

~~~~~  
**技術報告**  
~~~~~

行動裝置上的感測器及其空間資訊蒐集應用
The GeoSpatial Application of Sensor on Android Mobile Devices

史天元¹

摘 要

平板電腦及智慧型行動電話等行動裝置上，有許多種感測器。依據感測器所提供觀測量的性質，可大分為「位置」與「物理」兩大類。本文之目的在介紹這些感測器之功能，以及在空間資訊蒐集上可以發揮之功用。感測器之應用，需要使用到微型程式(app)。本文因此亦就感測器基本功能程式、環境空間觀測量以及空間幾何性資料之蒐集程式，就所曾使用過的擇適當者介紹。本文所涵括之程式均屬可免費使用者。

Abstract

There are many sensors installed on the mobile devices such as tablet computer and smartphones. Based on the type of observations provided by the sensors, there are “positional” and “physical” two categories. The objective of this article is to introduce the function of these sensors, and their application in Geospatial information collection. All these operation relies on the application software, that is, apps. This paper introduces the apps for the basic function of the sensors, collecting environmental observations, and collecting spatial information. Only those could be used free of charge are included in this article.

一、前 言

行動裝置(Mobile devices)是當前日益普及的一項設備，目前常用的行動裝置作業系統包涵 Google 公司的 Android、Apple 公司的 iOS、MicroSoft 公司的 Windows Phone、Blackberry 公司的 Blackberry、Mozilla 公司的 Firefox OS、Jolla 公司的 Sailfish

¹國立交通大學土木工程系 教授；tyshih@mail.nctu.edu.tw

OS、與 Intel 及韓國三星公司有關的 Tizen 公司所發展的 Tizen、Kononical 公司的 Ubuntu Touch OS(Wikipedia, 2014a)，而平台則可大分為平板電腦(Tablet Computer)及智慧型行動電話(Smartphone)。雖然作業系統為數不少，共同的是這一些裝置的機具上，均有多種不同感測器。依據感測器所提供觀測量的應用性質，可大分為「位置」與「物理」兩大類。全球導航衛星系統(GNSS, Global Navigation Satellite System)裝置是「位置」的標準配備。除 GNSS 外，「位置」的資訊亦可來自 IP (Internet Protocol)的概略定位，以及行動通訊服務業者提供的無線電定位。

目前行動通訊服務業者提供的行動裝置定位，有數種的可行方案。最基礎的是利用基地台提供該台的坐標，做為概略的坐標。所以，在該區內由該基地台服務的行動裝置，均為相同坐標。若使用多個基地台對同一行動裝置的訊號，則可進行多邊定位(Multilateration)。Wikipedia (2015a)將行動裝置定位相關技術分為：網型式(Network based)、單機型(Handset based)、SIM 型(Subscriber identity module based)、Wi-Fi 型、混和型(Hybrid)。其中，Wi-Fi 型方式是於資料庫中事先紀錄 Wi-Fi AP(無線存取點，Wireless access point)與其對應的坐標。Wikipedia (2015b)簡介 Wi-Fi 定位技術，並列舉幾個公共的資料庫，如 Combain Positioning Service、Mozilla Location Service 等。支援 Android 系統的 Google，也建立有其 Wi-Fi 定位資料庫。當行動裝置連線到某個 Wi-Fi AP 時，若資料庫有對應的該點坐標時，即可提供使用者目前所在的概略坐標。

行動裝置定位的技術仍處於持續發展中，尤其著重點在 GNSS 訊號無法收受的情況。Apple 的 iBeacon 可提供室內定位，已使用於大型表演或展覽場地(Wikipedia, 2014b)。除可以提供坐標外，亦可以提供一些加值的服務，如「喝咖啡看免費電子書」，讓電子書之提供可以有區域限制(iTHome, 2014)。iBeacon 是利用 Bluetooth 4.0 的硬體進行，雖然 iBeacon 是 Apple 提出，但是採開放式的架構，所有 Bluetooth 4.0 的設備都可支援。

「物理」類之感測器則十分多樣，包含

1. 三軸或雙軸之線性加速度感測器
2. 光線強度感測器
3. 溫度感測器
4. 聲音感測器
5. 磁力感測器
6. 氣壓感測器

與位置相關者除 GNSS 感測器外，包含前述之三軸或雙軸之線性加速度感測器、方

向感測器、陀螺儀感測器、計時器等，亦可各自提供不同的空間資訊，或經融合後與 GNSS 感測器一起提供優化之位置。

既然有了「位置」感測器，能顯示當下之位置，因此便具有製圖之能力。與部分可提供「環境」資訊的「物理」感測器結合，便可量取並記錄環境因子的觀測量。異言之，應用行動裝置之位置資訊，由環境感測器所蒐集之觀測值，可以得到空間定位，由而成為「空間資訊」。本文之目的在介紹這些感測器之功能，以及在空間資訊蒐集上所可以擔任之角色。

