11 CHAPTER 行動通訊

11-1 簡介

11-2 行動通訊的演進

11-3 行動通訊的多工存取方式

11-4 第三代行動通訊：3G

11-5 第四代行動通訊4G

11-6 第五代行動通訊5G

11-7 行動通訊安全

11-1 簡介

現在一般大家初識見面，互留對方電話時，除了家中的電話號碼外，都會再加上手機號碼，若是出門忘了帶手機，總覺得怪怪的，是的，事實上，行動通訊早已深入你我的日常生活之中了。

有點“年紀”的讀者，對中華電信那支大大的「黑金剛」必然是印象深刻吧！那時的手機價格相當昂貴，門號更是一號難求，必須耐心排隊，一旦擁有了手機，旁人都會投以“行情不錯”的眼神。

打開台灣的行動通訊史，黑金剛可算是第一代（1G）行動通訊的代表，而它所採用的系統是屬於類比式的 AMPS 行動電話系統。

漸漸的，AMPS 系統隨著使用者需求的快速增加，一些問題接踵而來，像類比式系統的致命傷 - 保密性不佳，造成了電話易被盜拷、竊聽，再加上頻寬不足、容量小、通話品質不佳…等缺點，因此，第二代行動電話系統的需求便更加迫切了，而此時 GSM 的搶先推出服務，取得了市場上的先機，所以 GSM 可以算是在 2G 市場上的大贏家。

當然，人類需求的慾望是無止境的，礙於 GSM 在數據資料上傳輸速率只有 9.6Kbps，無法滿足上網者對於速度的要求，因此，又出現了可稱為 GSM 系統加強版的 GPRS 系統，用來提升數據資料傳輸的速率，大部份的人將其歸類為「2.5G」，也就是介於 2G 和 3G 之間的一種過渡系統。經歷從 1G, 2G,3G，到了 4G 行動通訊更提升了整體網路速率至 100Mbps，並更加強了使用者在高速移動下的網路存取能力，讓世界各地區的使用者都能享有高速無線網路的體驗，隨著雲端運算及物聯網的技術成熟，第五代行動通訊（Fifth gerneration mobile networks, 5G）的催生也正在加緊腳步，接下來便為讀著們一一介紹行動通訊的技術及發展。

11-2 行動通訊的演進

無論是 1G、2G、2.5G、3G，4G 以至於 5G，基本上，行動通訊系統都包含了 Mobil Station（MS）行動台、Base Station（BS）基地台、Mobil Switching Center（MSC）行動交換中心等三大部份。

Mobil Station（MS）：行動台

主要的功能在於收發信號，並作為行動通訊網路和使用者的使用界面，一般最常用的就是手機了 。

Base Station（BS）：基地台

做為 MS 和 MSC 之間連繫的橋樑，在所謂的蜂巢式系統中，BS 如同一格一格的 Cell（細胞），分區負責信號的傳輸，換言之，每一個 BS 都有其無線電波涵蓋的範圍，如此一站傳一站，每個 BS 的無線電傳輸功率才得以限制，否則，過大功率的無線電波基地台，可是會被民眾去圍台抗議的 。

Mobil Switching Center（MSC）：行動交換中心

MSC 主要提供了訊息交換的功能，以便將該行動通訊系統網路連接到其他系統網路，如 PSTN（公眾有線電話網路：例如我們一般用的市話）或其他家業者的行動通訊網路 。

由上面的說明，我們可以知道，手機和手機之間（就算同一家系統廠家也一樣）並不會直接通訊，也就是其不具有對講機功能，其溝通方式仍是 MS → BS → SS → BS → MS 的程序（但透過某些技術就可以達到，例如 Bluetooth 藍芽技術）。

一 1G 時代

「商場如戰場」這句話同樣適用於行動通訊之上。在 1980 年代，美國發展出第一代行動電話系統，稱為 AMPS（Advanced Mobil Phone System），這是一套類比式的系統，早期台灣使用的 090、091 門號正是 AMPS 系統 。

反觀其他地區如歐洲，類比行動電話系統的標準太多，如 RTMS（Radio Telephone Mobil System）、TACS（Total Access Communication）、NMT（Nordic Mobil Telephone）…等，無法整合，因此喪失了攻占市場的先機，最後，美國在第一代行動通訊（1G）這場比賽中得到了勝利 。

二 2G 時代

第一代行動通訊（1G）和第二代（2G）的主要差別，在於從類比系統演進到數位系統，類比系統和數位系統的比較如下表：

◎ 表 11-1

項目	類比式	數位式
訊號模式	類比	數位
需要基地台數量	少	多
傳輸距離	較長	較短
頻寬	較窄	較大
門號容量	少	多
通訊安全性	不佳，易被盜打	佳，不易被盜打
頻譜使用率	效率不佳	效率佳
通話品質	不佳	較佳

同樣在這場 2G 的市場大戰中，各國為了搶占這塊大餅，也都企圖讓自己研發的系統能成為龍頭 。

就美國而言，利用原本的 AMPS 為基礎，透過數位化附加模組設備，使 AMPS 變成 D-AMPS。D-AMPS 系統對於原本的 AMPS 仍然相容 。

另外，美國 Qualcomm 公司所提出的 CDMA 標準，也因為後來南韓政府的積極投入，使得南韓在 CDMA 系統的市場占有了一席之地 。

至於日本，則是採用 TDMA 技術以 PDC（Personal Digital Cellular）作為其行動電話的標準，不過這系統和前述的其他系統有相容性的問題，因此，對於進軍世界通訊市場而言，是一大利空 。

事實上，在 2G 的這場行動通訊比賽中，真正的贏家，已不再是美國，而是歐洲 。

歐洲各國了解在 1G 的挫敗，是因為各國各自發展不同的行動電話標準，缺乏整合性，因此，便透過歐洲電信標準協會（ETSI；European Telecommunications Standards Institute ）來制定一套泛歐行動通訊標準，於是，GSM 誕生了，這次搶在美國之前推出，而且軟硬體及相關的服務機制也都齊全，於是吸引了許多想由 1G 升級成 2G 國家的目光，尤其是亞洲國家，而我們台灣這次也是採用了 GSM 的系統 。

GSM（Global System for Mobil Communication）系統，已在全世界建立了最多的使用人口，以下針對我們常聽到的 GSM900、1800、雙頻手機、SIM 卡等，作簡單的說明 。

GSM900、1800 中的 900、1800 皆是指其工作的頻率，ITU 分配給 GSM900 的頻率在 900MHz 左右（上傳為 890～915MHz，下載為 935～960MHz），而 GSM1800 的頻率在 1800MHz 左右（上傳為 1710～1785MHz，下載為 1805～1880MHz）。

