國立臺灣師範大學
National Taiwan Normal University

臺灣省測量技師公會
105年度第一次測量科技研討會

邁向智慧城市的三維製圖展望

王聖鐸

國立臺灣師範大學地理學系

105.04.22

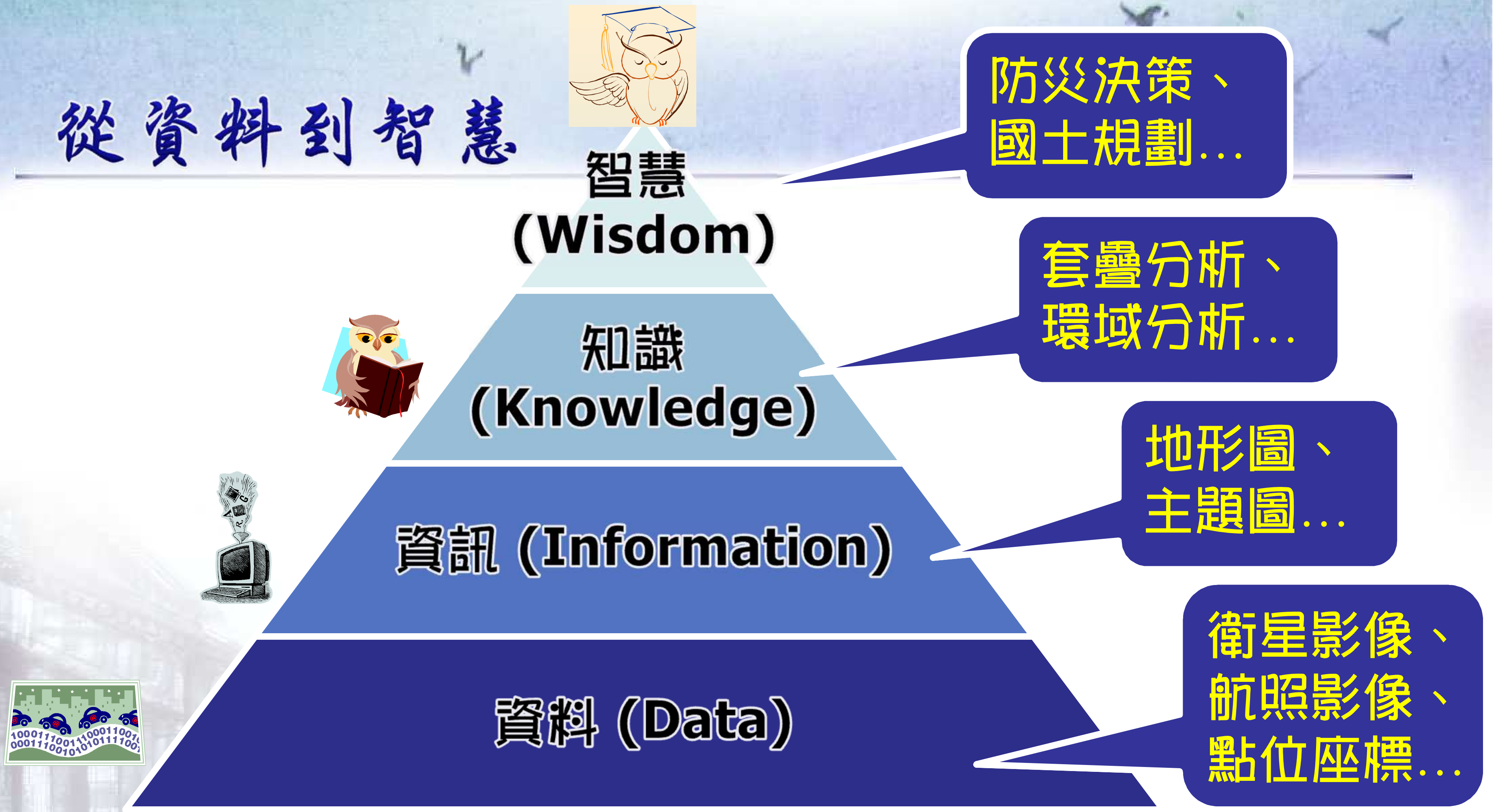
你一定知道智慧手機

但什麼是智慧城市？

智慧城市的定義

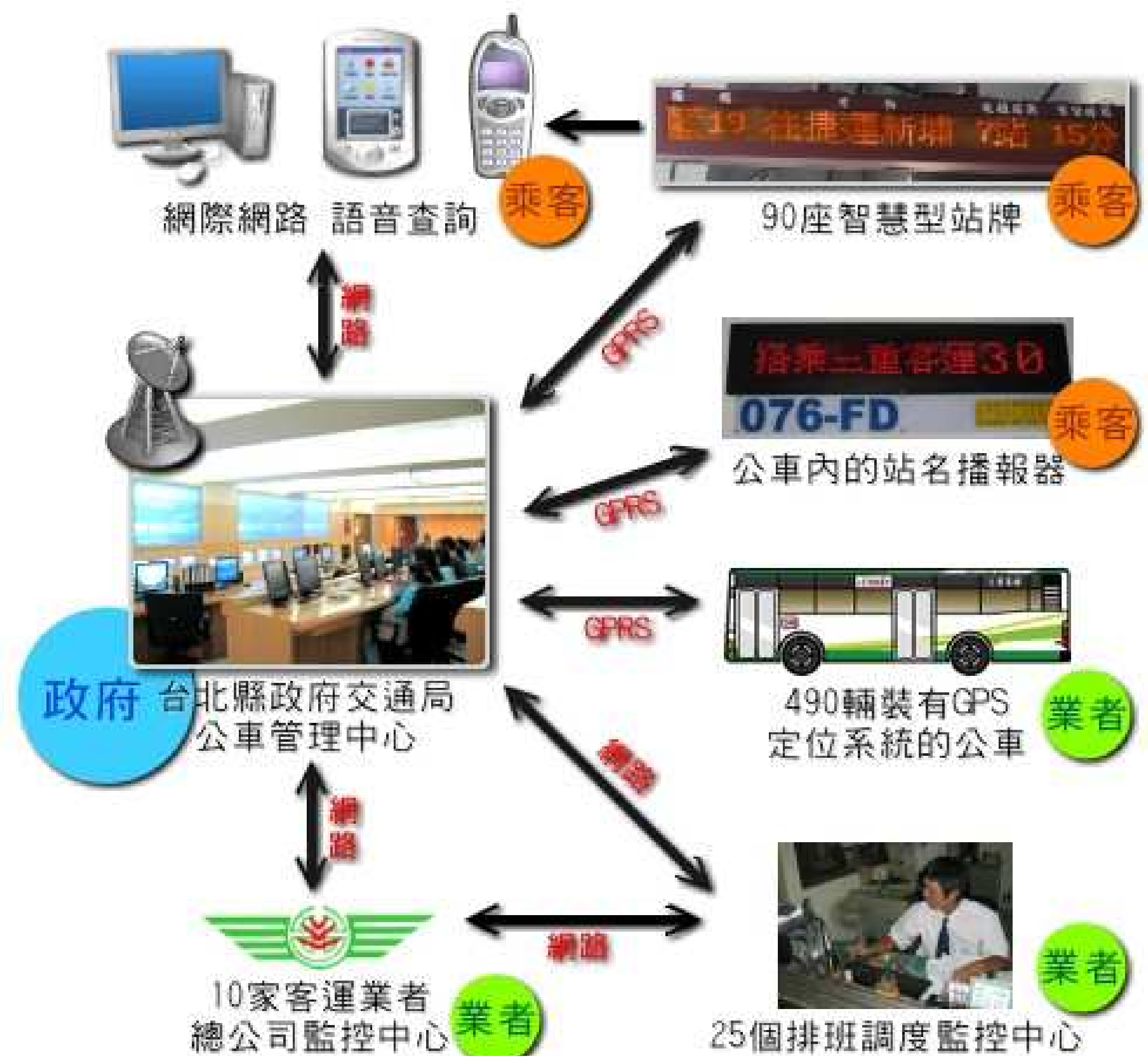
- Wikipedia
  - 智慧城市是把新一代資訊科技充分運用在城市的各行各業之中的基於知識社會下一代創新（創新2.0）的城市資訊化高階形態，實作資訊化、工業化與城鎮化深度融合，有助於緩解「大城市病」，提高城鎮化品質，實作精細化和動態管理。
- IDC
  - 一個城市要稱得上智慧城市，當地政府要有良好的覺察力，懂得使用前瞻新科技（例如雲端、巨量資料分析、行動裝置、社群媒體等），來增進市民生活品質、驅動商業投資，並帶動永續經濟發展。

從資料到智慧


智慧
(Wisdom)
防災決策、
國土規劃…
知識
(Knowledge)
套疊分析、
環域分析…
資訊 (Information)
地形圖、
主題圖…
資料 (Data)
衛星影像、
航照影像、
點位座標…
1000111001110001100110
0001110010101011100

