
Chapter 12: 綠能通訊網路

Prof. Yuh-Shyan Chen

Department of Computer Science and
Information Engineering

National Taipei University

目錄

12-1 綠能通訊網路簡介

12-2 綠能無線網路

12-3 綠能智慧電網

12-4 綠能應用

綠能通訊網路簡介

- 近年來能源缺乏、節能減碳議題持續發酵，2008年時國際氣候組織 (The Climate Group) 受聯合國全球電子永續倡議組織 (GeSI) 委託，發表一項研究報告「SMART 2020: 在資訊時代裡實現低碳經濟」，說明資通訊產業 (Information and Communication Technology, ICT) 對於如何解決全球氣候變遷問題。
- 就資通訊產業和電信網路等的產品生命週期來評估，預估2020年的資通訊產業預測碳排放量將從5億噸成長到14億噸。

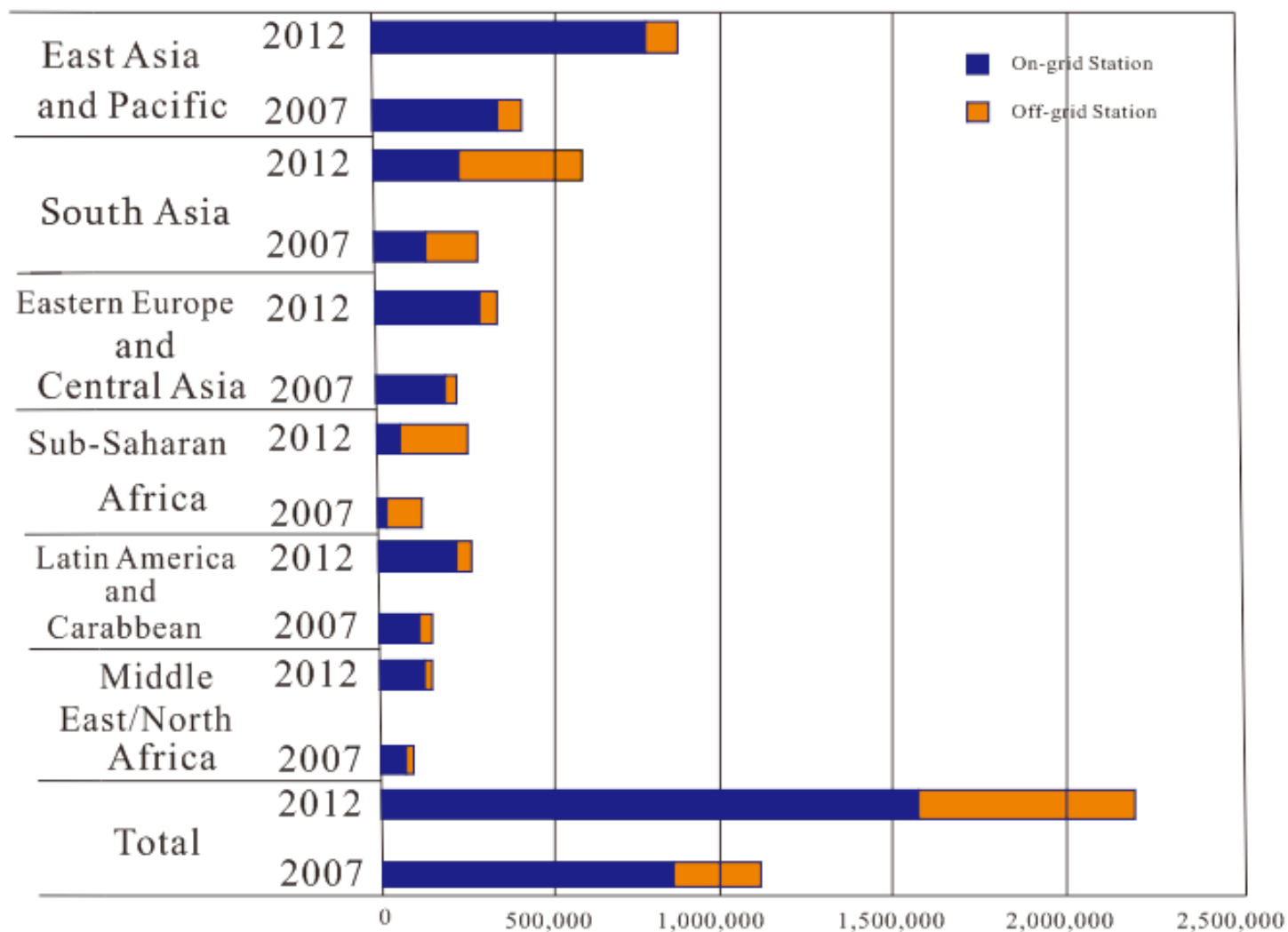
綠能通訊網路簡介

- 能夠改善使用資訊通訊技術的方式，到2020年時，預估可減少全球碳排放當量達78億噸，預期占該年度排放量的15%，同時在經濟效益上全球可節約超過6,000億歐元的能源成本。
- 資通訊產業在亦可協助體社會實現節能減碳，預估到2020年時，經由資通訊所促成的二氧化碳減排總量，將超過資通訊產業自身的碳排放量的5倍以上，使得資通訊產業成為「負碳排放」的主要產業。

綠能通訊網路簡介

- 綠能資通訊 (Green ICT) 成為先進國家資通訊發展的主要核心之一，如日本、南韓、歐盟等國，皆已提出相關綠能資通訊政策、組織與研究計畫，如 GreenTouch 等，先進國家對綠能資通訊相關議題均十分的重視。

圖12.1: 綠能通訊網路簡介



綠能通訊網路簡介

- 通訊和網絡設備的能源消耗與二氧化碳排放總量已經在全球排名上名列前矛，而且還正以一個驚人的速度增加中，如圖12-1所描述之通訊發展趨勢 (GSMA Research 2010)。更隨著高行動數據的需求，未來的高速數據行動網路，能源消耗儼然是一個重大的問題，近年來在國內外各重要國際會議活動和組織中被廣泛討論，例如近年組織的 IEEE GreenCom和IEEE SmartGridComm等會議，重視綠能資通訊技術 (Green ICT) 科技議題。

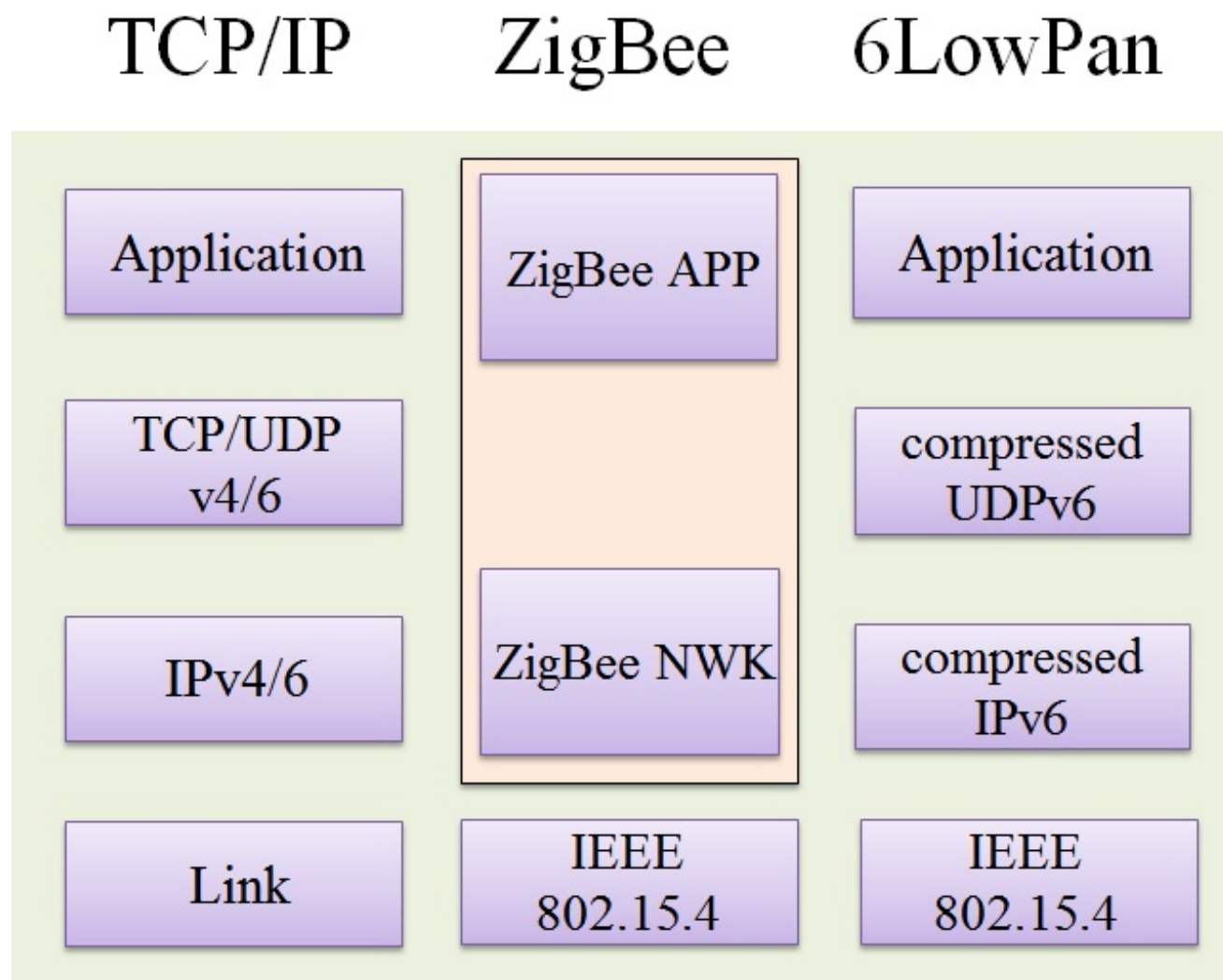
國際綠能資通訊技術 (Green ICT) 發展趨勢

- ICT部門本身的綠化，例如思考如何使資訊科技產品、通訊系統能更節約能源，降低對環境之衝擊。
- 運用資通訊技術於各領域，達到節能減碳之效果，綠能資通訊的應用範疇相當廣泛，並將牽動著資通訊產業的發展趨勢。

綠能無線網路

- 近年國內外有許多綠能通訊網路與協定之研究方向，例如針對支援綠能通訊網路以減少能量消耗為目的之省電媒體存取層設計、省電網路層設計、省電傳輸層設計、省電資料排程、跨層省電設計、合作式省電通訊技術、省電遊戲理論等。例如: IETF 6LoWPAN (IPv6 over Low-power Wireless Personal Area Networks) 標準最近廣受重視，將IPv6協定引入低電源無線個人通信網路中。

圖 12-2: 6LoWPAN之差異比較



綠能無線網路

- 6LoWPAN工作組討論如何調適IPv6 協定，使其適用於IEEE 802.15.4的低電源實體層及MAC層，制定出6LoWPAN協定，由於6LoWPAN對於能源功率的特殊要求，導致其封包表頭與標準IPv6的表頭產生差異。
- 圖12-2描述6LoWPAN的協定層與標準TCP/IP的不同，其最大差異在於增加了封包表頭壓縮機制 (compressed UDPv6與compressed IPv6)，主要是因為6LoWPAN的低功率需求，封包表頭必須要減少長度，確保提昇傳送效率，使以將封包表頭長度多做了縮短的處理。

綠能無線網路

- 6LoWPAN針對低功耗的需求，制定了各種IPv6網路中的路由協定，如IPv6 Routing Protocol for Low power and Lossy Networks (RPL) 協定，而在寬資源受限的環境下，資訊的讀取及控制問題，制定了的應用層協定。
- 6LoWPAN採用IEEE 802.15.4標準，有著低速率、低功耗、低成本、短距離、低複雜度、多拓撲等特色。

綠能無線網路

- 6LoWPAN 通訊協定堆疊是以IEEE 802.15.4標準的實體層及MAC層為基礎，依序對網路層、傳輸層及應用層加以修改所訂定的通訊協定，由於IPv6網路層並非為低速率及低功耗網路環境所設計，將它運用在低電源無線個人區域網路，顯然必須克服一些關鍵性技術。
- 綠能手機節能協定設計，可考量手機設備耗電的情況進行節能協定設計，在LTE (Long Term Evolution) 相關標準中，已制訂出非連續接收 (DRX) 和非連續傳輸 (DTX) 手機模式，利用協定設計，達到有效率並正確決定何時使用非連續接收和非連續傳輸模式來降低手機設備的耗電，達到省電目的。