而所謂的雙頻手機就是指能同時支援 GSM900 和 1800 的手機，此時，你可能有個疑問，為何有 GSM900 了，還要推出 GSM1800 呢？這是因為 GSM 用戶的數量激增，使得原本的 GSM900 門號已不敷使用，因此，才又增加了 GSM1800（事實上 GSM 還有推出 GSM1900，同時支援 GSM900/1800/1900 的手機就稱為三頻手機），那麼 GSM900 和 GSM1800 之間有何差異呢？

相同的是，900 和 1800 皆是屬於 GSM 系統，而不同之處則有下列幾點：

1. 使用頻率：GSM900 使用 900MHz，而 GSM1800 使用 1800MHz。
2. 傳輸距離：在無線通訊中，頻率越高其傳輸距離反而會越近，由此可知，GSM900 的傳輸距離是比 GSM1800 長。
3. 所須基地台數量。

正因為 GSM900 比 GSM1800 的傳輸距離較長，因此，要達到同樣的無線電涵蓋範圍，GSM1800 必須建置比 GSM900 更多的基地台。

GSM 系統的另一個特點就是使用 SIM（Subscriber Identity Module）卡，SIM 卡是 GSM 系統中用來識別及記錄用戶資料的儲存媒體，SIM 卡中記錄了用戶的一些基本資料及 GSM 系統的用戶識別碼，SIM 卡可以插入任何支援 GSM 系統的手機中，換言之，你也可以將一些資料如電話號碼等記錄在這張 SIM 卡中，將來換手機時，只要帶卡換機，電話號碼資料仍在，你就不必花時間重建電話簿了。

當你向任何一家民營電信公司申請行動電話時，最後電信公司會交給你一張 SIM 卡，要注意的是，SIM 卡有大小之分，大張的叫 ID-1 卡，小張的叫 Plug-in 卡，買手機時要注意一下，你的手機用的 SIM 卡和你所申請到的 SIM 卡大小是否相符。

三 2.5G

「行動上網」簡單地說，就是使手機能將「網際網路」和「行動通訊」的功能結合在一起，手機不再單單只有通話的功能而已，影音多媒體及網際網路的資源都將貫注到 3G 系統中。

就 GSM 系統（2G）而言，一般的語音傳輸是沒什麼問題，但其 9.6Kbps 的數據傳輸速率就現在對於多媒體資訊需求日增的消費者而言，真得是太慢了，因此，其推出的 WAP 手機上網反應並不熱烈 。

於是在真正升級成 3G 之前，歐洲 ETSI 推出了針對 GSM 系統的改善方案 -GPRS（General Packet Radio Service）整合封包無線電服務，藉由 GSM 加裝處理數據封包的設備，在和既有系統相容的前提下，透過同時提供 Circuit Switching（電路交換）及 Packet Switching（封包交換）的網路交換技術，便可有效提昇像彩色圖像、音樂等多媒體數據資料傳輸的速度了（最高可達 115.2Kbps），對於想用手機上網的消費者而言，在 3G 時代真正來臨之前，也算是一個不錯的替代方案 。

GPRS 的特點如下：

1. 仍延用 GSM 使用的 TDMA 多重存取方式 。
2. 利用 Packet Switching（封包交換）方式提升數據資料的傳輸速度 。
3. 最高的傳輸速度 115.2Kbps，這是假設 8 個時槽都用於數據資料傳輸，每個時槽 14.4Kbps，8×14.4 ＝ 115.2Kbps，但事實上，一般真正在使用時不會全部用來傳輸數據資料，因為語音仍是手機的主要傳輸資料 。
4. 以傳送的封包資料量來計費 。在 GSM 中，數據資料的傳輸如同通話費一樣是以連線時間來計費的，而 GPRS 則是以傳輸的封包資料量來計費，用多少收多少，對於想用手機上網的消費者而言是較合理的方式 。
5. GPRS 一開機即可隨時保持連線狀態 。使用 GPRS 上網，一旦上線後便隨時可以和 Internet 保持連線，用戶只有在傳輸數據時會占用通道，如果有資料要傳送，可以立即傳送，不像 GSM 的撥接方式，每次都要重新建立連線，可以節省不少時間和連線成本 。
6. GPRS 使用 SGSN、GGSN 等設備來升級 GSM。GSM 升級到 GPRS，主要是增設了二種設備 SGSN 及 GGSN（有些廠家會把二者合一）。
   - SGSN（Serving GPRS Support Node）

     其提供了類似 Internet 中的 IP Router 功能，另外還具備了管理數據行動網路的能力，如用戶的身份驗証、資料編碼…等 。
   - GGSN（Gateway GPRS Support Node）

     顧名思義，GGSN 提供了類似 Internet 中的 Gateway 功能，其主要用來處理 GPRS 和外界網路的連線，另外，還負責分配用戶的動態 IP 位址 。

四 3G

行動通訊市場有如中國古代的戰國時代，由於各國採用的系統不盡相同，因此，若是你到的國家其手機系統和我們國家不同，那麼你的手機可能就英雄無用武之地了。

在理想的 3G 行動通訊標準，應是全世界互相相容的，但事實上，在 2G 原本就是各擁其主的現象，要那一陣營放棄原本的系統，改用對方的系統，除了在硬體如通訊基地台等設備投資成本外，技術的權利金也是個大問題，所以，想一統天下，的確不是件容易的事。

為了建立全球一致的行動通訊標準，1865 年由聯合國籌備設立了 International Telecommunication Union（ITU）：國際電信聯盟，行動通訊的主要發展國家及相關發展廠商都是其成員。

針對 3G 行動通訊，ITU 發表 IMT-2000（International Mobil Telecommunication 2000）的標準，其中定義了 3G 系統所要具備的一些特性，例如：

1. 通話品質必須至少與固接式電話網路相同。
2. 3G 的通訊區域能涵蓋全世界。
3. 3G 必須和既有的 2G 系統相容。
4. 3G 的傳輸率最高能至 2Mbps（靜止狀態必須達 2Mbps；低速率移動時必須達 384Kbps；高速率移動時必須達 144Kbps）。

在第三代行動通訊 3G 的競賽中，以二大勢力的競爭較為激烈，一是採用 WCDMA 系統以歐洲和日本廠商為主力，做為 GSM/GPRS 系統升級到 3G 的方案。

另外，則是 CDMA2000 系統是由美國廠商所提出的方案，主要提供 cdmaOne 系統升級到 3G 的方案，其中包含了 2 種子方案，一是 CDMA2000 MC-1X，另一則是 CDMA2000 MC-3X，這二種方案，CDMA2000 MC-1X 的角色類似 GSM 以 GPRS 做為 2.5G 系統，成為進入 3G 的過渡系統，cdma2000 MC-1X 的傳輸速率是 153Kbps，而 cdma2000 MC-3X 則是 384Kbps，可以算是真正的 3G 系統。

