

東海大學高階經營管理碩士在職專班(研究所)
碩士學位論文

行動寬頻上網流量服務之碳足跡評估：
以電信業台灣大哥大公司為例

Carbon Footprint Assessment of Mobile Broadband Internet
Traffic Services- A case study of Taiwan Mobile in the
telecommunications industry

指導教授：張永和 博士

研究生：陳堯勛 撰

中華民國 108 年 6 月

論文名稱：行動寬頻上網流量服務之碳足跡評估：以電信業台灣大哥大公司為例

校所名稱：東海大學高階經營管理碩士在職專班（研究所）

畢業時間：2019 年 06 月

研 究 生：陳堯勛

指導教授：張永和

論文摘要：

隨著行動寬頻上網服務普及，以及筆記型電腦、平板、智慧型手機與 app 應用的推陳出新，觀察國際的發展趨勢其中智慧裝置、寬頻網路以及智慧雲端的應用，都成為現代社會大部分民眾生活中不可或缺的三要素。

本研究計算以台灣大哥大的用戶採集每傳輸 1MB 數位資料作為功能單位，在於生命週期評估各階段包含設計取得、建設服務以及廢棄處理階段的溫室氣體總排放量，並依照消費者所使用的行動上網載具與網路傳輸形式；計算當台灣大哥大用戶使用智慧型手機以 3G 或 4G 網路服務，傳輸 1MB 網路流量的碳排放分別為 0.49 與 0.60 (g CO₂e/MB) 的二氧化碳排放量。

在使用行動裝置透過行動寬頻上網服務，服務階段中碳排放量最大的部分是網路的傳輸，其中又以 4G 網路數據傳輸的碳排放量又高於 3G。而其中資源耗用主要為電力，未來 5G 基地台總耗電又是 4G 的 9 倍，所以電信業的機房設備電力可提升綠色能源的使用比例、提高能源使用效率、提供永續產品甚至透過電信業雲端運算能力協助客戶解決全球暖化之問題，以降低電信業營運對於自然環境的衝擊。

【關鍵字】行動寬頻上網、生命週期評估、碳足跡

Title of Thesis : Carbon Footprint Assessment of Mobile Broadband Internet Traffic Services- a case study of Taiwan Mobile in the telecommunications industry

Name of Institute : Tunghai University

Executive Master of Business Administration Program

Graduation Time : (06/2019)

Student Name : CHEN YAO-HSUN

Advisor Name : Changy Professor

Abstract :

With the popularity of mobile broadband Internet services, as well as the development of notebook computers, tablets, smart phones and app applications, observing the international development trend, smart devices, broadband networks and smart cloud applications have become the majority of people in modern society. The three elements that are indispensable.

This study calculates the total amount of 1 megabytes of data transmitted by users of Taiwan's Big Brother as a functional unit, including the total greenhouse gas emissions from the design acquisition, construction services, and disposal stages at each stage of the life cycle assessment, and in accordance with the actions used by consumers. Internet vehicle and network transmission; calculate the carbon emissions of 0.49 and 0.60 (g CO₂e/MB) for the transmission of 1MB of network traffic when Taiwanese big brothers use smart phones to use 3G or 4G network services.

In the use of mobile devices through mobile broadband services, the largest part of the carbon emissions in the service phase is the transmission of the network, which in turn uses 4G network data to transmit carbon emissions higher than 3G. The resource consumption is mainly electricity. In the future, the total power consumption of 5G base stations is 9 times that of 4G. Therefore, the equipment room power of the telecom

industry can increase the proportion of green energy use, improve energy efficiency, provide sustainable products and even through telecommunications. Cloud computing capabilities help customers solve global warming problems to reduce the impact of telecom operations on the natural environment.

Key words: Mobile broadband Internet access 、 life cycle assessment 、 carbon footprint



致 謝

兩年 EMBA 的學習之旅一晃眼就過，回想起剛入學時的資料審查和面試的畫面，心裡面更是倍感充實，當我寫完這篇碩士論文的時刻，心中有一種如釋重負的感覺。首先要感謝我的論文指導老師張永和博士。感謝張老師在忙碌的上課教學與行政工作中擠出時間來指導、並修改我的論文。還有回想教過我的所有老師們，認真教學的態度一直是我工作職場上學習的榜樣，對於學生們循循善誘的教導和毫無保留的傾囊相授給予我無盡的啟發。感謝這兩年中陪伴的 106 周間班同學，感謝為我提出的有益的建議和意見，有了你們的支持、鼓勵和幫助，我才能充實的度過了兩年的忙碌學習生活。也謝謝論文小組的同學們，家銘、國良、致翔、萬水、秀華，雖然大家各自的題目不同，但共同為論文打拼，朝著畢業目標邁進，互相關懷的情誼已雋刻在腦海中。

在此時心中充滿著感恩，我要感謝身邊的每一個人，也許只是一句論文加油這樣的鼓勵的話，但都點滴記錄在我的心頭，更成為可以持續努力的動力，也許沒能精確的記下每次感動的時刻，但細小的關懷都會化成為一種內在的力量，讓我在情緒低落時能重新獲得鼓勵，最後要感謝在整個論文寫作過程中幫助過我的每一位人，謝謝你們。

陳堯勛 謹致

中華民國 108 年 6 月

東海大學在職碩士班

目次

第一章 緒論.....	1
第一節 研究背景與動機.....	1
第二節 研究目的.....	4
第三節 研究架構.....	5
第二章 文獻探討.....	7
第一節 台灣電信業之發展現況.....	7
第二節 國內行動上網裝置與上網服務介紹.....	7
第三節 電信業對於環境永續的承諾與作為.....	11
第四節 生命週期評估.....	14
第五節 碳足跡.....	15
第三章 研究方法.....	18
第一節 研究架構.....	18
第二節 研究步驟.....	21
第三節 研究分析方法.....	23
第四章 個案分析.....	27
第一節 生命週期之盤查資料蒐集.....	27
第二節 行動上網流量碳足跡評估結果.....	29
第三節 行動寬頻上網流量碳足跡結果分析.....	32
第五章 結論與建議.....	36
第一節 結論.....	36
第二節 建議.....	37
參考文獻.....	39

表 次

表 2-2-1	NCC 統計資料，累計到 2018 年 1 月底	7
表 2-3-1	電信業者實際作為與進度	11
表 2-3-2	2017 年減碳目標	13
表 2-4-1	生命週期評估(LCA)工具比較	15
表 2-5-1	國內外碳足跡資料庫以及生命週期評估資料庫彙整	17
表 3-2-1	碳排放係數表	22
表 3-3-1	設計取得階段盤查清單	24
表 3-3-2	建設服務階段(3G)盤查清單	25
表 3-3-3	建設服務階段(4G)盤查清單	26
表 3-3-4	為廢棄處理階段盤查清單	26
表 4-2-1	機房碳足跡分析結果(單位為 kg CO ₂ e)	29
表 4-3-1	臺灣電信用戶數與數據傳輸量比較圖	33



圖 次

圖 1-1-1	雲端運算中心與基地台設備演化	3
圖 1-3-1	研究架構流程圖	6
圖 2-2-1	LTE 網路架構	8
圖 2-2-2	MME 行動管理裝置	9
圖 2-2-3	S-GW 和 PDN-GW	9
圖 2-2-4	MRTG 流量圖	10
圖 2-3-1	台灣大哥大公司的減碳趨勢和節電趨勢	12
圖 2-4-1	生命週期評估(Life Cycle Assessment, LCA) 系統分析	14
圖 2-5-1	台灣碳標籤圖示	16
圖 3-1-1	行動上網流量碳足跡生命週期系統邊界	18
圖 3-1-2	通訊機房能耗結構與節能方向	21
圖 3-3-1	行動網路設備架構圖	25
圖 4-1-1	基地台功耗	28
圖 4-2-1	3G 網路流量各階段碳排放量圖	30
圖 4-2-2	4G 網路流量各階段碳排放量圖	31
圖 4-2-3	(3G)基地台各階段二氧化碳排放比例圖	32
圖 4-2-4	(4G)基地台各階段二氧化碳排放比例圖	32
圖 4-3-1	全球 36 個國家行動數據平均消費量變化	34

第一章 緒論

第一節 研究背景與動機

最近幾年來，網路世界所發生大記事就是來自於智慧型手機的興起，造成手機行動上網大流行，讓各種行為模式漸漸都跟手機相關聯。行動寬頻上網服務調查資料所示，在台灣平均每個人一天使用手機高達 150 次，每個人使用手機上網時間也長達 197 分鐘。大部分的人使用手機或平板的時間，已經是看電視時間的 2 倍多，另外統計每個人同時觀看雙螢幕的時間也超過 515 分鐘。大部分的手機用戶從早上起床開始，許多的行為模式都脫離不了手機，例如使用氣象 App、新聞 App、股市 App，再到搜尋平台瀏覽每日好康推薦，手機幾乎已成為人們每天的重要夥伴。

隨著行動寬頻上網服務普及，智慧型手機、平板、筆記型電腦與 app 應用的推陳出新，智慧裝置、行動寬頻上網及雲端的應用，已成為現代化社會中不可或缺的三要素，對於民眾的生活品質及便利性的提升有重要影響。在行動寬頻上網方面，可見到全球的行動上網數據流量將呈現爆炸性的成長。根據電信業者的數據資料，從 2013 年第三季開始，全球的行動上網用戶總用戶數約達到 66 億人，一直到 2019 年底就可能達到 93 億之多；而全球行動上網數據總流量可望達到 61% 的複合年均成長率，預計至 2019 年底，每月上網數據流量將平均達 15.9 EB(Exabyte ; EB=1,024TB) (註)。

手機功能愈來愈聰明，而支援行動通訊的背後卻是相當耗電的雲端資料運算中心的基地台。根據網路設備商 Cisco 的資料，2009 年每一隻智慧手機單月傳輸量平均為 35MB，到 2010 年則會成長至 79MB，到了 2015 年將成長為 1.3GB，同年全球的傳輸總將比 2010 年成長 26 倍，達到 6.3EB(註)。

雲端運算中心則是由許多伺服器及儲存設備所組成，但依據機房構型設計的不同，大約百分之五十的電力將用於空調，而只有百分之五十用於 IT 設備本身。

註: EB (exabytes) :是指資訊容量的單位，1EB=10⁹ GB。

至於舊款無線基地台則因為體積龐大，每月耗電量也會特別大。雲端技術真的對環境比較好嗎？許多的組織都對這項議題進行研究，並以碳排放(Carbon emission)量或能源消耗量來進行評估，如圖 1-1-1 雲端運算中心與基地台設備演化。

首先，碳排放量是計算產品從採購產品的原料開始到廢棄物處理為止，整個生命週期中一切活動產生的二氧化碳 CO₂ 總量。根據國際氣象組織與全球電子化可持續性計畫(GeSI)所發表的 SMART2020 指出，雖到了 2020 年個人電腦和手機的數量會成長數倍之多，而使得碳排放量節節地升高，但隨著科技進步，雲端業者將會大量利用太陽、水利等可再生能源(renewable energy)，降低高污染核能與火力發電的比重，同時透過智慧電網(Smart grid)來改善用電的效率。此外水冷式伺服器的技術也可以降低電力的消耗，再搭配零排放的建築並將機房設置在緯度較高的地方，以及開發更有效率的傳輸系統有助於降低能源的用量。預估到了 2020 年碳排放的總量可減少 7.8 億噸，也較 2008 年下降 15%。

至於基地台將以新式的環保基地台設備取代舊款設備；新式技術突破距離的限制，可減少建設基地台的數量，並使用智慧套件將無線網路利用最佳化，最高可以節省 70%的耗電量。以上為了環保而進行的種種努力不但對於我們的環境有助益，也對企業本身也有經濟效益來做為回饋。