綠能無線網路

- 近年來，為了呼應節能省碳的議題，將來的無線通訊網路標準中，基地台 (BSs) 的明顯有著節能的潛力，所以有了“綠能細胞網路”(Green Cellular Network) 的概念。同時在製造商和網絡營運商的在最近的分析中，表示當前的無線網絡並不是非常的節能，尤其是終端透過網路服務接入的基站，所以針對這一項實驗觀察，在2009年成立Virtual Centre of Excellence (VCE) 移動虛擬卓越中心，研究未來如何在基地台的無線系統中獲得節能的效果。

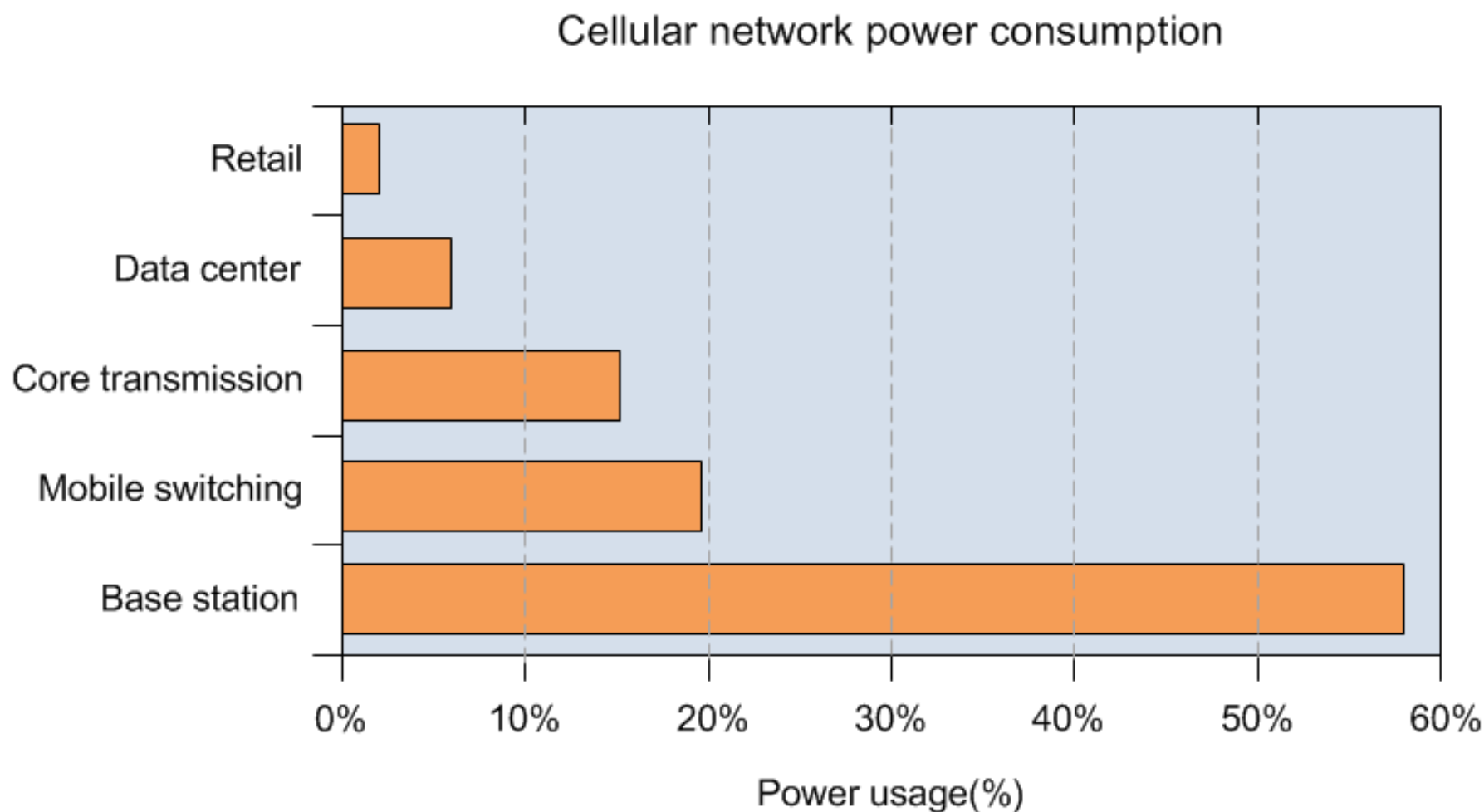
綠能無線網路

- 基地台運作時，其消耗的電量其實是相當龐大的，目前有超過4萬個基站 (BSs)，為移動用戶提供服務，每消耗平均每年25MWh。
- 預計到2012年，在一些發展中地區的BS，幾乎以兩倍成長，而基地台所佔碳排放總量的2%左右。
- 一個典型的範例，在英國的移動裝置網路，不包括電力消耗用戶的手機，就已經可消耗40-50兆瓦，這些趨勢使研究人員在綠能細胞網路的新研究領域感到興趣。

綠能無線網路

- 鑑於全球在使用移動裝置用戶的數量增加，在移動裝置方面需要更高的數據傳輸速率，針對全球的整體能源消耗，需要有一個保護環境的機制來減少無線接入網路的能源消耗。歐盟委員會最近已開始在第七科研架構計劃FP7中的項目來解決移動通信系統的能源效率。

圖 12-3(a): Cellar network耗電分布比較表



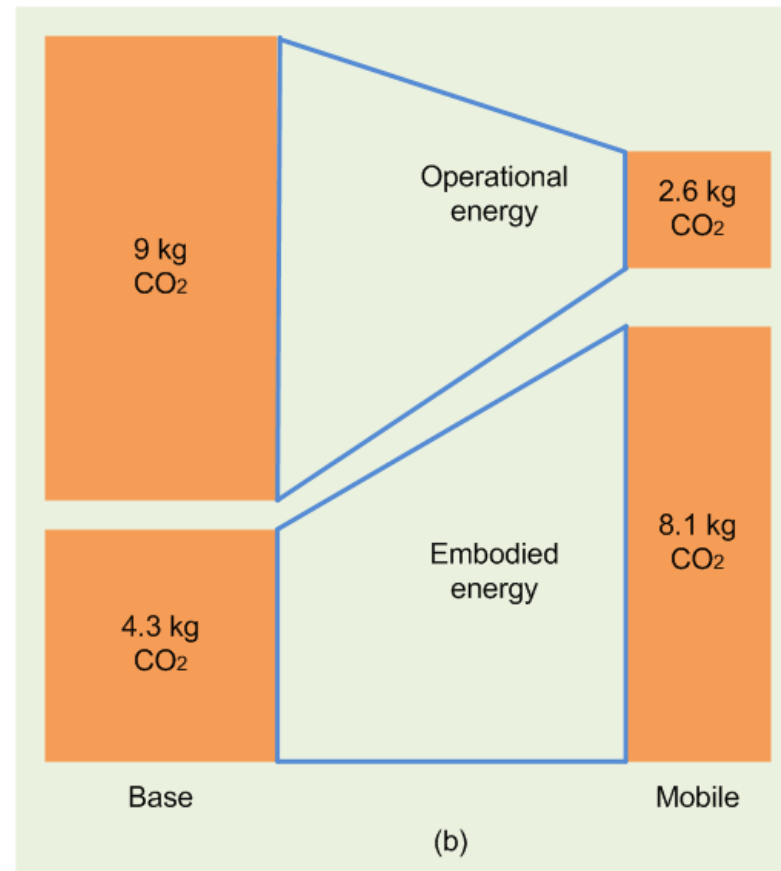
(a)

綠能無線網路

- 一個典型的蜂窩網路細胞網路其耗電分布可參考圖 12-3(a) 所示，共可分為零散的功率消耗使用 (Retail)、數據中心的功率消耗 (Data center)、核心傳輸的功率消耗 (Core transmission)、移動裝置的功率消耗 (Mobile switching)、基地台的功率消耗 (Base station)，由結果清楚地看出，基地台的功耗最多，因此降低基地台的功耗，就是這項研究最重要的部分。

圖 12-3 (b): Base station和Mobile產生二氧化碳排放量

- 每年每用戶在Base station和Mobile上所產生二氧化碳排放量



綠能無線網路

- 由圖12-3 (b) 可得知這項研究表明，每名用戶的 Mobile 手機終端平均功耗比建置基地台所產生的功耗低很多，因此要達到節省能源消耗的目的，主要是著重於改善基地台的設計問題，同時基地台的建置和運作的平均功耗遠遠大於移動手機終端的功耗。
- 為了達到節能的目的，將考量每一個元素的能源使用效率的表現，其中基地台的部分，能源使用效率低下的情況相當明顯；這是因為手機使用者具有移動性，一個區域內的很有可能僅存在有少量的使用者，但是基地台卻依然使用全功率的能量在運作，如此能源使用效率將會非常低落。

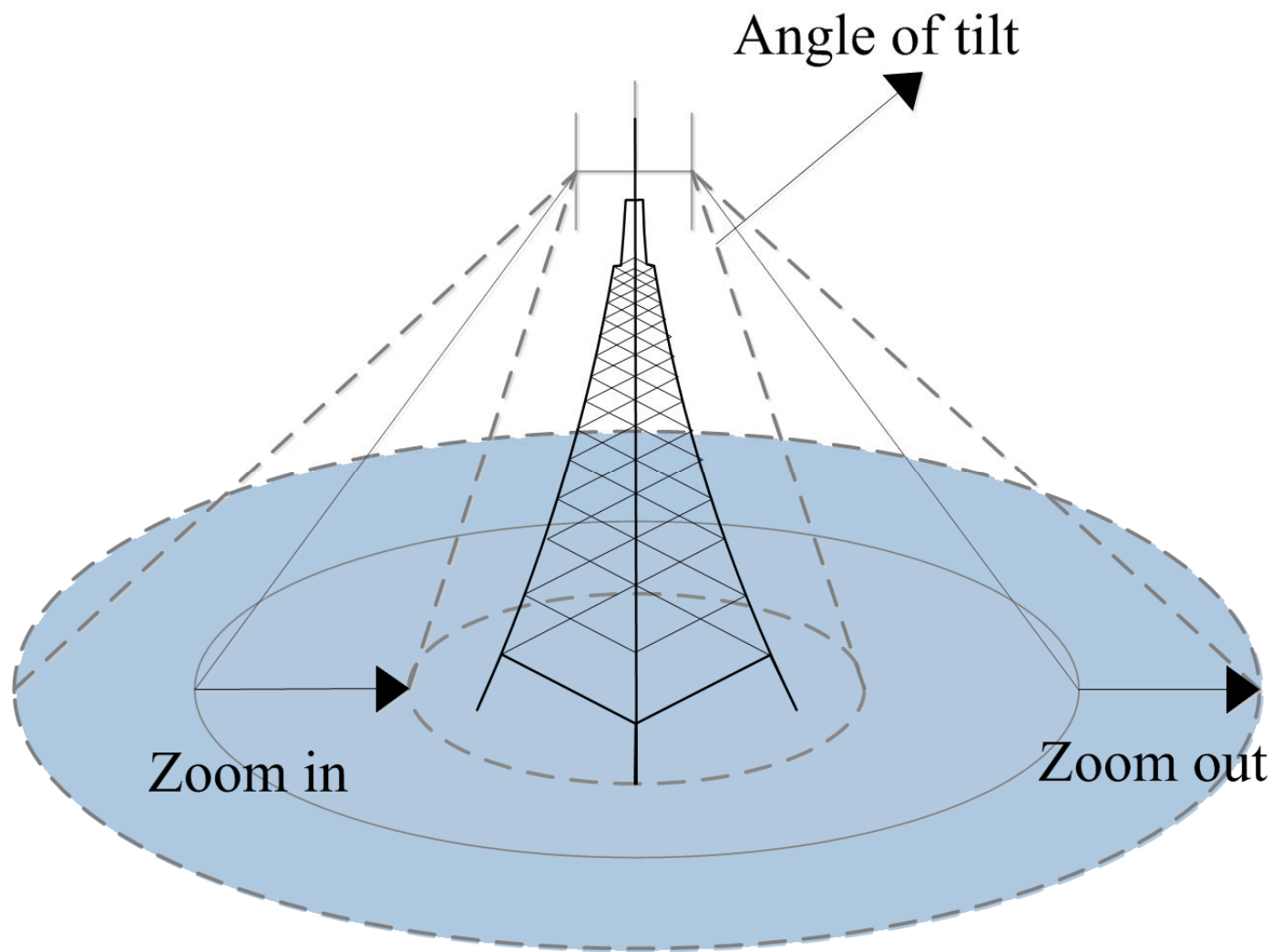
綠能無線網路

- 能量使用越多，理論上能獲得較高的效能。反之，減少能源消耗，則會降低效能。如何在能源與效能之間取得平衡是個重要的議題。綠能細胞網路其目的在於降低能源消耗。但若只考慮降低能源的消耗，則會使效能低到無法接受，是以目標是設計出，理想能源使用率與可接受的效能，使得能夠在耗能與效能上同時達到令人滿意的結果。