二、感測器相關微型程式

資料之蒐集，除感測器硬體外，應用程式亦是一個重要環節，就行動裝置而言，即為微型應用程式(app)。依照程式的主要功能訴求，本文分為三大類：感測器基本功能程式、環境空間觀測量蒐集、及空間幾何性資料之蒐集程式，就所曾使用過之程式中，選擇適當者介紹，作業系統則限於 Android。第一類又可分為 GPS 程式與環境因子程式。由於程式眾多，所了解有限，所述僅可供參考，無法評鑑推薦。

感測器基本功能程式

本類程式，主要功能為顯示某一或多個感測器之量測數值，謹分為 GPS 程式與物理感測器程式兩類。GPS 是行動裝置上一個相對耗電量較高的功能，所以 Android 作業系統提供開關控制，如圖 1 所示，在設定中，位置資訊存取項下。基於對使用者隱私權的尊重，是否讓應用程式存取位置資訊，以及是否讓 Google 的定位服務收集使用者位置，也都是該選單中之選項。



圖 1 位置資訊存取

GPS 程式

經測試，謹選擇下列兩程式介紹。

1. GPS Test (Chartcross Limited)

2. GPS Status & Toolbox (MobiWIA – EclipSim)

GPS Test 在展現目前可視衛星數、接收衛星數、訊號品質、及空中衛星分布，有良好之畫面。各個版面間之切換以點選圖像(icon)的方式進行，GPS Status & Toolbox 則在主要畫面即可對 AGPS(輔助 GPS, Aided GPS)、以大地起伏化算橢球高為正高，有說明之功能。各個版面間之切換以滑頁方式進行。

1. GPS Test (Chartcross Limited)

本程式有數個版面，可順暢點選切換，在圖二(a)所示為 3D 畫面，展示 GPS 解算之目前狀況，如圖二(a)為「3D fix」，意思為 GPS 可以求定三維坐標。該欄位右側為精度(accuracy)，為定位之不確定性的一個指標，該圖所示為 6m。中段欄位為衛星編號及所接收該衛星之訊號量，圖二(a)顯示有 10 顆衛星可視，但是只接收到 6 顆。顏色則顯示訊雜比。圖二(b)顯示空中衛星分布狀況，很明顯的，接收的環境一邊有遮蔽。圖二(c)顯示者為經緯度坐標值，及一個全球的位置顯示。圖二(d)為與時間相關的數種資訊，除當地時間、UTC 時間外，還有日出、日落的時間。該程式另有一個版面為位置高程值、載台移動速度及方向之顯示，未列在圖二中。本程式之專屬網頁見 Chartcross (2014)。