資料中心和基地台是非常耗電的設施

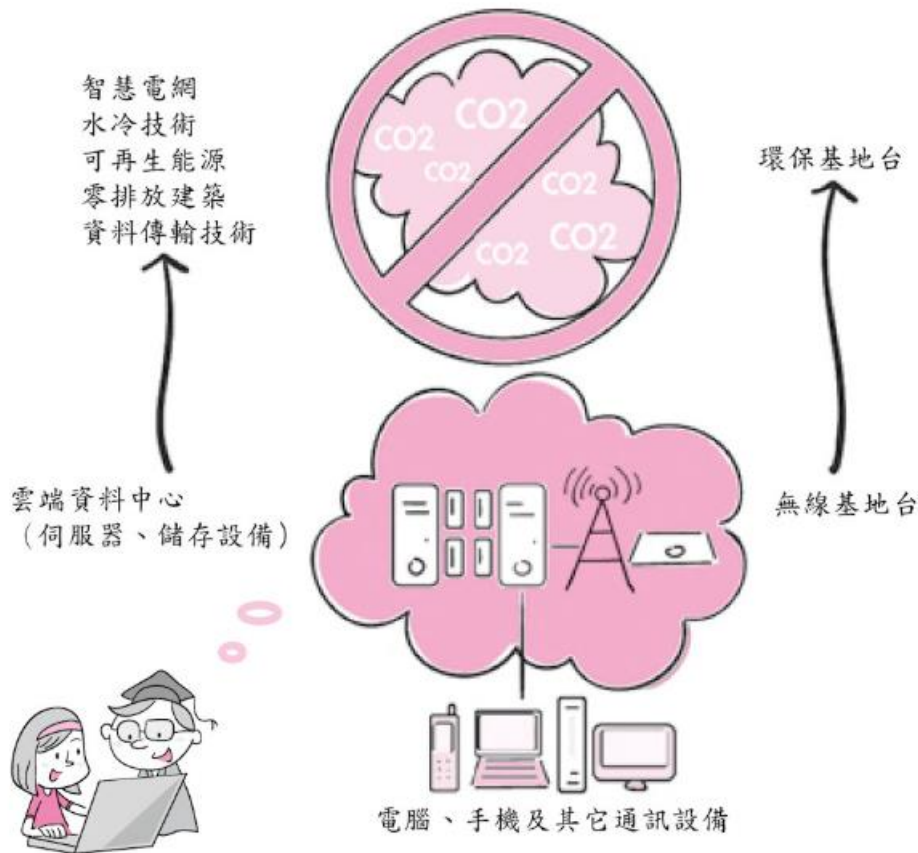


圖 1-1-1 雲端運算中心與基地台設備演化

資料來源：拓樸產業研究院

行動寬頻上網的速率如何持續維持服務品質，就需要靠一定數量的基地台建設，電信業者必須佈建綿密的基地台上網環境，如此才能容納持續成長用戶的行動寬頻需求。但是部分民眾對於基地台所產生的電磁波還是存有疑慮，這也讓電信業者佈建基地台面臨極大的住抗壓力。在基地台建設不易的情形下，造成部分消費者對寬頻服務的品質多所質疑、間接地業者對投資建設卻步，行動業者因而難以有效利用行動網路發展各種創新增值服務。在行動寬頻上網技術發展至今目前使用 4G 寬頻網路環境下載 800MB 的影片檔大概約需要 40 秒的時間，未來如果使用 5G 寬頻網路技術，同樣地下載 800MB 的影片檔則只需要 1 秒鐘便可以下載完成。未來 5G 將透過智慧聯網的技術，各式行動設備則可透過網路連結相互連結，包括人與人（例如：穿戴式行動通訊裝置）、人與機器（例如：行動支付、

透過遠端遙控機器人)、機器與人(例如:智慧車載通訊系統)、機器與機器(例如:智慧家電、智慧電錶、水壓計、冰箱)等。

第二節 研究目的

「無線上網」為利用隨身連網設備經由任何型式的無線電電腦網路或電信公司網路連接上網，不需電纜即可在節點之間相互連結；「行動上網」則指利用隨身連網設備經由 SIM 透過電信業者的基地台上網。亦即無線上網涵蓋了 WiFi 上網以及行動上網。行動應用程式 APP 定義為智慧型手機或平板電腦或其他行動裝置運行的一種應用程式 (Application 之縮寫)。

最常用來無線上網的設備是智慧型手機 Smartphone(93.7%)，最常用來無線上網的方式是 4G(67.7%)與 WiFi(67.2%)。

消費者透過行動寬頻上網的主要用途原因：(1)可以即時查詢相關的資訊(約佔 62.3%)，(2)可以隨時與朋友交談聯絡(約佔 52.1%)，另外在有使用即時通訊軟體或網路社群，最常使用是『Line』(約佔 95.2%)，其次是『Facebook(臉書)』(約佔 83.4%)。(資料來源 TWNIC 2017)，所以目前行動上網已經逐漸成為消費者使用的途徑。

因此本研究旨在以生命週期的觀點來評估行動上網之流量所產生的碳足跡，並經由蒐集國內外之相關行動上網數據之文獻，來探討消費者在使用便利的無線上網服務等過程，在行動業者提供服務之設備與相關建設所衍生的二氧化碳排放量，藉由台灣大哥大公司所建設基地台的數據資料來進行分析評估，具體討論執行的目標。

第三節 研究架構

目前全球受劇烈氣候影響，世界各國針對全球暖化之議題更加重視，本研究將以企業永續發展為基礎，針對電信業行動寬頻上網服務之碳足跡的評估，透過生命週期軟體 SimaPro 9.0.0 軟體中以二氧化碳排放係數來計算，驗證相關過程中的排放源，所得到的碳足跡數據，研究流程圈如圖 11 所示。

第一章：緒論

說明並確認研究背景、研究動機與目的及研究流程

第二章：文獻探討

探討與研究案例相關的議題，包含台灣主要電信業的現況、電信業所面對全球暖化之防治作法、生命週期評估管理和碳足跡，透過蒐集文獻來了解日前電信業相關作法與確立研究構想。

第三章：研究方法

針對本研究之構想、方法、實施流程及執行步驟加以描述，並繪製流程圖以確立系統邊界和功能單位。依照訂定之範疇去盤查、以及收集數據與資料分析，說明採用的分析方法、分配與投入之能源相關細節

第四章：研究結果與討論

將盤查之後所得到的數據透過生命週期評估軟體進行分析，分析其結果並且討論排放熱點，並與國外相關文獻做比較。

第五章：結論與建議

針對本研究之結果提出結論，提供電信業者和其相關產業未來的研究方向與建議。

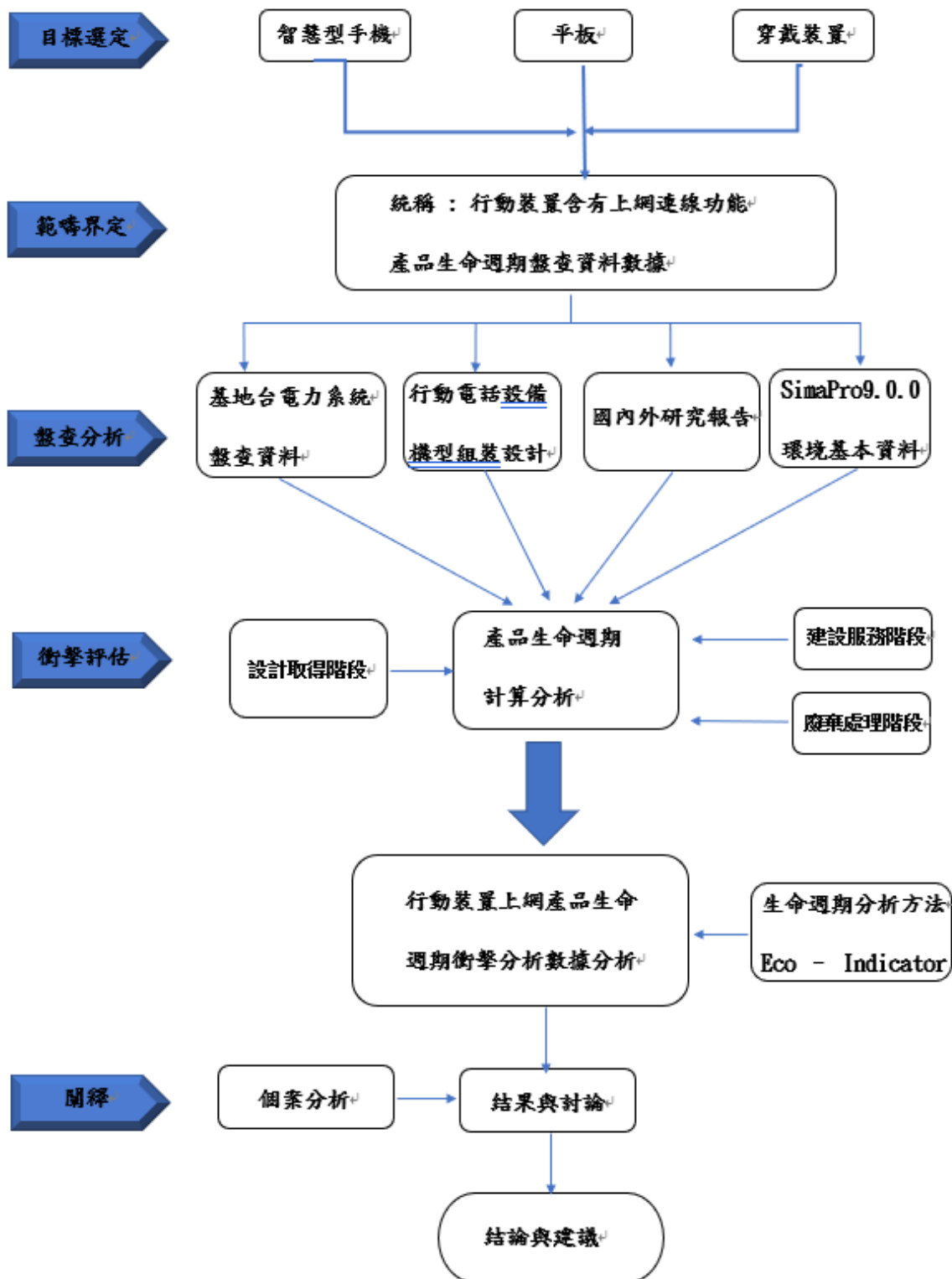


圖 1-3-1 研究架構流程圖

第二章 文獻探討

第一節 台灣電信業之發展現況

我國自從 2014 年 5 月份開始，為民眾提供 4G 行動上網服務，根據國家通訊傳播委員會(NCC)資料，截至 2016 年 2 月，在短短兩年時間已經累積超過 1,250 萬的用戶，目前提供 4G 行動上網的電信公司包括中華電信、台灣大哥大、遠傳電信、台灣之星及亞太電信共五家業者。4G 即第四代行動通訊網路，國際電信聯盟 (ITU)對 4G 的定義，稱為 IMT-Advanced 規範。當只有一個網路使用者時，在靜止狀態下，傳輸速率達到每秒 1Gbps，高速移動的時候，每秒達 100M，可稱之為 4G。台灣電信產業長期維持三大兩小的格局，中華電信、台灣大哥大及遠傳電信長期維持相對穩定市占率，合計約 85%，兩小的台灣之星及亞太電信因用戶數弱勢，處於長期虧損。

表 2-2-1 NCC 統計資料，累計到 2018 年 1 月底

4G基地台統計	中華	遠傳	台哥大	台灣之星	亞太	合計
4G用戶數(Y1801)	8,042,081	5,537,248	5,609,573	1,848,521	1,860,000	22,897,423
4G頻寬	90MHz*2	65MHz*2+25	55MHz*2	35 MHz*2	25 MHz*2+25	270*2+50Mhz
平均用戶頻寬(MHz/萬人)	0.22	0.28	0.20	0.38	0.40	0.26
用戶數%	35.1%	24.2%	24.5%	8.1%	8.1%	100%
Y180225	21,974	19,818	17,572	10,461	8,318	78,143
基地台數量%	28.1%	25.4%	22.5%	13.4%	10.6%	100%

第二節 國內行動上網裝置與上網服務介紹

2.1 LTE/EPS Network Elements

LTE 系統架構主要包含部分是封包交換核心 (Evolved Packet Core ; EPC) 與無線存取網路演進的通用陸面無線接入網路 (Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network, E-UTRAN)。EPC 是以 IP 網路協定為基礎的多重存取核心網

路，能連接 LTE、3G、2G 等 3GPP 系統之無線存取網路，甚至能連接非 3GPP 標準 WLAN 與 WiMAX 網路。EPC 的元件可以細分為：移動性管理元件(Mobility Management Entity；MME)、服務閘道器 (Serving Gateway；S-GW)、封包資料網路閘道器(Packet Data Network Gateway, PDNGW；P-GW) 與歸屬用戶伺服器 (Home Subscriber Server；HSS) 以及策略與計費規則功能單元(PCRF)等功能實體。在 E-UTRAN 則是由基地台(E-UTRAN NodeB；eNodeB) 負責管理與用戶端 (User Equipment；UE) 之間的無線網路資源，簡單來說就是手機。

訊息傳輸方面:(1).Control-plane 傳輸路徑為 UE ↔ eNB ↔ MME，而 (2).User-plane 傳輸路徑為 UE ↔ eNB ↔ Serving Gateway ↔ Packet Data Network Gateway