綠能無線網路

- 綠能細胞網路這個概念是在基地台在使用需求很低的時候，關閉基地台的電源，以達到節省電力的目標。
- 市中心區辦公大樓林立的地方，如果在晚上的時候幾乎沒有行動電話的服務需求，就可以關閉當地的基地台。

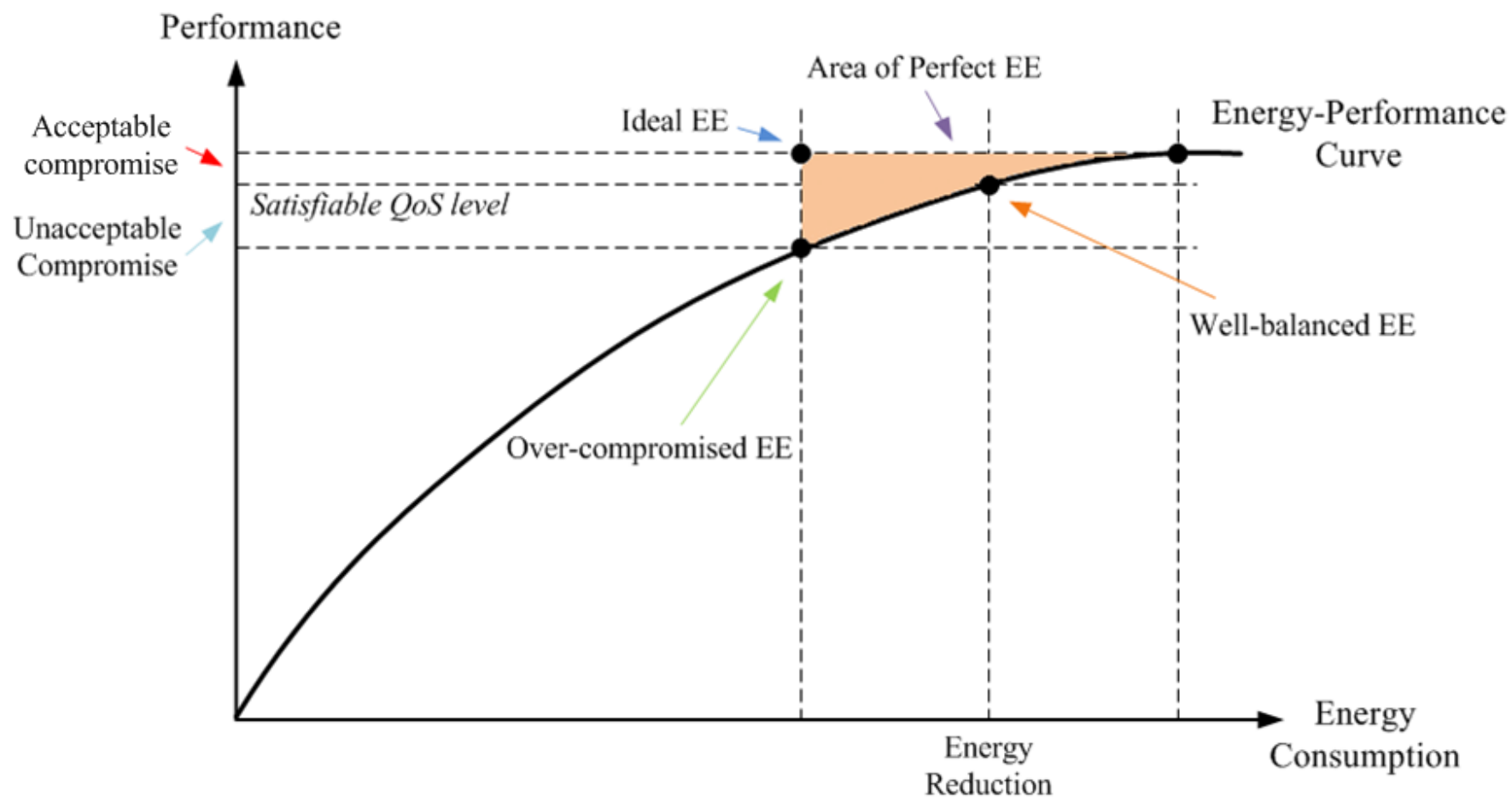
圖12-4: 基地台的能量使用控制



綠能無線網路

- 細胞縮放 (cell zooming) 是與此議題相關的一項系統設計，細胞呼吸是一種有限細胞大小 (cell size) 調整，其應用在當前部署的CDMA (Code Division Multiple Access) 網路，它乃是透過動態調整基地台的電波發射功率或信號發射角度，來達到節省電力或負載平衡 (load balance) 的目的。如圖12-4所示，基地台透過控制信號發射角度來達到控制其服務範圍的大小的變化，進而影響到能量消耗的高低。

圖12-5: 基地台能量消耗與工作效率之關係



綠能無線網路

- 然而控制基地台能量消耗的大小，亦同時將會影響到基地台的工作效率，這是由於因為降低基地台的能量消耗，將會使基地台服務區域變小，如此將會影響到部分用戶可能發生通訊中斷的現象。
- 如圖12-5所示，X軸為能源消耗，Y軸為效能，曲線為整個網路系統的能源-效能曲線。能量使用越多，理論上，能獲得較高的效能。反之，減少能源消耗，則會降低效能，如何在能源與效能之間取得平衡是個重要的議題。

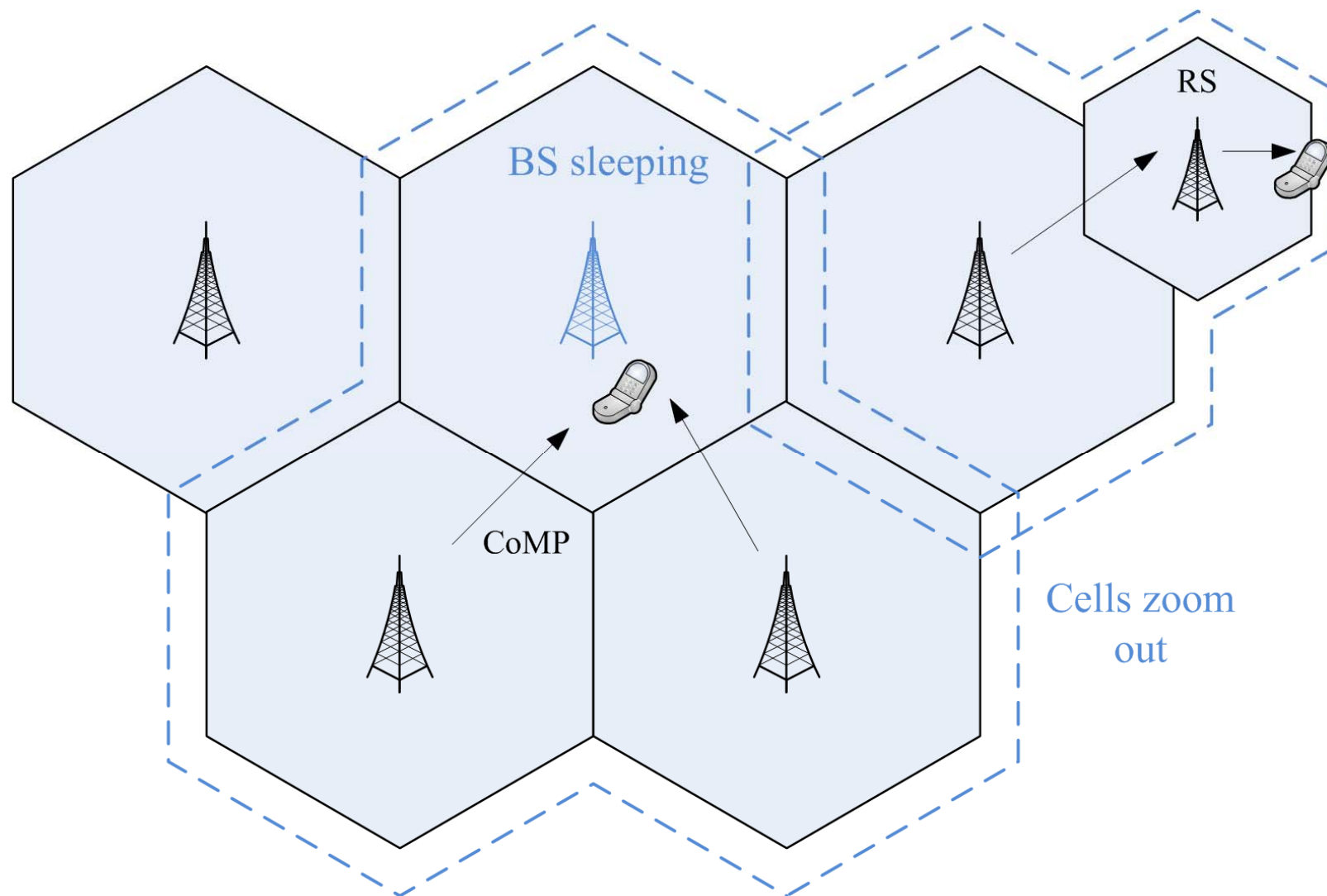
綠能無線網路

- 綠能細胞網路其目的在於降低能源消耗 (Energy Reduction)。若只考慮降低能源的消耗，則會使效能低到無法接受 (Unacceptable Compromise)。綠能細胞網路的目標則是設計出，理想能源使用率與可接受的效能 (Acceptable compromise) 並使得落於灰色區域內 (Area of Perfect EE) 的系統。

綠能無線網路

- 就負載平衡而言，如果某個基地台的負載過重(電波涵蓋範圍下有過多的行動用戶)，則可以將其電波發射功率調小，使位於其電波涵蓋範圍下的用戶數目降低，以達到降低其負載的目的。
- 原先位於其電波涵蓋範圍下的用戶，可轉由鄰近負載相對較輕的基地台來服務。要做到這點，臨近基地台的電波發射功率反而要調大。負載平衡原本的目的是要讓用戶數目能夠平均分散在所有的基地台，但是如果透過細胞縮放 (cell zooming) 達到省電的目的，則是要讓某些基地台完全沒有要服務的用戶。

圖12-6: 細胞縮放的節能機制



綠能無線網路

- 要做到讓某些基地台完全沒有要服務的用戶這點而又不增加用戶的服務阻斷率 (blocking rate)，此基地台原先的用戶要能夠被分散到鄰近基地台，意即臨近基地台的電波發射功率也要增大。
- 如圖12-6所示，其中一個基地台進入省電模式 (sleeping mode)，鄰近的基地台則需要增大其發射功率，繼續服務於位在省電模式的基地台中的使用者。
- 雖然鄰近的基地台都需要多消耗一些能源來保持使用者的服務品質，但是其增加的耗電量，遠遠小於啟動一個基地台所需的電量，所以整體的能源消耗還是降低，進而達到節能省電的目的。

綠能無線網路

- 為了達到更好的能源調節與節約，小細胞網路被用於細胞網路 (cellular network) 部署上，使用更小的細胞結點 (cell)，如micocells，picocells和femtocells。規模較小的細胞結點 (cell)，在提供寬帶覆蓋上更節能，達到更高的能源利用率。
- 隨的高數據速率和其他服務的需求急劇增長，在無線網路下，需要更密集的基地台(BS)部署。傳統的macro-cellular network部署是較低效率的，修改當前的網路架構，經濟上是較不可行的。

綠能無線網路

- Macrocell被設計成能大面積覆蓋，但對於提供高據速率時，效率不高。要達到更省電的細胞網路並維持高速數據流量的方法之一：減少節點間的的傳輸距離，從而降低發射功率。
- 小型細胞 (small cell) 的出現並能提供高數據吞吐量 and 覆蓋率的提高為家庭和辦公室使用的需求，小型細胞很快的在無線行業吸引了強大的目光。
- 住宅和企業的小型細胞基地台 (small cell BS) 提供很大的效能，利用其優秀的室內性能，並提供增值服務和應用程序。