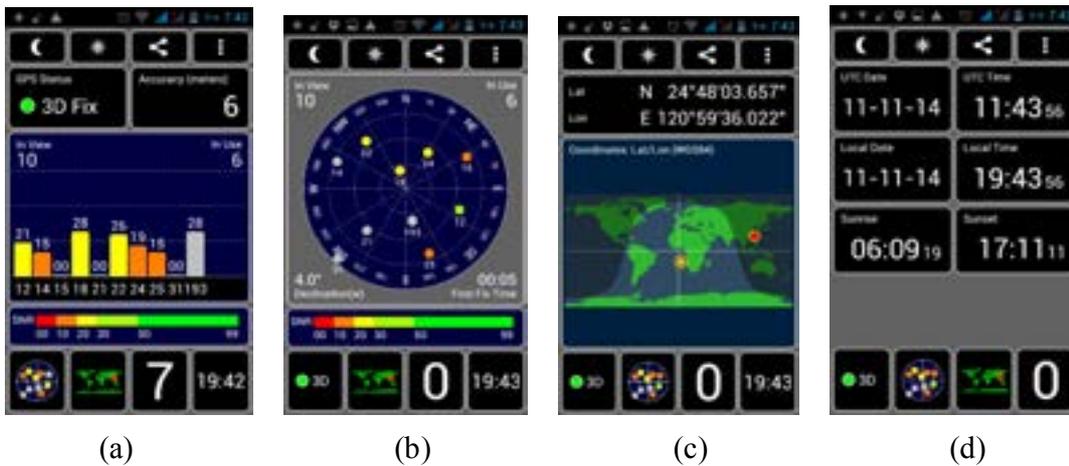


圖 2 GPS Test

2. GPS Status & Toolbox (MobiWIA – EclipSim)

本程式有兩個版面，兩者之間的切換為以滑頁方式進行，而非點選圖像。主版面除展示可視衛星分布位置，亦以顏色區隔接收到的(綠色)與未接收的(灰色)(MobiWIA, 2014)。圖上方的棕色大球表示行動裝置機體水平狀態，圖 3 顯示未水平。棕色大球的直徑隨傾斜角度增加變小，其值則顯現在 GPS 訊號狀態之下方，稱為「傾斜度」。面對裝置，上方較高時，如圖 3(b)裝置前端相對水平高出角度為 16 度。但是左右方向則反向，面對裝置左方較高時，顯現右方。



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)



(g)



(h)



(i)

圖 3 GPS Status & Toolbox

在經緯度之上一列，是速度、高度、與最後定位時間。這裡有趣的是，其高度為「平均海平面」高，意義與「正高」相同。這是由 GPS 所觀測得到的橢球高經大地起伏化算後得到的。大地起伏的資料為全球性之模式，本程式所使用者為 WGS84Geoid，將來使用由 EGM2008 (Earth Gravitational Model 2008)所推衍出的或是當地精算後的模式亦均有可能，此資料經由網際服務傳送。由於圖 3 所示之操作實例中，該行動裝置為未與網路相聯者，因此應由前次聯網時下載之庫存檔案。細節雖尚有待釐清，但是由行動裝置直接獲取正高的可行性已獲落實。

另一個有趣的顯示是在衛星分布圖左下角的 AGPS 下載天數，圖 3(a)顯示為 10 小時。此乃因啟動該程式時已有 10 小時未起動該程式，而在啟動當下，為未聯網狀態。AGPS(Assisted GPS, A-GPS, aGPS, Wikipedia, 2014c)是藉由通訊或互聯網網路傳輸一個檔案，以輔助 GPS 定位。內容包含 GPS 衛星星曆、使用者概略位置等資訊，可加速 GPS 初始定位。由於測試時之行動裝置沒有行動通訊網路功能，所以可以確定該項服務為經由互聯網所提供，提供者為 XTRA 電台。目前在實務上提供 AGPS 方案的包含 LTO (Broadcom)、gpsOne (Qualcomm)、SUPL (Google)、Bcom-LS (Broadcom)，其中 gpsOne 的市占率目前相對較高(Vallina-Rodriguez, 2013)。XTRA 電台即為 gpsOne (Qualcomm)所提供之服務。由於這些 AGPS 服務方案均與硬體有關，所以在選購某一特定行動裝置後，所可選用之 AGPS 服務方式便已確定。但是或許可以在行動裝置上 root 方式執行某適當程式選用 gpsOne 或 LTO，本人目前尚未確認。gpsOne 與 LTO 的檔案架構是不一樣的，並不能通用。LTO 為採用長時期軌道(Long Term Orbits)，經由無線通訊服務下載到行動裝置，其技術為博通公司之專利。XTRA 為 gpsOneXTRA Assistance technology 之縮寫，由高通公司開發。

另一個可觀察的是高度的變化，由於圖 3(b, c)顯示時間差為 17 秒，但是高程值已有 19m 之改變。實際上，在測試當下，為站立原點固定未動狀態，所以經緯度差值甚小。但是因為衛星數有變化，所以高程值有大差異。版面最下列中間為衛星圖形精度指標 DOP/HDOP/VDOP，雖然 VDOP(Vertical Dilution of Position)值很好，但是高程定位精度並不好。

GPS Status & Toolbox 程式也顯示電池存量，由圖 3(a, b, c)三個子圖顯示，由 77% 快速降至 75%，GPS 定位十分耗電。另一個環境因子是亮度，由於是夜間室外，照明度是 40 Lux。

第二個畫面如圖 3(d、e、f)所示，顯示較為簡單，但是有標記位置功能。標記後，如圖 3(g)所示，可以顯現目前位置與標記位置的相對關係。由於沒有外部記錄功能，無法作為 POI (Point of Interest, 興趣點)資料蒐集之用。畫面上方以下滑方式可以開啟如圖 3(h)畫面，此時如點選「管理的 A-GPS 狀態」則可開啟如圖 3(i)畫面，可看到描述 XTRA 電台數據管理的選項。

