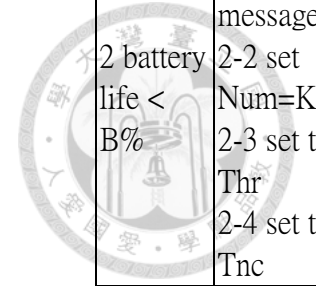
					2-3 set timer Thr 2-4 set timer Tnc				
					3 timer Thr expires	3-1 Num=Num-1 3-2 send handover message 3-3 set timer Thr			
				4 Num=0	4 set Num=K				
4		1 battery life > B%	1 set timer Tnc			1 timer Tnc expires	1 check battery life	1 rev ACK_handover	1 disconnect sensors
						2 battery life < B%	2-1 send handover message 2-2 set Num=K 2-3 set timer Thr 2-3 set timer Tnc		
						3 timer Thr expires	3-1 Num=Num-1 3-2 send handover message		

							3-3 set timer Thr			
							4 Num=0	4 set Num=K		



		Next state										
		1	2	3	4	5	6	7	8			
Current state	5 (Backup start)	1 timer Tdh expires	1 BT scan and connect to all devices			1 timer Tnc expires 2 rev offload message 3 battery life > B% 4 rev handover message	1-1 check battery life 1-2 set flag=0 2-1 set timer Tdo 2-2 set flag=1 2-3 check battery life 3-1 if flag=0, set timer Tnc 3-2 if flag=1, send ACK_offload 3-3 if flag=2, send ACK_handover 4-1 set timer Tdh 4-2 set flag=2 4-3 check battery life	1 timer Tdo expires	1 BT scans camera and connect	1 battery life < B%	1 set timer Tnc	
	6	1 timer Tdh expires	1 BT scan and connect					1 rev handover message	1-1 set timer Tdh 1-2 set flag=1		1 battery life < B%	1 set timer Tnc

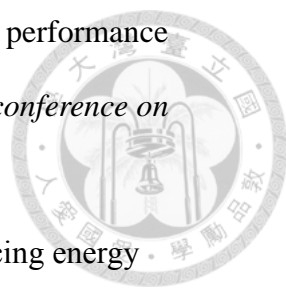
								2-1 send handover message
							2 battery life < B%	2-2 set Num=K 2-3 set timer Thr 2-4 set timer Tnc
							3 timer Thr expires	3-1 Num=Num-1 3-2 send handover message 3-3 set timer Thr
							4 Num=0	4 set Num=K



參考文獻



- [1] S. Movassaghi, M. Abolhasan, J. Lipman, D. Smith, A. Jamalipour, “Wireless Body Area Networks: A Survey,” *IEEE Commun. Surv. Tutor*, 2014.
- [2] Dlink, <http://www.dlinktw.com.tw/index>
- [3] G. Anastasi, M. Conti, M. Di Francesco, and A. Passarella, “Energy conservation in wireless sensor networks: A survey,” *Ad Hoc Networks*, vol. 7, no. 3, pp. 537–568, May 2009.
- [4] G. Kalic, I. Bojic, and M. Kusek, “Energy consumption in android phones when using wireless communication technologies,” in *Proc. of 35th Int. Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics*, 2012.
- [5] B. T. Oporto, E. G. C. Gutierrez, and R. E. Arisaca, “Networking strategy choice based in data transfer in Android devices,” *Information Society (i-Society)*, pp. 196–199, Jun. 2013.
- [6] R. Friedman, A. Kogan, and Y. Krivolapov, “On power and throughput tradeoffs of WiFi and Bluetooth in Smartphones,” *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 12, no. 7, pp. 1363–1376, Jul. 2013.
- [7] T. Pering, Y. Agarwal, R. Gupta, and R. Want, “CoolSpots: reducing the power consumption of wireless mobile devices with multiple radio interfaces,” *Proceedings of the 4th international conference on Mobile systems, applications and services - MobiSys*, 2006.
- [8] P. Augustyniak, “Body area sensor network with automatically selected transmission gateways,” *Information Technology (ICIT)*, 2nd Int. Conf. on, pp.223-226, 2010.

- 
- [9] G. Ananthanarayanan and I. Stoica, "Blue-Fi: enhancing Wi-Fi performance using bluetooth signals," *Proceedings of the 7th international conference on Mobile systems, applications, and services - Mobisys*, 2009.
- [10] T. Zhang, S. Madhani, P. Gurung, and E. van den Berg, "Reducing energy consumption on mobile devices with WiFi interfaces," *GLOBECOM '05. IEEE Global Telecommunications Conference*, 2005.
- [11] S. Lee, M. Annavaram, "Wireless body area networks: Where does energy go?" *IISWC IEEE Computer Society*, pp. 25-35, 2012
- [12] A. Rice and S. Hay, "Decomposing power measurements for mobile devices," *2010 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom)*, Mar. 2010.
- [13] D.-R. Wu and K.-Y. Chen, "The analysis of wireless throughput and power consumption on Android systems," *2014 IEEE International Conference on Consumer Electronics - Taiwan*, May 2014.
- [14] S. Movassaghi, P. Arab, and M. Abolhasan, "Wireless technologies for body area networks: Characteristics and challenges," *2012 International Symposium on Communications and Information Technologies (ISCIT)*, Oct. 2012.
- [15] B. Latr'e, B. Braem, I. Moerman, C. Blondia, and P. Demeester, "A survey on wireless body area networks," *Wireless Network*, vol. 17, pp. 1–18, Jan. 2011.
- [16] M. Soini, J. Nummela, P. Oksa, L. Ukkonen, and L. Sydänheimo, "Wireless Body Area Network For Hip Rehabilitation System," *Ubiquitous Computing and Communication Journal*, vol. 3, no. 5, 2011.
- [17] S. Chakraborty, "Study on Topology Control in Body Area Network," *Internet Technologies and Applications*, 2015.

- [18] A. Awad, M. Hamdy, and A. Mohamed, "Transmission delay Minimization for energy constrained communication in wireless body area sensor networks," *2014 6th International Conference on New Technologies, Mobility and Security (NTMS)*, Mar. 2014.
- [19] M. Murat and Köksal, "A survey of network simulators supporting wireless networks," 2008.
- [20] Android Open Source Project, <https://source.android.com/devices/>.
- [21] Android Developer, <http://developer.android.com>.
- [22] GitHub, <https://github.com>.
- [23] Castalia, <https://castalia.forge.nicta.com.au/index.php/en/>
- [24] OMNeT++, <https://omnetpp.org/>
- [25] National ICT Australia, <http://www.nicta.com.au/>
- [26] Castlia User Manual, available at <https://forge.nicta.com.au/docman/view.php/301/592/Castalia+-+User+Manual.pdf>
- [27] Monsoon Solutions Inc., <https://www.msoon.com/LabEquipment/PowerMonitor/>
- [28] Fitbit, About Fitbit Charge HR, available at http://help.fitbit.com/articles/en_US/Help_article/About-Fitbit-Charge-HR
- [29] Polar, Polar FS1/FS2c/FS3C™ User Manual, available at http://www.polar.com/support_files/en/C225742500419A8AC2257007003D1CA/A/Polar_FS1_FS2c_FS3c_user_manual_English.pdf
- [30] Small Animal Cardiology, available at <http://research.vet.upenn.edu/smallanimalcardiology/ECGTutorial/DeterminingHeartRate/tabid/4959/Default.aspx>



[31] XCSHOP, GoPro HD Helmet HERO Video Camera,

<http://www.xcshop.com/shop/product.php/302/gopro-hd-helmet-hero-video-camera>