綠能無線網路

- 連鎖反應小型細胞的好處是他們的潛能，顯著降低網絡能源消耗，同時在異構網絡部署中，特別強調小型細胞休眠模式的需要，這促使小型細胞更是強化降低能源消耗的表現。
- 一個小型細胞本身就是一個可以提供基地台服務的裝置，其具有多項優點，諸如低功耗、低成本的無線電、能自組織、自我優化、自配置，主要的設計目標是提供住宅，企業或熱點室外環境優越的細胞網路覆蓋區域 (cellular coverage)。

圖 12-7: Small cell分類

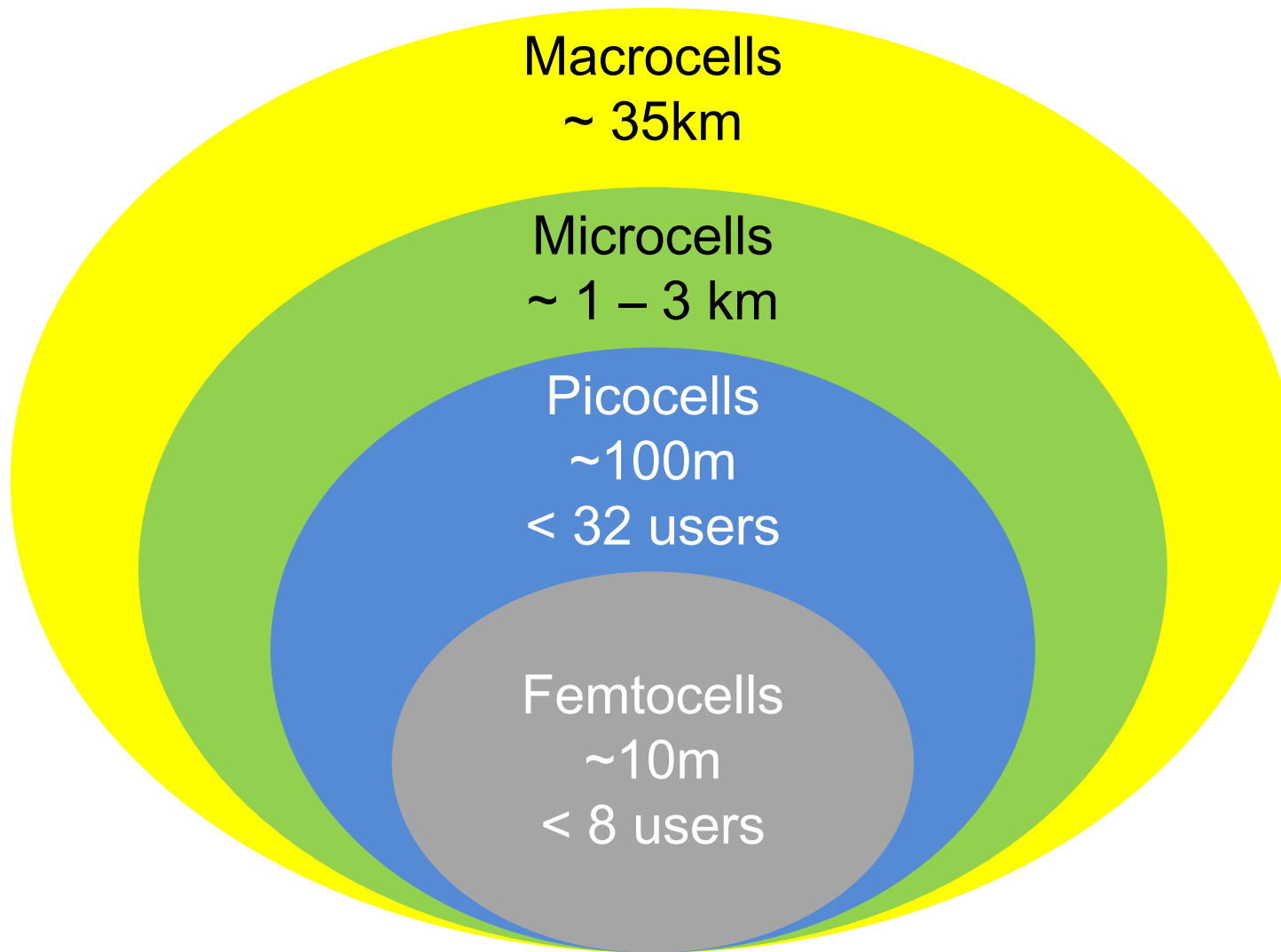


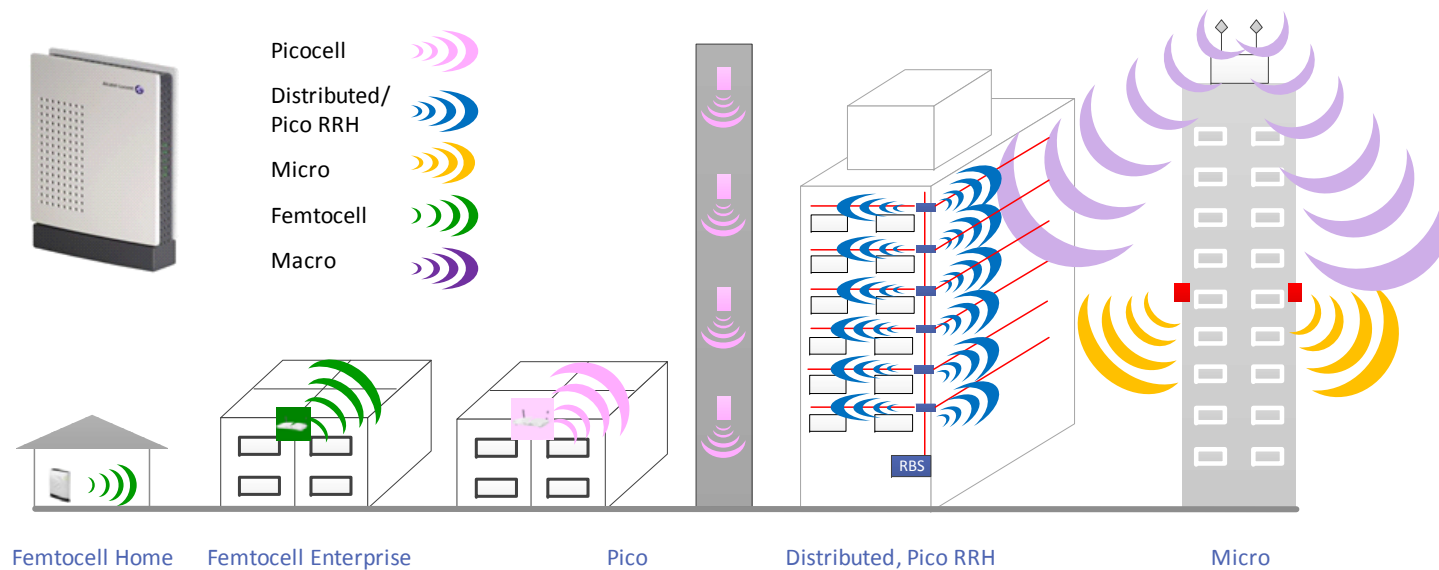
表12-1: Small cell分類比較表

	Microcell	Picocell	Femtocell
Size	Bigger	Medium	Smallest
Coverage	~1 ~ 3Km	~100m	~10m
Users		<32	<8
Position	Outdoor Medium area	Indoor Local area	Indoor Home area
Cost	\$US 20,000 and maintain cost	\$US 2,000	\$US 250
Transmitting Power	~10W	50mW ~ 1W	15mW

圖 12-8: Femtocell、Picocell、Microcell

● Femtocell、Picocell、Microcell在不同建築物中的部 建

Femtocell	Picocell	Microcell	Distributed Antenna System	What is a Small cell?
- Indoor - Antenna inside - Low output power - Limited users - Self-planning, self-configuration	- Indoor & outdoor - Antenna inside - Low output power - Medium capacity - Planning, Self-optimization	- Outdoor - Antenna outside - Medium output power - Medium capacity - Planning, config	- Indoor - Antenna outside - Low output power - Medium capacity - Planning & provisioning	- Used indoor & outdoor - Antenna inside / outside - Variable trans power (<5W) - Advanced backhaul (GPON) - Self-organizing networks - Compact size, Flexible Multimode and mobility



綠能無線網路

- 依細胞的大小分類，小型細胞基地台包括，毫微微蜂窩基站 (femtocells)、微微 (picocells)、微蜂窩 (microcells)。由圖12-7可以看出個種細胞基地台的服務範圍與服務的能力，表12-1描述小型細胞基地台之間的詳細比較。也因為小型細胞基地台之間的能力不同，所以在部建上也有區別，圖12-8描述個種不同的小型細胞基地台在建築物中的部建差異。
- 毫微微蜂窩基地台 (femtocells)，微微蜂窩基地台 (picocells)和微蜂窩蜂窩基地台 (microcells)之間因工作屬性相似，是以可以互換。重要的是只注重這些小型細胞基地台的關鍵共用性。

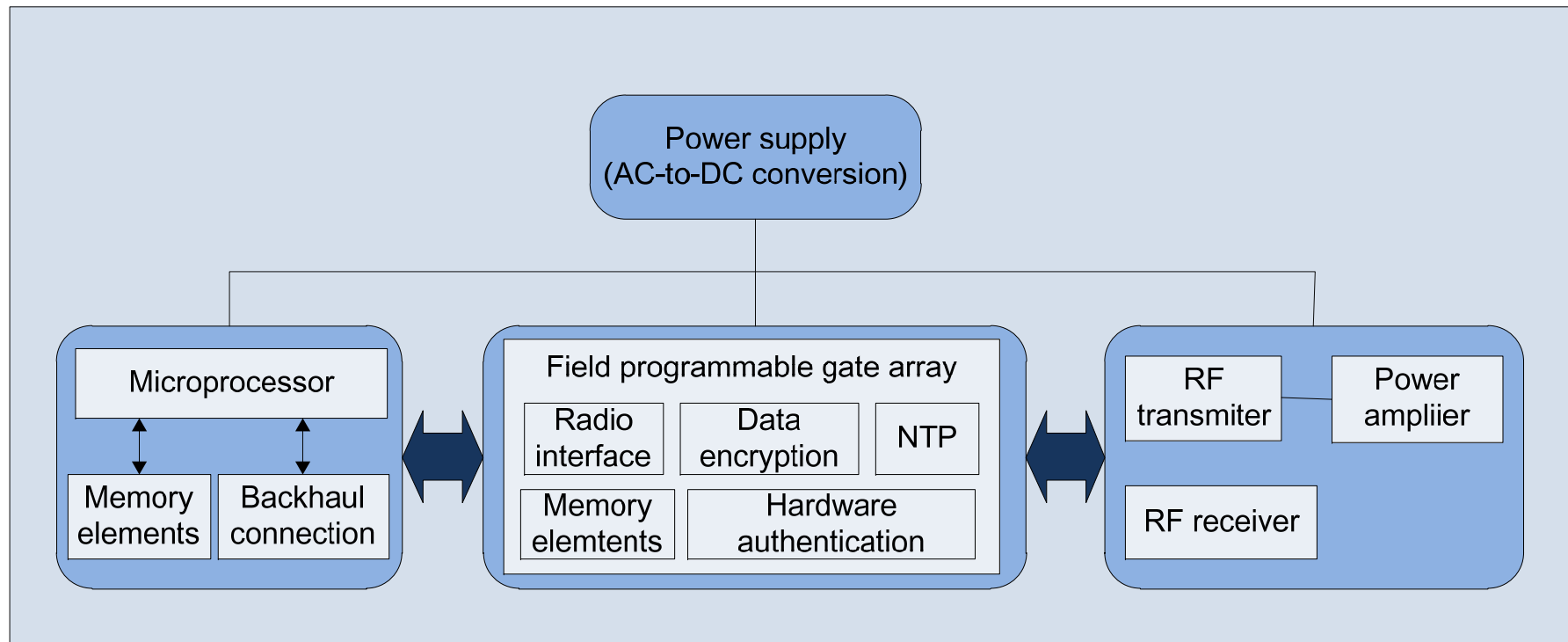
綠能無線網路

- 由於發射器-接收器配對，實現相同的服務質量 (quality of service, QoS) 下，在小型細胞基地台場景中發射功率之間的距離較短。
- 發射功率下降，代表著能夠降低基地台硬體組件的電源要求。小型細胞基地台佈建的一個重要特徵是，它是不規則的佈建，而非典型的macro cellular佈建。
- 在住宅家庭基地台的情況下支援隨插即用，且是用戶部署的特性。此分佈式控制，在小型細胞基地台中可用於調用休眠模式的程序，以降低網絡能源消耗。