當然，在市場單打獨鬥是無法生存的，因此，1988 年由歐洲標準協會（ETSI）、日本標準組織（ARIB；Association of Radio Industries and Business）、美國組織（T1P1）以及韓國（TTA；Telecommunication Technology Association）組成 3GPP（The Third Generation Partnership Project）協會，主要推動的系統為 WCDMA。而另一陣營則是由北美（TIA；Telecommunications Industry Association）、韓國（TTA）、日本（ARIB）

以及中國大陸（CWTS；China Wireless Telecommunication Standards Group）所組成的 3GPP2（The Third Generation Partnership Project 2）協會，主要推動的系統為 cdma2000。

- 3GPP 的參考網站為：www.3gpp.org
- 3GPP2 的參考網站為：www.3gpp2.org

11-3 行動通訊的多工存取方式

就行動通訊無線電頻道使用而言，其使用的頻率是由 ITU（International Telecommunication Unit：國際通信聯盟）來負責分配，因為頻率的資源有限，所以便出現不同的多工通訊方式來有效的利用所分配到的頻率。

基本上，1G、2G、3G 的多工存取方式包含了 FDMA、TDMA、CDMA 等 3 種。

一 FDMA（Frequency Division Multiple Access）分頻多工

第一代行動通訊 AMPS 系統即是採用此種方式，其運作模式主要是將其整個通訊的頻寬分割成許多個較小的頻道，不同的使用者使用不同的頻道，使得同一時間能有多個用戶同時通話，缺點是當同時有大量用戶同時通話時，會造成頻道不足，另外，其通訊品質不良及易被竊聽、盜打也是常令人所詬病。（相關介紹可參考第 2 章多工技術）

二 TDMA（Time Division Multiple Access）分時多工

主要使用的代表系統為 GSM，TDMA 將可使用的頻寬中，分成數個時槽（Time Slot），在 GSM 系統中分成 8 個時槽，每個時槽為 277msec，各時槽間為了避免互相重疊而干擾，因此設有 Guard Band（保護頻道）的機制。（相關介紹可參考第 2 章多工技術）

三 CDMA（Code Division Multiple Access）分碼多工

CDMA 是由美國廠家 Qualcomm 所提出，主要使用的代表系統為 cdmaOne、cdma2000、WCDMA。

CDMA 早期是用在軍方，商業化後使用發現了它的許多優點，例如容量大、發射功率低、通訊品質佳、涵蓋範圍大、頻道利用率高…等。

CDMA 是將各個用戶以數位方式編碼，在同一頻道上，同時可以傳送多個用戶，各個用戶只接收到屬於自己的訊息，不易受到干擾 。

就 TDMA 與 CDMA 比較，簡單來說，可以把 TDMA 想成是單線道的高速公路，而 CDMA 則是多線道的高速公路，因此，這也就是為何 CDMA 是 3G 系統普遍使用的多工方式了 。

CDMA 的特性以下列出了幾項：

使用 Soft Handoff（軟式交遞），通話較不易中斷

當蜂巢式系統手機在通話時，若有移動，有時可能會超越原本連線中基地台的無線電涵蓋範圍，此時，必須由下一個無線電範圍可涵蓋的新基地台接手，這種現象稱做 Handoff（交遞），Handoff 可分成二類，一是 Hard Handoff（硬式交遞），另外則是 Soft Handoff（軟式交遞）。

(1) **Hard Handoff（硬式交遞）**

此種方式用於 GSM 系統中，由於各相鄰基地台其頻率不同，因此，手機在進行 Handoff 的過程中，必須先中斷和原本基地台的通訊，然後再由新基地台來提供通話服務，屬於 Break-Before-Make 方式，換言之，要是連接過程不順時，斷話的風險就提高很多 。

(2) **Soft Handoff（軟式交遞）**

Soft Handoff 則是 CDMA 系統則採用的方式，因為各基地台的頻率相同，因此，其 Handoff 的方式，並不像 Hard Handoff 會先中斷和原先基地台的通訊，而是等手機和新基地台通訊穩定後才中斷和原先基地台的通訊，屬於 Make-Before-Break，因此大大降低了在變換基地台時的斷話風險 。

手機消耗功率低

CDMA 的手機其消耗功率比 TDMA 低，換言之，其手機的待機時間較長，而且其電磁輻射量也變小，可以降低對人體危害的程度 。

基地台有更廣的涵蓋範圍

在相同發射功率下，CDMA 所能涵蓋範圍比 TDMA 方式更為廣泛，約為 TDMA 的 1.7～3 倍，因此，使用 CDMA 系統所需的細胞（Cell）基地台可以比 TDMA 少很多，如此便可縮短系統建置時間，節省建置成本 。

11-5 第四代行動通訊：4G

11-5-1 簡介

為了應付更大的網路需求及提供更快的資料傳輸速率，下一代的行動通訊時代終將到來，從 3G 到 4G 的過程中，有所謂的 3.5G、3.75G，而這樣的演進過程，其實都只是 3G 的進階版本，將資料傳輸的速度逐漸提升，然而這些 3G 的進階版本為了不讓大眾造成混淆故皆統稱為 3G。

3G 在 IMT-2000 的技術規格底下主要分作 W-CDMA 與 CDMA2000 兩大陣營，3.5G 即為 W-CDMA 的進階版本，係使用 HSDPA（High Speed Downlink Packet Access，高速下行封包存取）技術，在原本 W-CDMA 技術中，上傳速率為 384Kbps、最高下載速率為 2Mbps，而在 HSDPA 技術中，最高下載速率提升至 14.4Mbps，比原本的 3G 的理論下載速度快了好幾倍 。

而更進階的版本為 HSUPA（High Speed Uplink Packet Access，高速上行封包存取），又稱作 3.75G，將 3G 及 3.5G 的最高上傳速率提升至 5.625Mbps，加快了上傳資料的速率，有助於提升需要大量上傳頻寬的服務品質，例如雙向視訊通話等 。

而結合上行及下行稱為 HSPA（高速封包存取），其進階版本 HSPA+ 最高理論下載、上傳速度為 42Mbps、22Mbps，國內通信業者也積極為 HSPA/HSPA+ 行動網路進行建設，因應手持行動裝置的熱銷，行動傳輸速度成為行動網路的重要議題 。