GPS Test (Chartcross Limited)程式也有正高化算與 AGPS 選項之功能，可由畫面右上方圖像點選啟動，如圖 4(a)所示，在該畫面中第三項為「Clear AGPS」、第四項為「Update AGPS」，屬於 AGPS 的管理選項。第五選項為「Settings」，圖 4(b, c, d)為該選項下之選單，由於螢幕顯示長度有限，分為三次擷取，而圖 4(c)與圖 4(d)畫面有部分重複。「Settings」下大分一般(General Settings)與坐標(Coordinate Grid Settings)兩大類，但是並未分頁。圖 4(c)中有「Datum (基準)」的選項，包含 WGS84、NAD27-Conus、NAD83-Conas、OSGB36-Mean、ED50-Mean ED50-Spain、AGD66、SAD69-Mean、Adidan-Mean 等多種。這些基準分別適用於世界上多個不同區域。其中也有「Hu-Tzu-Shan (虎子山)」，也就是 TWD67 基準。在台灣地區，如配合 TWD67 基準所繪製的圖資，應選用「Hu-Tzu-Shan」。如是配合 TWD97 基準所繪製的圖資，則應選用「WGS84」，就製圖應用的精度要求而言，TWD97 與 WGS84 兩者應為一致。與在圖 4(d)畫面中，「Adjust altitude」即為選擇是否要作正高化算。



圖 4 GPS Test 設定選項

行動裝置上的 AGPS，無論採用博通 LTO、高通 XTRA、Sirf Star、或其他系統，在設計完成後便固定。因此，所需輔助檔案的下載、定位計算、與相關數據處理，均與行動裝置本身關聯極大。本節所介紹之程式，僅為人機介面及附屬功能的提供，除「管理的 A-GPS 狀態」功能中包含 AGPS 檔案之管理外，與定位計算無關。

物理感測器測試程式

本項謹以 Sensor Box for Android 為介紹對象，此一程式為由 ImobLife Inc.所開發，是個針對除 GNSS 以外的九種感測器，均能讀取、展示之工具。由於測試時所使用之行動裝置為 GSMart Roma R2，所有之感測器種類較少，所以並不能展示所有功能。



圖 4 Sensor Box for Android 診斷

Sensor Box for Android 功能分為兩個層次，第一層為診斷，會顯現所有之感測器是否具有功能。圖 4 顯示所使用之裝置只有九種中之四種。此情況，可能是該裝置並無該項感測器，亦可能該感測器故障，但就本文測試例而言，原因為前者。

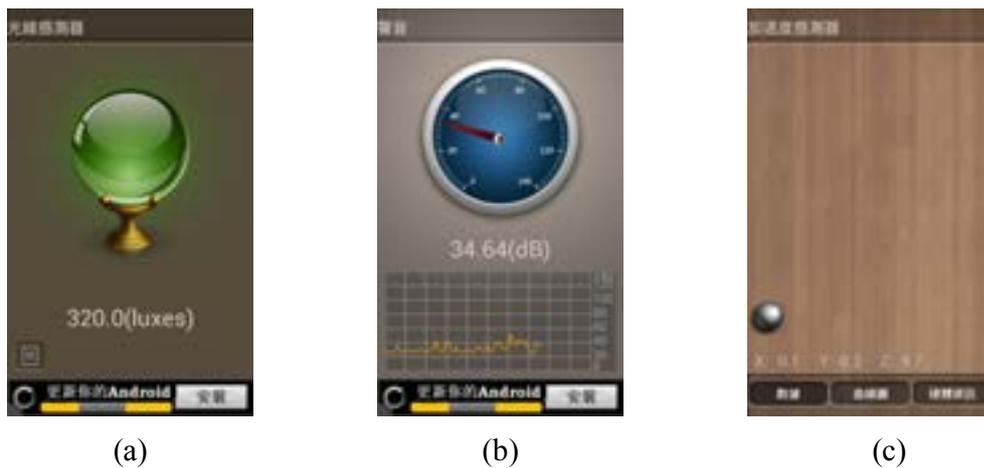


圖 5 Sensor Box for Android 數據展示

第二層為數據展示，經點選具有功能之圖像，即可進入該感測器之畫面。圖 5 依序分別為光線強度、聲音強度、三軸加速度。距離感測器展示在圖 6，可測量之距離為 1cm。本項所觀測者為相對於行動裝置面版與物件之間的關係，不屬於通常理解之環境感測器，對一般環境因子之空間資訊資料蒐集目前較無應用。