小型細胞基地台主要有三種基地台的運作模式

- 開放存取模式: BS讓網絡中的所有的用戶皆可存取。
- 封閉的訪問模式: 只允許註冊的用戶存取。
- 混合接入模式: 一個小型細胞基地台基地台提供有限的資源給非註冊用戶。

圖12-9: 典型的femtocell 基地台硬體架構模型



綠能無線網路

- 封閉模式的小型細胞基地台，休眠模式下，在切換前基地台時需驗證用戶的請求、用戶的位置信息、用戶分類等，能做為一些有用的資訊。小型細胞基地台的硬體要求設計休眠模式算法，在低流量條件下，可以將各種硬體單元關掉。
- 當務之急是，審議其與休眠模式機制的兼容性方面當前的硬件設計的局限性。小型細胞基地台家庭基地台硬體設計，如圖12-9所示，包括微處理器負責執行、管理標準化的無線電協議棧、相關的基帶處理、管理核心網絡的回程連接。

綠能無線網路

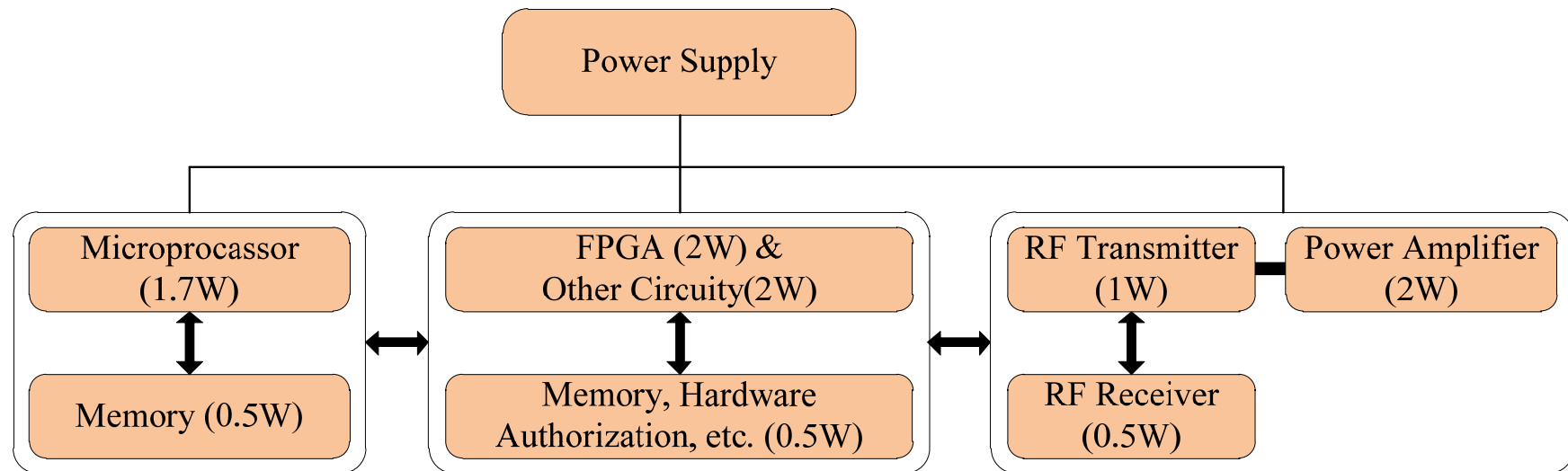
- 當務之急是，審議其與休眠模式機制的兼容性方面當前的硬件設計的局限性。小型細胞基地台家庭基地台硬體設計，如圖12-9所示，包括微處理器負責執行、管理標準化的無線電協議棧、相關的基帶處理、管理核心網絡的回程連接。
- 這些能力是普遍使用多核特定應用的集成電路(application-specific integrated circuit, ASIC) 實作，它具有低功耗的好處。
- 除了on-chip memory，連接到一個或多個隨機存取記憶體元件的微處理器，它為各種數據處理所需的功能和系統啟動。

綠能無線網路

- 該設計還包含一個FPGA (Field Programmable Gate Array) 和其他一些集成的電路實現的功能，如數據加密，硬件認證，網絡時間協議 (network time protocol, NTP)。在FPGA內的無線電元件作為微處理器和射頻 (radio frequency, RF) 收發器之間的接口。
- 支撐小型細胞基地台BS休眠模式的基本想法，是一個處於低功耗的狀態，簡稱為睡眠狀態。

圖 12-10: Femtocell 基地台在就緒狀態 耗能

- Femtocell 基地台在就緒狀態 (RE) 時硬體單元耗能狀態

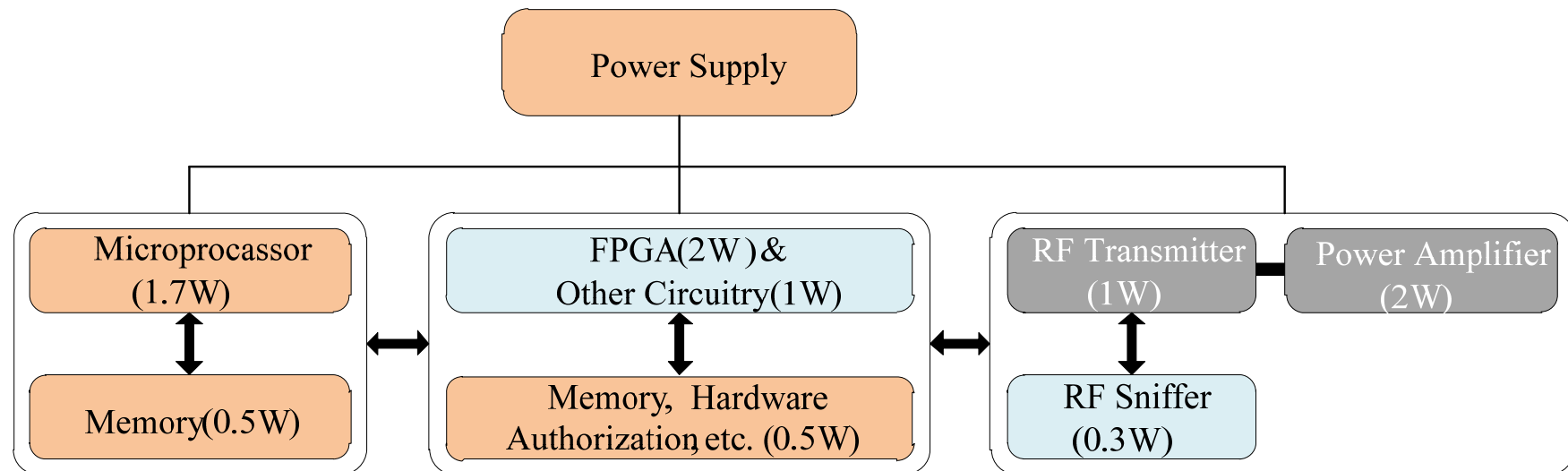


綠能無線網路

- 假設，小型細胞基地台在任何特定時間僅有以下兩種狀態：就緒狀態 (ready, RE)與睡眠狀態 (sleep, SL)。在就緒狀態 (RE) 這種狀態下，在小型細胞基地台所有硬件組件完全打開。
- 展開通道無線射頻 (radio frequency, RF) 傳輸，以達到一定的無線電覆蓋範圍，並在覆蓋範圍內的所有允許的用戶通過調度數據信道的無線資源提供服務。所有的流量則在BS的最大容量的限制下提供服務。圖12-10為就緒狀態的硬體單元消耗。

圖12-11: Femtocell 基地台在睡眠狀態耗能

- Femtocell 基地台在睡眠狀態 (SL) 時硬體單元耗能狀態



綠能無線網路

- 當femtocell基地台在睡眠狀態 (SL) 的這種狀態下，一些小型細胞基地台的硬體單元，處於完全關閉或低功耗模式運作。BS是相對應的處在休眠狀態下。關掉確切組件是一個特定的硬件架構和特定的節能算法的功能。圖12-11為睡眠狀態的硬體單元消耗，灰色表示完全關閉，藍色表示低功耗模式。

綠能無線網路

- 在就緒狀態與睡眠狀態的切換，共有三種策略轉換小型細胞基地台狀態，使睡眠狀態 (SL)和就緒狀態 (RE)狀態 (即睡眠模式啟用/停用)的小型細胞基地台之間進行轉換。這些睡眠機制從根本上以不同的模式在網絡控制著，它可以是在小型細胞基地台 (small cell BS)，在核心網路 (core network)，或由用戶設備 (user equipment, UE) 驅動。三種轉換小型細胞基地台的BSs狀態分別是，1. 小型細胞基地台控制的睡眠模式，2.核心網路控制的睡眠模式，3. 用戶設備控制的睡眠模式。以下將描述這三種模式運作方式。

綠能無線網路

- 小型細胞基地台控制的睡眠模式，通過足夠的基本macrocell覆蓋的存在，小型細胞基地台硬體可以與低功耗的聆聽模式 (sniffer) 能力搭配其允許用戶設備偵測當前訊號。
- 小細胞可以承受禁用試點變速箱和相關的射頻處理 (SL狀態)，當沒有活躍的呼叫正在由用戶設備在其覆蓋範圍。
- 當位於小細胞嗅探器的感應範圍內的一個用戶設備連接到宏蜂窩，嗅探器檢測在上行頻段接收功率上升。如果接收到的信號強度超過門檻值，檢測到用戶設備為夠接近小型細胞基地台的覆蓋範圍。

綠能無線網路

- 此時，小型細胞基地台轉換到就緒狀態狀態，並開啟其處理和信號傳輸硬體單元。如果用戶設備被允許訪問小型細胞基地台，則從macrocell換手到小型細胞基地台 (此動作稱為 inbound mobility) 否則，小型細胞基地台恢復到休眠模式。換手過程完成後，小型細胞基地台提供用戶設備服務，直到它的連接將被終止後，則可以切換到休眠模式。
- 此過程用戶設備需要在macrocellular的覆蓋範圍，因為它依賴於用戶設備到macrocell的傳輸檢測。

綠能無線網路

- 基於聆聽模式 (sniffer) 的休眠模式，要求每個連接都需要macrocell-small cell的換手。用戶設備與Macrocell連線中，隨著越來越靠近Femtocell，Femtocell接收到的訊號強度越來越強，超過一定的門檻值之後，則啟動Femtocell。執行這程序的過程，一開始 Femtocell處於靜止待機 (IDLE) 狀態。接著Femtocell打開量測訊號功能，並量測是否範圍內有手機使用者。若偵測到範圍內存在手機使用者，則將Femtocell打開，並開始準備與手機使用者連線。手機使用者從macrocell換手至femtocell。Femtocell進行服務，直到手機使用者中斷服務。Femtocell轉換成待機模式 (IDLE)，並且關掉一些功能。

綠能無線網路

- 核心網路的控制睡眠模式，與小型細胞基地台控制的不同的是，核心網控制的睡眠模式不需要小型細胞基地台控制中的檢測用戶設備sniffer。小型細胞基地台的狀態轉換，是透過核心網路的後端喚醒封包(wake-up control message)控制。連接成功後，設置相應的macrocell服務用戶設備，並確認是否有任何可服務用戶設備的小型細胞基地台在相同macrocell區域。這可以通過LTE網路的移動性管理實體(MME)，假持用戶設備的上下文信息，並進行檢查。相關的小型細胞基地台允許用戶設備連接，然後發送喚醒封包，通過後端網路轉換小型細胞基地台的用戶設備狀況和服務用戶設備。

綠能無線網路

- 中央控制，能根據macrocell 流量用戶設備使用情形等資訊，做出最佳的決定。核心網路的驅動方式允許，利用用戶設備的位置估算(或定位)，進一步提高決策的效率。
- 用戶設備控制的睡眠模式，第三種方法是用戶設備控制的睡眠模式，廣播喚醒(wake-up)訊息，以喚醒在其範圍內的小型細胞基地台基站。
- 小型細胞基地台在睡眠狀態(SL)時，保留從用戶設備收到喚醒訊息的能力，在任何時間內接收到該訊號，則狀態轉換至就緒狀態(RE)。