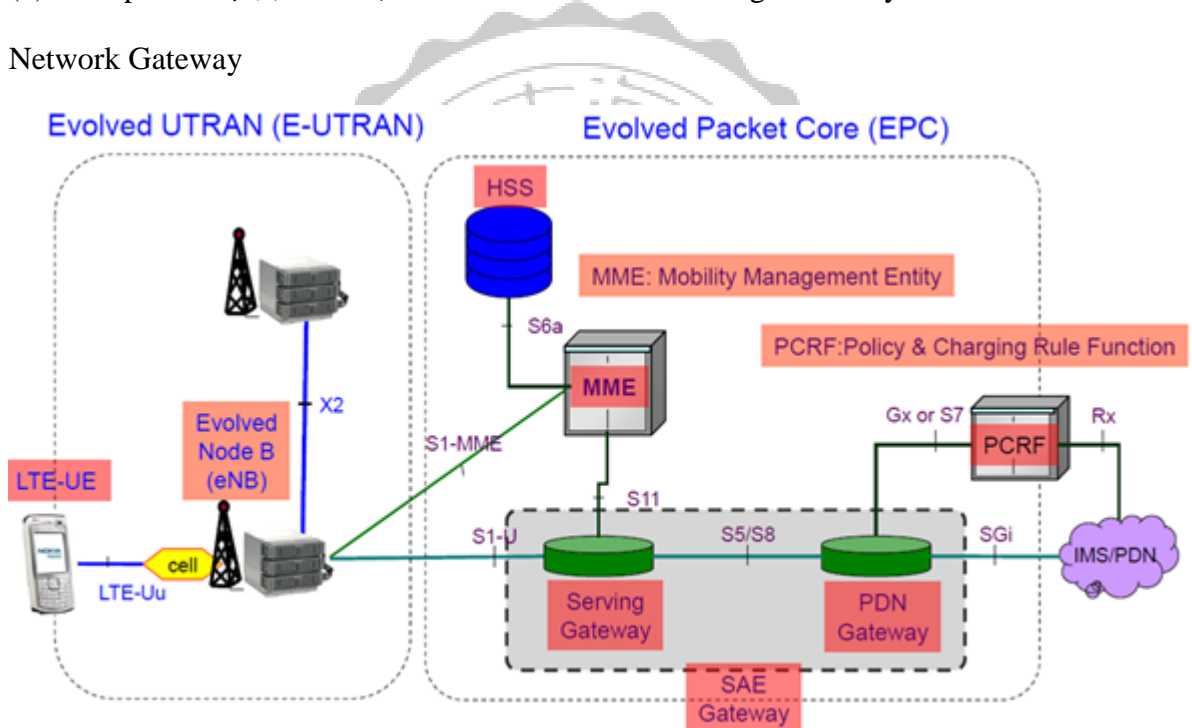


圖 2-2-1 LTE 網路架構

2.1.2 行動管理裝置 (Mobility Management Entity，簡稱 MME)

它負責用戶設備(手機)處於閒置模式時的移動管理，其基本原理是相同的 2G / 3G 的 LA 或 RA，MME 可通過 S10 的接口互連，與 VLR 一樣的功能。

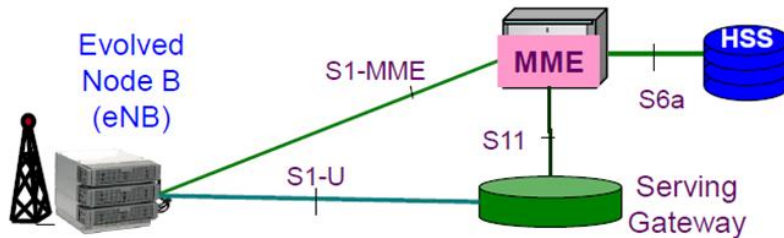


圖 2-2-2 MME 行動管理裝置

2.1.3 服務閘道(Serving Gateway，簡稱 S-GW)

作為 LTE 網路的移動資料交換，S-GW 負責用戶數據包的路由和轉發，LTE 與同屬於 3GPP 組織之 2G/3G 無線通訊系統之間的資料交換，作為支援 LTE 與 2G/3G 無線通訊網路的移動切換，通過 S11 界面的一個或多個 MME 控制，另一個通過 S1-U 接口連接向基站。

2.1.4 封包資料網路閘道(Packet Data Network Gateway，簡稱 PDN Gateway)

提供接入網路和外部數據網路之間的連接，另外也提供與他網接入數據網路之間的連接漫遊功能，並且分配 UE 的 IP 及支援通訊監察角色。

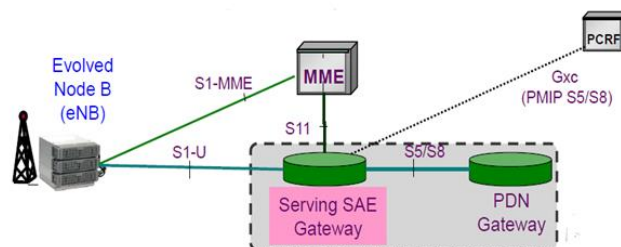
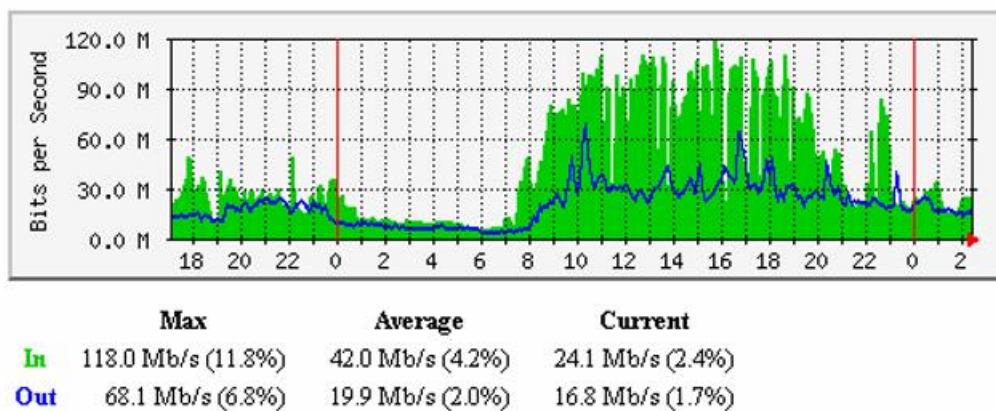


圖 2-2-3 S-GW 和 PDN-GW

2.2.1 MRTG

MRTG 採用 SNMP 以取得傳輸設備的相關流量資料，這是一項較為簡易的網路流量監控模式，以 perl 寫成的 script，可以在 Unix 及 Windows，甚至是在 Netware 環境下來執行，每五分鐘查詢(Query)網路介面一次，再將所得的資料計算平均值之後，再以日、週、年的方式繪製成 PNG 圖檔，以網頁的方式來呈現，以下為 MRTG 應用的實例圖，

'Daily' Graph (5 Minute Average)



'Weekly' Graph (30 Minute Average)

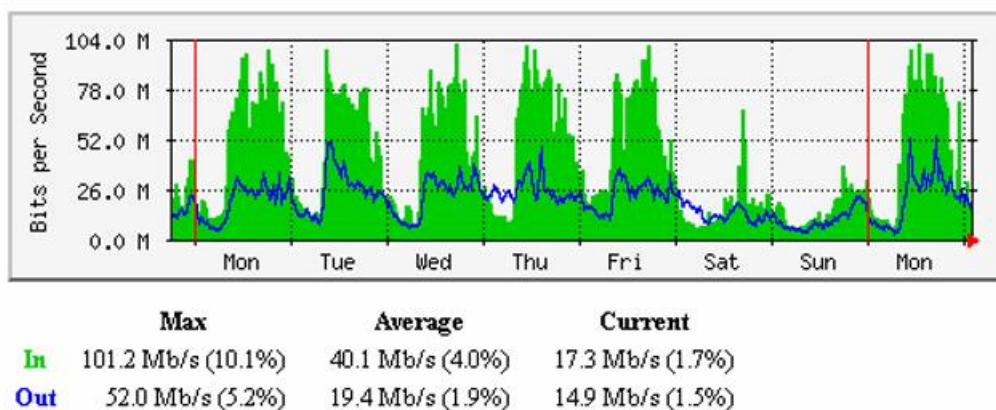


圖 2-2-4 MRTG 流量圖

2.2.2 網路通訊協定基本介紹

涵蓋整體網路連接的過程，包含硬體與軟體資料封包與應用程式的互相連結，因此相當複雜；目前網路連接的理論基礎為 OSI(Open system

interconnection)七層協定。此七層包含實體層、鏈結層、網路層、傳送層、會談層、表現層與應用層。由於此七層相當複雜，在程式撰寫上相當不易，於1990年代的email與WWW的流行後，TCP/IP之標準逐漸為大家所接受。TCP/IP僅涵蓋四層，從最底層的鏈結層、網路層、傳送層以及最上層的應用層；各層級皆具有相關通訊協定與標準。由於目前網路通訊協定已TCP/IP為主，因此本論文僅適用TCP/IP為主的網路傳輸形式。

2.2.3 上網服務介紹

「Wi-Fi 上網」是指在公共區域或場所經由無線存取點來連結上網，就是所謂的熱點；台灣大概約有一百三十幾萬，大概百分之六點多的人使用那種無線免費的 Wi-Fi，喜歡用無線免費的 Wi-Fi，也就是希望較省的月租費又有免費的 Wi-Fi 上網，然後希望建設更多的無線的 Wi-Fi，例如我們現在捷運、高鐵、台鐵都一直在建無線免費的 Wi-Fi，為民服務是很好，像 iTaiwan 什麼的或是台鐵、高鐵，背後都是政府要有預算來支應這個建設費用模式。

「行動上網」，指的是行動電信網路上網，而使用電信公司網路來連線上網，每個月都要付固定月租費，與 Wi-Fi 上網最大的差異在於涵蓋範圍，使用者可以在有電信公司網路涵蓋的範圍內服務內容不中斷；而 Wi-Fi 上網範圍區域有限制，且無法進行跨區域漫遊，所通常都是以行動上網服務為主。

第三節 電信業對於環境永續的承諾與作為

表 2-3-1 電信業者實際作為與進度

台灣排名 (企業規模)	公司	實際作為與進度
1	中華電信	1. 建築物加裝 iEN 智慧節能系統，使得 2017 年節省約 16,065 萬度電，將當於減少 4900 噸的碳排放。 2. 於 2015 年即成立智慧能源辦公室，全力發展太陽光電、風力發電、沼氣發電等綠電市場，至 2017 年 9 月止，已建置 373 案場，發電量 103MW
2	台灣大哥大	台灣大哥大公司因應氣候變遷的努力與決心，計算 2020 及 2025 年科學基礎目標。 2020 年碳排放量較 2016 年減少 7.8% 2025 年碳排放量較 2016 年減少 24.3%
3	遠傳	辦公區 2018 年至 2020 年每單位樓地板面積耗電量 (EUI) 較前一年度降低 1.5%；機房區部分，2018 年提升能源使用效率 (PUE) 1%，2019 年及 2020 年較前一度各提升 1.5%。將持續透過空調系統採用變頻系統、減少開啟非必要空調設備、改善照明用電及汰換低效率設備等因應措施，積極降低各營運地區之用電量

一、台灣大哥大

台灣大哥大企業的核心理念為永續思維與誠信踏實，並且承諾建立相關的制度，環境管理設定每階段的目標，改善整體產業環境的績效指標，並且發揮通信產業的核心業務，考量所提供產品與服務可能在生命週期評估各階段產生的風險與機會。

企業社會責任（Corporate Social Responsibility，簡稱 CSR）意旨企業在追求公司最大利益之外，同時能夠兼顧到其公司的員工、消費者、供應商、社區與環境等相關利害關係人的權益。2019 年台灣大哥大宣布將從傳統電信營運商的角色，透過創新能力重新定位本身為新世代網路科技公司，以便因應 5G 時代的來臨。

TWM CSR 永續願景藍圖：

科學基礎目標(SBT)定義：依科學家計算結果，大氣二氧化碳濃度應該保持在 450ppm，地球才不會升溫超過 2°C，換言之任何能夠與 2°C 相關的減碳目標即為 SBT，因應國際永續第三方評比單位 DJSI/CDP 要求，企業應設定 SBT 減碳目標。為達成全球控制暖化趨勢在 2°C 內的總碳排目標，並展現台灣大哥大公司因應氣候變遷的努力與決心，計算 2020 及 2025 年科學基礎目標。

2020 年碳排量較 2016 年減少 7.8%

2025 年碳排量較 2016 年減少 24.3%

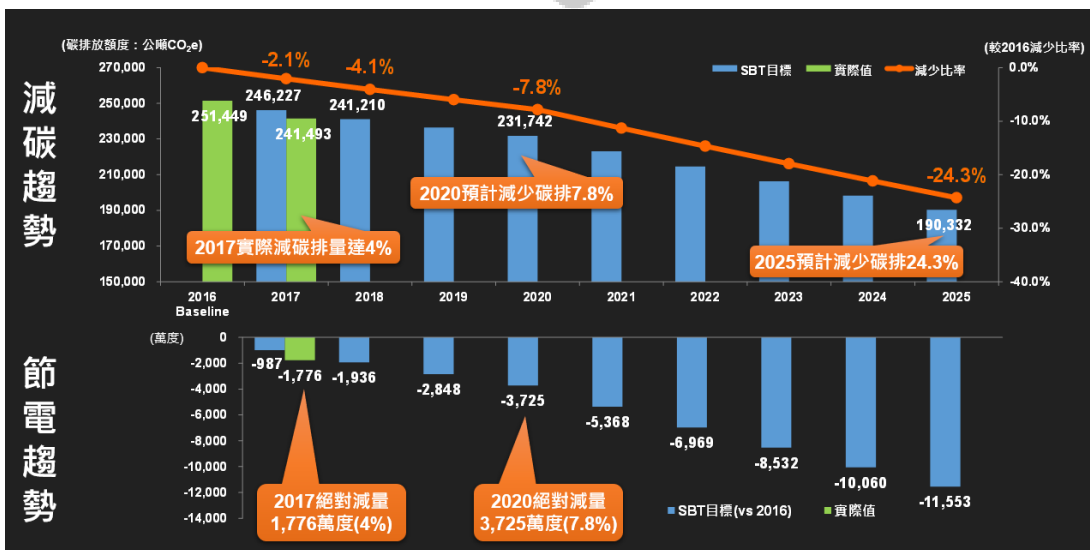


圖 2-3-1 台灣大哥大公司的減碳趨勢和節電趨勢

二、中華電信

目前面臨全球自然資源環境生態持續惡化，中華電信則以具體行動來回應環境及社會兩大層面，除了推動和落實「能源、採購、營運、商店、供應鏈」5G(Green)永續的策略計劃，並且開發環保綠色商品，全面轉型為「綠色企業」之外；在社會面，中華電信致力於「縮短數位落差」、「創造數位機會」兩大主軸，緊接多年來投入社會共融領域的成果，以積極行動來促進社會創新與數位包容。