11-5-2 4G 的技術標準

針對 4G 行動通訊，ITU 在 2008 年發表 IMT-Advanced（International Mobile Telecommunications-Advanced）的標準，其中定義了 4G 的關鍵特性，例如：

1. 提供高度的國際通用性，保留彈性機制，以支援遠距離服務與成本高效率管理 。
2. 相容於既有 IMT 標準 。
3. 以全 IP 封包交換為基礎的網路，並相容於既有無線標準 。
4. 具備與其他無線電接收系統相互配合之能力 。

5. 使用者之設備可通用於全世界，並能在全球各地複合的網路間順暢地進行網路交換。

6. 支援高品質的行動、多媒體服務，提供終端於高速移動時（如：火車行駛時），100Mbps 的資料傳輸速率；而當終端處於靜止狀態時，提供 1Gbps 的資料傳輸速率。

7. 支援更多終端同時使用網路，動態地分享與使用網路資源。

8. 擴展可使用頻段範圍：5～40MHz （來源：ITU-R M.1645）。

國際電信聯盟 ITU 定義的 IMT-Advanced 的技術標準，在 2002 年開始出現技術（Beyond IMT-2000）概觀，在 2005 到 2007 年間，ITU 開始著手於 SMaRT 重點項目，分別是:頻譜（SPECTRUM）、市場（MaRKETPLACE ）、管制機制（REGULATORY）及技術（TECHNOLOGY），這些項目必須同時兼顧全球性與地區性的考量，各項目之說明如下：

1. **頻譜（SPECTRUM）**：擴展可使用頻段範圍 5～40MHz，基於頻譜屬於自然資源，須為第四代行動通訊重新規劃頻譜的使用方針，相關議題如：流量推算、頻譜效率、無線電移轉特性（TDD、FDD）、全球頻譜的使用協調、全球漫遊設施、動態頻譜分享技術等

2. **市場（MARKETPLACE ）**：包含使用者需求、應用服務需求與營運模式的經濟面驅動方式。

   由於行動通信裝置的發展，行動通信裝置能提供動態的服務及應用，下表為 ITU 制訂的行動服務市場目標，說明使用方、內容提供方、服務提供方、網路營運方、應用開發方等各別之目標如下表 11-2：

◎ 表 11-2 行動服務市場目標

觀點角度	目標
終端使用者	• 隨時隨地皆可接收資料 • 便利的存取接收應用及服務 • 兼備適當的服務品質與費用 • 簡單易理解的使用者介面 • 長久的裝置與電池壽命 • 多樣的服務選擇 • 加強服務提供的效能 • 良好友善的計費方式
內容提供者	• 具備建立彈性計費方式的能力 • 根據使用者的使用偏好、位置，具備提供符合使用者及其裝置使用之內容提供能力 • 具備創造一個相似於應用程式市集（EX:Google Play、App Store）的龐大市集
服務提供者	• 快速、開放使用者參與服務創造、驗證及條款 • 服務品質及安全管理 • 根據終端及資料流量類型，具備自動調整之功能 • 具備建立彈性計費方式的能力
網路營運者	• 資源最佳化（頻譜及設備） • 服務品質及安全管理 • 具備提供不同服務之能力 • 彈性的網路組態設定 • 依照全球的經濟規模，降低終端及設備上的成本 • 具備順暢地從IMT-2000系統轉移至進階IMT-2000系統的能力 • 具備IMT-2000系統與進階IMT-2000系統之間分享最大化的能力 • 獨立的驗證機制（網路存取的獨立性） • 具備建立彈性計費方式的能力 • 根據行動服務之類型，具備存取最佳化的能力
應用開發者/生產者	• 依照全球的經濟規模，降低終端及設備上的成本 • 進入全球市集之中 • 開放模組與子系統之間的物理及邏輯介面，提供一個可程式化的平台，已達兼具經濟效益及快速開發的能力

（資料來源：ITU-R M.1645）

在這樣行動服務市場，具有三項重點：

(1) **連通性**：配合良好且連貫的服務機制，從網路基礎建設的整合開始，帶給終端使用者順暢的服務 。

(2) **內容提供**：資訊提供不再只是單向的提供，由終端或其他方提供資訊，將成為資訊服務的另一個重要管道 。

(3) **行動商務**：營收方式及營收來源 。

上述的三項重點，將電信通訊、資訊科技及內容整合，創造出新的服務典範，產生更多的服務附加價值，這樣的改變帶給使用者與服務提供者雙方龐大的便利及機會 。

3. **管制機制（REGULATORY）**：包含擬定授權程序，規劃頻譜可用範圍、制訂相關執照，控制自然資源使用率等

4. **技術（TECHNOLOGY）**：根據頻譜資源、市場供需條件、管制機制，提供符合之服務與能力，而根據這樣的市場需求走向，行動服務必須具備了一些關鍵技術領域：

(1) **系統關聯技術**：行動通訊的資料傳輸技術從電路交換技術移轉為封包交換技術，也讓使用者能在便利、安全的情況下接收行動服務，例如：VoIP、最佳化 IP 與無線電間的移轉、網路架構的容錯機制、無縫的移動接收能力（handover）、安全與隱私的密碼技術、商務驗證技術、資訊過濾技術等 。

(2) **存取網路及無線電介面**：無線電的存取技術，包含調節計畫及程式計畫、多重存取計畫、軟體定義無線電（SDR）與可重構的系統、可調節的無線電介面、天線技術及觀念等，影響 4G 發展的相關技術，例如：路由演算法、網路架構存取技術（高封包流量節點）、不同無線電介面的資訊換手（水平及垂直的換手）、動態的服務品質控制、移動間的封包控制、多重輸入輸出（MIMO）等 。

(3) **頻譜使用**：傳輸技術必須使用到額外的頻譜範圍，頻譜的使用效率與 4G 相關的技術，例如：分層的蜂巢結構、MIMO、頻譜分享技術等 。

(4) **行動終端**：大多數的技術改革，都可從終端裝置的演進看見，不管是使用新的元件、新的軟硬體平台還是新的架構，例如：人機互動、M2M、行動終端平台（操作系統、中介軟體及應用程式平台）、電池技術（能源密度）等 。

(5) **應用程式**：應用程式的存取透過 IMT-2000 或進階 IMT-2000 系統，其相關技術例如：內容描述程式語言、APIs、中介軟體、動態變率編譯器等（來源：Recommendation ITU-R M.1645）。