- 資訊(Information) v.s. 資料(Data)
  - 資訊是有價值的溝通
  - 資料是能被溝通的任何東西
  - Richard Saul Wurman：「每個人心中對於資訊的定義各有一把尺，對某個人有意義的資訊，對另一個人而言可能是沒有意義的資料」

以智慧公車站牌為例


網際網路
語音查詢
乘客
往捷運新埔
15分
90座智慧型站牌
乘客
網路
GPRS
076-FD
乘客
公車內的站名播報器
GPRS
GPRS
政府
台北縣政府交通局
公車管理中心
490輛裝有GPS
定位系統的公車
業者
網路
網路
網路
10家客運業者
總公司監控中心
業者
25個排班調度監控中心
業者

到站提醒、下車提醒、車資扣款、行程規劃…

預估到站時間

每一部公車位置、公車移動方向、公車移動速度、公車路線…

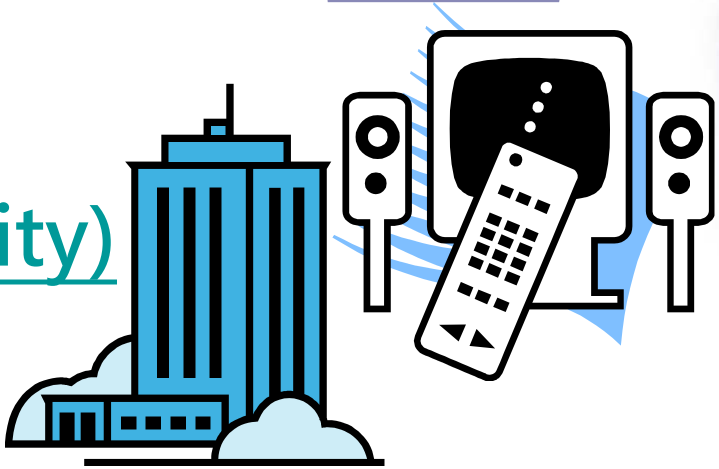
公車編號、公車坐標、時間…

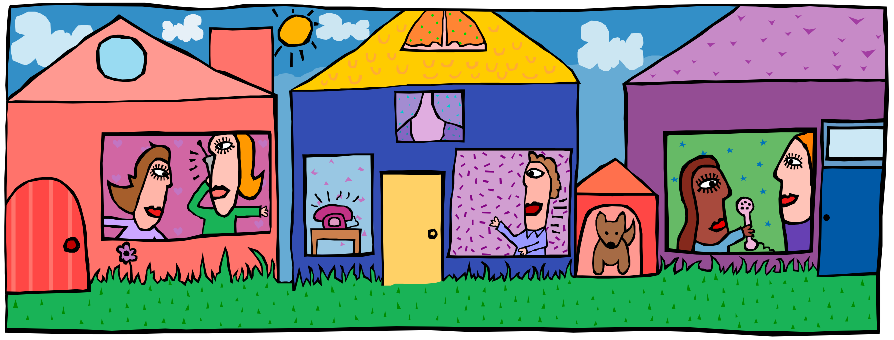
圖片來源：三重客運-公車遇上科技：
http://library.taiwanschoolnet.org/cyberfair2006/ia9999/i.htm

iversity

從尺度來看

- 智慧家電(Intelligent Appliance)
- 智慧家庭(Smart Home)
- 智慧大樓(Smart Building)
- 智慧社區(Smart Community)
- 智慧城市(Smart City)
- 智慧地球(Smart Planet)





智慧城市的發展歷程

Electronic City

- 線上開放資料
- 倡導低碳節能
- e化基礎設施與佈建

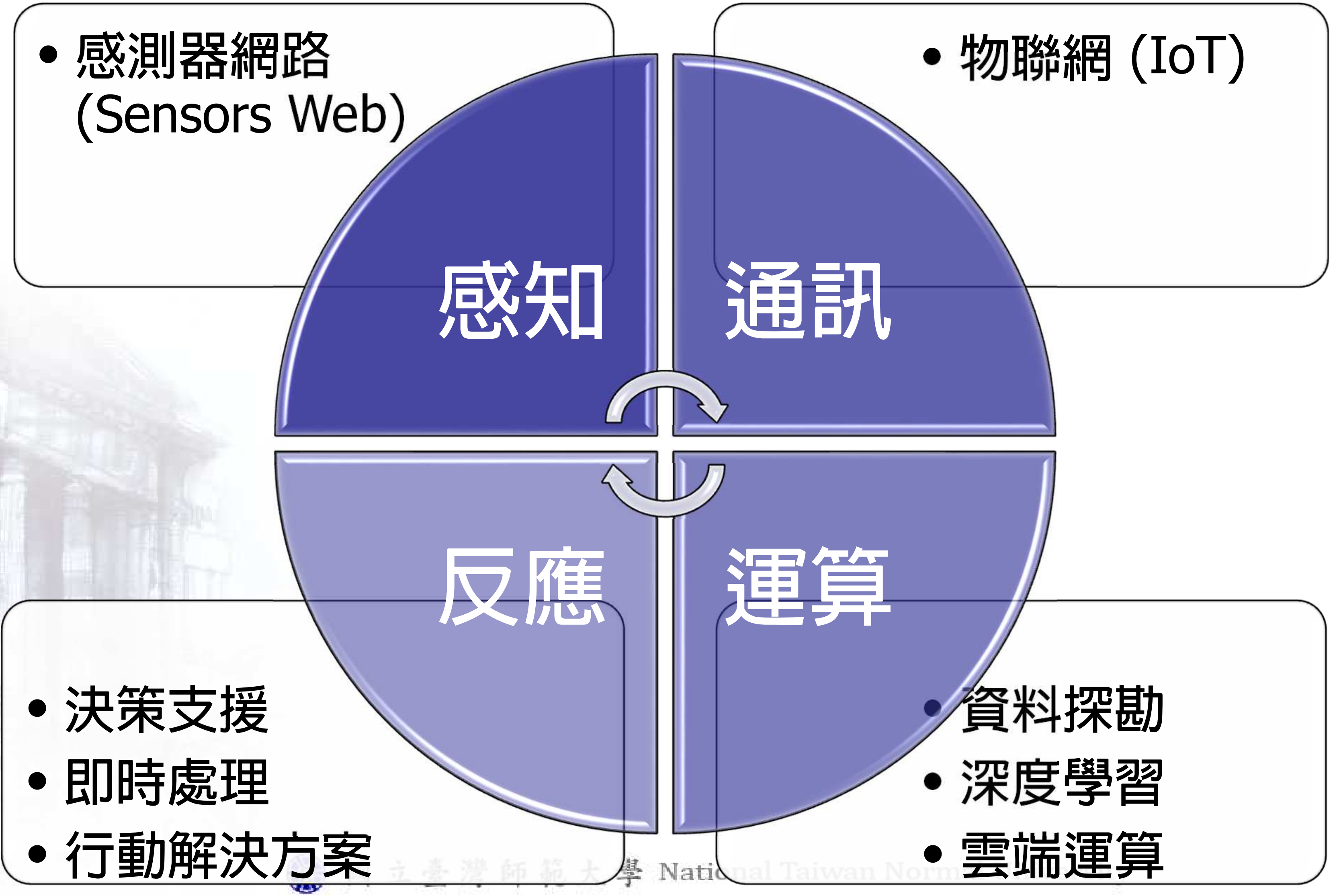
Ubiquitous City

- 分享有價值的資訊
- 無所不在的智慧網
- 豐富的e化服務平台

Smart City

- 為民衆量身打造客製化資訊
- 智慧環境的創新設計與應用

智慧城市的四個要件



- 感測器網路 (Sensors Web)

- 物聯網 (IoT)

- 資料探勘
- 深度學習
- 雲端運算

- 決策支援
- 即時處理
- 行動解決方案

IBM Smart Planet

- 智慧的地球 - 科技警政進行式
  http://youtu.be/uaE3MHszMK4
- 智慧的地球 - 我們所食用的番茄
  http://youtu.be/ERBydSfRovY
- 智慧的地球 – 歐洲烘焙坊發現天氣的秘密
  http://youtu.be/-9IeZ_pnuxc
- 智慧城市 - 巴西里約熱內盧(**Rio**)
  http://youtu.be/kPGPYnMiUkU
- 智慧城市發展的核心價值
  http://youtu.be/cvKEeFrFCzs