圖 6 Sensor Box for Android 距離感測器

環境空間觀測量蒐集程式

本類程式，主要功能為顯示位置及某一或多個感測器之量測數值，理想上且應具有自動記錄功能。本類謹介紹 AndroSensor。此程式由 Fiv Asim 開發(Fiv Asim, 2014)。AndroSensor 之配合程式有 AndroSensor Keep Awake 與 AndroSensor Log，分別提供在行動裝置進入節電模式時不會中斷記錄，以及提供所記錄數據之展示。如圖 7 所示，本程式具有位置及所有感測器之功能。由於使用之測試平台感測器種類較少，所以由上而下，第一區塊為位置。該測試例為在室內，所以無法接收到 GPS 訊號，定位為由互聯網網際網路提供，在高程部分註明資料來自 Google。由於經緯度定位是由 IP 位址得到，故精度較差，將近有 100m。如在聯網狀態，可點選右方 Google 圖像，在 Google Map 上觀看位置。在可以接收到足夠的 GPS 衛星時，經緯度以及第一列的高程均由 GPS 得到之值展示。圖八即為室外兩例，由於為定點，經緯度接近，GPS 高程值與 Google 高程值相差甚多。由於全台灣陸域的大地起伏值在 18 至 28m 之間，此一差異有待深入了解。

由於 AndroSensor 可以記錄所有感測器觀測值，以及位置與時間，可以作為以行動裝置蒐集空間資訊之平台。例如蒐集某一路線之音量變化、光照變化、或是振動變化，均為可行。

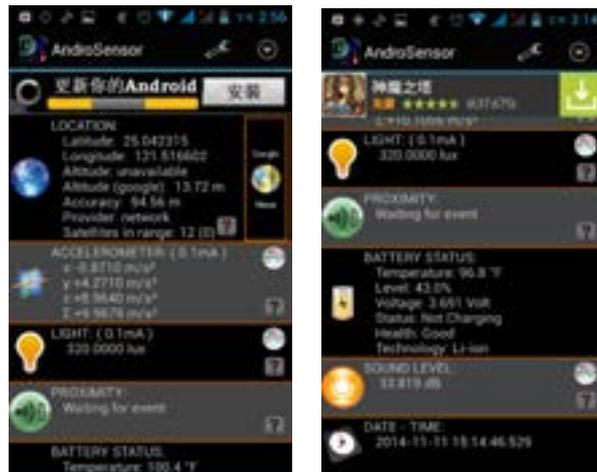


圖 7 AndroSensors 室內



圖 8 AndroSensors 室外

空間幾何性資料之蒐集程式

本類程式，主要功能為記錄 GPS 位置量測數值，由而得到軌跡式的觀測量。謹列舉兩個程式，GPX Logger (Ear to Ear Oak, 2014)與 OSMTracker for Android (Nicolas Guillaumin, OSM, 2014)。GPX Logger 可以記錄軌跡為 GPX 格式的檔案，此格式已為多種製圖及空間資訊軟體所支援，故而可以成為蒐集空間位置資料的工具。其介面及功能十分簡單，如圖 9(a)所示，只是單純的記錄軌跡，記錄後之檔案在對應之檔案夾中，可以檔案傳輸之方式下載或上傳。

GPX (The GPS Exchange Format)，採用 XML 格式，支援路由點(Waypoint)、路徑(路由、Route)、軌跡(Track)，格式與內容十分簡單，故常稱之為輕量級(Light weight) (Wikipedia, 2014d)。「路由點」與「路由」之概念與名稱來自於航海，「路由點」為實質上存在且可以確實辨識的位置，較詳細之說明可參照 Wikipedia (2014e)。



(a)



(b)

圖 9 GPXLogger 介面(a)與檔案(b)

