

---

---

## 資料便覽

### 在道路工程中使用全球衛星定位系統及三維激光掃描技術

#### 1. 引言

1.1 全球衛星定位系統(下稱"GPS")及三維激光掃描技術用於為道路工程進行幾何測量及模型的工具。這些技術能準確捕捉進行建造工程所在的位置及活動情況，從而方便對道路工程項目的監控，並提供GPS自動機器導向<sup>1</sup>。本資料便覽旨在向交通事務委員會的委員提供有關使用GPS及三維激光掃描技術的背景資料，包括美國威斯康辛州及蒙大拿州在為道路工程進行測量工作時採用該等技術的情況。

#### 2. 全球衛星定位系統

2.1 GPS是以太空為基地的衛星導航系統，由美國政府放置在軌道上的24顆衛星網絡組成。GPS原先的目的是作軍事用途，在該系統於1995年全面運作後，美國政府將其開放，讓民間使用。GPS可全天候提供在全球或地球附近的任何地方有關位置及時間的資料。目前，民用服務在全球範圍內持續向所有使用者免費提供，而軍用服務則只向美國及其盟友的武裝部隊和獲批准的美國政府機構提供。

---

<sup>1</sup> GPS自動機器導向是使用以GPS為基礎的系統，在工地及建造工程中引導建築設備。

---

## 全球衛星定位系統的結構

2.2 GPS衛星在一條非常精確的軌道環繞地球運行。GPS接收器利用這些資料計算用戶的確切位置，全球各地亦有多個監控站確保GPS衛星妥善運作。故此，GPS由3個主要部分組成，分別是太空部分、監控部分及用戶部分。太空及監控部分由美國空軍開發、維護及運作。

2.3 GPS的太空部分由衛星星座組成，向用戶傳送無線電信號。美國空軍負責管理該星座，以確保在95%的時間至少有24顆GPS衛星可供使用。GPS衛星在高度約為20 200公里的中層地球軌道運行。每顆衛星每日環繞地球兩周，並向地球傳送信號。

2.4 GPS的監控部分由地面設施的全球網絡組成，負責追蹤GPS衛星、監察其傳送情況、進行分析，以及向星座發出指令及數據。現時運作中的監控部分包括一個總監控站、一個後備總監控站、12條指令及監控天線，以及16個監察點。

2.5 用戶部分由GPS接收器組成，接收器接收來自GPS衛星的信號後進行解碼及處理工作，並使用傳送來的資料計算用戶的位置。用戶可以手提方式攜帶GPS接收器<sup>2</sup>，或將接收器安裝在飛機、船、坦克、潛艇、汽車及貨車上。一般而言，GPS接收器由一條調節至衛星傳送頻率的天線、接收處理器及極為穩定的時鐘(通常是晶體振盪器)組成。接收器亦可能包括向用戶提供位置及速度資訊的顯示器。接收器通常由其頻道的數目所界定，有關數目顯示其能同時監察的衛星的數目。有關的頻道數目原先限定在4或5條，此數目近年來不斷增加，以至接收器一般擁有超過12條頻道。

---

<sup>2</sup> 典型的手提接收器是一個有內置GPS接收器的手提電話。

---

---

## 全球衛星定位系統在道路工程中的應用

2.6 GPS已成為廣泛配置及有用的工具，可用於商業、科研、追蹤及監察等方面，對於道路工程的測量及製圖工作尤其有用。使用GPS可快速取得高度準確的測量及製圖結果，從而大幅減少在道路工程中使用其他傳統的測量及製圖技術時通常所需的設備及工時。現時一名測量員可在一天內完成以往整隊測量員需用數星期才完成的工作。由於GPS不會因天雨、風力或陽光不足而受影響，全球的專業測量師及製圖人員積極地採用該系統。

2.7 GPS亦提供有關自然及人造景物的準確的三維定位資料，可在地圖上展示。有關資料是作為地理信息系統的主要信息來源，該系統把在地理上具參考價值的資料集中、儲存、處理及展示。道路建造工程需要準確的位置資料，故此類工程尤其能受惠於GPS的定位功能在效率及生產力方面所帶來的好處。在測量及製圖時採用GPS技術的好處包括：

- (a) 可透過消除傳統測量方法的多個內在限制(例如在測距的測量點之間需有觀測線)，使生產力顯著提升；
- (b) 提供自然及人造景物的準確定位，可用來製作地圖及模型提供廣泛的服務，例如道路工程、救災及公眾安全；
- (c) 向決策者提供適時及甚具價值的資料，以便明智地運用資源；
- (d) 提供以厘米水平計算的高度精確的實時測量結果；及
- (e) 能使測量員在天氣情況欠佳或陽光不足時不間斷地工作。