ITU 於 2012 年在日內瓦舉行無線通信大會，宣布 LTE-Advanced 與 WirelessMAN-Advanced 成為正式的現行第四代通訊標準，在頻譜的使用上，第四代行動通訊將提高頻譜的使用效率，達成同時降低頻寬使用及提高資料傳輸量。4G 技術不止於頻譜使用的突破，也在傳輸速度上提供優異的品質，相較於 3G 智慧型手機資料傳輸速率，4G 行動通訊提高至少 100 倍的資料傳輸速率，讓消費者能享受高速、高品質的行動服務。

11-5-3 WiMAX 標準

WiMAX（Worldwide Interoperability for Microwave Access；全球互通微波存取），其具有可達約 48 公里的傳輸距離及更快速的傳輸速度（約 70Mbit/s），WiMAX 主要是以 IEEE 所制定的 802.16 系列標準為其發展的基礎，其系列標準有 802.16、802.16a、802.16b、802.16c、802.16d（802.16-2004）、802.16e、802.16f、802.16g、802.16j、802.16m，其中 802.16 是最早在 2001 年提出的標準，屬於固定式、單點對多點的無線寬頻傳輸標準。

基本上，802.16 系列標準的發展包含了三種型式，分別是固定式、可攜式以及移動式，像 802.16、802.16a 是屬於較早期制定的固定式標準，其只能用在固定接收，不能用於高速移動的環境。固定式標準 802.16d（802.16-2004）其傳輸速度則可達 75Mbps，而 802.16e 是在 2005 年制定的標準，其標準已具有移動性的功能並可提供 30 Mbps 的傳輸速度，可應用在如手機、筆記型電腦、汽車等具移動性質的產品上。2007 年開始制定的 802.16m（WirelessMAN-Advanced）標準，由 IEEE（電機與電子工程協會）宣布成為下一代 WiMAX 標準規格，並於 2010 年 10 月通過 ITU 認可達 IMT-Advance 標準。

11-5-4 WiMAX 發展

WiMAX 的發展在 2007 年 10 月 ITU（國際電信聯盟）在日內瓦所召開的世界無線通信大會中，經與會國家投票最後通過了將 WiMAX 技術正式納入 3G 標準，成為了 IMT-2000 家族的成員，讓 WiMAX 在全球的佈局邁進了一大腳步，讓許多國家和電信業者都開始支持 WiMAX 未來的發展。

在台灣，政府在 WiMAX 上早已投注了相當大的心血，2004 年「行政院國家資訊通信發展推動小組」提出了「行動台灣計畫（M-TAIWAN）」，5 年 370 億元的預算中，WiMAX 便是其關注的焦點。2007 年 7 月 26 日，我國 NCC 正式公佈六張 WiMax 分區執照得標廠商名單，得標廠商包括全球一動、威邁思電信、大眾電信、遠傳電信、大同電信和威達。

2007 年 10 月 22 日，在國際合作上正式與另外 5 家國際知名大廠完成 WiMAX 技術合作備忘錄的簽署，這 5 家國際大廠分別是 Alcatel-Lucent、Motorola、Nokia Siemens Networks、Sprint-Nextel、Starent，可以充分提供國內廠商與國外領導技術廠商之間的技術交流，進一步提昇國內廠商的核心技術能力，使台灣在國際上的 WiMAX 產業中取得重要地位。

而台灣在 WiMAX 研發領先許多國家，2008 年 WiMAX 認證實驗室的設立，當時全世界共有 6 間 WiMAX 認證實驗室，台灣就佔了其中的 2 間。由於 WiMAX 相關產品要取得 WiMAX Forum 核發的認證標籤，必須通過 WiMAX 認證實驗室的測試，因此，能取得 WiMAX Forum 核准建立 WiMAX 認證實驗室，WiMAX 相關產品便可以在國內進行認證，如此一來可以縮短產品出貨時間，更可以大幅降低認證成本。此時我國對 WiMAX 的投資也已位居全球第二，高達 200 億新台幣。

正當台灣在國際上站穩 WiMAX 的重要地位時，國際間的 4G 技術版圖發生了令人意想不到的變化，那就是 3GPP 陣營所主導的 4G 行動寬頻技術 LTE 的出現，WiMAX 的敗退就從此展開，從 2009 年起與我國簽屬合作備忘錄的大廠如 Alcatel-Lucent、Nokia Siemens Networks，都紛紛放棄 WiMAX 技術而轉向對 4G LTE 的投資。

但造成 WiMAX 退潮的最主要原因，是來自於英特爾（Intel）公司，身為 WiMAX 的發起者與主導者，英特爾於 2010 年 7 月無預警解散了 WiMAX 辦公室（WiMAXProgram Office），時至今日雖然英特爾從未聲明要將 WiMAX 結束，但解散 WPO、投資 LTE 技術等動作，無疑是將 WiMAX 打入冷宮，控制住 WiMAX 在全球的版圖，讓 WiMAX 對 LTE 的影響降至最低，加上許多已開發大國與大型跨國電信業者都採用 3GPP 陣營的 LTE，這樣的發展情形也讓台灣在 4G 通訊上好不容易拿到國際間的領先優勢不再，對許多台灣的電信業者、軟硬設備商來說，對 WiMAX 所付出的投資心血也相對較難以收回。

11-5-5 LTE

LTE（Long Term Evolution，長期演進技術），其概念是由日本電信公司 DoCoMo 於 2004 年所提出的。3GPP（3rd Generation Partnership Project）於 2008 年提出了 LTE Release 8 版本標準，LTE Release 8 引入了正交分頻多工（OFDM）、多重輸入多重輸出（MIMO）等技術，實現了在 20MHz 的頻寬下 100Mbps 的傳輸速度，但國際電信聯盟（ITU）認為 LTE Release 8 並不符合 IMT-Advance 行動通訊需求標準，直到 LTE-Advance 版本的出現，才達到了 ITU 所制訂的 IMT-Advanced 技術標準。LTE-Advance 加強高速移動狀態下的網路傳輸能力，儘管是在時速 350～500 公里的高速之下，都能提供網路服務，LTE-Advanced 於 2011 年 3 月由 3GPP 正式列為下一代行動通訊標準，於 2012 年宣布與 WirelessMAN-Advanced 成為正式的現行第四代通訊標準。

11-5-6 LTE 於台灣與世界發展情形

台灣情形

台灣於 2013 年 10 月完成了 4G 頻譜的釋照作業，NCC 釋出 700MHz/900MHz/1800MHz 頻段作為 LTE 使用，分區執照所得之國內電信業者分別為，中華電信、台灣大哥大、遠傳電信、亞太電信、台灣之星移動電信（頂新集團）、國基電子（鴻海集團）如下表所示。