綠能無線網路

- 用戶設備的廣播訊息，也可以包含對封閉模式 (close mode) 的小型細胞基地台，喚醒已註冊用戶設備的標識信息。
- 此為另一種實現策略，該解決方案可以以不同的方式實施。用戶設備可以不斷廣播定期的喚醒訊息，任何小型細胞基地台在睡眠狀態 (SL)，當用戶設備接近時則轉換至就緒狀態 (RE)。
- 但此方法，會加速用戶設備的電池消耗。該實施做法降低了節能量，因為小型細胞基地台將花更多的時間處於就緒狀態 (RE) 監聽用戶設備的喚醒訊號。

綠能無線網路

- 而其它的替代方案，則是當用戶設備有需求時，再廣播喚醒訊息，如較高資料傳輸速率需求、macrocell 覆蓋降低等。
- 用戶設備可以廣播試圖喚醒範圍內的任何小型細胞基地台。這使用戶設備喚醒任何小型細胞基地台，然後再通過一個小型細胞基地台直接連接。
- 這將獲得較佳的節能，因為能讓小型細胞基地台較常保持在睡眠狀態 (SL)，當有需要時再將小型細胞基地台喚醒。

綠能無線網路

- 用戶設備控制睡眠模式的優點是用戶設備控制的方法不需依賴於macrocell覆蓋下來切換小型細胞基地台的開或關，而此種方法，可以解決用戶設備處於macrocell死角的問題。對於核心網路間的信力消耗亦降低，用戶設備所發出的訊息，也能做為驗證訊息，如此一來，小型細胞基地台切換到就緒狀態(RE)後，可以直接連線。

綠能智慧電網

- 在能源使用上，大約20%的發電力是為了達到尖峰時段的需要量而存在，且尖峰時段只暫5%的時間，而當能源沿著傳輸線時，大概有8%的能源耗損，除此之外，由於資訊產業的異質拓樸，導致現今電網骨牌效應式的錯誤而造成傳遞效率低落。
- 在本質上，智慧電網 (Smart Grid) 需要的提供公共產業的充分可見度以及對資產跟服務普及的控制，隨著放寬對分散是能源市場的管制，能源生產、分散以及消耗之間的溝通，是組成有效率的控制網必要的因素。

綠能智慧電網

- 智慧電網應該與現存電網共存，以漸進的方式增加它的能力、功能性、以及生產力。智能輸電網的特點是自給自足，效率和友好的環境。
- 負擔得起的替代能源資源的實施應滿足電力需求的增長，增加節約能源，通過在電力傳輸技術和系統運行。因為對基礎驅動力要有挑戰及克服的能力。
- 變電站裡的一些設備接裝有感測節點來監控，自動化的電力線監測，便可得到立即的測量。智慧電網將供電端到用電端的所有設備，透過感測器連接，形成綿密完整的用電網路，並對其中資訊加以整合分析，以達到電力資源的最佳配置，藉此降低成本、提升可靠性、提高用電效率。

表12-2: 現今電網與智慧電網之比較

現今電網↕	智慧電網↕
單向通訊↕	雙向通訊↕
集中式能源調配↕	分散式能源調配↕
無法監控↕	自我監控↕
手動/近端查驗↕	自動/遠端查驗↕
有限的控制幅度↕	廣闊的控制幅度↕
顧客選擇性少↕	顧客選擇性眾多↕
故障時手動修復↕	故障時自我療癒↕

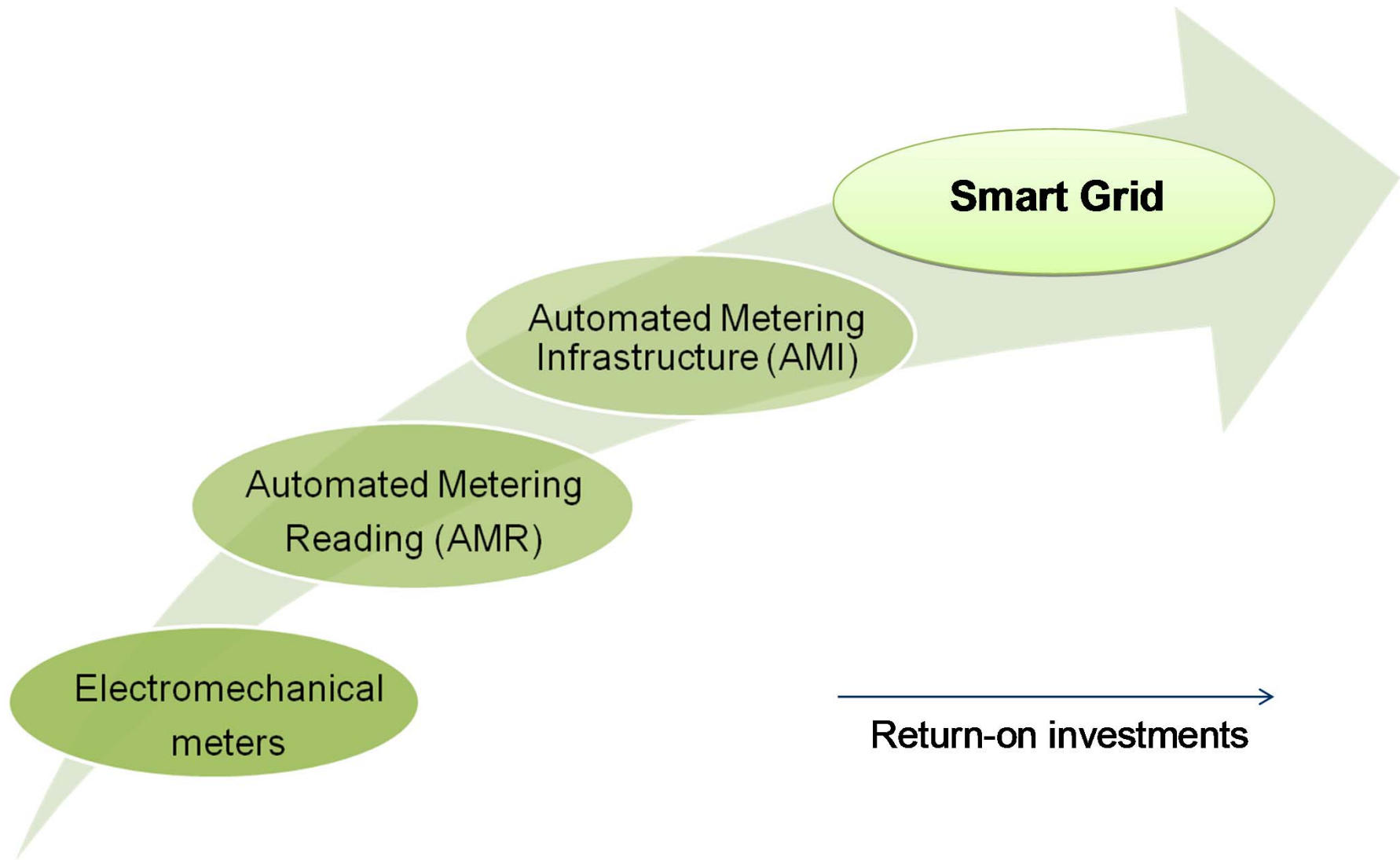
綠能智慧電網

- 在油電價格飆升的時代，將資訊科技技術與傳統電力配送系統結合的智慧電網將可成為節能的最新解決方案，採用智慧電網，不僅主管機關得以對用戶的用電情形得以完全掌握，個別用戶也可以透過自家電表，掌握全城的用電情形，為自家用電進行合宜規劃。表12-2列出現今電網與智慧電網之差異。

綠能智慧電網

- 採用智慧電網 (Smart Grid) 後，未來電價將不再只是單一費率，而會隨著白天、傍晚與凌晨時段的不同有所差異，電力公司可以根據用智慧電量進行差別訂價，用戶也可以針對不同價格，從事不同的電力消耗活動，用戶可自行上網查看家裡的用電狀況，並依據「時間電價」，選擇在最便宜的費率時段，使用各項電器用品，甚至在遠端就可以對家電進行監控，像是回家前降低空調溫度等。

圖12-12: 智慧電網的演進



綠能智慧電網

- 如果家裡屋頂裝有太陽能板的發電系統，你還可以把白天產出的電力，賣給居家附近的電力公司，是以從圖12-12來看，從傳統電表，到自動讀表電表 (automated metering reading, ARM) 到智慧電表系統 (automated metering infrastructure, AMI) 一直發展到智慧電網 (Smart Grid)，在資產的投資報酬率是越來越高。

綠能智慧電網

- 在智慧電網中所採用的智慧電表系統 (AMI)，可在分散式網路中讀取消耗的紀錄，緊告，跟用戶住宅的遠程監看，自動讀表電表 (AMR) 的能力只有讀電錶資料，不具有對於接收到的資料有正確處理的能力，所以不能用來輔佐智慧電網。智慧電表系統 (AMI) 是一個系統根據要求或按照日程安排、測量、收集和分析能源使用，並且具有電表裝置通訊，例如電錶，煤氣表，熱量表和水錶等計量裝置。完整的智慧電表系統包括硬體、軟體、通訊、能源消費顯示和控制器、客戶相關的系統、儀表數據管理 (MDM) 軟體、和供應商的業務系統。

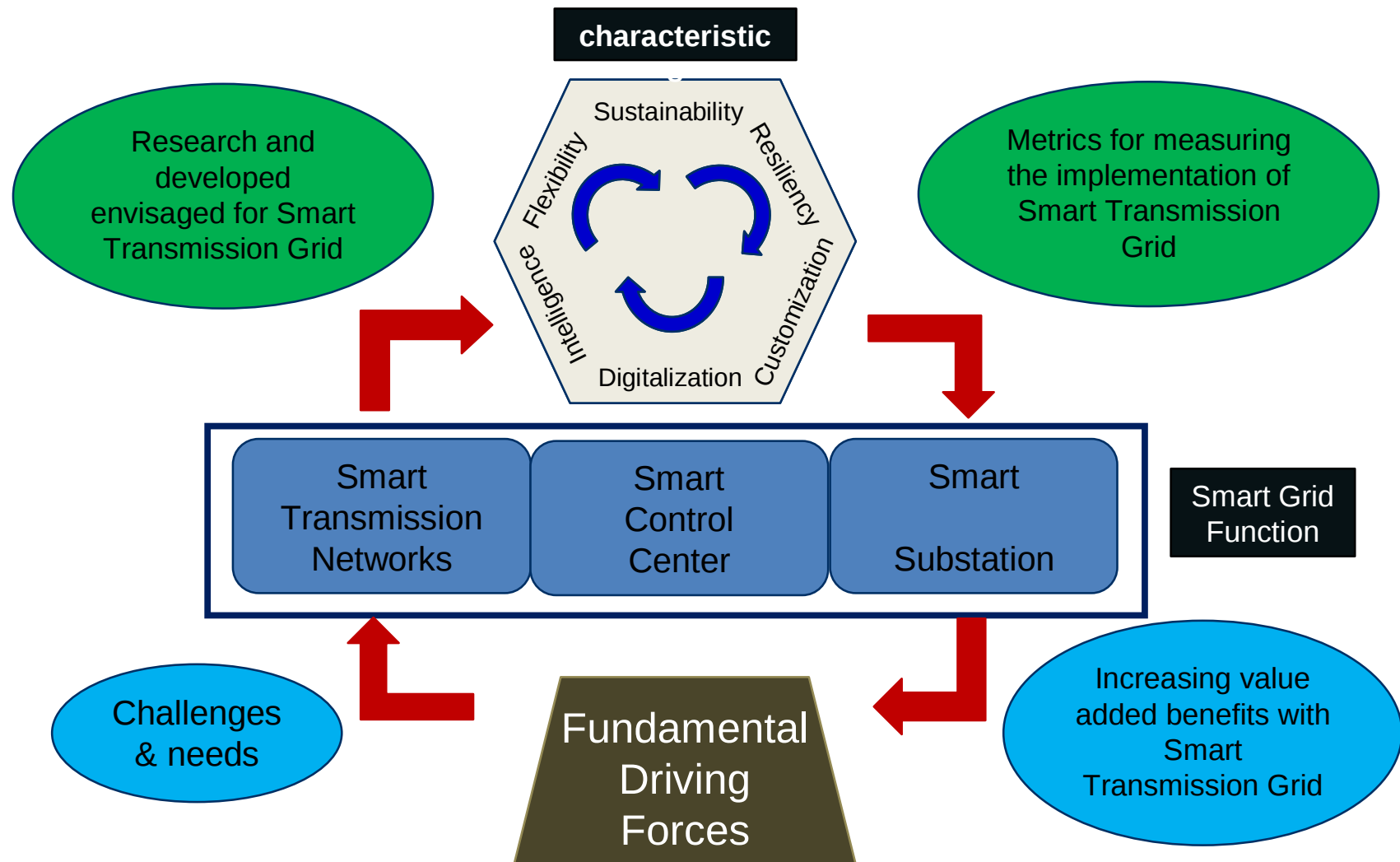
綠能智慧電網

- 智慧電表系統中，測量設備和業務系統之間所組成的網絡，可以蒐集與發佈電量使用資訊到客戶、供應商、公用事業公司和服務提供者，這使這些企業參與需量反應 (demand response) 服務。
- 消費者可以使用系統提供的訊息，改變他們的正常消費模式，以較低的價格優勢。可用於定價，遏制消費高峰的增長。