影片下載自 IBM Taiwan：http://www.youtube.com/user/IBMTaiwan

NEC Smart City Solutions

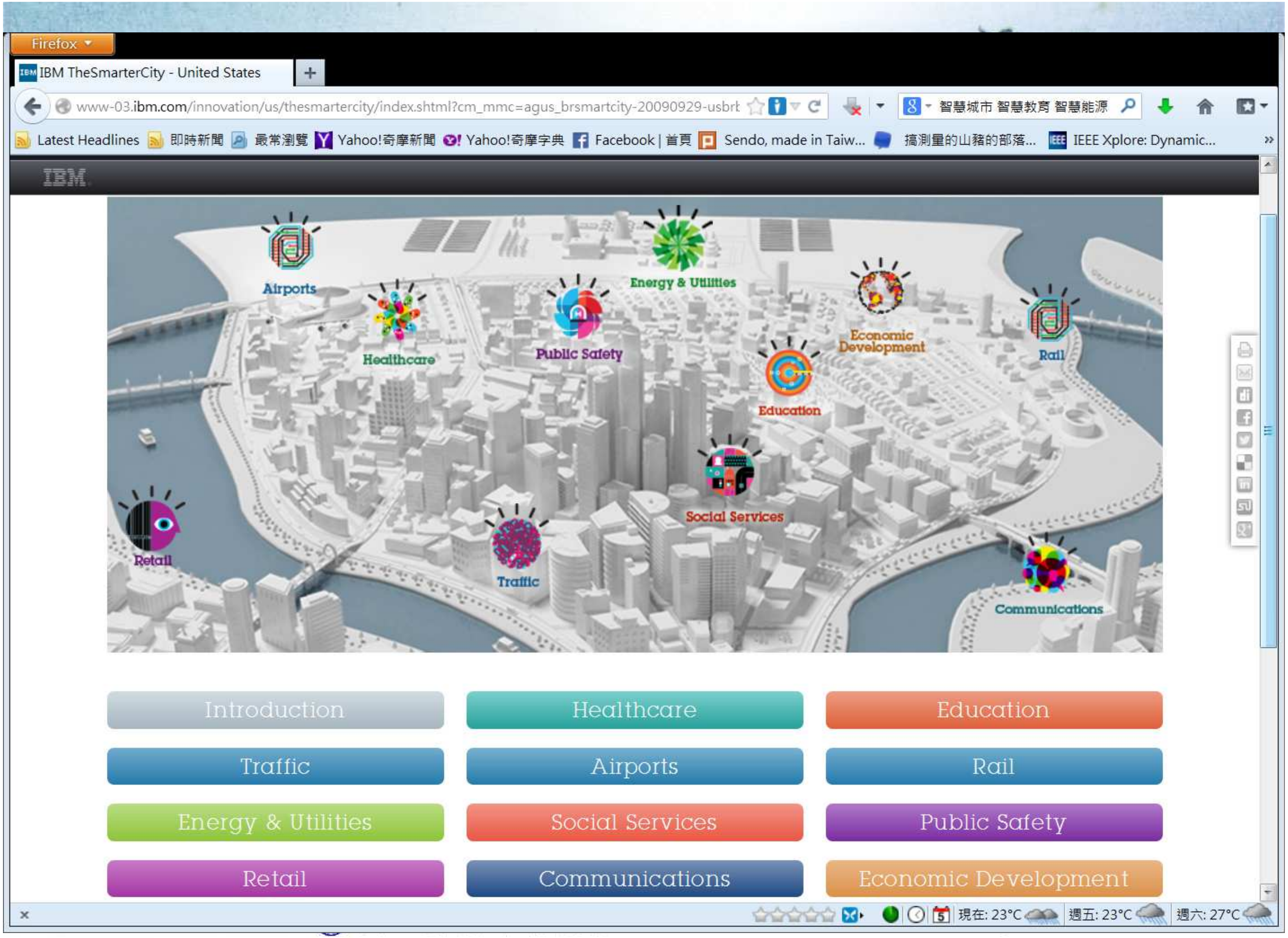
- 城市營運中心
  - http://youtu.be/RIRgv-tW0V0
- 機場
  - http://youtu.be/GduVF5O8Vz4
- 智慧教室
  - http://youtu.be/Q1QE7V_6Ot4
- RFID 冷凍鏈管理
  - http://youtu.be/IQ3ZssbSgUc
- EV車載通訊
  - http://youtu.be/fXeuHioQmIQ
- 智慧家居
  - http://youtu.be/m6zq75ahrmg
- 智慧建築
  - http://youtu.be/l-RysH43CzI
- 老人安養照護
  - http://youtu.be/xGxmvonXLGc
- 健康管理
  - http://youtu.be/6VeFV9LXbQQ
- 超高影像解析
  - http://youtu.be/6ar-ZsXZozM
- 臉部辨識
  - http://youtu.be/99koUMMG19U

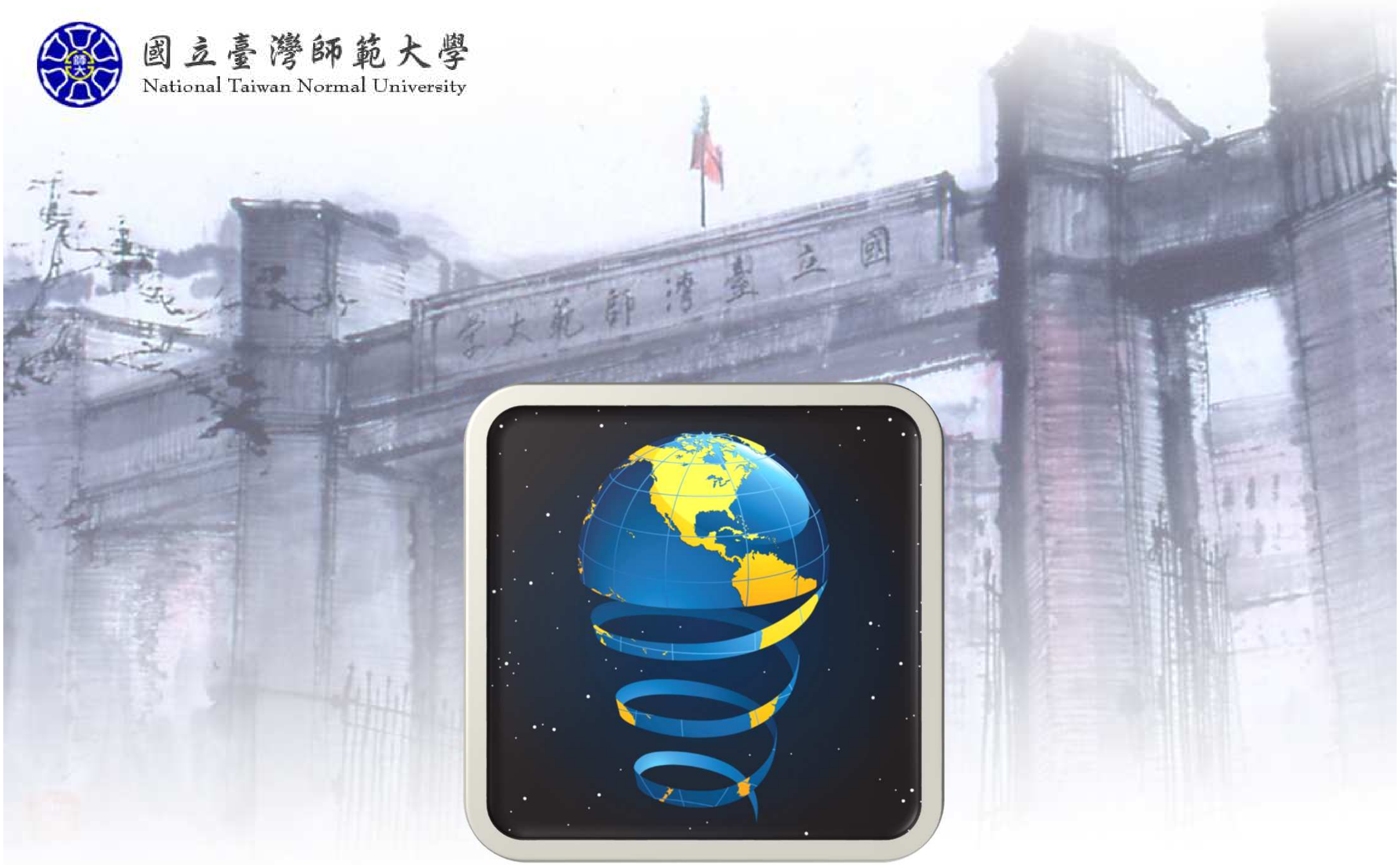
影片下載自：http://www.youtube.com/user/NECTaiwan/videos \

TOSHIBA Smart Ninja

- Creating a new lifestyle “Smart Home”
  http://youtu.be/6QbGfGW1-GQ
- Toshiba Smart Ninja Episode I
  http://youtu.be/uaE3MHszMK4
- Toshiba Smart Ninja Episode II – Smart Transportation System
  http://youtu.be/ERBydSfRovY
- Toshiba Smart Ninja Episode III - Improving Power Utilization and Management
  http://youtu.be/-9IeZ_pnuxc