GPX 基本的語法如下：

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" standalone="no" ?>
<gpx xmlns="http://www.topografix.com/GPX/1/1" creator="GPX Logger" version="1.1"
xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
xsi:schemaLocation="http://www.topografix.com/GPX/1/1 http://www.topografix.com/GPX/1/1/gpx.xsd">
  <trk>
    <name>20150102-164048</name>
    <trkseg>
      <trkpt lat="24.78799" lon="121.00180">
        <ele>112.0</ele>
        <time>2015-01-02T16:40:50Z</time>
      </trkpt>
      <trkpt lat="24.78799" lon="121.00180">
        <ele>112.0</ele>
        <time>2015-01-02T16:40:51Z</time>
      </trkpt>
    </trkseg>
  </trk>
</gpx>
```

除最前面幾列為註解外，可見 <trk>、<trkseg>、<trkpt> 等標註；<trkpt> 則包含經緯度、高程、時間。

OSMTracker 則為開放街圖(OSM, Open Street Map)之數據蒐集工具，記錄之檔案可直接輸入 OSM 中。此程式具有以相片及文字記錄之功能，除此外，亦具有圖像式點選屬性之數個表單，如圖九所示。圖 10(a)為第一層，將屬性分為：限制、汽車、觀光、設施、道路、單車路徑、土地利用。在第一列則為功能圖像，包含錄音、照相、文字。第一層圖像在點選屬性分類後仍然表現，各個屬性分類下則有常用之相關屬性圖像選單，如圖 10(b-f)。由於 OSMTracker 之應用目的為製圖，各項圖資以軌跡為單位方式儲存管理。圖 10(a)之表單，僅在裝置可以收到 GNSS 訊號時方才可以使用。所以此程式之操作，以能接收到 GNSS 為條件。



圖 10 OSMtracker 表單

離線地圖微型程式

空間資料之蒐集時，地圖通常亦是個有用的參考。而作業時，不一定能有網路功能，故而離線版之地圖服務，甚有價值。依據本人使用經驗，列舉以下三個程式，作為介紹。

1. MAPS.ME (MapsWithMe GmbH)
2. Navigator (mapFactor: GPS Navigation)
3. Sygic (GPS Navigation & Maps Sygic)

這三個程式均有付費版，但是免費版均有結合 GPS 位置定位顯圖之基本功能。MAPS.Me (MapsWithMe, 2014)使用開放街圖(OSM)之圖資，具有全球涵蓋，而且隨同 OSM 之發展而更新。相對於 Navigator Free (mapFactor, 2014)，雖然均使用 OSM 圖

資·MAPS.ME 的展示內涵完整清晰·具有實務參考價值。但是 Navigator Free 具有「我的位置」功能·可以註記 POI(Point of Interest, 興趣點)·亦可輸出。Navigator Free 其他功能有查詢(Search)、導航(Navigate)、路徑信息、以及在工具(Tools)中之計算路徑、模擬路徑、等。Sygic GPS Navigation (Sygic, 2014)使用 TomTom 圖資(TUAW, 2013)·涵蓋相對較完整·圖資密度較沒有如 OSM 之顯著的地區差異性。交通大學工程二館案例如圖 11·在交通大學光復校區·由於土木工程系 OSM 製圖志工之努力·圖資相對豐富。可是 MAPS.ME 的圖資呈現·優於亦使用 OSM 的 Navigator Free。或許由於在學學生是 OSM 製圖志工中的重要參與者·不僅是交通大學如此·台灣大學校區亦然·目前就本人經驗所及·僅有採用 OSM 圖資之 MAPS.ME·具有交通大學與台灣大學校園內各棟屋舍名稱之圖資。

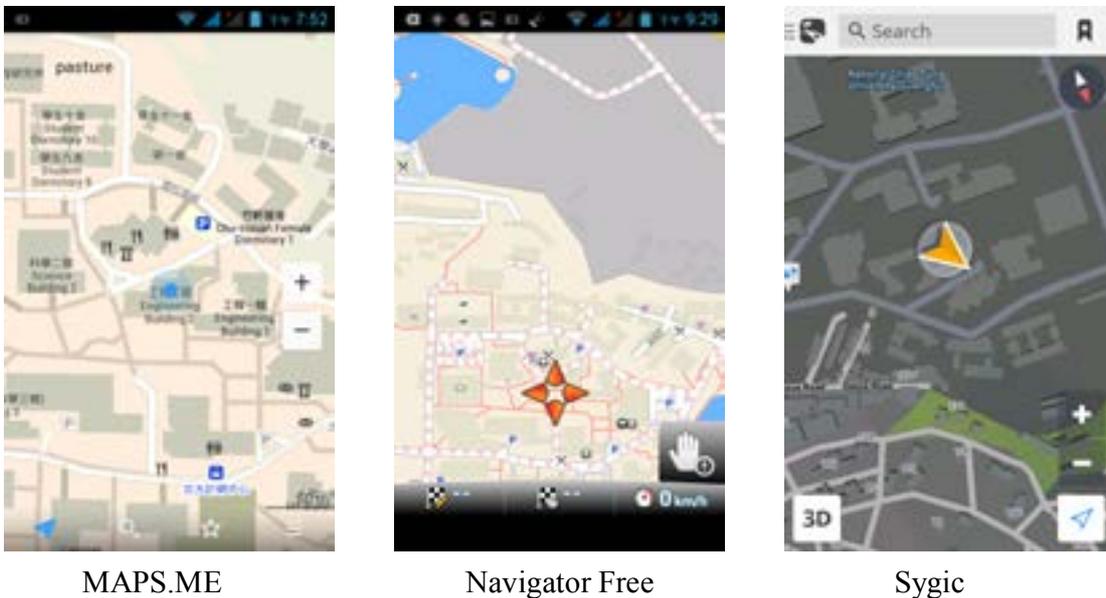


圖 11 離線版地圖服務交通大學工程二館例

離線版地圖服務程式·可以離線之原因在於圖資下載於行動裝置上·相對應的·裝置上須有足夠之記憶體。如 MAPS.Me 台灣區地圖儲存量為 22MB·路線檔案儲存量為 30MB。Navigator 台灣區地圖儲存量為 15MB·Sygic GPS Navigation 台灣區地圖儲存量為 165.8MB。

就個人經驗·使用 Navigator Free 時需特別注意的是·退出時需確實使用程式之「Exit」鍵·否則 Navigator Free 會在背景中執行·消耗大量電力。Sygic GPS Navigation 亦須使用「Exit」鍵·但是如未使用·無法退出·不至於成為背景執行的費電黑洞。可是任何軟體執行中·如果按主頁(Home)鍵·均有可能變成背景中執行·如同其他行動裝置程式使用時所需注意。

四、結語