### 3. 三維激光掃描技術

#### 三維激光掃描技術

3.1 三維激光掃描技術運用光偵測和定距產生準確的物體三維形狀。其原理與一般稱作"雷達"的無線電偵測和定距的原理相似，但前者利用光來測量幅度或距離。一台激光掃描器以特定頻率產生光源，利用一面鏡將激光水平及垂直地引導向物件。物件的表面繼而將激光反射。運用脈沖飛行時間原則<sup>3</sup>，可透過運行時間確定物件的距離，而其精確度在±4毫米內。一次掃描的結果會在空間中產生多個點(一般稱作"點雲")，再經處理及整合成準確的三維模型。

3.2 透過掃描記錄、數據過濾及模擬系統，在單一掃描時段進行的多次掃描可合併為一個三維模型。在建造三維模型時，於位置四周的數個掃描目標用作控制點，而非移動的建築儀器或材料邊緣則為參考點。所有掃描影像重疊的地方加以縫合或記錄，以建造單一、合乎比例的三維點雲模型，繼而可建造三維模型，供進一步操作及／或模擬。

3.3 一般而言，三維激光掃描的配對精確度受到以下因素的影響：

- (a) 在重疊區移動物件(例如人或設備)的存在；
- (b) 鄰近掃描點與點的間距不同；及
- (c) 由於進入周邊掃描位置有限制，故此需要從該位置的對面進行額外掃描。

---

<sup>3</sup> 根據脈沖飛行時間原則，透過測量發出激光的脈沖與反射脈沖之間的間距可計算出感應器與物件之間的距離。

---

---

### 三維激光掃描技術在道路工程中的應用

3.4 三維激光掃描技術提供收集高傳真度數據的創新方法，以便協助道路工程及建造的工程分析。這些高傳真度數據亦為其他土木工程科目(例如岩土及結構工程)提供極為重要的精準度，以便更為瞭解及控制包括道路工程在內的建造活動所導致的結構或地面變形。

3.5 三維激光掃描技術的發展已令其得到廣泛應用，尤其是在道路工程領域，例如監察山泥傾瀉及公路建造。這種技術亦令工程師可獲得三維的建造工地幾何資料，有助釐清經測定的地面變形情況與特定建造活動之間的相互關係。

## **4. 海外地方在道路工程中採用全球衛星定位系統及三維激光掃描技術方面的經驗**

### 美國威斯康辛州

4.1 威斯康辛州交通部早於上世紀90年代起便採用靜態GPS定位技術進行道路工程的項目監控工作。在上世紀90年代中期，威斯康辛州交通部更購置實時動態GPS及加強遠程視頻接收器<sup>4</sup>（下稱“Rover系統”）。相對於靜態GPS有所延遲及需要進行後期處理，該等技術提供實時資料，精確度可達厘米的水平。

---

<sup>4</sup> 加強遠程視頻接收器 (Remotely Operated Video Enhanced Receiver)系統讓地面部隊透過地面的手提電腦，透過接收飛機的感應器所接收的影像實時觀看在飛機上看到的東西。

4.2 隨着近年科技進步，威斯康辛州交通部自2007年起開始應用連續運行參考站技術支援實時動態GPS，進行更準確的土地測量工作。連續運行參考站技術使用實時動態定位技術，將所接收到的信號傳送到區域伺服器，由伺服器分析來自多個連續運行參考站的數據；接收來自Rover系統的額外信號；計算並修正每個Rover系統接收到的信號，並將Rover系統計算載波相差的距離所作修正送回有關的Rover系統。採用這項創新科技後便無需在當地設置基站，並有助只使用Rover系統進行的實時動態測量工作，大大減少在設備方面所需作出的投資，亦簡化現場的後勤要求。

4.3 採用連續運行參考站技術進行實時動態GPS測量工作對GPS機器導向<sup>5</sup>帶來重大的影響。承建商採用此技術後便無需運作基站，最終可減少道路工程所涉及的本地項目監控工作。

4.4 威斯康辛州部分承建商已開始使用GPS機器導向進行公路項目的平土工程。此方面的工作需要採用三維設計及模型，以進行GPS機器導向。在具體的運作環境下，機器內的電腦系統透過實時動態GPS方法運算，記錄機器在三維模型內的坐標，以將機器置於模型當地的坐標系統內，這樣便可知悉機器在設計圖面的位置。當機器在三維空間移動時，便可持續接收到平土工程需要進行多大程度的填挖。

---

<sup>5</sup> 一如第1.1段所述，GPS機器導向是使用以GPS為基礎的系統，在工地及建造工程中引導建築設備。

---

---

## 美國蒙大拿州

4.5 蒙大拿州交通部自2002年起一直使用GPS機器導向進行工程項目。承建商從書面圖則建造所需的三維模型，並負責GPS機器導向項目的品質監控，包括負責項目監控的配置、將GPS系統校準三維模型，以及GPS基站的間離。現場檢查是透過全站儀放射式測量進行，該電子測量儀器用以讀取斜坡距離，是獨立於GPS的技術。