綠能智慧電網

- 需量反應 (demand response) 被定義為「終端用戶從正常消費模式中改變電力使用，以回應隨時間改變的電價，或在高零售市場價格或系統可靠度損害時，抑低電力使用的補助。」需量反應 (demand response) 是一套資訊系統，藉著動態與及時的資訊流與電力流雙向溝通，平抑尖峰用電及改善離峰發電過剩等現象而智慧網的概念從AMI出發，去改善需求方的管理及能源使用效率以及自我療癒的電網去改善可靠供給且回應天災及惡意破壞。智慧電網准許消費用戶與能源管理系統互動去調整他們的能源使用及花費，智慧電網可預測可能到來的錯誤並且做出正確的行為去避免或是緩和系統產生的問題

圖12-13: 智慧電網的架構



綠能智慧電網

- 此外如果系統中發電機或電廠發生斷電情況，智慧電網也可以自動偵測最關鍵的損壞區域，進行簡易故障排除、甚至在維修人員進行修復時，自動化尋找替代供電路線，確保用戶端服務不受影響，把斷電的傷害降至最低，稱為自我療癒功能。
- 圖12-13描繪出智慧電網的架構，分為最下層的最基礎的驅動力(包括能源以及基礎設施等等)，中間的智慧電網的重要功能，以及智慧電網的特點。

綠能智慧電網

- 智慧電網的重要功能中，智慧傳輸網路 (Smart transmission network) 具有良好的設備維護性、良好的電力調配彈性、與高效率的電力傳輸表現。
- 智慧控制中心 (Smart control center) 可即時的進行預知性的模組及安全性的分析，具有前瞻性且適應的防護設置，與客製化的市場運作資訊。
- 智慧變電所 (Smart substation) 具自動化操作、可自動適應的防護、可再生能源整合、智慧需求管理。
- 智慧傳輸網路 (Smart transmission network) 是高效率，高質量地傳輸網絡，在智能傳輸網絡的概念，超高電壓，大容量輸電通道可以連接主要區域互連。

綠能智慧電網

- 在每個區域聯網，遠距離傳輸是通過使用可控的高容量的AC (alternating current) 和DC (direct current) 設施，提高了傳輸的可靠性和資產使用通過利用進階的電子電力，在智能傳輸網絡中靈活可靠的傳輸能力，可以促進先進的彈性交流輸電系統 (flexible AC transmission system, FACTS)，高壓直流 (high-voltage direct current, HVDC) 裝置，和其他電力電子技術為基礎的設備，彈性交流輸電系統裝置在網絡的傳輸提供了一個靈活的控制和傳輸網絡，在沒有新的輸電線路情況下還能增加能量轉移，如此可替代長途高壓直流輸電線路和高容量的交流線路及大型風電場的電力傳輸和整合。

綠能智慧電網

- 智慧傳輸網路具有自我修復和穩定的輸電，輸電設施的參數和運行條件的基礎上，在服務之前它可以自動檢測，分析和應對出現的問題影響，先進的傳輸設備維護，可用於住，行維護，清潔和除冰導體，清潔和潤滑運動部件，打開和關閉，更換墊片/阻尼器，斷開/連接斷路器，擰緊或更換螺栓，安裝傳感器和測量設備。
- 這減少了災難性故障和維修費用，並提高了傳輸系統的整體可靠性。

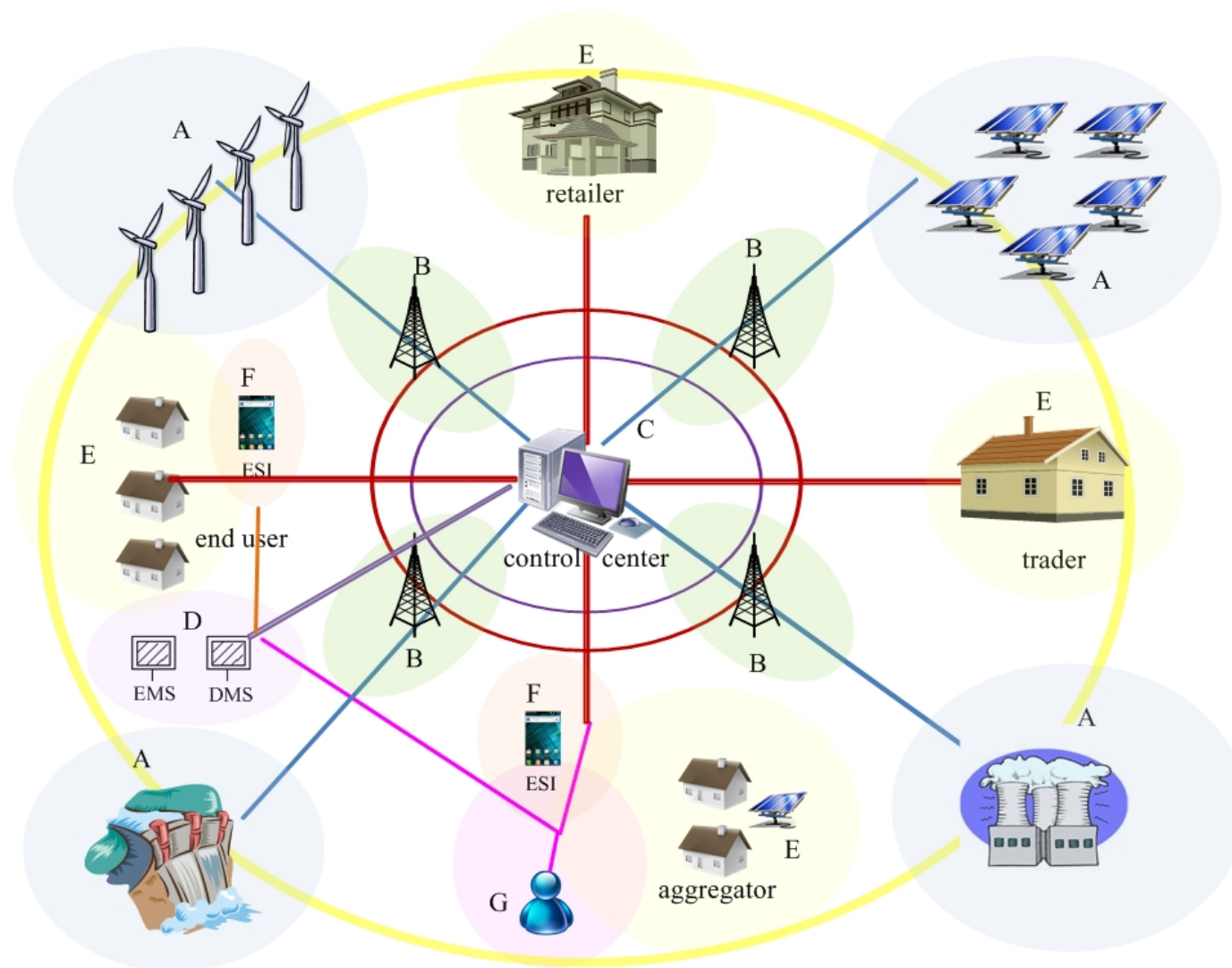
綠能智慧電網

- 智慧控制中心 (Smart control center) 有以下三點功能，可監視性、可控制性、電力市場的互動性。
- 智慧控制中心使電網系統增加了可監視性，在現今在控制中心的監控系統中，資料收集主要是以 SCADA (supervisory control and data acquisition) 系統以及遠程終端控制系統，然而在未來，資訊的獲得將是由PMU (phasor measurement unit)，PMU適用於瞬間電力事故的故障錄波，及電網穩定度同步監測。

綠能智慧電網

- 目前的系統需要額外的運行時間是不太可靠的，因為從RTU (remote terminal unit) 收集的數據不同步，且拓撲檢查和不良資料檢測必須作出巨大的努力。
- 智慧控制中心提供高度控制性，現今的控制中心，最基礎的控制行為是離線作業的分離且缺乏合作性的防護跟系統控制，在未來系統的分離可在動態的系統立即的完成獲得更好的效能，且未來的控制中心可同時控制多個分散在系統下的設備之間作最佳的合作。

圖12-14: 智慧電網



綠能智慧電網

- 智慧控制中心同時也讓電力市場具有互動性，沒有實現較高的市場效率的話，智能電網將不會被稱為“智能”，電力市場的不斷變化，需要控制中心以適應市場的成長過程中的動態轉變。
- 控制中心應提供更複雜的工具，以方便系統運營的能力，監測和減輕市場能源。
- 圖12-14所示，其描述一整智慧電網會發生的行為。
- 在圖12-14中，每個區塊分別用不同顏色代表，A將產生出來的能源會經由B的部分來幫忙傳輸，再經由C來作分配，其中B和C的運作維持和需要靠D部分來監控管理。

綠能智慧電網

- E代表了市場，智慧電網裡的能源買賣就在這部分，E需要和A做來購買能源且再將之轉販賣給retailer，E部分裡的retailer則是會將購買的能源再轉售給使用者，其中具有一些自足供應的電能的家庭 (aggregator)，可將其一些分散能量資源 (Distributed energy resource, DER) 產生的電能再轉販賣給需要的人使用。

綠能智慧電網

- F部分主要是提供service的服務，所以需要個能源服務介面 (Energy services interface, ESI) 介面作為使用，所以主要通訊的對象有G (客戶端) 和D (向D取得一些用電資訊，例:智能電表情況，帳單查詢等)，G的部分，主要是消費者消費行為，首先必須先透過使用者和能源服務介面部分做操作且和E (市場端) 作通訊，再來需要和D (運作端) 還有C作為完善的分配和管理，將能源做正確的轉移。

綠能應用

- 第三代合作夥伴計劃 (3rd Generation Partnership Project, 3GPP) 標準中因應市場需求，已展開MTC (Machine-type communication) 的討論。
- 在系統架構列出MTC的服務需求後，無線存取網路 (radio access network, RAN) 工作小組也啟動了MTC的研究階段，其主要討論無線存取網路在支援MTC的各項應用時，對於現有無線存取協定的影響。

綠能應用

- 在MTC下將可能造成瞬間短暫大量Burst traffic，行動資料量的遽增，尤其針對行動接取網路可能造成瞬間超載負擔，衍生行動接取網路的資料超載所產生出許多網路議題，如封包遺失、不可預期的延遲，網路無法提供服務，然而多建置行動基地台數量為一個可行的解決方法，但是針對能源消耗卻是一大負擔，如何導入綠能觀念因應MTC產生巨量行動資料量，綠能接取網路設計是一大研究議題。
- 感知無線電具有高動態頻譜使用、高適應性、高自發性、高自主性特性，這些感知特性可以讓無線電頻譜的提高使用效率以及有效能源使用。

綠能應用

- 感知無線電技術，也被稱為綠能通訊的一個有效解決的方法，感知無線電利用動態感知環境的狀態，如電力來源、剩餘電量、電池生命時間，提供精密的有效能源決策與管理，進而做出最佳的使用資源決策，解決因通訊所造成的能源問題。
- 感知無線電更可廣泛應用於多種無線通訊網路環境，如具感知之行動載具和行動接取網路，提供更具智型的綠能通訊環境。其它特定網路之綠能研究方向如綠能車載網路、綠能行動網路、綠能感測網路也是深具研究價值。