◎ 表 11-3

頻段	頻段編號	頻譜範圍	底價（億）	得標價（億）	得標業者
700MHz	A1	上行703~713 MHz 下行758~768 MHz	46	64.15	亞太電信
	A2	上行713~723 MHz 下行768~778 MHz	46	68.1	遠傳電信
	A3	上行723~733 MHz 下行778~788 MHz	46	68.1	國碁電子
	A4	上行733~748 MHz 下行788~803 MHz	69	104.85	台灣大哥大

頻段	頻段編號	頻譜範圍	底價（億）	得標價（億）	得標業者
900MHz	B1	上行885~890MHz 下行930~940 MHz	16	36.55	台灣之星
	B2	上行895~910MHz 下行940~950 MHz	21	33.2	中華電信
	B3	上行910~915MHz 下行950~960 MHz	21	23.7	國碁電子
1800MHz	C1	上行1710~1725MHz 下行1805~1820 MHz	22	185.25	台灣大哥大
	C2	上行1725~1735MHz 下行1820~1830 MHz	14	100.7	中華電信
	C3	上行1735~1745MHz 下行1830~1840 MHz	14	127.9	遠傳電信
	C4	上行1745~1755MHz 下行1840~1850 MHz	14	117.15	遠傳電信
	C5	上行1755~1770MHz 下行1850~1865 MHz	30	256.85	中華電信

（資料來源：NCC NEWS第10期）

中華電信、台灣大哥大、遠傳電信、亞太電信、台灣之星移動電信、國基電子獲頻寬分別為：35MHz、30MHz、30MHz、10MHz、10MHz、20MHz，合計釋出135MHz，頻寬大小將直接影響行動網路資料傳輸之品質，各家業者都為提供高品質的4G服務努力。

全球情形

LTE服務適用頻段分作FDD-LTE（分頻多工）與TDD-LTE（分時多工），ITU於2007年訂定IMT-Advanced標準，於標準中規劃5個頻段供4G網路使用，依照不同的地區有不同的頻段分布，台灣採用的是700MHz/900MHz，歐洲網路大多採用800/1800/2600MHz，美加地區所採用之頻段包括700MHz、1700MHz/1900MHz、2100MHz/2600MHz，而日本地區採用850MHz/1500MHz、1800MHz/2100MHz/2500MHz，大陸地區則採用1800MHz/1900MHz/2300MHz/2500MHz，各國之4G LTE頻譜使用及電信業者概況如下表所示：

◎ 表 11-4 各國電信業者 / 頻譜使用（MHz）

美國

Verizon Wireless	C Spire	MetroPCS	AT&T Mobility	Sprint Nextel	Leap Wireless
700	1900	1700/1900/2100	700/1700/2100	1900	1700/2100

加拿大

Bell	Telus	MTS	Rogers Wireless
1700/2100/2600	1700/2100	1700/2100	1700/2100/2600

中國

中國移動	中國聯通	中國電信
1900/2300/2600	1800/2300/2600	1800/2300/2600

日本

NTT DOCOMO	au(au byKDDI)	SoftBank	Wireless City Planning	EMOBILE
850/1500/2100	850/1500/2100	2100	2500	1800

英國

Vodafone	O2	EE	THREE
800/2600	800	800/1800/2600	800/1800/2600

德國

Vodafone	O2/Telefónica	Telekom Deutschland
800	800/2600	800/1800

法國

Bouygues Telecom	FT/Orange	SFR
800/1800/2600	800/2600	800/2600

南韓

SK Telecom	KT Corporation	LG U+
850/1800	900/1800	850/2100/2600

（資料來源：Wikipedia）

在世界各地 4G 的服務佈建都已成形，各國的電信業者們在 4G 頻譜的標售也都歷經過一番角力，都是為了提供高品質的 4G 行動通訊服務，讓使用行動通訊的人們，能夠享受到順暢且高速的網路傳輸品質 。

11-6 第五代行動通訊 5G

隨著行動裝置的問世，人們生活的型態逐漸地在改變，對行動通訊的需求也不斷地提高，促使行動通訊技術不斷演進，當第四代行動通訊（4G）在世界各個地區遍地開花後，第五代行動通訊（Fifth Generation Mobile Network, 5G）的發展也開始受到人們的關注 。經過第二代行動通訊 GSM、第三代行動通訊 UMTS 及第四代行動通訊 LTE-Advance/WiMax-Advance 等技術發展，從以往新一代的行動通訊標準是經由 3GPP、WiMax 論壇、國際電信聯盟（ITU）等標準組織所定義發布，到第五代行動通訊，則是率先由英國的通訊商 Orange、Vodafone；日本的 DoCoMo、Sprint；中國的中國移動；荷蘭的皇家電信等企業，在 2006 年於英國成立的—「新世代行動網路聯盟」（Next Generation Mobile Networks Alliance, NGMN Alliance）於 2015 年提出的《5G 白皮書 NGMN 5G White Paper》，其中對第五代行動通訊定義出使用者經驗種類、資料傳輸速率要求以及網路延遲等擘畫，並計畫將第五代行動通訊於 2020 年正式商轉 。

大家都知道行動通訊主要是通過不同的頻率發送無線電磁波，且在不同的頻段中運作著不同的傳輸工作 。一般而言，低頻段的無線電磁波傳輸射程較遠、高頻的無線電磁波傳輸射程則較短，例如：2G 行動通訊 GSM 被定義在 450MHz、850MHz、900MHz、1800MHz 和 1900MHz 等低頻段運作，一般情況一個 GSM 的天線蜂窩半徑為 35 公里、最高可以傳播達 120 公里以上的範圍，然而個人區域網路（Personal Area Network, PAN）例如藍芽（Bluetooth）傳輸技術，則是被定義在短波特高頻（UHF）的 2.4-2.485GHz 頻段運作，主要是應用於短距離的情況下，裝置與裝置間進行資料交換，一般情況下的傳播距離為 10 到 100 公尺 。

然而第五代行動通訊所採用的是極高頻（Extremely high frequency, EHF）電磁波，頻率範圍為 30～300GHz，是介於超高頻（Super high frequency, SHF）與超級高頻（Tremendously high frequency , THF）之間，比起 4G 網路的特高頻（Ultra High Frequency, UHF）有限的頻譜資源，極高頻在頻譜上的運用可以更有效率，5G 能提供相對於現今網路的一千倍的頻寬速度提升，但只損耗了相當於 4G 50% 的能源，在 500km/hrs 的移動情形下，5G 行動通訊能達成 10Mbps 的上傳 / 下載速度、網路的