為了接軌聯合國永續發展目標(UN SDGs)，中華電信於2017年公開發起「永續數位共融 5I SDGs」(簡稱「我愛 SDGs」)倡議，從台灣出發並接軌國際，正式地回應及履行聯合國永續發展目標，並發揮專業的核心職能，響應行政院「數位國家·創新經濟」DIGI+的方案目標，以中華電信對於社會共融影響力，完備的數位包容範圍，並保障網路數位時代之資訊平權。深化中華電信 CSR 的精神與台灣在地社區的溫暖與連結，透過知識、技術、資源分享及交流，具體支持弱勢團體及多元化族群接軌數位經濟時代，利用科技來串起善的循環，共同的實現數位人權與創新經濟雙贏局面。

三、遠傳電信

遠傳電信 2017 年目標為建立明確的氣候變遷因應策略，以及再生能源使用目標，制定中長期減碳絕對減量目標，將持續進行各項減碳行動並落實減碳目標。

表 2-3-2 2017 年減碳目標

4G 永續發展策略	2015-2017 年十大發展目標	2017 年目標	2017 年達成狀況
 <p>Go Inclusive 影響力</p>	建立明確的氣候變遷因應策略，以及再生能源使用目標	<ul style="list-style-type: none"> ■ 通過 ISO-14001 環境管理系統外部查證 ■ 整合環境暨能源政策及聲明 ■ 制定中長期減碳絕對減量目標：2017-2018 年減 1%、2017-2021 年平均零成長，並針對目標，規劃及執行溫室氣體減碳措施 ■ 持續支持再生能源，認購綠電 10 萬度。 ■ 2017-2019 年累積降低 PUE 與 EUI 各 3% 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 通過 BSI ISO14001 環境管理系統外部查證 ■ 整合環境及能源政策整合並公告於官網 ■ 絕對減碳績效為下降 1.8%，達成年度目標，將持續進行各項減碳行動並落實絕對減碳目標 ■ 認購綠電 20 萬度及再生能源憑證 3.3 萬度 ■ 2017 年 PUE 下降 1.9% (完成率為 63%)、EUI 下降 1.8% (完成率為 80%)
	整合產業價值鏈，促進資通訊產業共同邁向永續發展	<ul style="list-style-type: none"> ■ 遠傳百大原供應商 CSR 自主聲明簽署率 85%；一級供應商自主聲明書回覆率 70% ■ 擴大應用供應鏈線上學習平台，持續規劃相關學習課程 ■ 執行系統整合商類別或其他類別廠商之實地稽查 ■ 執行年度供應商評鑑並結合自主聲明書回覆 ■ 持續加強綠色採購 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 百大及年度重大供應商企業社會責任自主聲明書簽署率各為 89% 及 88%，達成年度設定目標 ■ 遠傳電信透過供應鏈線上溝通學習平台邀集 109 家供應商之業務人員進行供應商誠信經營訓練及測驗，占總採購金額 89.9%，測驗成果全數通過、完成率 100% ■ 綠色採購金額為新台幣達 5 億元，遠傳同時促進在地經濟成長，在地採購之金額達總採購支出 99.45%

第四節 生命週期評估

生命週期評估(Life cycle assessment , LCA)主要是說明每項產品或提供的服務，從一開始的原物料取得到生產過程、經過期間的使用後，直到生命週期結束的回收處理再利用（就是指搖籃至墳墓），整個產品生命週期評估，其中環境考量方面與潛在環境衝擊因素，也包括能源的使用、資源的耗用等。各項產品投入到產出過程對於資源使用、人體健康和生態等潛在的衝擊。

生命週期評估(Life Cycle Assessment, LCA)於系統分析方法，主要為「對產品系統從原物料的取得到最終處置的生命週期過程，產品投入和產出以及潛在環境衝擊的彙整與評估。」

LCA 五大階段：

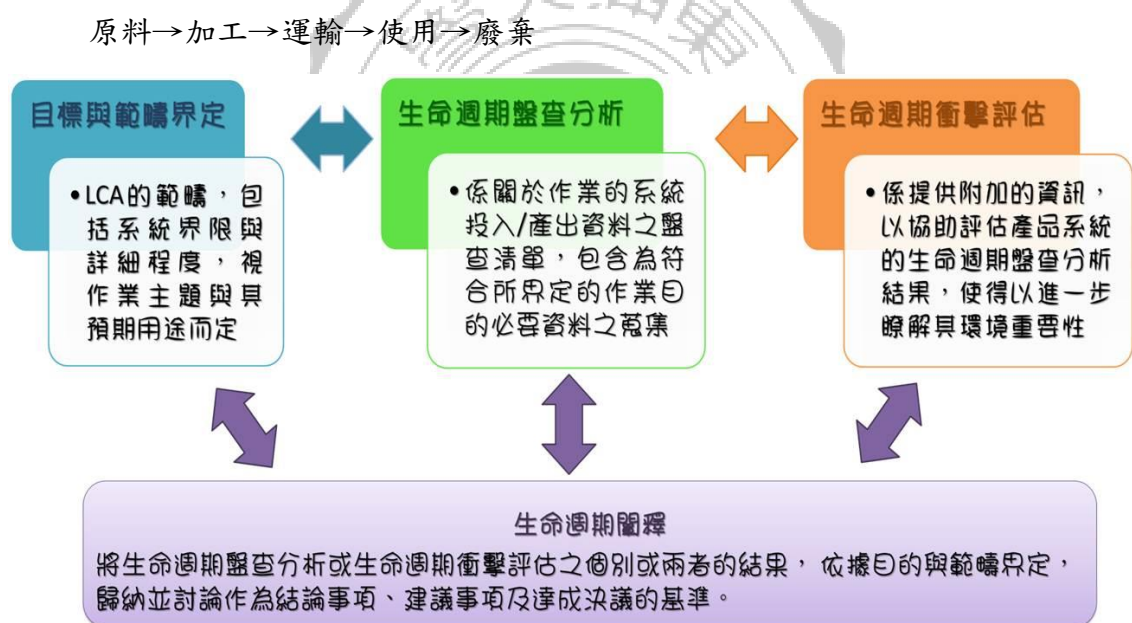


圖 2-4-1 生命週期評估(Life Cycle Assessment, LCA) 系統分析

數據有效性是生命週期分析的持續關注點。由於全球化和研發的快速發展，新材料和製造方法不斷被引入市場。這使得在執行 LCA 時使用最新信息非常重要且非常困難。如果 LCA 的結論有效，則數據必須是最近的；但是，數據收集過程需要時間。如果產品及其相關流程自上次收集 LCA 數據以來未經過重大修訂，則數據

有效性不成問題。但是，手機等消費類電子產品可以每9到12個月重新設計一次，創造了對持續數據收集的需求。

表 2-4-1 生命週期評估(LCA)工具比較

軟體項目	SimaPro7.0	EcoReport	DO IT Pro	Gabi4
資料庫容量	尚可	差	尚可	好
資料庫更新	有	有	有	有
使用者介面	Windows	Windows	Windows	Windows
網路連線操作	有	-	-	-
運算之透明度	尚可	差	差	尚可
敏感度分析	-	-	有	有
視覺化輸入/出	尚可	差	尚可	優
操作便利性	優	尚可	尚可	尚可
學習簡易度	優	優	優	尚可
線上說明	有	有	-	有

第五節 碳足跡

碳足跡的定義為一個產品或服務於生命週期中所有活動之直接的（廠內的，內部的）與間接的（廠外的，外部的，上游的，下游的）CO₂ 當量(CO₂-e)。足跡源自於“生態足跡”，就是一種衡量人類對地球生態系與自然資源的需求的分析方法。為了實現永續發展，更有效地管理碳排放，企業可以從不同方面著手。而各種採購、生產和配送流程，通常都密切相關並相互依賴。因此，應當以整體觀點來分析並解決碳管理、能源消耗及其他環境問題。根據它們的相互關係來評估整體績效目標(成本、服務、質量和碳排放)。

一、我國碳標示

近年來國內碳標籤和碳標章已漸漸成為減碳概念的溝通媒介，導引民眾如何落實消費與生產永續經營，全世界各國相繼地推動碳標籤輔導計畫。國內行政院

環保署於民國 99 年開始辦理「台灣碳標籤」的輔導計畫，主要協助廠商建立與計算碳足跡相關方法，未來消費者在選購低碳商品時將能快速辨識碳標籤。

「台灣碳標籤」係由綠色心形及綠葉組成腳印，並搭配「CO₂」化學符號，以及在愛心中標示產品「碳足跡」數字；整體圖示意涵為：用愛大自然的心，減碳愛地球，並落實綠色消費。碳標籤上標示的「碳足跡」數值，代表該產品生命週期各階段，從原料取得、製造、運輸、銷售、使用到廢棄處置的全部過程，產生的溫室氣體排放量，經換算為二氧化碳當量之總和。如圖 2-5-1 台灣碳標籤圖示(資料來源 - 環保署)



圖 2-5-1 台灣碳標籤圖示

(資料來源 - 環保署)

環保組織根據相關的標準規範，制定一些簡單與方便的碳足跡計算公式，用以方便民眾計算自己本身的溫室氣體 (CO₂ 碳) 排放量。「全球暖化」的原因，若將一些基礎的原物料進行生命週期評估盤查與計算後，再將全球暖化對環境衝擊的數值產出，並以「單位 kg CO₂e」來表示，便可以作為基礎原物料碳足跡的二級數據。

國內外的碳足跡資料庫是以及生命週期評估方式彙整資料庫整理如表 2-5-1 所示。

表 2-5-1 國內外碳足跡資料庫以及生命週期評估資料庫彙整

國家	資料庫	涵蓋範圍
台灣	ITRI Database (DoITPro)	台灣
日本	Japan National LCA Project	日本
日本	碳足跡資料庫	日本
韓國	Korean LCI Database Information Network	韓國
韓國	碳足跡資料庫	韓國
歐盟	European Platform on Life Cycle Assessment (ELCD)	歐洲
瑞典	SPINE@CPM	全球
丹麥	EDIP	丹麥
丹麥	LCA food	丹麥
荷蘭	IVAM LCA Data	荷蘭
荷蘭	Dutch Input Output	荷蘭
荷蘭	Franklin US LCI	美國
瑞士	ecoinvent	全球/歐洲/ 瑞士
瑞士	BUWAL 250	瑞士
瑞士	LCAinfo	
瑞士	Swiss Agricultural Life Cycle Assessment Database(SALCA)	瑞士
德國	German Network on Life Cycle Inventory Data	德國
泰國	Thailand LCI Database Project	泰國
澳洲	Australian Life Cycle Inventory Data Project	澳洲
加拿大	Canadian Raw Materials Database	加拿大
美國	US LCI Database Project	美國

第三章 研究方法

第一節 研究架構

本研究主要以透過評估國內電信服務行動上網過程中包含透過智慧型手機、平板或 NB 電腦連結上網服務，提供服務過程其背後所建置機房設備，又主要以基地台設備佔最大主要來源；電信機房設備也必須要提供 24 小時的服務不中斷的角色，所以提供設備最主要能源就是電力，也是影響整個碳足跡最關鍵的因素，研究方法為廣泛收集相關文獻資料，了解國內主要三大電信業者服務現況，並以台灣大哥大作為案例研究。應用完整生命週期概念從原料取得、製造、使用、最終處置，調整成適用於國內電信服務中行動上網服務之流程，分別為設計取得階段、建設服務階段、廢棄處理階段。並透過實地現場經驗與蒐集行動上網服務從搖籃到墳墓之數據，其中所包含之溫室氣體排放除應排除在計算範疇之項目外，其餘均得列入評估範圍，擬定之邊界如圖 3-1-1 所示。