影片下載自 Toshiba：http://www.youtube.com/user/TOSHIBA


Firefox
IBM TheSmarterCity - United States
www-03.ibm.com/innovation/us/thesmartercity/index.shtml?cm_mmc=agus_brsmartcity-20090929-usbrt
智慧城市 智慧教育 智慧能源
Latest Headlines
即時新聞
最常瀏覽
Yahoo!奇摩新聞
Yahoo!奇摩字典
Facebook | 首頁
Sendo, made in Taiw...
搞測量的山豬的部落...
IEEE Xplore: Dynamic...
IBM
Airports
Energy & Utilities
Healthcare
Public Safety
Economic Development
Rail
Education
Social Services
Retail
Traffic
Communications
Introduction
Healthcare
Education
Traffic
Airports
Rail
Energy & Utilities
Social Services
Public Safety
Retail
Communications
Economic Development
現在: 23°C
週五: 23°C
週六: 27°C

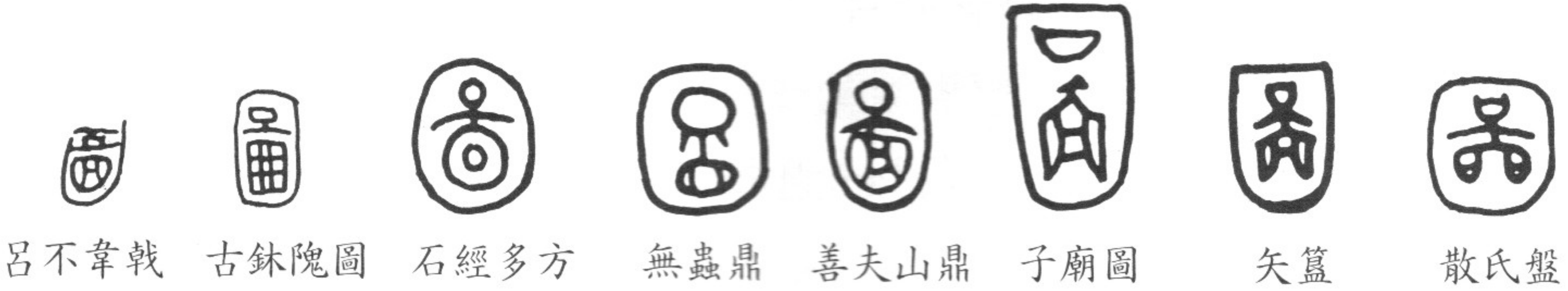


地圖：描述我們所生活的空間

圖 → 測量的成果

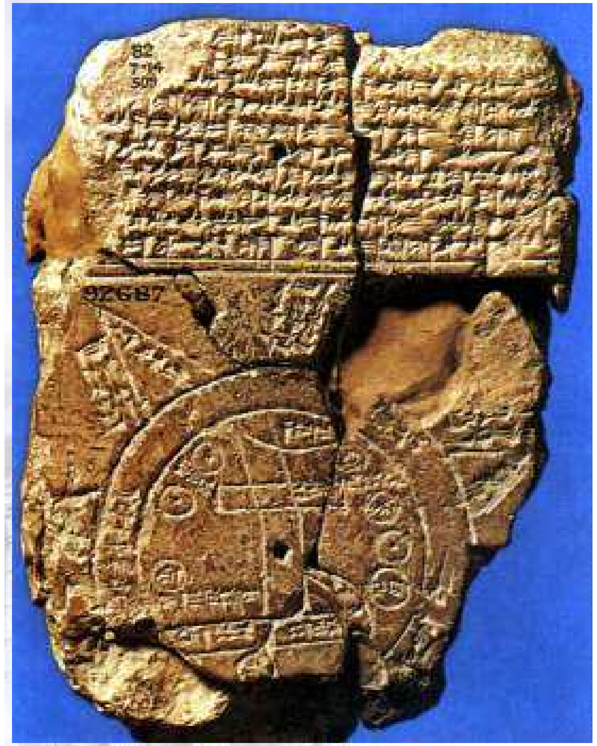
有圖有**真相**

- 古代的圖字有個共同的特徵：
  - 外圍的大方格代表地理範圍、圖廓
  - 圖廓內就是地理資料
  - 地理資料包含：行動中的人形、土地的型態
  - 故圖字義為：有人在土地上進行測量活動，並確定區域範圍，而繪畫下來的文化產品