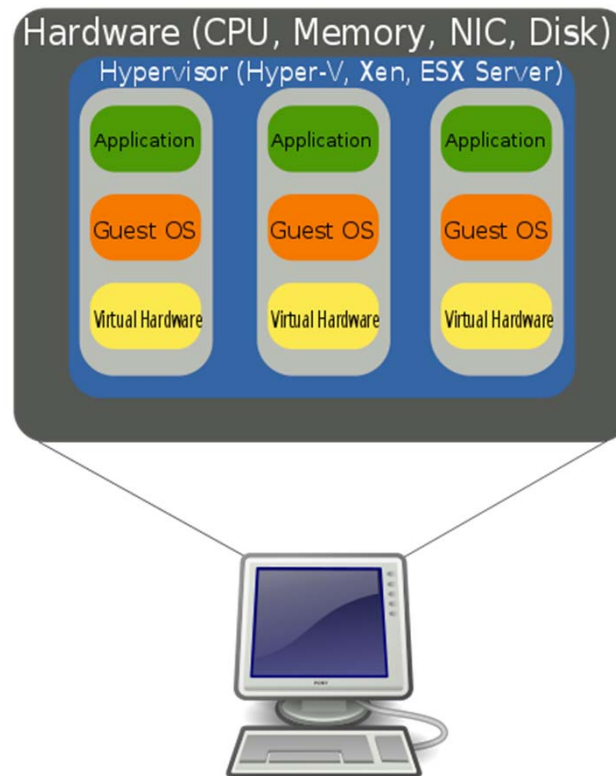
綠能應用

- 由於綠能資通訊技術針對要提高設備的運作效率，其運用在設備中的程序和方法，自然成為減少能源消耗，降低排碳量的關鍵之一。
- 綠能運算 (Green computing) 主要的目的是要結合三方面的考慮因素，包括使用者、地球自然資源、使用效益。
- 現在的資通訊系統都是使用經過複雜結合使用者、網路、硬體等資訊來進行運作，因此，綠能運算的提倡必須要和自然介方面的系統相關，以及能夠處理日漸增加的高精密度問題。

綠能應用

- 綠能運算或是綠能資通訊源自於對於環境能夠有支撐的計算或是資通訊。
- 不論是設計、生產製造、使用、配置電腦、伺服器和其他的器材與系統包含螢幕、影印機、儲存設備、網路和通訊系統，這些都必須要讓他的能夠達到最佳的效率，並且對於環境要有最小化或是完全沒有影響；這一切的需求使得電腦虛擬化的概念得以被重視。

圖12-15: 電腦虛擬化



綠能應用

- 電腦虛擬化的概念可以讓一個系統在一個硬體中同時跑兩個或是多個邏輯電腦系統。有了虛擬化技術，系統管理員能夠結合多個實體系統到一個強大的虛擬機器中。這可以減少電量消耗以及冷卻系統的使用。在完全虛擬化，虛擬機模擬足夠的硬件允許在獨立運行未修改的“客串”操作系統(相同的指令集設計)如圖12-15所示。

綠能應用

- 在硬件輔助虛擬化，硬件提供建築的支持，有利於建立一個虛擬機監視器，並允許獨立運行客戶機操作系統。如此可讓使用者利用終端連結到中央伺服器使用，所有的計算會在中央伺服器完成，使用者在終端部分只會使用到操作系統而已。
- 這些可以結合只要使用到1/8能量的客戶端來減少整體能源使用以及消耗。這些概念也使得雲端計算 (Cloud computing) 技術被運用在綠化節能的應用上。

圖12-16: 雲端運算技術的涵蓋面



綠能應用

- 雲端計算 (Cloud computing) 也廣泛的被運用在達到綠化節能方案上，如綠能雲端計算議題。諸如公共雲的資源可以有更高的利用率，從而提高電力運用效率。
- 藉由雲計算，可以為系統中電力使用，達到最佳化的分析與運用，大幅度地減少輸電線路的功率損失，是以雲計算已經成為一種新的綠能運用技術，而帶來更高的能源運用效率，圖12-16展現出雲端運算技術的涵蓋面。

綠能應用

- 在資通訊產業邁向綠能運用的過程中，藉由從外部的材料、硬體方面改善，到軟體執行的最佳化與改進，這些技術包含延長產品的生命週期、軟體與設備的最佳化、能源管理方法、廢棄材料回收、遠距離通訊等等技術，透過這些技術，不但可以讓設備或是系統擁有高效率的處理與執行，更可以減少產生的廢棄物與溫室氣體，不但能增加產品的使用率，也可以避免環境的汙染，讓整個地球生態能夠更好。

綠能應用

- 由於感測器、通訊與網路技術成熟，各式機器聯結通訊網路了，人類也聯結通訊網路了。因此接著就是物體與物體之間相互連結了。物聯網有著廣闊的前景，舉凡應用於綠色經濟、低碳經濟、環保技術、防災監控、智慧交通、生物醫藥等，這些涉及未來環境和人類生活的一些重要領域，提供無所不在的全方位服務。
- 對於要達到更有效的碳排放追蹤，物連網 (Internet of things) 是一個相當不錯的解決方案。物聯網允許的人與事，以連接任何時候，任何地點，任何事情，任何人，最好使用任何路徑/網絡和任何服務。

綠能應用

- 這意味著計算，通訊，和人事物與物之間的無縫互連的背景下連接。無線電頻率識別 (RFID) 是一種使用無線電波傳輸，稱為RFID標籤或標籤，電子標籤的數據附加到一個對象，通過讀者為對象的識別和追蹤目的。

綠能應用

- 在一個以RFID所組成的網路中，節點將被用於檢測各種條件，如壓力，振動，溫度等，收集到的數據訪問定制的使用趨勢，有利於維護規劃，於整個供應鏈中使用RFID技術，可達到減少二氧化碳排放量，設備和物聯網技術在綠色相關的應用和保護環境的利用率，在未來最有前途的細分市場之一。因此，無所不在的智能設備，無線通信，協同工作的設備，傳感器和執行器混合動力和隨建即連網路網絡，以改善我們的生活質量和一貫減少地球上的人類生態環境的影響。

綠能應用

- 對地球暖化危機與資源耗竭問題，各國政府與相關廠商皆積極關注綠色政策與規範、低碳能源、節能技術，以及節能應用服務等綠能議題。資通訊產業實為能源消耗以及二氧化碳排放的大宗，也因此各國在推動節能減碳政策上，將綠化資通訊產業列為優先推動項目。
- 但同時資通訊產業也是節能減碳的推手，透過積極的作為達到綠化資通訊產業，減少其能源的耗用，透過IT本身無遠弗屆的特性與資訊蒐集的優勢，對節能減碳有直接正面的貢獻。

綠能應用

- 是以資通訊產業以低碳運作的趨勢在世界各地迅速發展，而綠能資通訊技術在節約能源與改善運作效率上，更是有舉足輕重的影響，透過綠能資通訊技術有效掌握了資通訊產業運作的情況，進而提高了環境管理與能源效率。
- 綠能資通訊技術融合通訊、網路、電網，而提出在能源與環境效能上量測與改進的共通性方法，促進低碳經濟，以展現綠能資通訊技術解決方案在能源智慧使用與高效率的使用，使科技與氣候、能源政策、經濟發展之間更緊密聯結，達到永續性經營與節能減碳的方案。

習題

1. 請問一個典型的移動裝置網路，不包括電力消耗用戶的手機，約可消耗多少的功率？
2. Base station為了提高頻譜效率和數據速率常常忽略的目的為何？
3. 請說明從GSM演進到2.5G GPRS，實現了電信業者那些傳輸的方式。
4. 請列出Base station的系統架構？
5. Base station的系統架構中，何者在消耗最多的功率？

習題

11. 請列出為用戶合作技術的優點。
12. 請說明用戶自佈署的small cells缺點。
13. 請列出small cell控制的睡眠模式。
14. 請列出small cell控制的睡眠模式特性。
15. 在感知無線電中有兩項困難的問題，一項是偵測可使用的頻段空隙可靠度，另一個是什麼呢？

習題

6. 請列出cell zooming技術的優點。
7. 請列出small cell的種類。
8. 請列出Macro-cell特性。
9. 何頻譜使用率越有效，越能降低能源消耗？
10. 請說明下列做法的節能原因
(1) 提升頻譜使用率；(2) 在同功率下能傳輸較多資料量；(3) 當不使用傳輸或接收功能時，關閉傳輸收器來省電。

習題

16. 於IETF 6LoWPAN的標準中，是將什麼的觀念帶入 Sensor Network?
17. 在電力沿著傳輸線傳送時，大概有多少能源耗損，導致資源上的浪費?
18. 在智慧電網的架構中，請列出電網架構下的主要要素。
19. 在使用電力線的傳輸方式來傳送資料，具有哪些的優勢?
20. 智慧電網並非是一個全新獨立的系統，請問是以何者為基礎向上做改善及補足？

參考文獻

1. T. Edler, “Green Base Stations — How to Minimize CO₂ Emission in Operator Networks,” Ericsson seminar, *Bath Base Station Conf.*, 2008.
2. H. Holma and A. Toskala, *LTE for UMTS*, Wiley, 2009.
3. G. Fischer, “Next-Generation Base Station Radio Frequency Architecture,” *Bell Labs Tech. J.*, vol. 12, no. 2, 2007, pp. 3–18.
4. K. Bumman, M. Junghwan, and K. Ildu, “Efficiently Amplified,” *IEEE Microwave Mag.*, vol. 11, no. 5, Aug. 2010, pp. 87–100.

參考文獻

5. P. Wright *et al.*, “A Methodology for Realizing High Efficiency Class-J in A Linear and Broadband PA,” *IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques*, vol. 57, 2009, pp. 3196–3204.
6. K. C. Beh *et al.*, “Power Efficient MIMO Techniques for 3GPP LTE and Beyond,” *Proc. IEEE VTC Fall*, Anchorage, AK, Sept. 2009.
7. I. Krikidis, J. S. Thompson, and P. M. Grant, “Cooperative Relaying with Feedback for Lifetime Maximization,” *Proc. IEEE ICC 2010 Wksp. E2NETS*, Cape Town, South Africa, May 2010.

參考文獻

8. J. N. Laneman, D. N. C. Tse, and G. W. Wornell, “Cooperative Diversity in Wireless Networks: Efficient Protocols and Outage Behavior,” *IEEE Trans. Info. Theory*, vol. 50, no. 12, Dec. 2004, pp. 3062–80.
9. J. Zhang, L.-L. Yang, and L. Hanzo, “Power-Efficient Opportunistic Amplify-and-Forward Single-Relay Aided Multi-User SC-FDMA Uplink,” *Proc. IEEE VTC Spring*, Taipei, Taiwan, May 2010.

參考文獻

10. Green Power for Mobile, GSMA, “Community Power Using Mobile to Extend the Grid”. Available: http://www.gsmworld.com/documents/gpfm_community_power11_white_paper_lores.pdf
11. Alliance for Telecommunications Industry Solutions, “ATIS Report on Wireless Network Energy Efficiency”, ATIS Exploratory Group on Green (EGG), Jan. 2010
12. European Telecommunications Standards Institute, Environmental Engineering (EE) Energy Efficiency of Wireless Access Network Equipment, ETSI TS 102 706, v1.1.1, Aug. 2009

參考文獻

13. A. P. Bianzino, A. K. Raju, and D. Rossi, “Apple-to-Apple: A framework analysis for energy-efficiency in networks,” Proc. of SIGMETRICS, 2nd GreenMetrics workshop, 2010
14. T. Chen, H. Kim, and Y. Yang, “Energy efficiency metrics for green wireless communications,” 2010 International Conference on Wireless Communications and Signal Processing (WCSP), pp.1-6, 21-23 Oct. 2010.

參考文獻

15. Zhisheng Niu, Yiqun Wu, Jie Gong, and Zexi Yang, “Cell zooming for cost-efficient 綠能細胞網路s,” IEEE Communications Magazine, vol.48, no.11, pp.74-79, November 2010.
16. J. T Louhi, “Energy efficiency of modern cellular base stations,” 29th International Telecommunications Energy Conference (INTELEC), 2007, pp.475-476, Sept. 30 2007-Oct. 4 2007.
17. R. Lu, X. Li, X. Liang, X. Shen, X. Lin , “GRS: The Green, Reliability, and Security of Emerging Machine to Machine Communications, ” IEEE Communications Magazine Vol. 46 iss.4 , April 2011

參考文獻

18. D. Niyato, L. Xiao, P. Wang, “Machine-to-machine communications for home energy management system in smart grid, ” ” IEEE Communications Magazine Vol. 46 iss.4 , April 2011
19. S. Tompros, N. Mouratidis, M. Draaijer, A. Foglar, H. Hrasnica, “Enabling Applicability of Energy Saving Applications on the Appliances of the Home Environment ” IEEE Network, Nov./Dec. 2009
20. J. Byun, S. Park, “Development of a Self-adapting Intelligent System for Building Energy Saving and Context-aware Smart Services, ” IEEE Transactions on Consumer Electronics Vol. 57 No. 1, Feb. 2011