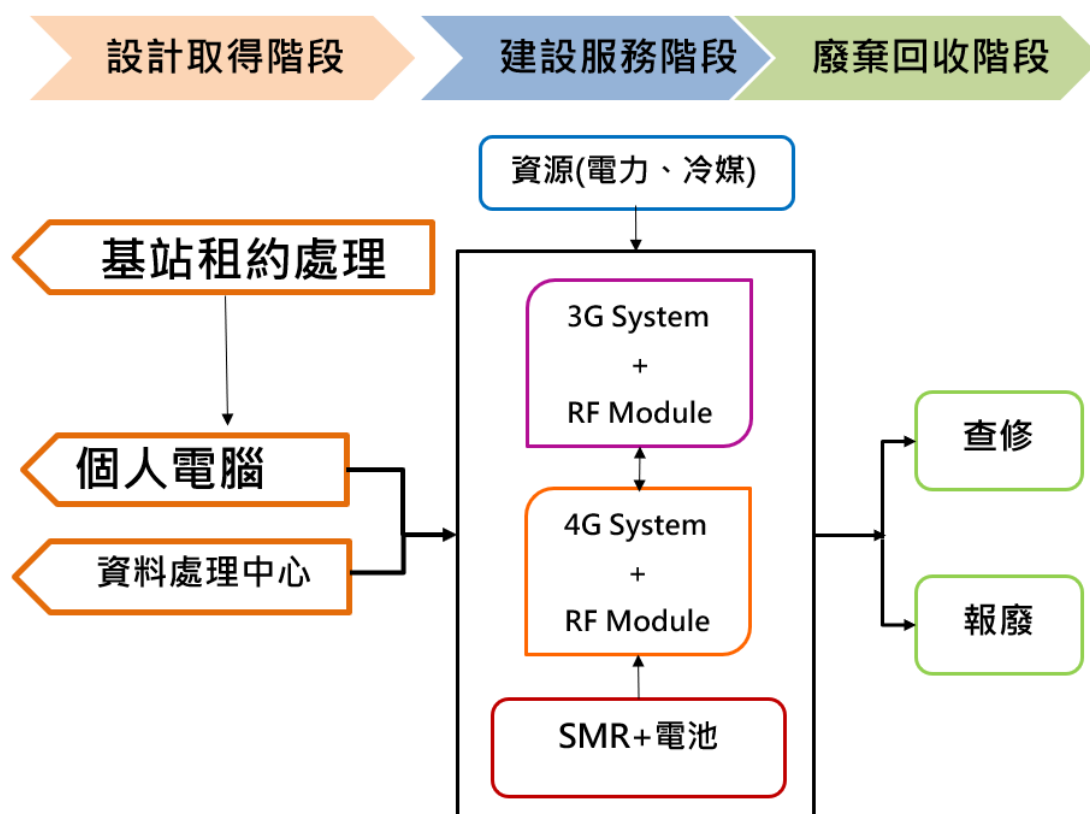


圖 3-1-1 行動上網流量碳足跡生命週期系統邊界

3.1 行動上網碳足跡評估方式

3.1.1 設計取得階段

設計取得階段包括基站從洽談位置到勘查設計相關之所需物品，多數屬於資產，本論文納入碳足跡計算範疇之項目僅包含與基地台設備直接相關之資料處理中心設備與耗材(網路線等)；而辦公室基礎設施建造與消費者使用行動裝置製造之碳排放排除於本次碳足跡計算範疇中，應納入計算範疇之項目詳述如下：

1. 電信機房資料庫處理設備

電信機房資料庫處理設備包含將欲上傳並儲存至伺服器資料庫所有數據內容轉換過程中所使用之設備，包含桌上型電腦或筆記型電腦、鍵盤、螢幕、滑鼠等。

2. 資料處理中心設備

資料處理中心在運作過程中包含許多機組設備。但大部分之設備皆共用，惟伺服器機組用於資料儲存之服務，故資料處理中心設備以伺服器機組為主要盤查對象。

3. 耗材

資料儲存設備與路由器連結過程中可能使用之耗材主要包含網路線為最大宗。

4. IDC 雲端機房中心建造、網路傳輸基礎設施建造

IDC 雲端機房中心與網路傳輸基礎設施的建造雖會造成大量的溫室氣體排放，但本研究探討的是服務過程所消耗的能資源，故建造過程不納入本次計算範疇。

3.1.2 建設服務階段

建設服務階段為提供行動上網流量服務的相關電信機房內處理訊號所需的相關機器設備。本階段電信基礎設施所耗用之能資源包括網路資料中心機房、電信設備機房內，運作過程中所耗用之電力，空調與冷媒、散熱風扇，故生產階段造成之溫室氣體排放主要來自於電力、冷媒之使用。

建設服務階段包括下列過程：

1. 數據中心資料儲存服務

(a) EPC 核心網路機房所耗用之電力

EPC 核心網路機房需維持於固定之溫濕度與大量的資料儲存運算，機器設備運作過程中須利用電力與空調系統來維持機器之運作。故其造成的溫室氣體排放，主要來自於電力的耗用所造成之溫室氣體排放。

(b) 數據中心資料儲存耗用之電力

此部分主要是以基地台(註)機房內所設置機櫃、射頻單體、空調及散熱排風扇等設施，電力損耗造成之溫室氣體排放，主要來自於設備運轉所需之電力使用造成之溫室氣體排放。

註: 基地台:指設置於陸地上具有構成無線電通信鏈路以供行動臺間及行動臺與其他使用者通信之設備。(國家通訊傳播委員會，行動寬頻業務管理規則)

(c) 數據中心營運所耗用之冷媒補充

數據中心營運需維持於固定之溫度與濕度，該過程中須利用電力維持空調系統之運作；空調系統所使用之冷藏、冷凍機具會造成冷媒之逸散導致溫室氣體的排放，由於冷媒的全球溫暖化潛勢與二氧化碳相比，影響相當巨大。故本階段需考量數據中心之冷媒補充時可能逸散之冷媒量。近年來電信業者也開始施作節能工法，改安裝散熱排風扇或改為戶外型站點，減少使用空調朝向節能減碳。

2. 網路傳輸服務

網路傳輸服務的過程相當複雜，主要可分為核心網路、3G 無線存取網路、4G 無線存取網路 3 大項目。網路傳輸服務會視消費者使用不同的載具而有不同的組合，例如：消費者使用智慧型手機作為載具時，網路傳輸過程就包含核心網路、3G 或 4G 存取網路等過程；因此當消費者使用不同載具與網路傳輸形式就會造成不同的碳排放結果，而網路流量也會對盤查結果造成影響。

3. 行動上網服務

行動上網服務指消費者利用行動上網載具於網路下載多媒體服務的過程；其載具所消耗的能源，能耗的多寡會視載具功率與使用時間不同而有所不同。本研究透過國家通訊委員會統計每年每人 3G 與 4G 網路總流量與載具功率，計算消費者使用載具時的單位傳輸耗電量(kWh/GB)。

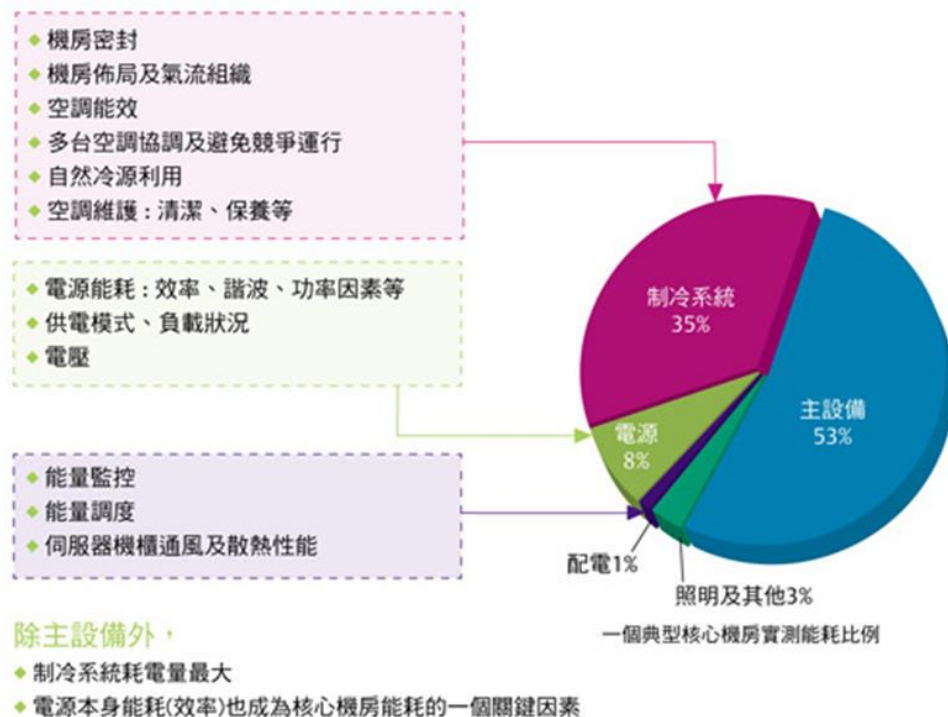


圖 3-1-2 通訊機房能耗結構與節能方向

3.1.3 廢棄處理階段

廢棄階段主要處理設計取得階段、建設服務階段相關設備之查修回收與報廢處理的溫室氣體排放。

第二節 研究步驟

3.2.1 行動寬頻設備所提供上網服務碳足跡計算

本研究針對行動寬頻上網之碳足跡計算方式，係是參考 ISO14067-1 的方法，將整體產品服務生命週期各階段的活動數據做累積加總，再相乘積碳排放係數，計算行動寬頻設備所提供上網服務的碳足跡評估。計算的公式如 3.1 所示：

$$\text{每項活動的碳足跡} = \sum(\text{活動數據加總 } i * \text{碳排放係數 } f) \quad (3.1)$$

其中碳排放係數即為溫室氣體特性因素，且審查通過的碳足跡放係數，主要揭露其中每筆資料在建置過程的基本資料，一般稱之為全球暖化潛勢(Global Warming Potential, GWP)，是一種物質產生溫室效應的一個指數，其定義是各種溫室氣體的溫室效應對應於相同效應的二氧化碳的質量，計算全球暖化潛勢時，

一般會以一段特定長度的評估期間為準（例如一百年）。表 3-2-1 為本研究所選擇之碳排放係數，優先選用台灣產品碳足跡計算服務平台內碳足跡資料庫的碳排放係數，配合 SimaPro 9.0 軟體內的 ecoinvent3.0 資料庫數據及期刊論文等碳排放係數作為本研究之碳排放係數的來源。

二氧化碳當量(Carbon Dioxide Equivalent, CO_{2e})

比較各溫室氣體相對於二氧化碳造成輻射之單位；係以已知的溫室氣體質量乘以全球暖化潛勢(GWP)計算之。

表 3-2-1 碳排放係數表

	排放源	二氧化碳 排放係數	單位	生命週期範疇 (系統邊界)	資料來源
排放係數	矽晶圓(6 吋)	4.65	kg CO _{2e} / 片	搖籃到大門	特定單一場址盤查資料
	記憶體積體電路	5.7	kg CO _{2e} / kg	搖籃到大門	Ecoinvent 資料庫
	邏輯積體電路	7.32	kg CO _{2e} / kg	搖籃到大門	Ecoinvent 資料庫
	晶片電阻	1.7	kg CO _{2e} / kg	搖籃到大門	產品碳足跡計算服務平台
	貼片電容	1.01	kg CO _{2e} / kg	搖籃到大門	Ecoinvent 資料庫
	電解電容	1.62	kg CO _{2e} / kg	搖籃到大門	工研院 DoITPro 資料庫
	積層陶瓷電容	3.34	kg CO _{2e} / kg	搖籃到大門	工研院 DoITPro 資料庫
	PCB 電路板 242*260 MM	0.498	kg CO _{2e} / kg	搖籃到大門	特定單一場址盤查資料
	光纖訊號轉接頭	2.815	kg CO _{2e} / kg	搖籃到大門	特定單一場址盤查資料
	LAN CABLE 網 路訊號線	3.076	kg CO _{2e} / kg	搖籃到大門	特定單一場址盤查資料
	光纖網路訊號線	0.525	kg CO _{2e} / kg	搖籃到大門	特定單一場址盤查資料
	電源變壓器 POWER ADAPTOR,100~ 240V	3.148	kg CO _{2e} / kg	搖籃到大門	特定單一場址盤查資料
	台電電力	0.554	kg CO _{2e} / kg	搖籃到大門	產品碳足跡計算服務平台

3.2.2 網路傳輸機房碳排放係數計算方式：

網路傳輸主要分成兩個階段分別為存取網路(Access Network)與用戶端網路設備(Customer Premises Equipment)，分別就各部分之碳排放之計算僅考量業者之部分機房的資源使用，並不考量用戶端網路設備之資源使用，因此依據下列公式進行計算：

- (1) 存取網路機房：存取網路為透過各種連接技術與管道，讓使用者能夠使用網路上的各項服務。存取網路最主要的耗電來源為機房用電與其他相關設備耗電量，本階段透過計算各機房與相關設備的總用電量與存取網

路總傳輸量，以計算單位傳輸耗電量(kWh/GB)，其計算公式如下：

$$\frac{\text{存取網路機房總年耗電量(kWh)}}{\text{存取網路總流量(GB)}}$$

- (2) 存取網路現階段僅考量各業者擁有之電信機房、光化交接箱與基地台等網路傳輸之部分能耗造成之溫室氣體排放量，現階段以各業者自家設備作為盤查範，未來如有全國網路傳輸碳足跡係數，應優先採用該係數。存取網路為透過各種連接技術與管道，讓使用者能夠使用網路上的各項服務。無線存取網路最主要的耗電來源為基地台用電，本階段透過計算台灣大哥大公司各基地台的總用電量與總傳輸量，以計算第三代無線通訊網路(3G)與第四代行動寬頻網路(4G)的單位傳輸耗電量(kWh/GB)。由於 3G 基地台與 4G 基地台有共站的情形發生，因此本研究透過設備能耗功率作為分配原則區分基地台內 3G 或 4G 設備的耗電量。其計算公式如下：

$$\frac{\text{3G或4G基地台年用電量(kWh)}}{\text{3G或4G無線網路流量(GB)}}$$

3.2.3 研究情境與假設條件

機器設備原料的使用年限

機器設備原料主要包含資訊機房內核心設備和電信基站機房電信設備，與 IDC 雲端機房內的伺服器機器，再來就是操作設備所需的筆記型電腦，其機器設備台灣大哥大公司並未針對各類機房機器設備明確規範汰換時限，雖各項設備都有編列回收會計年限 4 年，但實際狀況則會依照設備堪用程度來進行汰換，為了計算一致性，皆假設機器設備原料的生命週期年限為 4 年。