行動裝置之使用日趨普及，其上所具有之多種感測器，配合定位功能，具有高度的空間資訊擷取價值。本文所介紹者，為以免費使用之軟體為限。因此，付費型程式未能在本文中有所描述。本文另一個限制是只考量行動裝置上本身所具有之感測器，而且使用之機具為相對基本的，感測器種類較少。一般較高階的機具通常有較多種類之感測器，而亦有為某特定目的開發之感測器，以藍芽或其他短程通訊方式連接行動裝置，藉由特定發展之微型程式，使用行動裝置為操作平台者，這些均豐富了行動裝置的使用，但是未涵括在本文內。

有關 GNSS 的發展，行動裝置中使用雙星晶片者已日增，Wikipedia (2015c)列舉 20 家多款通訊手機具有接收俄國 GLONASS 訊號功能的晶片，除可縮短定位所需時間，亦可提升定位精度。有關 AGPS 服務，博通 LTO 已擴增 GLONASS 之支援能力(Broadcom, 2011)。此外，Broadcom (2013)、Qualcomm (2013)亦均宣告提供支援大陸北斗(BeiDou)星系訊號之晶片。在目前，多星系 GNSS 晶片的使用，效益仍在定位，但有可能會因此而引生其他適地性服務(LBS, Location Based Services)。

行動裝置的定位功能，是適地性服務(Location Based Services)發展的必要條件。但是此一功能除提供商業性模式的應用外，亦提供非商業性服務的成長環境。自發性地理資訊(VGI, Volunteered Geographic Information)如開放街圖，以及其他公眾參與式的地理資訊蒐集或主題探討(PPGIS, Public Participated GIS)，目前均在進展與多樣化之過程中。行動裝置將成為，或許目前已是，一項重要的工具。受限於個人知識與經驗，所述絕非完整，但盼能作為初學者參考。

致謝

本文之編寫，乃肇因於課程教學需求。過程中承蒙交通大學土木工程學系張智安教授就開放街圖部分提出意見與指教，謹此深致謝意。交通大學碩士生溫瑞芳先生分享 Map.Me 經驗，本人受益良多，亦謹此致謝。台灣師範大學王聖鐸教授、台灣海洋大學林修國教授，就內涵提供重要意見，拓展本人知識層面，成功大學陳姿穎同學針對部分文字提供建議，亦謹此致謝。本課題尚屬發展中，作者本人所知有限，定有所疏漏，謹此就教。

參考文獻

1. Apps Apk, 2014. Android Sensor Box, <http://www.appsapk.com/android-sensor-box/>, last accessed on Nov. 30, 2014.
2. Broadcom, 2011. Broadcom Upgrades Its A-GPS Data Service and GPS LTO Product/Service with GLONASS Satellite Support, <http://zh-tw.broadcom.com/press/release.php?id=s548720>, last

- accessed on Jan. 9, 2015.
3. Broadcom, 2013. Broadcom Announces New GNSS Location Chip with Support for Chinese BeiDou Satellite System, <http://zh-tw.broadcom.com/press/release.php?id=s812465>, last accessed on Jan. 9, 2015.
 4. Chartcross, 2014. GPS Test, <https://www.facebook.com/GpsTest>, last accessed on Nov. 30, 2014.
 5. Ear to Ear Oak, 2014. GPX Logger, <http://eartoearoak.com/software/gpx-logger>, last accessed on Nov. 30, 2014.
 6. Fiv Asim, 2014. AndroSensor, <http://www.fivasim.com/androsensor.html>, last accessed on Nov. 30, 2014.
 7. Foster, Dan, undated. GPX: The GPS Exchange Format, <http://www.topografix.com/gpx.asp>, last accessed on Jan. 3, 2015.
 8. iTHome, 2014. 國內 iBeacon 室內定位應用：喝咖啡看免費電子書，
<http://www.ithome.com.tw/news/91395>, last accessed on Jan. 15, 2015.
 9. mapFactor, 2014. Navigator Free, <http://navigatorfree.mapfactor.com/en/>, last accessed on Nov. 30, 2014.
 10. MapsWithMe, 2014. MAPS.ME, <http://maps.me/en/home>, MapsWithMe GmbH, last accessed on Nov. 30, 2014.
 11. MobiWIA, 2014. GPS Status, <http://mobiwia.com/gpsstatus/userguide>, last accessed on Nov. 30, 2014.