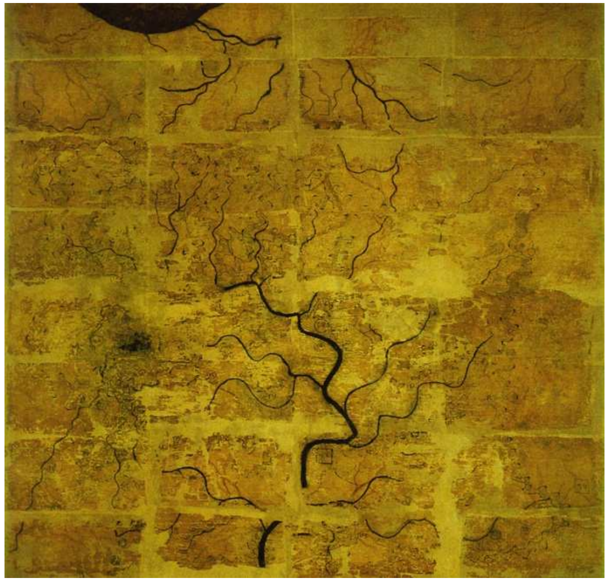

呂不韋戟
古鉢隗圖
石經多方
無蟲鼎
善夫山鼎
子廟圖
矢簋
散氏盤

～ 潘桂成，地圖學原理

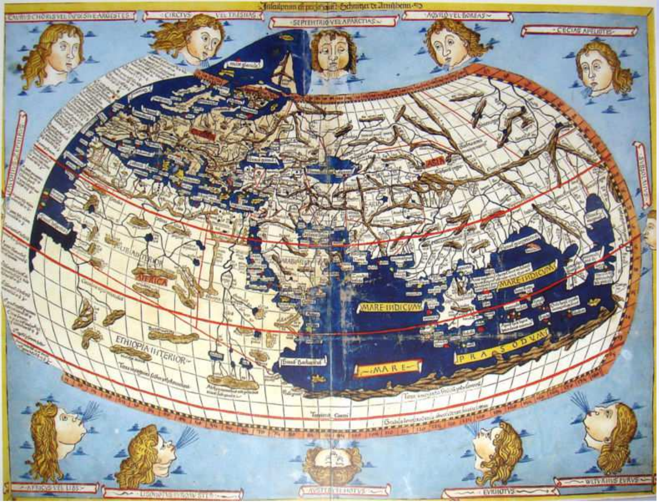
二維地圖



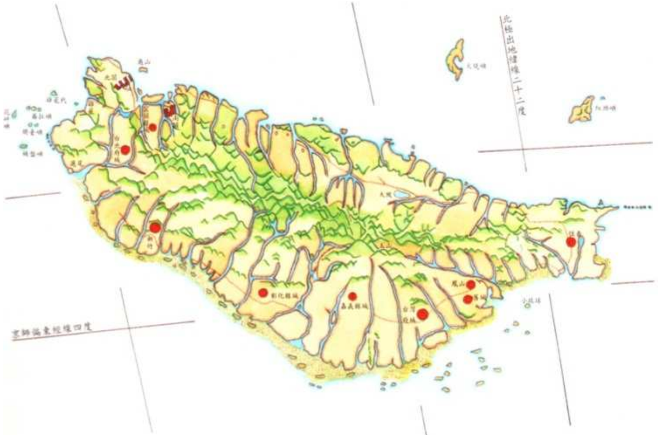
西元前7世紀
巴比倫泥板地圖



西元前167年
馬王堆漢墓地圖

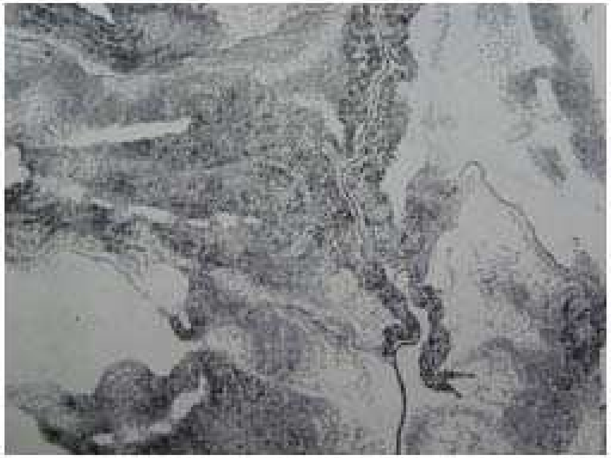


西元2世紀(16世紀重繪)
托勒密的世界地圖

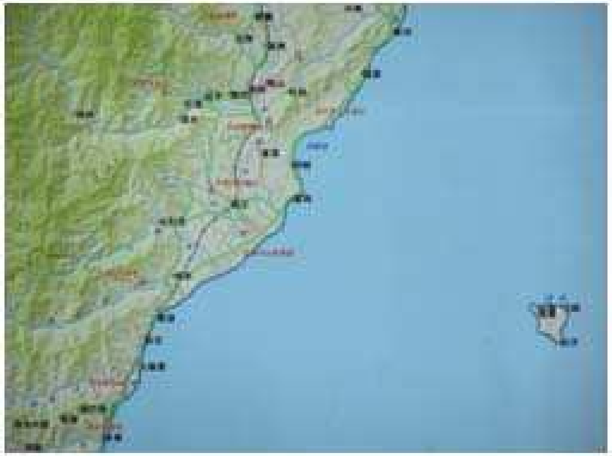


光緒6年(1880)
全台前後山小總圖

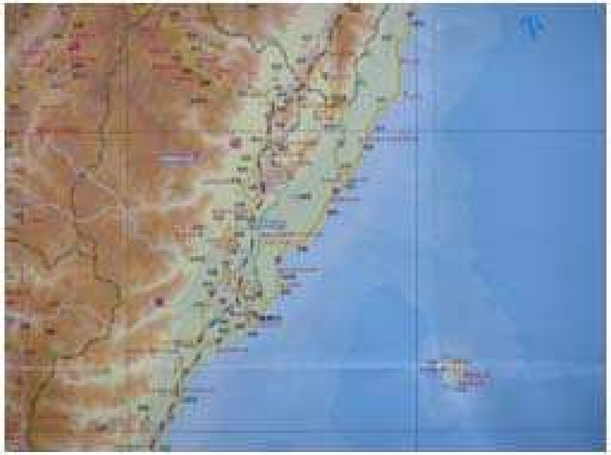
在二維地圖上表現地貌



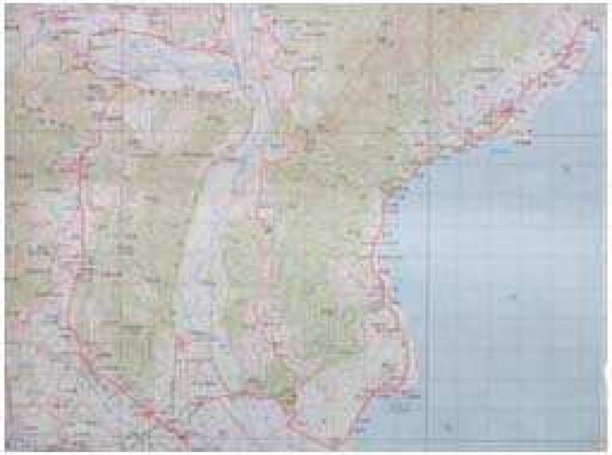
地貌表現方式-暈滃



地貌表現方式-暈渲



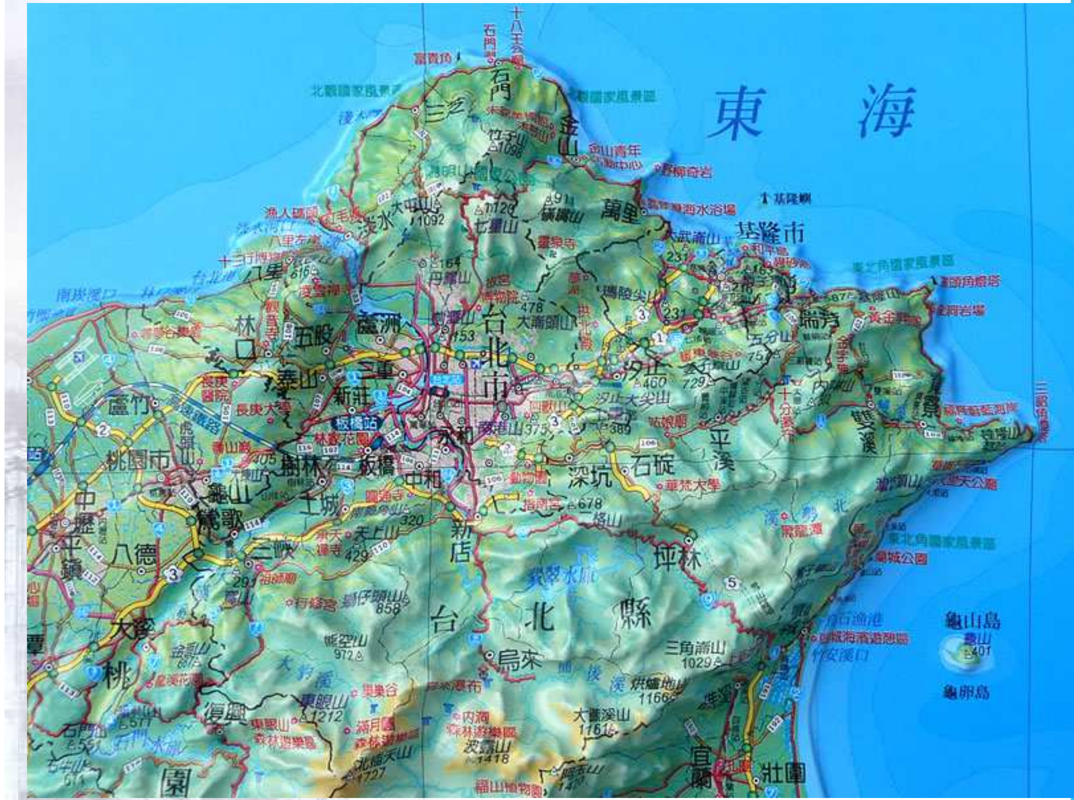