第三節 研究分析方法

3.3.1 行動上網碳足跡盤查結果

本研究透過參考台灣大哥大 EPC 核心網路機房與基地台用電，統計時間為 2017 年 12 月 31 日至 2018 年 10 月 31 日，蒐集該期間行動上網流量服務相關能源投入情形。分別以不同生命週期階段說明，調查資料來源主要以台灣大哥大股份有限公司工務部門 NWIS 系統資料查詢，統計結果如下：

(一) 設計取得階段:

本階段所投入的原物料係以行動上網服務過程中所使用之設備用量計算，主要盤查項目為設計階段所使用到的電子設備以及與資料儲存處理直接相關的數據中心設備，並依所提供之設備資訊蒐集設計取得階段之盤查清單。由於系統邊界的設定，因此建築物與辦公室基礎建設不納入計算範疇。

表 3-3-1 設計取得階段盤查清單

3G與4G				
原物料名稱	類別	用量	單位	活動數據屬性
電腦	RF人員設備	20	台	二級數據
螢幕	RF人員設備	20	台	二級數據
滑鼠	RF人員設備	20	個	二級數據
鍵盤	RF人員設備	20	個	二級數據
伺服器機組	資料處理中心設備	32	組	二級數據
網路線	耗材	40	公尺	二級數據

(二) 建設服務階段

建設服務階段本階段主要分成兩大部分:如圖 3-3-1 所示

(1). EP 核心網路機房: 以台中機房核心網路設備使用電力和冷房設備用電來計算。

(2). 數據中心資料儲存服務:

主要盤查 3G 與 4G eNode B 基地台設備，提供行動上網服務資料處理過程所消耗的能資源，包含 3G 和 4G 基地台設備直接相關之資料處理中心設備與耗材(網路線等)；而辦公室基礎設施建造與消費者使用行動裝置製造之碳排放排除於本次碳足跡計算範疇中。表 3-3-2 & 表 3-3-3 為建設服務階段投入之能資源。

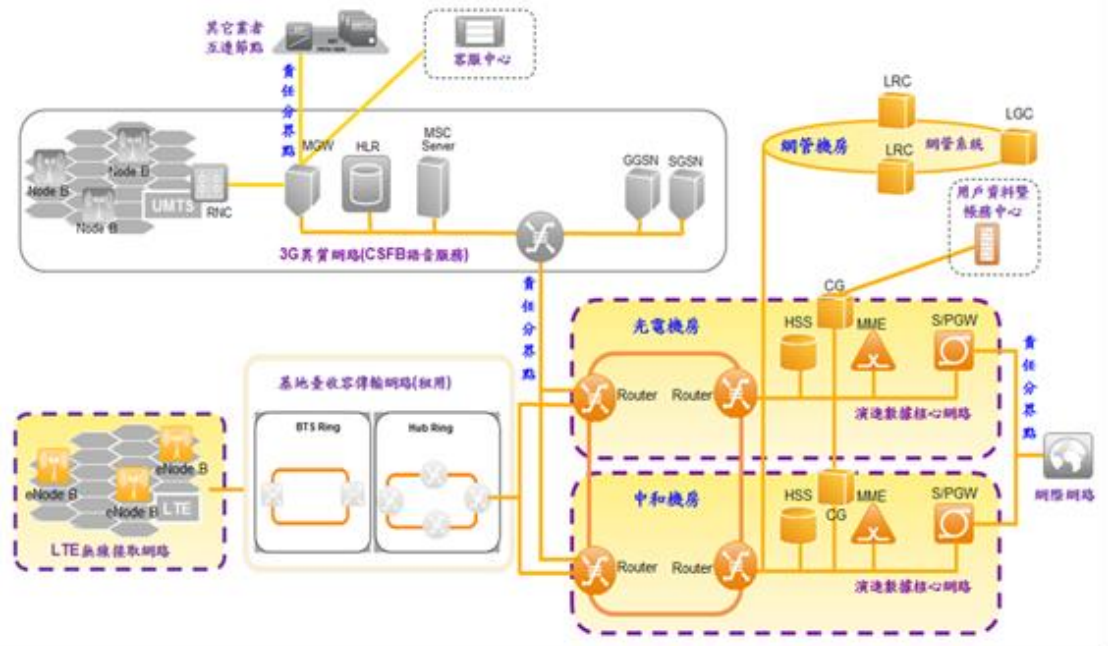


圖 3-3-1 行動網路設備架構圖

表 3-3-2 建設服務階段(3G)盤查清單

3G					
階段	設施/設備	名稱	用量	單位	活動數據屬性
EPC核心網路機房	工業十四大機房用電	電力	604620	KWh	一級數據
	工業十四大機房冷媒	R22	7.7	公斤	二級數據
數據中心資料儲存服務	SMR+電池用電	電力	115200.00	KWh	一級數據
	3G System module FSME	電力	103680.00	KWh	一級數據
	3G RF module FRGF	電力	58320.00	KWh	一級數據
	基地台機房散熱風扇用電	電力	10800.00	KWh	一級數據
	基地台機房空調冷媒(非變頻)	R134a	38.25	公斤	二級數據
	基地台機房空調冷媒	R22	4.25	公斤	二級數據
網路傳輸	行動網路流量	電力	392229000	KWh	一級數據

表 3-3-3 建設服務階段(4G)盤查清單

4G					
階段	設施/設備	名稱	用量	單位	活動數據屬性
EPC核心網路機房	工業十四大機房用電	電力	604620	KWh	一級數據
	工業十四大機房冷媒	R22	7.7	公斤	二級數據
數據中心資料儲存服務	SMR+電池用電	電力	115200.00	KWh	一級數據
	4G System module airscale	電力	169920.00	KWh	一級數據
	4G RF module 700頻段 使用以FRPB為計算	電力	272160.00	KWh	一級數據
	4G RF module 1800頻 段使用以FHED為計算	電力	632880.00	KWh	一級數據
	4G FBBA	電力	51840.00	KWh	一級數據
	基地台機房空調冷媒(非 變頻)	R134a	38.25	公斤	二級數據
	基地台機房空調冷媒	R22	4.25	公斤	二級數據
網路傳輸	行動網路流量	電力	538477200	KWh	一級數據

(三) 廢棄階段

由於目前機房設備設計都是朝向模組化，射頻單體採用卡板模組以組合方式設計，3G 與 4G 如有相同頻段設備可以升級共同使用，如有發生故障一般都是後送維修，檢測後繼續轉為維修備料領出使用，較少有汰舊換新設備情事發生，以辦公室內消耗品為盤查項目，皆假設設備的生命週期年限為 4 年。

表 3-3-4 為廢棄處理階段盤查清單

3G與4G				
廢棄物名稱	處理方法	用量	單位	活動數據屬性
電腦	再生 料-廢 電子電 器暨廢 資訊物 品-待 再處理 二次料	20	台	二級數據
螢幕		20	台	二級數據
滑鼠		20	個	二級數據
鍵盤		20	個	二級數據
伺服器機組		32	組	二級數據
網路線		40	公尺	二級數據

第四章 個案分析

第一節 生命週期之盤查資料蒐集

4.1.1 數據蒐集範疇須依循以下之原則進行：

1. 以生命週期階段敘述之邊界為基準，並以一年盤查數據為數據蒐集期間。
2. 數據中心之營運分配可依數據中心基地台系統機組數量占比作為分配基礎，資料處理中心服務與設備之碳足跡分配，可依員工人數來作為分配依據。
3. 若有引用其他參數必須說明採用之來源依據。
4. 生命週期分析所使用之產品數據資料，蒐集時應該以盤查標的之完整生命週期為蒐集單位。

4.1.2 數據蒐集的方法：

1. 每一單元過程的描述，及輸入與輸出的相關數據類別之列舉各流程所需設備所投入之能源
2. 列舉與各單位過程相關的操作狀態下之流量與資料
3. 發展規範使用單位之清單
4. 所有數據的資料蒐集與計算技巧之描述

4.1.3 數據蒐集範圍

在行動寬頻上網環境中，基地台設備耗能是耗電大戶，越加密集的基地台就會產生更高的能耗，未來 5G 寬頻上網也將面臨的成本提高的挑戰。基地台的供電系統由市電接入，透過電源開關箱中 AC220V 電源轉換為 DC - 48V 直流電源，連接到基地台設備，基地台設備再透過饋纜或是光纜，連接到支架上的天線。基地台設備的內部構造主要包含：系統模組 BBU、射頻單元(RF)、功率放大器(PA)、開關電源、天線埠口、散熱系統等，其中系統模組 BBU 包含控制單元、傳輸單元和基帶處理單元等，主要負責信號濾波、OFDM、調制解調、頻域處理等功能。

一般基地台功耗分為三大類型：傳輸功耗、計算功耗與其他額外能耗。

傳輸功耗：主要是功率放大器(PA)和射頻(RF)部分所消耗的電能量，主要進行基頻信號和無線信號之間的信令轉換，饋纜 Cable 的功耗包括在傳輸功耗之內。

計算功耗：包括數位處理部分、執行管理和控制，以及核心網和每一基地台間通信等相關功耗。

其他額外能耗：指市電接入到基地台電源轉換為 DC -48V 直流電源，整個轉換過程中的其他額外損失的電量耗能，當然也包含機房內空調、散熱的風扇所消耗的電量。

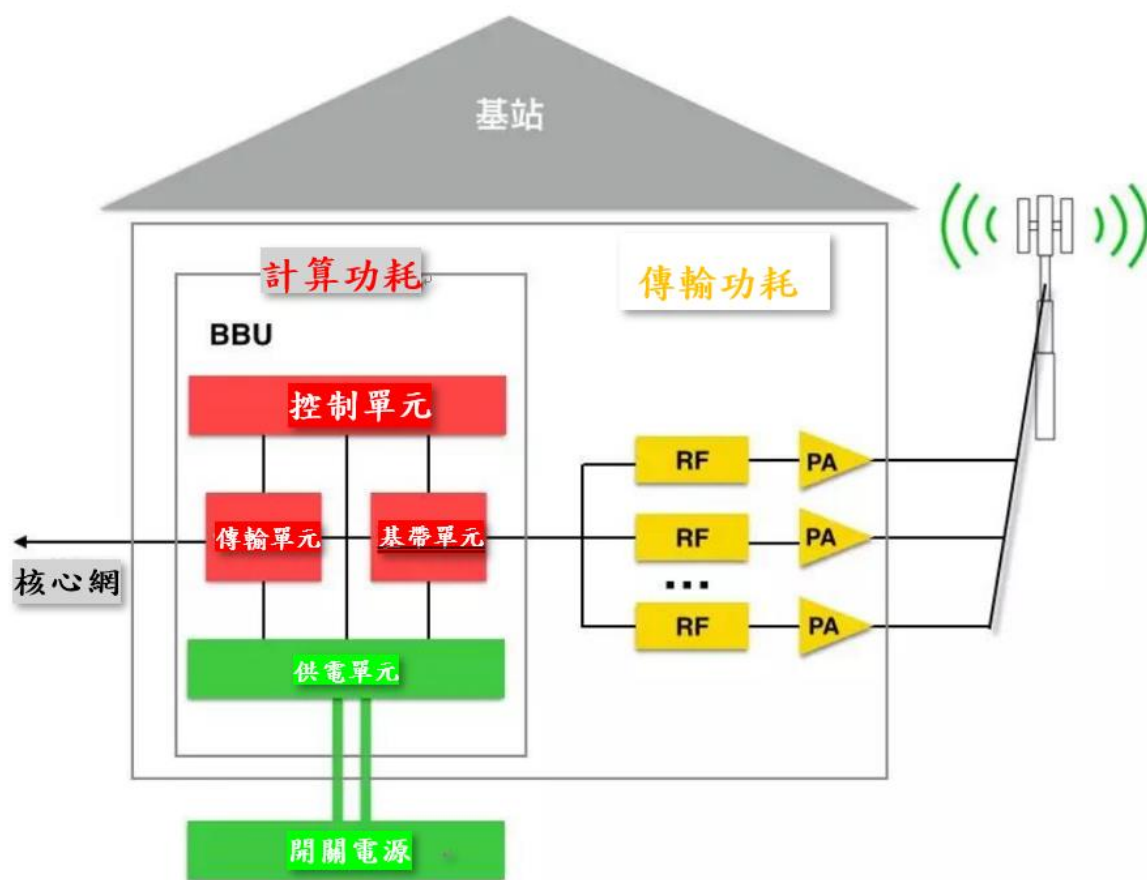


圖 4-1-1 基地台功耗

對於舊型的 3G 或 4G 基地台，通常傳輸功耗會大於計算功耗，系統模組 BBU 的功耗，則小於功率放大器 PA 和射頻單元 RF 的部分功耗，因此舊型基地台提升效能的方法，主要是在減少傳輸功耗，在使用率較低的時段，可以關閉部分載頻和射頻部分功耗，來達到節能減碳效果。

基地台的主要組件包含：

1. 主機板 (Main Board)
2. 電子元件 (Electronic Components)，例如 CPU、記憶體、控制晶片等
3. 通訊元件，例如通訊晶片、內建天線模組等 (Communication Components)
4. 機構元件 (Mechanical Components)