 12. OSM, 2014. OSMtracker, [http://wiki.openstreetmap.org/wiki/OSMtracker_\(Android\)](http://wiki.openstreetmap.org/wiki/OSMtracker_(Android)), last accessed on Nov. 30, 2014.
 13. Qualcomm, 2013. Qualcomm Collaborates with Samsung to be First to Employ China's BeiDou Satellite Network to Enhance Location-Based Mobile Data and Services for Smartphones, <https://www.qualcomm.com/news/releases/2013/11/21/qualcomm-collaborates-samsung-be-first-employ-chinas-beidou-satellite>, last accessed on Jan 9, 2015.
 14. Sygic, 2014. Sygic GPS Navigation, <http://www.sygic.com/en/gps-navigation>, last accessed on Nov. 30, 2014.
 15. Sygic, 2014. Sygic GPS Navigation for Android User Guide, http://www.manula.com/media/53/2525_2529_2619_en_1400745783.pdf, last accessed on Nov. 30, 2014.
 16. TUAW, 2013. Review: Sygic North America GPS, <http://www.tuaw.com/2013/12/02/review-sygic-north-america-gps/>, last accessed on Nov. 30, 2014.
 17. Vallina-Rodriguez, Narseo, Jon Crowcroft, Alessandro Finamore, Yan Grunenberger, Konstantina Papagiannaki, 2013. When assistance becomes dependence: characterizing the costs and inefficiencies of A-GPS, ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications, 17(4):3-14. <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2557970>, last accessed on Dec. 22.

18. Wikipedia, 2014a. Mobile operating system, http://en.wikipedia.org/wiki/Mobile_operating_system, last accessed on Nov. 30, 2014.
19. Wikipedia, 2014b. iBeacon, <http://zh.wikipedia.org/wiki/iBeacon>, last accessed on Jan 13, 2015.
20. Wikipedia, 2014c. Assisted GPS, http://en.wikipedia.org/wiki/Assisted_GPS, last accessed on Dec. 22.
21. Wikipedia, 2014d. GPS Exchange Format, http://en.wikipedia.org/wiki/GPS_Exchange_Format, last accessed on Jan. 3, 2015.
22. Wikipedia, 2014e. Waypoint, <http://en.wikipedia.org/wiki/Waypoint>, last accessed on Jan. 3, 2015.
23. Wikipedia, 2015a. Mobile phone tracking, http://en.wikipedia.org/wiki/Mobile_phone_tracking, last accessed on Jan 14, 2015.
24. Wikipedia, 2015b. Wi-Fi positioning system, http://en.wikipedia.org/wiki/Wi-Fi_positioning_system, last accessed on Jan 13, 2015.
25. Wikipedia, 2015c. List of smartphones supporting GLONASS navigation, http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_smartphones_supporting_GLONASS_navigation, last accessed on Jan 9, 2015.