地貌表現方式-分層設色

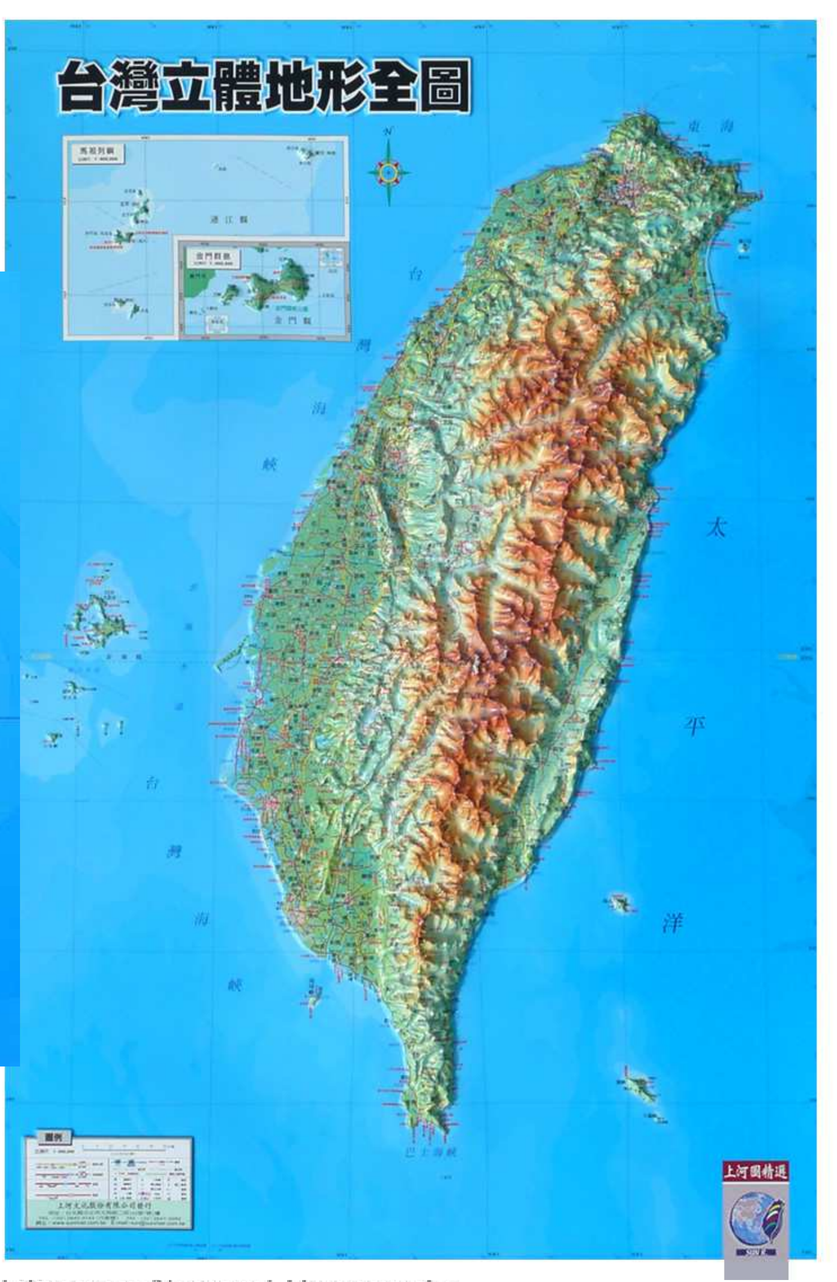


地貌表現方式-等高線

～內政部國土測繪中心，http://www.nlsc.gov.tw/

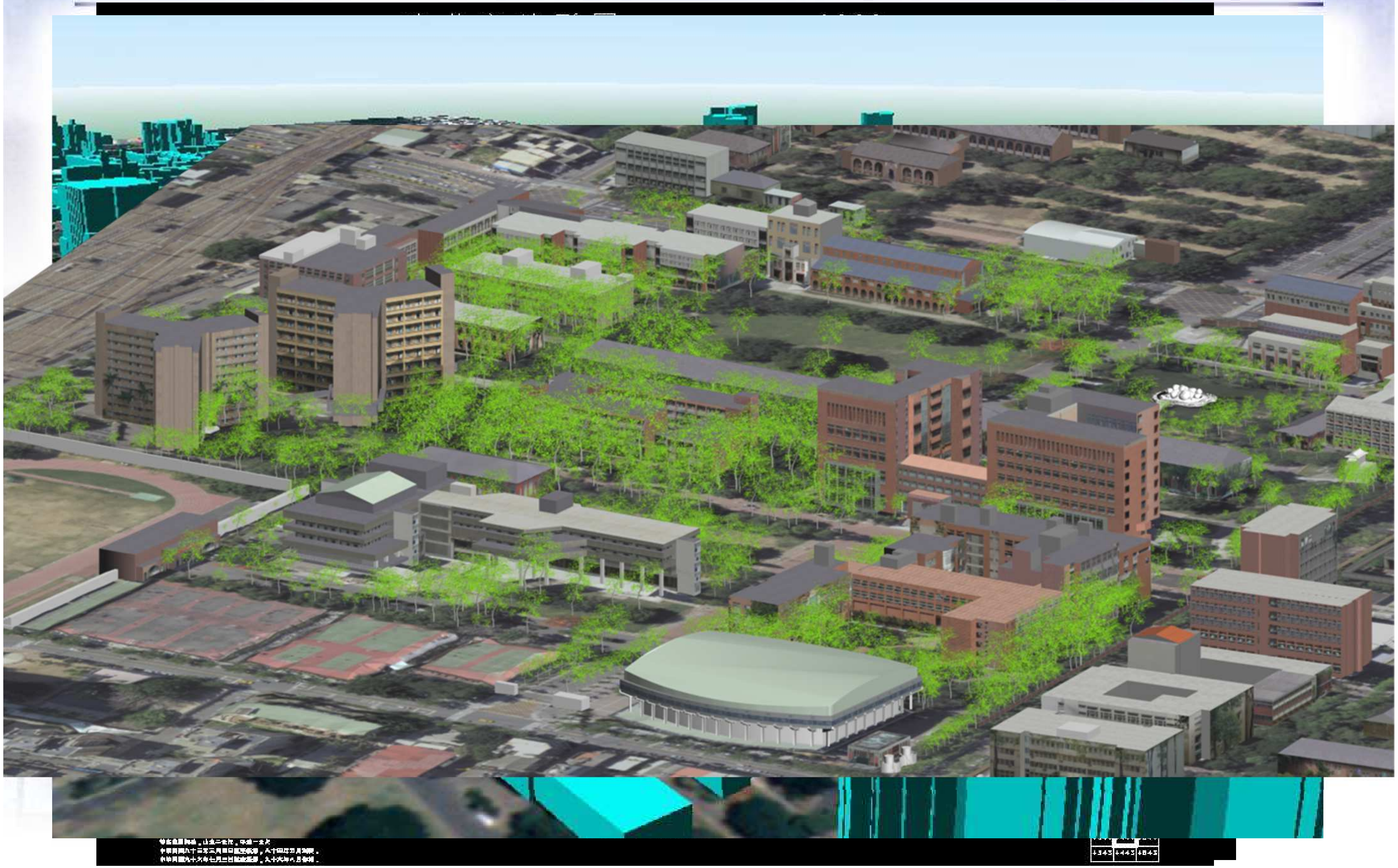
立體地圖


東海
基隆市
台北市
台北縣
石門
三芝
金山
萬里
淡水
八里
五股
林口
蘆洲
三重
新莊
板橋
土城
樹林
中和
永和
新店
深坑
石碇
汐止
平溪
瑞芳
雙溪
坪林
烏來
三峽
鶯歌
大溪
桃園市
中壢
八德
復興
宜蘭
壯圍
頭城
龜山島
龜卵島

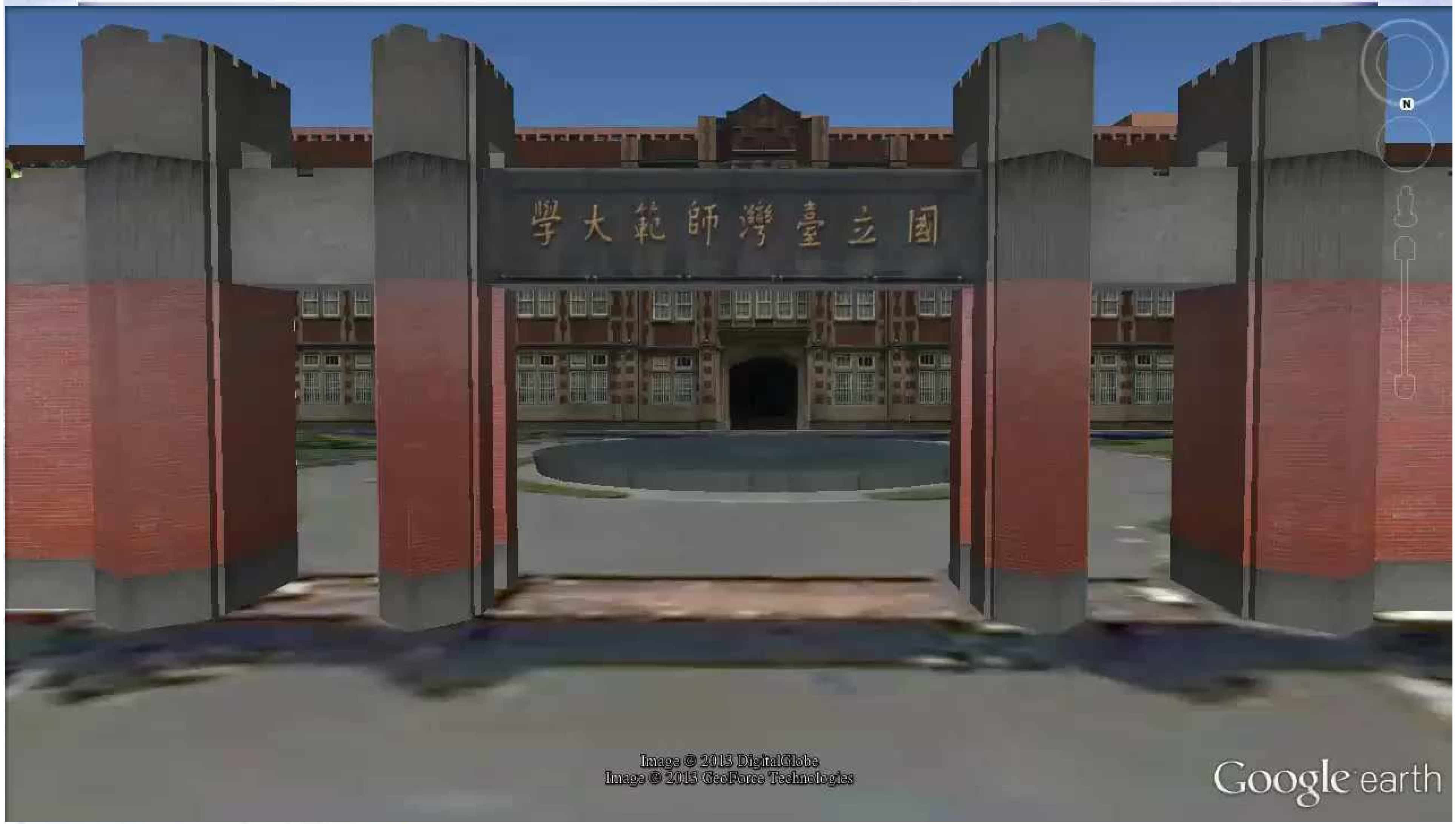

台灣立體地形全圖
馬祖列島
金門群島
東海
台灣海峽
太平洋
巴士海峽
上河圖精選

～上河文化，臺灣立體地形全圖

從"二維數值地圖"到"三維數碼模型"



臺師大3D校園建模成果


國立臺灣師範大學
Image © 2013 DigitalGlobe
Image © 2013 GeoForce Technologies
Google earth
N