5. 輸出入介面 (Input/Output Device Interface)
6. 外殼部件 (External Case)
7. 外部電源供應器 (External Power Supply)

亦可能包含以下之元件及配件：

1. 外接式無線網路天線 (Antenna)
2. 連結線材 (Cables)

第二節 行動上網流量碳足跡評估結果

經完整的盤查台灣大哥大主要關鍵機房辦公室與數據中心(基地台)後，優先選用台灣產品碳足跡計算服務平台內碳足跡資料庫的碳排放係數，本研究利用生命週期評估軟體 SimaPro9.0.0 Demo 版，評估方法為 IPCC 2007 GWP 100a，分別計算台灣大哥大用戶每傳輸 1MB 的資料於生命週期各階段包含設計取得、建設服務以及廢棄處理階段的溫室氣體總排放量，並依照消費者所使用的行動上網載具與網路傳輸形式；計算當台灣大哥大用戶使用智慧型手機以 3G 或 4G 網路服務，傳輸 1MB 網路流量的碳排放分別為 0.49 與 0.60 (g CO₂e/MB)。其各階段的二氧化碳排放量如下表 4-2-1 所示：

表 4-2-1 機房碳足跡分析結果(單位為 g CO₂e)

機房各階段碳排放量		
	(3G) 機房	(4G) 機房
(一)設計取得階段	26,782.28	26,782.28
(二)建設服務階段		
EPC核心網路機房	30,780	30,780
數據中心資料儲存服務	602	23,731
網路傳輸	1,087,259	2,061,291
(三)廢棄階段	34.4	87.24
總碳排放量	1,333,460	2,419,161
傳輸 1MB 網路流量(g CO ₂ e)	0.49	0.60

由下圖 4-2-1 與圖 4-2-2 所示，每傳輸 1MB 的行動上網的流量，當使用相同行動載具時其碳足跡結果也會因為消費者使用的網路傳輸方式不同而有不同的碳排放結果，4G 網路單位傳輸的碳排放量高於 3G 網路。

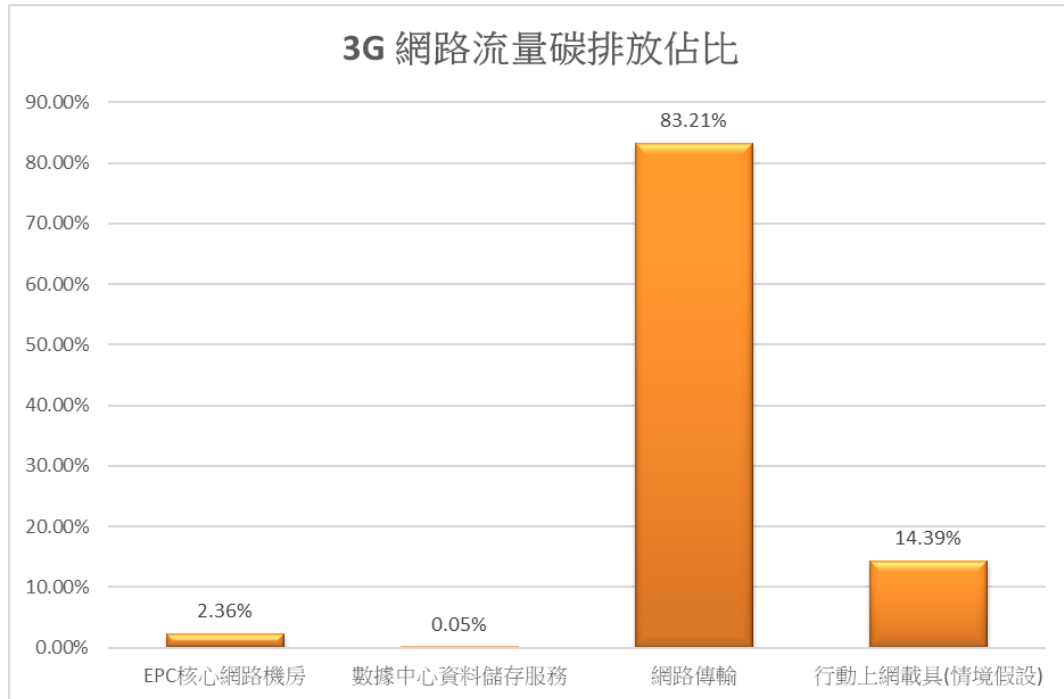


圖 4-2-1 3G 網路流量各階段碳排放量圖

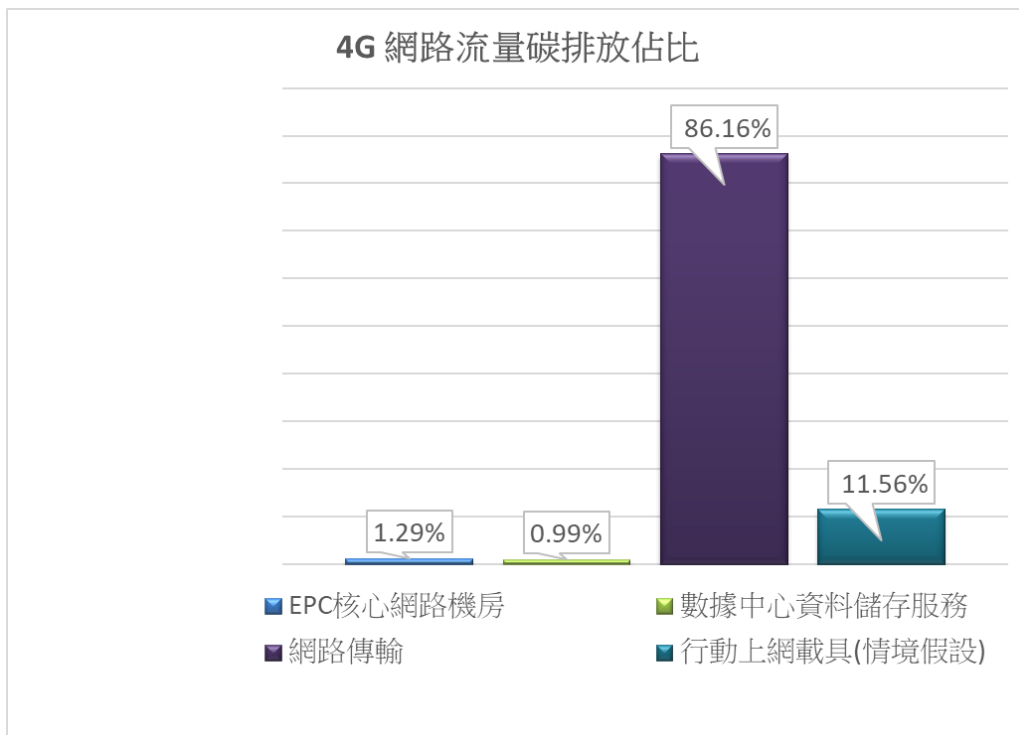


圖 4-2-2 4G 網路流量各階段碳排放量圖

以圖 4-2-3 與圖 4-2-4 得知，在系統邊界所劃分的設計取得階段、建設服務階段、廢棄處理階段不論是使用 3G 或 4G 服務其中占比最高都為建設服務階段 98%(3G)及 99%(4G)、其次則是設計取得階段 2%(3G)及 1%(4G)、廢棄處理階段 0.003%(3G)及 0.001%(4G)。

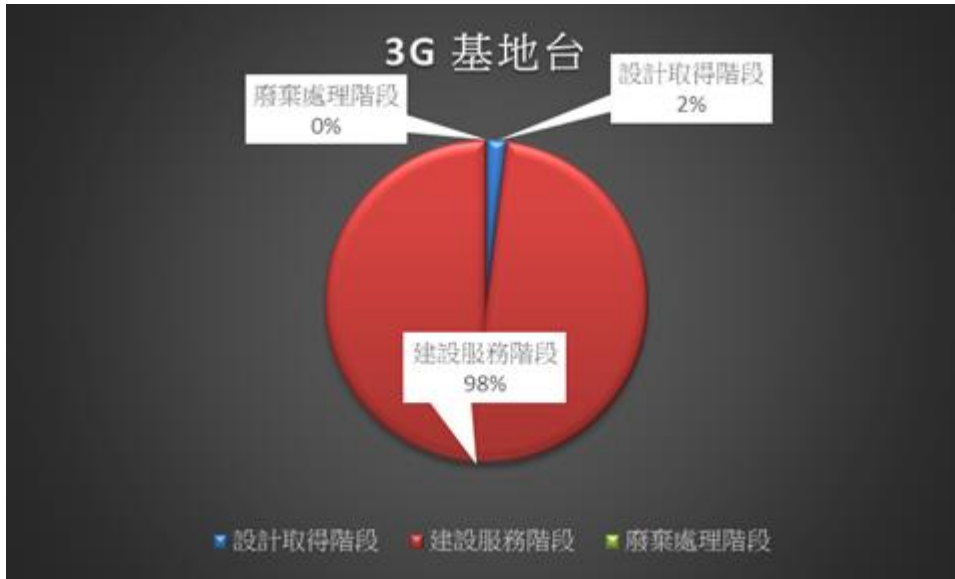


圖 4-2-3 (3G)基地台各階段二氧化碳排放比例圖

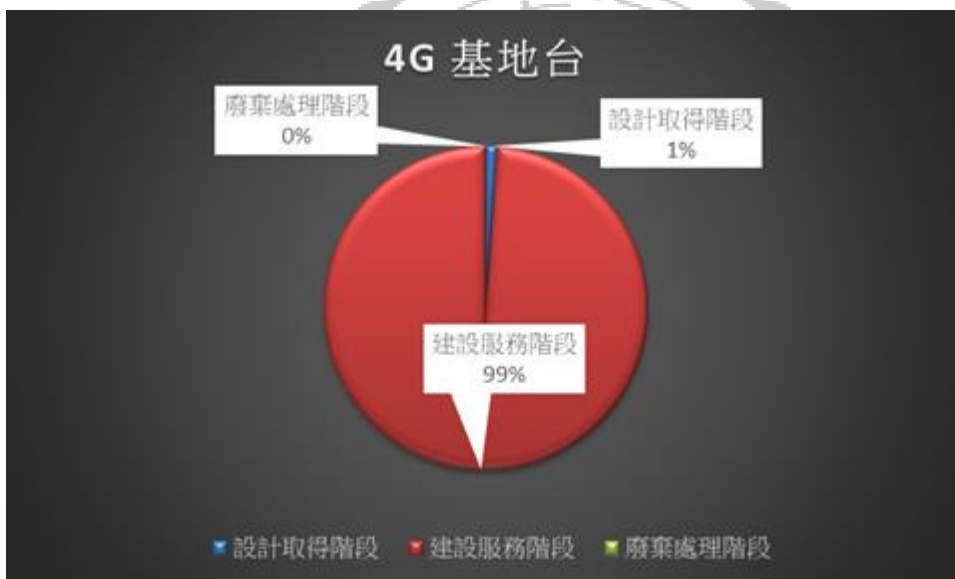


圖 4-2-4 (4G)基地台各階段二氧化碳排放比例圖

第三節 行動寬頻上網流量碳足跡結果分析

(一) 系統邊界分析：

本研究所探討的系統邊界其生命週期階段包含初期設計、規劃、建設服務與廢棄處理階段，計算範疇為消費者於使用行動上網服務過程中所有可能包含之設備與能資源使用。其中礙於實際盤查之難度與限制，使得本研究內容轉換處理設備使用辦公室人數比例、數據中心能資源採用伺服器數量比例以及基地台用電採

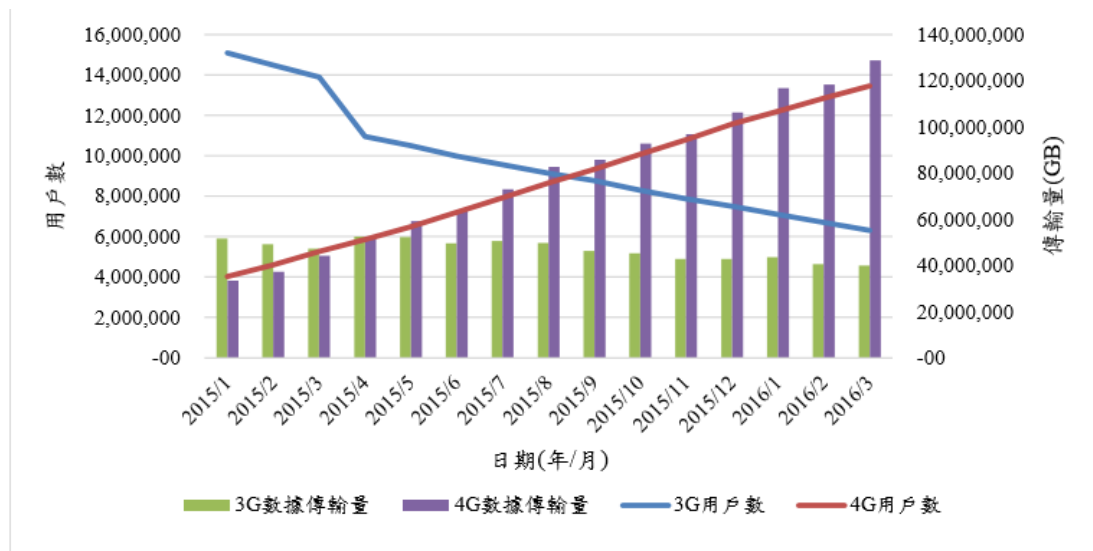
用能耗功率作分配；另外，網路傳輸服務中有線固定網路的盤查礙於研究限制使得無法計算有線網路傳輸的碳足跡。