延遲更能縮短至 10 毫秒（ms）甚至是 1 毫秒以內，這對於 5G 所宣稱的三方面提升訴求：網路性能（Network capabilities）、網路可持續運作性（Enablers for operational sustainability）以及商業應用的靈活性（Enablers for business agility）是做好的數據實例。下表則是《NGMN 5G White Paper》針對使用者需求定義出 5G 行動通訊的 KPI（Key Performance Indicators, 關鍵績效指標）定義。

◎ 表 11-5 5G 行動通訊 - 使用者經驗關鍵績效指標（資料來源：NGMN 5G White Paper）

使用案例	資料傳輸速率	端對端（End to End）延遲	移動性
50Mbps+ 任何地方	下載:50Mbps 上傳:25mbps	10毫秒	0-120km/h
室內極高頻帶存取	下載:1Gbps 上傳:500Mbps	10毫秒	步行速度
極低網路延遲	下載:50Mbps 上傳:25Mbps	1毫秒	步行速度
高空飛行存取	下載:15Mbps （單一使用者） 上傳:7.5Mbps （單一使用者）	10毫秒	最高1000km/h
網路高密度存取	下載:300Mbps 上傳:50Mbps	10毫秒	視需求（0-100km/h）

5G 行動通訊雖然相容於 4G 行動通訊的基礎建設，但在網路的應用型態已截然不同，5G 的三大訴求：網路性能（Network capabilities）、網路可持續運作性（Enablers for operational sustainability）以及商業應用的靈活性（Enablers for business agility），將充分地被應用於物聯網以及其延伸的應用領域，而成為一個全新的網路服務型態，更能促進新一代的商業模式崛起，在不久的將來，所有跟人們生活有關的事物都無法與網路脫離，而 5G 行動通訊則是最重要的啟動開關。

11-7 行動通訊安全

11-7-1 行動通訊安全的重要性

某位電腦駭客入侵政府的網站，動了一番手腳後，某個人的身份被嚴重修改了，她的信用卡被止付、社會福利號碼消失，而且還成了殺人放火的通緝犯，這是電影的情節，但是，「未來有可能發生」。

由於科技的發展，網路早已和人們的生活習習相關，而行動通訊技術更是由過去只拿來做語音傳輸用的 1G 類比式系統，逐漸演進到提供多媒體影像、語音與數據傳輸的 3G 系統，它所帶來的龐大商機，便是讓許多業者前仆後繼投入了大量資金想占有一席之地。

但是，和網路的電子交易一樣，行動通訊也面臨到了一個重要的問題，那就是「通訊安全」。縱然廠商提供各式各樣便利的服務，但若是你的資料（如信用卡卡號、銀行帳號密碼）在傳輸過程有可能被竊取，相信你絕不會想去碰它了。

早期 1G（第一代行動通訊）的通訊安全有很大的漏洞，一是其傳輸過程沒有隱密性可言，任何人都可以利用簡單的無線電接收設備，監聽通話內容，其二是系統無法有效辨識手機用戶的合法性，因此常聽說歹徒利用「王八機」（也就是盜拷手機）來犯案，以躲開警方的追緝。

而隨後推出的 2G，採數位式系統，對通訊安全就提供了較多的保障，例如用戶向電信公司申請 GSM 的門號，電信公司核准後會發給用戶一張 SIM（Subscriber Identity Module：用戶辨別模組）卡，這張 SIM 卡儲存了用戶的基本資料和傳輸時所需的密鑰，透過它電信公司便可以用來辨識手機用戶的身份、合法性與加密傳輸內容，如此便可以有效解決在 1G 常發生的手機盜拷問題。

而未來 3G 所使用的安全機制，由於配合電子商務的使用量大增、國際漫游的需求等因素，其考量必須更加周詳，例如：安全機制應減少占用連線時間、個人隱私權的保護（系統業者透過定位系統，可以隨時知道你身在何處，影響您的隱私權）、安全機制統一化以便符合各國法規要求…等，目前 3G 採行的安全機制仍未完全定案。

以日本 NTT DoCoMo 為例，其推出的 3G 服務「FOMA」是採用 F5 Network 公司 BIG-IP 技術，做為其用戶傳輸資料加／解密的安全機制，另外其 SSL 加速器，則是用於分擔 SSL 伺服器處理 SSL 的工作，以提高整體傳輸效能 。

11-7-2 安全性的要求

就通訊安全而言，基本上包含「用戶身份的識別」、「訊息的完整性」、「訊息的機密性」與「不可否認性」等四項特性 。

- **用戶身份的識別**：目前在網路上的交易，主要是利用「憑證」來做為用戶身份的識別，憑證是由公證第三者認證單位（CA；Certificate Authority，例如 VeriSign（參考網址：http://www.verisign.com））、台灣網路認證股份有限公司（TaiCA 參考網址 http://www.taica.com.tw），經委託單位授權同意後所發行的 。

  憑證的內容主要包含了 Public Key、用戶的帳號或卡號、序號、有效期限…等 。

  憑證的安全性和其位元長度有關，TaiCA 目前提供 40 位元與 128 位元二種，一般而言，如需要傳輸信用卡卡號、銀行帳號密碼等重要機密資料，建議申請 128 位元的憑證 。

- **訊息的完整性**：簡單的說，就是指訊息在傳輸過程中，不會被篡改、破壞、或刪除，想想，要是買賣方在傳輸報價時，數字多一個 0 或少一個 0，那可是影響很大的 。

  基本上，訊息傳輸的完整性，可以透過檢查碼（Checksums）和辨認碼（Authentication Code）的技術來達成 。

- **訊息的機密性**：要做到訊息傳輸的機密性要求，一般都是透過加／解密的方式 。

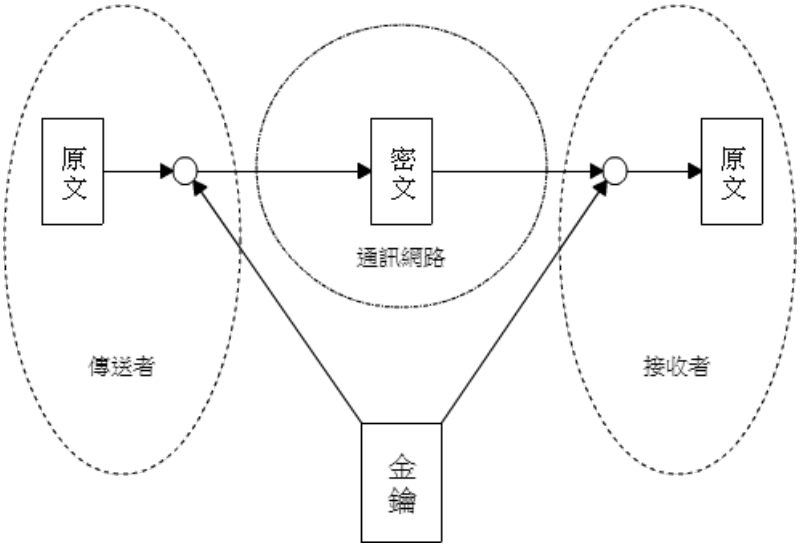
  訊息會先透過金鑰 1 加密，變成亂碼後，再傳送出去，傳輸過程中就算有人竊得其內容，沒有解密用的金鑰也無法解密，因此便可保持此訊息的機密性，等到接收端收到這加密的訊息，再經金鑰 2 解密的手續便可得到正確的訊息 。