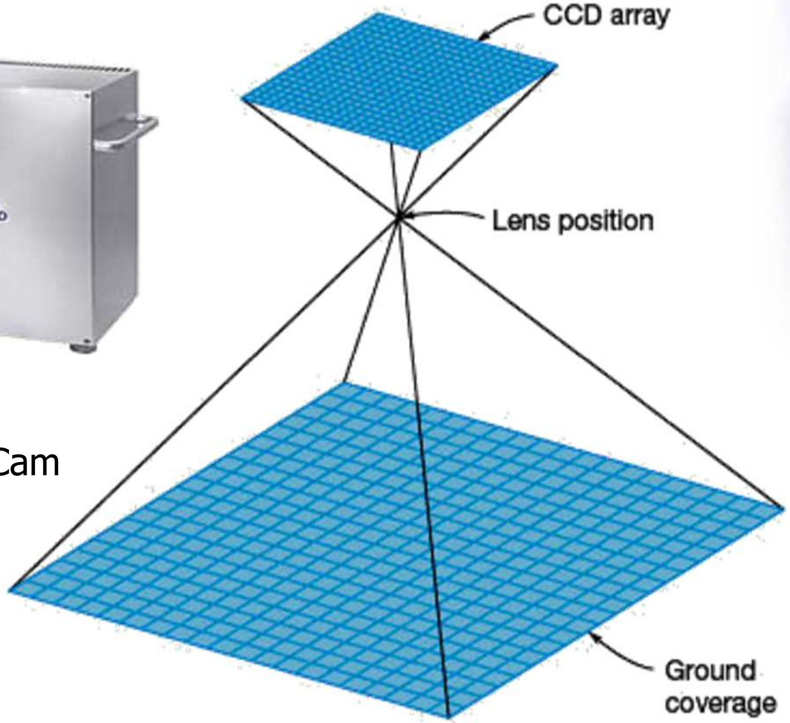
快速獲取三維空間資訊

數位航空攝影相機

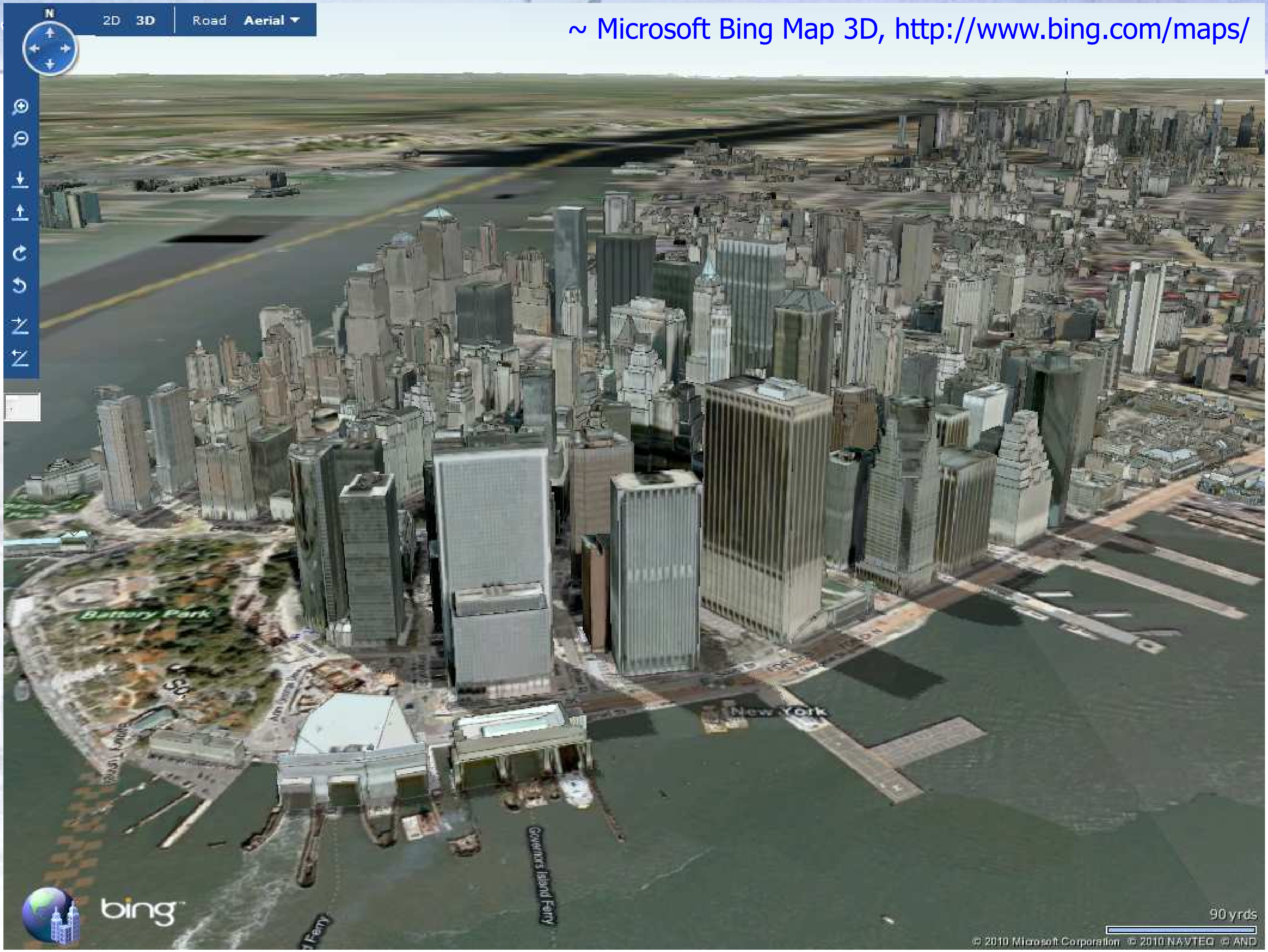
Leica ADS

Z/I DMC

Vexel UltraCam


CCD array
Lens position
Ground coverage

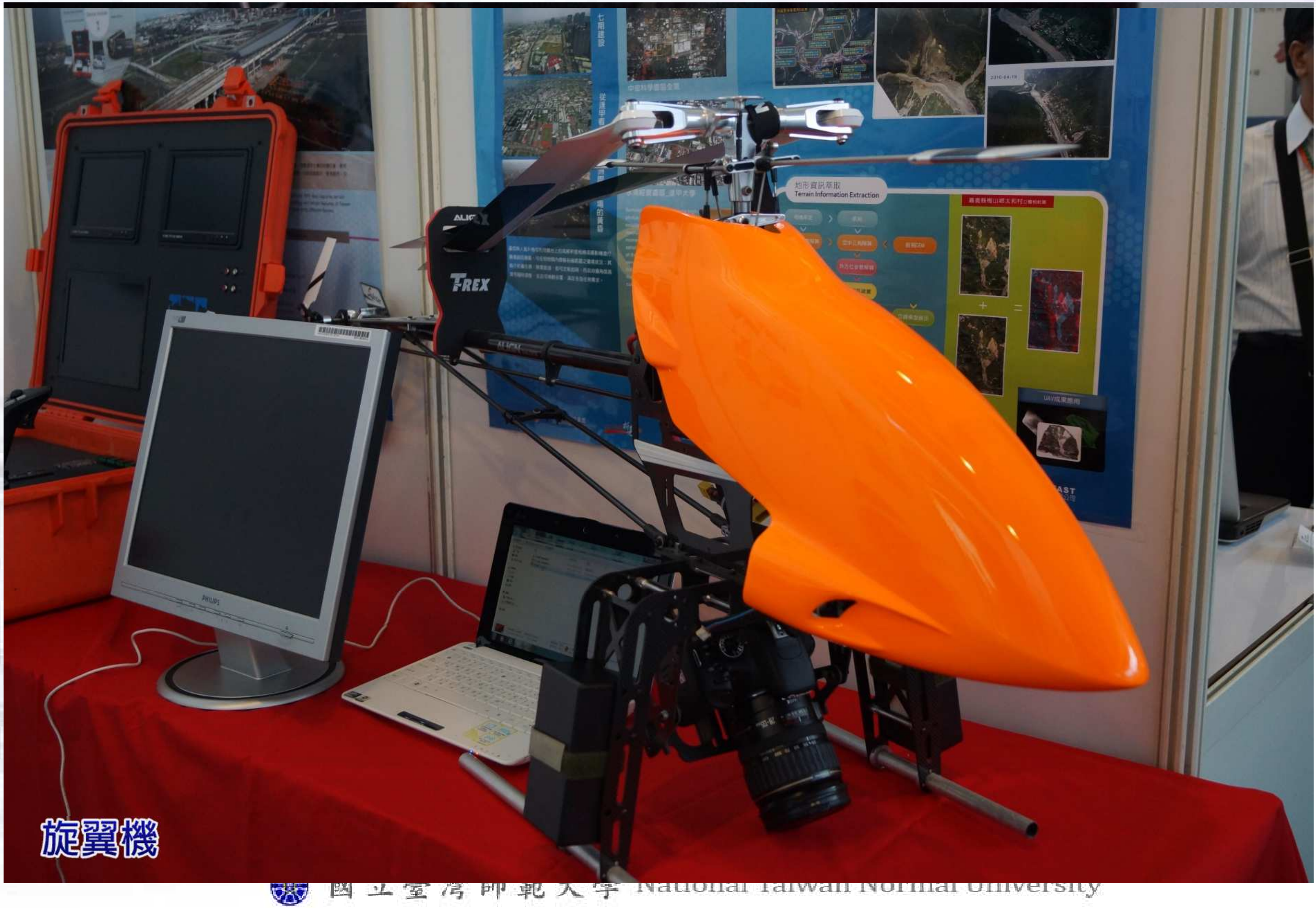
- 免沖洗、免掃描
- 取像間隔縮短
- 相片重疊度增加
- 輻射解析度(波段數)提高
- GPS + INS = 直接地理定向定位(Direct Georeferencing)