(二) 3G 網路與 4G 網路比較分析：

本研究經實際評估 3G 與 4G 網路傳輸的碳足跡結果發現，4G 網路作為網路傳輸模式時的碳足跡高於 3G 網路。這是因為台灣大哥大公司 4G 網路具有 3 個頻段而 3G 只有一個頻段，使得 4G 設備耗電高於 3G 設備

表 4-3-1 臺灣電信用戶數與數據傳輸量比較圖

(資料來源：彙整自中華民國國家通訊傳播委員會，2016)



(三) 行動數據用量：

台灣民眾行動數據用量高居亞洲第 1，在全球也僅次於芬蘭電信產業資料分析商 tefficient 本月發布報告指出，2017 年台灣行動數據用量平均達每月 10.7GB/SIM 卡，相當於每月用手機播放 NETFLIX 串流影片約 11 小時的數據用量。台灣的平均行動數據用量，較南韓高出 1 倍、比日本高出 2 倍以上，且近乎是新加坡的 6 倍。用行動裝置收看串流影片與電視，以及社群通訊 App 內容愈來愈圖像化與影像化，是數據用量竄升的原因，如圖 4-3-1 全球 36 個國家行動數據平均消費量變化。

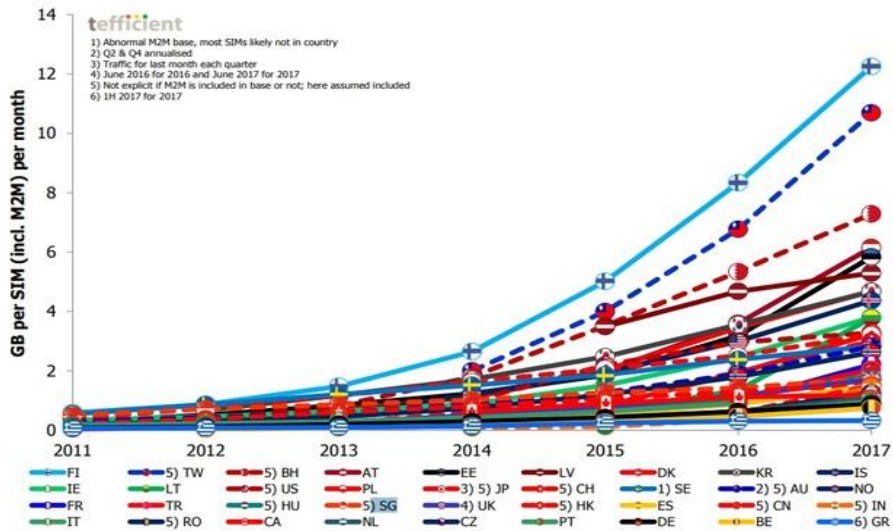


Figure 1. Development of mobile data usage per SIM (incl. M2M) per month

圖 4-3-1 全球 36 個國家行動數據平均消費量變化

調查資料顯示，台灣每人每天的碳足跡高達約 19.6 公斤，其中又以吃肉、吹冷氣、開車為最大宗約占 55%，而且碳排放量 19.6 公斤中又以吃肉類食品是最大的碳排來源，相當於每人每天吃 432.5 公克的肉，產生 5.7 公斤的碳排放量，約占整天碳排放量的 29%。其次是吹冷氣產生 3.4 公斤的碳排放量，約占 17.3%，國人開車產生的碳 1.7 公斤，約占 8.7%。在台灣每一人每年平均碳排放量高居亞洲第一。

統計資料台灣 4G 用戶的平均每月行動數據使用量到 2018 年 7 月已經達到 17.2GB，平均每天約 587MB，以本研究討論日常生活中使用智慧型手機以 3G 或 4G 網路服務，傳輸 1MB 網路流量的碳排放分別為 0.49 與 0.60 (g CO₂e/MB)，使用網路上網流量；每人每天使用 4G 行動上網碳排放量約 352.2 公克(0.35 公斤)，占全日碳排放量的 1.7%，雖然佔比例不是很高，但是台灣無線網路使用調查：4G 用戶超過 6 成用戶申請使用吃到飽的上網方案，根據 107 年通訊市場報告調查資料發現以手機連網使用的功能以看影音短片的比例最高（52.8%），其次為照片或影片上傳或分享（43.3%），越來越多的人使用行動裝置瀏覽社群 app 影片，行動上網碳排放量會隨著使用流量越高，碳排放量也會增加。

再了解節能減碳的重要性之後，十種節能減碳的方法，包括有：(1).少買新衣服減少舊衣回收(2).多吃蔬果少吃肉(3).多淋浴少泡澡(4).多爬樓梯少搭電梯(5).多

搭乘大眾運輸工具少開車(6).少開電視(7).少打電動(8).隨手關燈節約用電(9).自行攜帶環保餐具少用免洗餐具(10).冷氣溫度控制在 26 度。

要做地球好公民，除了動手實踐，還可以進一步了解自己的二氧化碳排放狀況。



第五章 結論與建議

第一節 結論

1. 本研究以行動上網為目前使用者透過隨身連網設備，意旨各種行動裝置，如智慧型手機、平板電腦、行動穿戴裝置，經由電信公司網路連接上網的服務。
2. 透過文獻回顧整理，在無線上網的部分，從物理的角度來看，無線的是有限的，有線的是無限的，所以其實 Wi-Fi 的無線上網基本上它是利用有限的資源去把它給延伸出去的，所以 Wi-Fi 是在做補強的動作，業者它所提供的一些 Wi-Fi 的補強的上網的服務，從業者的角度來看這件事情，也希望能夠在上網的普及率上面，coverage 的部分網路涵蓋。
3. 本研究經實際評估以使用 3G 與 4G 網路傳輸的碳足跡結果發現，4G 網路作為網路傳輸模式時的碳足跡高於 3G 網路，主要是因為目前 4G 網路頻寬與頻段較多，另外主要上網服務皆以 4G 網路為優先，3G 網路漸漸成為以語音服務為主。
4. 本研究分析發現行動通信網路中，基地台的設備用電量占整理各階段中最高，而電力使用為又是主要能資源的耗用，佔碳排放量比例也相對最高。
5. 本研究以台灣大哥大用戶每傳輸 1MB 網路流量的碳排放分別為 (3G) 0.49 與 (4G) 0.60 (g CO₂e/MB)。

我們身為地球公民的一份子，為了環境永續發展的著想，我們每個人能做的，就是要從自身做起，做好節約能源與選購碳足跡產品，致力推行低碳生活，為地球暖化帶來生態浩劫深刻省思。

第二節 建議

因應全球暖化問題，「綠色企業」已經成為公司治理的新指標，本次探討的案例台灣大哥大公司致力於降低營運活動產生的碳排放，也積極扮演環境保護的角色，希望經由企業內部節約能源，做好溫室氣體管理與自主減少碳排放量的努力，持續追求高效率能源使用和維護環境，提供消費者綠色的產品服務，善盡環境社會責任。綠色設計是運用創新技術減量與降低經營成本，不僅要減少物質和能源的消耗，更必須要減少有害物質的排放，而且要使相關產品及零組件能夠更方便的分類回收，並且達到再生使用或重新利用。

研究探討得知，電信業者的營運成本佔大部分花費在電力支出，在碳排放的風險管理當中，不僅應該定期盤查溫室氣體排放，並且定期檢核節能減碳的績效。因此，建議基地台可以透過節電降低整體碳排放量，例如：

1. 如果要減少基地台所產生耗能，首先可以把機房內冷氣的溫度調高，現況各家業者的基地台高溫的溫度是設定在 35 度，以前溫度更嚴謹約是 25 度~30 度，研究結果證實，室內溫度提高並不會直接影響部分設備的可靠性和設備壽命，更可以利用外部的冷空氣透過空氣循環來進行冷卻。
2. 其他的節能方式還有把機房漆成白色，就能反射陽光漸少太陽直射，部分業者在山區裝設了使用太陽能能源的基地台。另外在上網密集的区域，為了增加基地台負載能量，也會在非尖峰時段把部分頻點先關掉，減少能源的耗損。
3. 在使用者對於高資料傳輸量的需求趨勢下，為提升傳輸效率，電信營運商勢必會布建更多基地台，也將會造成更多能源消耗與二氧化碳的排放，對此建議可改採小範圍網路架構，如利用毫微微型蜂巢式基地台(Femtocell)，即可降低基地台傳輸功率。
4. 邁入 5G 的時代，對於上網頻寬速率要求更高，相對的設備耗電量也會越高，5G 面臨另一個關鍵問題就是用電，根據中國電信於 3GPP 標準會議投稿資料指出，5G NR 的電力消耗為 4G LTE 的 3 到 4 倍，5G NR 傳輸距離較短，若要

達相同的覆蓋率，需要的基地台數量為 4G 的 3 倍以上，總電力消耗預估將達 9 倍以上。建議電信業可提升綠色能源的使用比例、提高能源使用效率、提供永續產品甚至透過電信業雲端運算能力協助客戶解決全球暖化之問題，以降低電信業營運對於自然環境的衝擊。

5. 台灣未來 5G 的應用會以切入醫療照護及物聯網為主，在物聯網的部分，除了人與人之間的通訊之外，也可透過物品間之雙向通訊，提供使用者專屬個人客製化服務，建議未來行動寬頻上網流量碳足跡之研究，能將 5G 網路一併納入計算，以計算出更符合實際使用情形的結果。



參考文獻

一、中文文獻

1. 生命週期評估 LCA - 中崗科技中文首頁
<http://www.ixon.com.tw/Products/simapro/simapro.htm> (檢索時間 2019/04/09)
2. 產品碳足跡計算服務平台
<https://cfp-calculate.tw/cfpc/WebPage/LoginPage.aspx>(檢索時間 2019/04/23)
3. 行政院環境保護署，台灣產品碳足跡資訊網「碳足跡應用」，2010。
4. 行政院環境保護署，產品與服務碳足跡計算指引，2012。
5. 陳小娟，1994，”企業環境管理績效評量指標建立的探討”，國立台灣大學 商學研究所碩士論文
6. 國家通訊傳播委員會，「107 年通訊市場調查結果報告」，2018。
7. 國際數據資訊(International Data Corporation)，「2016 年台灣 ICT 市場十大趨勢預測」，<http://www.idc.com.tw/about/468.html>，2015
8. 黃建中，2005，生命週期衝擊評估之客觀權重方法，台大環工所博士論文。
9. 經濟部標準檢驗局，「環境管理-生命週期評估-原則與架構」，2008。
10. 經濟部標準檢驗局，CNS14040：環境管理-生命週期評估-原則與架構，台北，2008。
11. 綠基會，「產品碳足跡評估標準發展動態」，綠基會通訊，專題報導，4 月號，2012，第 8-10 頁。
12. 鄭仁富，「多螢情境下的消費行為與服務創新」，財團法人資訊工業策進會，http://www.find.org.tw/market_info.aspx?n_ID=8662，2015
13. 盧怡靜，呂穎彬，「ISO 14040 生命週期評估的下一步」，永續產業發展季刊第 66 期，第 29-35 頁，2014。
14. 羅時麒，2005，以系統性機率模式鑑定量化與整合生命週期評估之不確定性，台大環工所博士論文。

二、英文文獻：

1. Barnett Michael L., M. Salomon Robert, 2005, “The Curvilinear Relationship Between Social Responsibility and Financial Performance”, Strategic Management Journal, August 2005 version.
2. Cisco. (2016). “Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2015 - 2020 White Paper,” 3 February 2016, <http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/mobile-white-paper-c11-520862.pdf>
3. Dillenbug Stephen, Timothy Greene, Homer Erekson, 2003, “Approaching Socially Responsible Investment with a Comprehensive Ratings Scheme: Total Social Impact”, Journal of Business Ethics 43: 197-199, 2003
4. Energetics. (2007). “The Reality of Carbon Neutrality,” London. www.energetics.com.au/file?node_id=21228
5. Gens, F. (2012). “IDC Predictions 2013: Competing on the 3rd Platform.” Int. Data Corporation.
6. Gens, F. (2013). “The 3rd Platform: Enabling Digital Transformation.” IDC whitepaper, 244515.
7. Hill Ronald Paul, Thomas Ainscough, Todd Shank, Daryl Manullang, 2006,” Corporate Social Responsibility and Socially Responsible Investing: A Global Perspective”, Journal of Business Ethics(2007) 70:165-174
8. Michelson Grant, Wailes Nick, Sandra van der Laan, Frost Geoff, 2004, “Ethical Investment Process and Outcomes”, Journal of Business Ethics 52: 1-10, 2004
9. Strudler Alan, 2003, “On Socially Responsible Investing: A Critical

- Comment” , Journal of Business Ethics 43: 215-217, 2003
10. Sparkes Russell, J. Cowton Christopher, “The Maturing of Socially Responsible Investment: A Review of the Developing Link with Corporate Social Responsibility” , Journal of Business Ethics 52: 45-57, 2004