4.6 GPS機器導向一直在長度達10英里的項目中使用。然而，該州西部多山，有衛星能見度低的問題，令承建商可能遇到多達20分鐘的停頓時間，在這樣的情況下，GPS機器導向通常輔以激光導向技術。

---

資料研究部  
2011年12月29日  
電話：3919 3632

---

資料便覽為立法會議員及其轄下委員會而編製，它們並非法律或其他專業意見，亦不應以該等資料便覽作為上述意見。資料便覽的版權由立法會行政管理委員會(下稱"行政管理委員會")所擁有。行政管理委員會准許任何人士複製資料便覽作非商業用途，惟有關複製必須準確及不會對立法會構成負面影響，並須註明出處為立法會秘書處資料研究部，而且須將一份複製文本送交立法會圖書館備存。

---

---

## 參考資料

1. Articlesbase. (2010) *GPS application in the mearing of bridge and road construction*. Available from: <http://www.articlesbase.com/gps-articles/gps-application-in-the-mearing-of-bridge-and-road-construction-2836873.html> [Accessed December 2011].
2. Construction and Materials Support Center (CMSC). (2007) *Implementation of GPS Controlled Highway Construction Equipment – Final Report*. Available from: <http://cmsc.engr.wisc.edu/Vonderohe2007Apr01.pdf> [Accessed December 2011].
3. Construction and Materials Support Center (CMSC). (2009a) *Current Reports: 3D Technologies: Status and Plans for Implementation 3D Technologies for Design and Construction in WisDOT – Final Report*. Available from: <https://mywebspace.wisc.edu/groups/CMSC/reports/WisDOT3DTechnologyImplementationReport.pdf> [Accessed December 2011].
4. Construction and Materials Support Center (CMSC). (2009b) *Current Reports: Implementation of GPS Controlled Highway Construction Equipment Phase III – Final Report*. Available from: <https://mywebspace.wisc.edu/groups/CMSC/reports/ImplmentationofAMG-PhaseIIIFinalReport.pdf> [Accessed December 2011].
5. Construction and Materials Support Center (CMSC). (2011) *Current Reports*. Available from: <http://cmsc.engr.wisc.edu/reports.html> [Accessed December 2011].
6. GPS.Gov. (2011) *System: GPS*. Available from: <http://www.gps.gov/> [Accessed December 2011].
7. Infomap. (2011) *GPS Machine Guidance*. Available from: <http://www.infomapsurveys.co.uk/gps/gps-machine-guidance.htm> [Accessed December 2011].
8. National Aeronautics and Space Administration (NASA). (undated) *GPS Overview*. Available from: <http://gpshome.ssc.nasa.gov/content.aspx?s=gps> [Accessed December 2011].



- 
9. National Ocean and Atmospheric Administration (NOAA). (2010a) *NOAA Ocean Service Education: Global Positioning*. Available from: [http://oceanservice.noaa.gov/education/tutorial\\_geodesy/](http://oceanservice.noaa.gov/education/tutorial_geodesy/) [Accessed December 2011].
  10. National Ocean and Atmospheric Administration (NOAA). (2010b) *NOAA Ocean Service Education: The Global Positioning System – Geodesy*. Available from: [http://oceanservice.noaa.gov/education/kits/geodesy/geo09\\_gps.html](http://oceanservice.noaa.gov/education/kits/geodesy/geo09_gps.html) [Accessed December 2011].
  11. National Ocean and Atmospheric Administration (NOAA). (2011) *GPS Orbits: Computing GPS Orbits*. Available from: <http://www.ngs.noaa.gov/orbits/> [Accessed December 2011].
  12. The Aerospace Corporation. (2007) *Figure: Elements of the Global Positioning System*. Available from: <http://www.aero.org/education/primers/gps/elements.html> [Accessed December 2011].
  13. The official web site of the U.S. Air Force. (2010) *Factsheets: Global Positioning System*. Available from: <http://www.af.mil/information/factsheets/factsheet.asp?id=119> [Accessed December 2011].
  14. Trimble. (undated) *GPS Tutorial: Putting GPS to work – Mapping*. Available from: <http://www.trimble.com/gps/gpswork-map.shtml> [Accessed December 2011].
  15. Wikipedia. (2011) *Global Positioning System*. Available from: [http://en.wikipedia.org/wiki/Global\\_Positioning\\_System](http://en.wikipedia.org/wiki/Global_Positioning_System) [Accessed December 2011].
  16. WorldCat Identities. (2007) *University of Wisconsin-Madison Construction and Materials Support Center: Overview*. Available from: [http://www.worldcat.org/identities/nc-university%20of%20wisconsin%20madison\\$construction%20and%20materials%20support%20center#linkoverview](http://www.worldcat.org/identities/nc-university%20of%20wisconsin%20madison$construction%20and%20materials%20support%20center#linkoverview) [Accessed December 2011].