- **不可否認性**：指留下雙方交易的證據，避免任何一方不承認此項交易 。

基本上，加／解密系統可以概分為二類：對稱式與非對稱式 。

1. 對稱式加／解密系統

指上述的金鑰 1 和金鑰 2 是同樣的，換言之，訊息的傳送者和接收者其加 / 解密都用同樣的金鑰，如下圖：



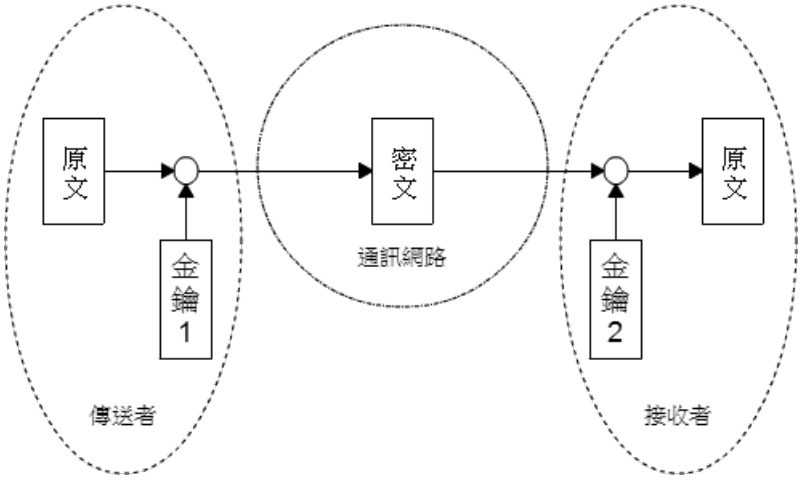
▲ 圖 11-1 金鑰一

2. 非對稱式加／解密系統

又稱公開金鑰加密法（Public-Key Encryption），訊息的傳送者和接收者使用不同的金鑰來加 / 解密，傳送訊息使用金鑰 1 加密，而接收時利用金鑰 2 解密，金鑰 1 與金鑰 2 是成對的，通常我們分別稱它們為公鑰（Public-key）及私鑰（Private-key），少了任一個就無法完成加 / 解密的工作 。公鑰在傳送時是公開的，而要解密的私鑰則是不公開的，其操作模式如圖 11-2 金鑰二 。

先前提到的 SSL 機制，就是屬於公開金鑰加密法 。

SSL（Secure Socket Layer）：是目前廣泛應用在 Internet 電子商務交易（如信用卡資料的傳輸）的一種加密及解密技術標準，配合憑證來識別用戶身份，以保護資料在交易過程中的安全性 。



▲ 圖 11-2 金鑰二

11-7-3 行動通訊的潛在風險與防範措施

隨著行動裝置的普及使用，許多資安風險應運而生，用戶資料在不知名的情況下便遭到有心人士的竊取，全球第一支手機惡意程式在 2000 年誕生，其為附著在 WAP 手機上的病毒，透過病毒發送大量 SMS 簡訊給伺服端，導致大量用戶的手機被垃圾簡訊攻擊的事件。現今的行動裝置仍存在著被病毒或是惡意程式攻擊的機會，常見已遭受攻擊的表徵如：

- 防毒發出警報通知。
- 異常的系統活動：網路瀏覽異常緩慢、系統無預警關機等。
- 應用程式時常出現非正常反應：出現亂碼、非預期的崩潰。
- 收到不知名的簡訊：接收到亂碼簡訊，簡訊出現不尋常的字元。
- 自動發話：手機自行撥話給不知名的號碼。
- 不尋常的網路流量活動或是帳單紀錄。

這些行動裝置系統的異常現象，都是以遭受惡意程式感染的前兆，為確保個人用戶資料的安全性及隱私保密性，針對行動裝置的使用可以以下的方式作為因應機制：

- 不連接不知名的 Wifi、藍牙連線。
- 安裝行動裝置防毒軟體。

- 不隨意開啟不知名的 SMS 簡訊或是電子郵件 。
- 不隨意下載來路不明的應用程式 。
- 手機資料定期備份 。
- 不隨意填寫個人機密資料、信用卡資料 。

若以確定遭到感染攻擊，用戶可以先關閉網路、拆除電池，並將手機交給鑑識人員分析後，更換全新的裝置進行使用 。在行動裝置普及使用的現今，個人用戶保障自身的作法即是培養良好的使用習慣以及防毒措施，才能有效的阻絕攻擊與保障隱私 。

Q&A 測試

1. 行動通訊系統的三大組成部份為何？
2. 所謂的 GSM 雙頻手機，包含了哪二種頻率？
3. Soft Handoff 和 Hard Handoff 的不同？
4. WAP 的通訊協定主要包含了哪幾項？
5. 編寫 WAP 網頁的主要使用語言為何？
6. 第二代行動通訊 2G 和 2.5G 其資料傳輸的技術有何不同？
7. ITU 針對 3G 其傳輸速率有何規範？
8. IMT-2000 中訂定 3G 的三大技術標準為何？
9. 請列舉幾項 3G 應用的服務 。
10. 全球第一個以 W-CDMA 為標準所提供的 3G 服務國家為何？
11. 以 CDMA-2000 為標準所提供的 3G 服務國家又為何？
12. GSM 手機主要以何種方式來防止手機的盜拷問題？
13. 目前在網路上的交易，主要使用何種方式來做為用戶身份的識別？
14. 加／解密系統依其金鑰的類型可以概分為哪二類？其金鑰的類型有何不同？
15. 在第四代行動通訊標準中，經過國際電信聯盟認可，通過 IMT-Advanced 技術標準的規格有哪些？
16. 台灣所採用的 4G 頻段有哪些？
17. 在 ITU 的定義之中，4G 行動通訊的傳輸速率為何？