~ Microsoft Bing Map 3D, http://www.bing.com/maps/

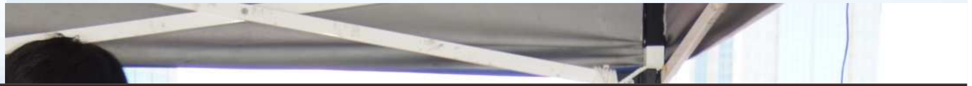
N
2D
3D
Road
Aerial
Battery Park
New York
Governors Island Ferry
bing
90 yrds
© 2010 Microsoft Corporation © 2010 NAVTEQ © AND

無人飛行載具(Unmanned Aerial System, UAS)

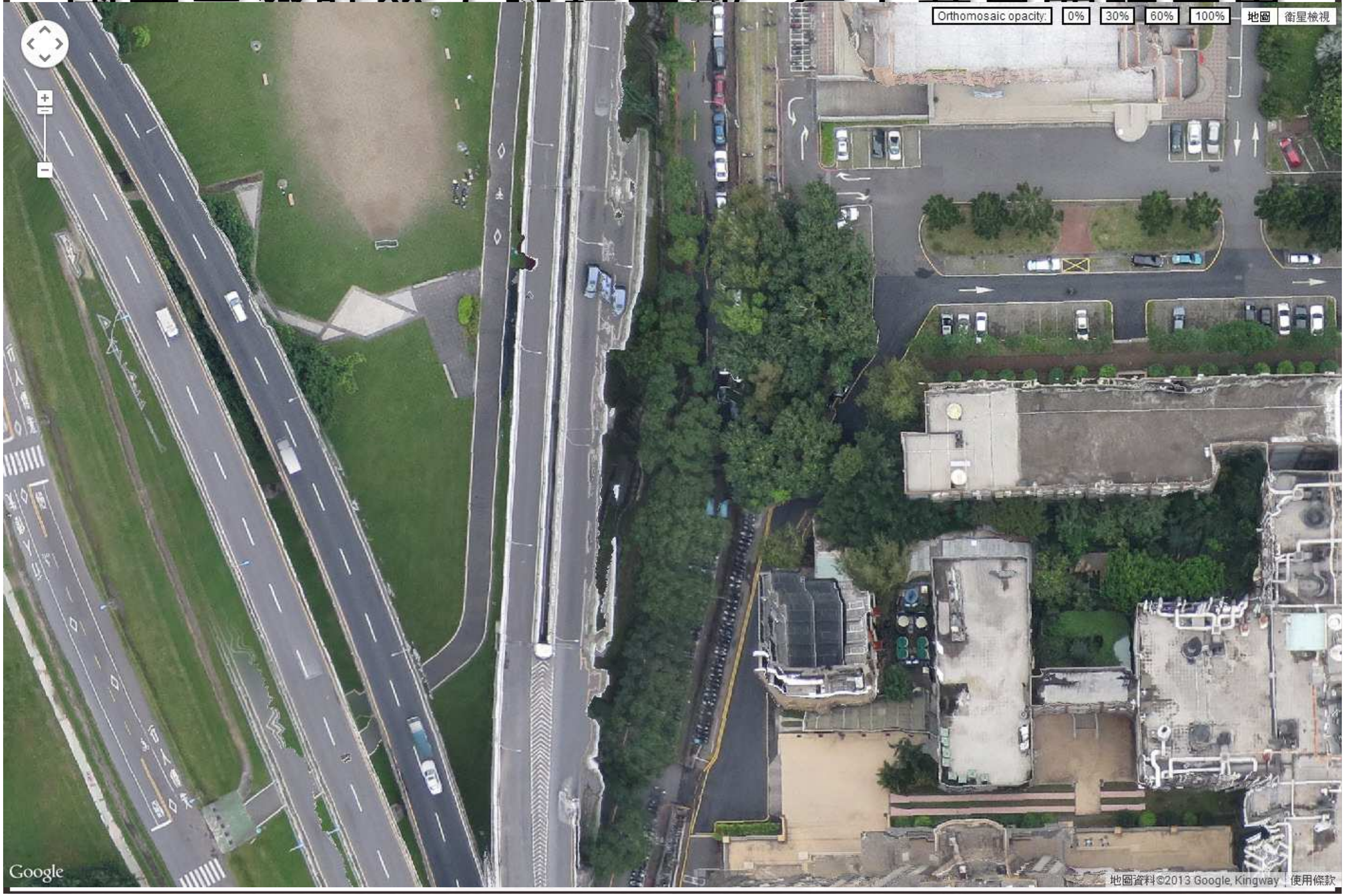


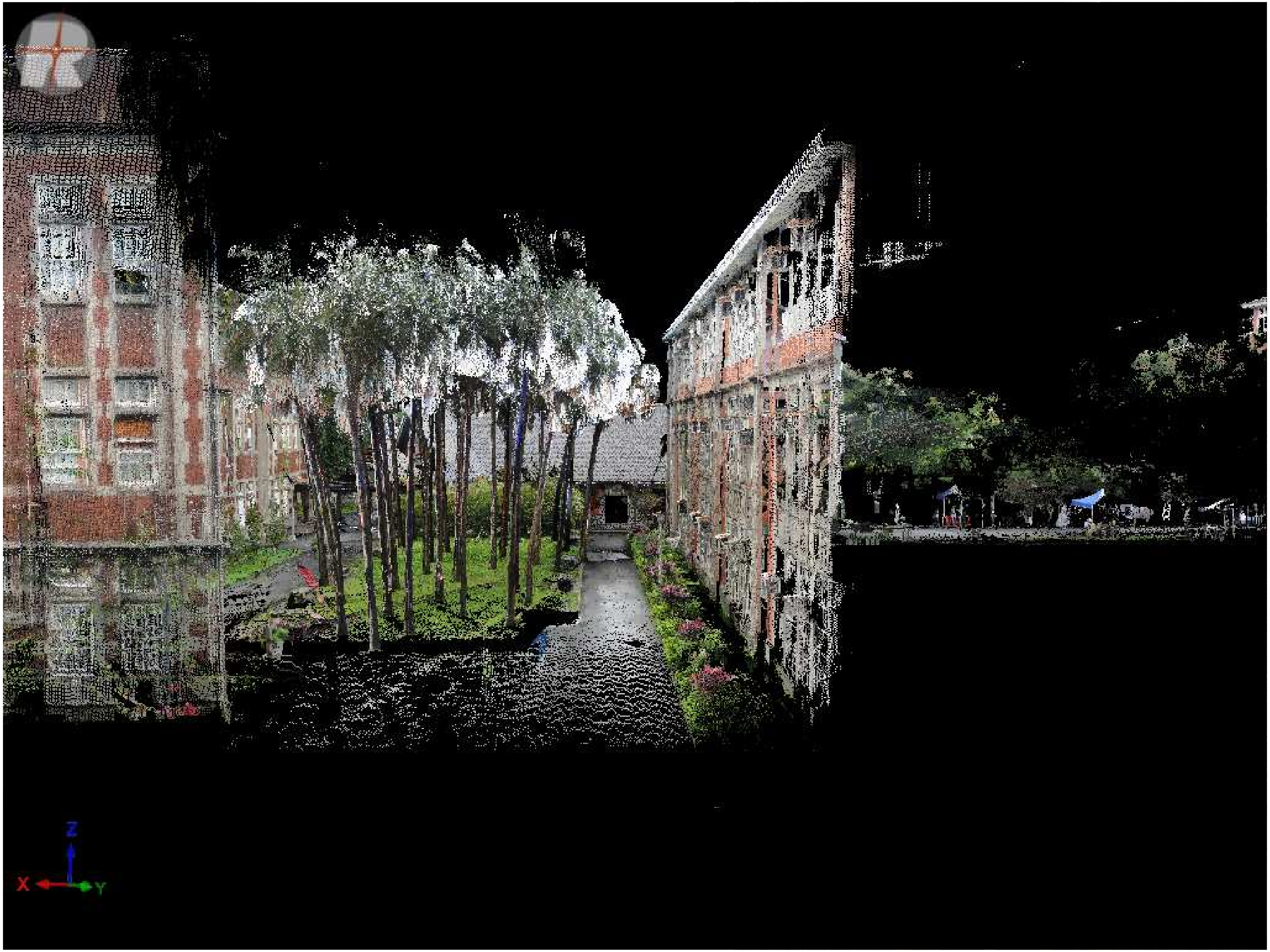
旋翼機

高師大校園空拍



國立臺灣師範大學校本部 無人載具空拍成果


Orthomosaic opacity:
0%
30%
60%
100%
地圖
衛星檢視
Google
地圖資料©2013 Google, Kingway
使用條款



Z
X
Y

SAAB Rapid 3D Mapping [2012]

SAAB
TECHNOLOGIES
SAAB

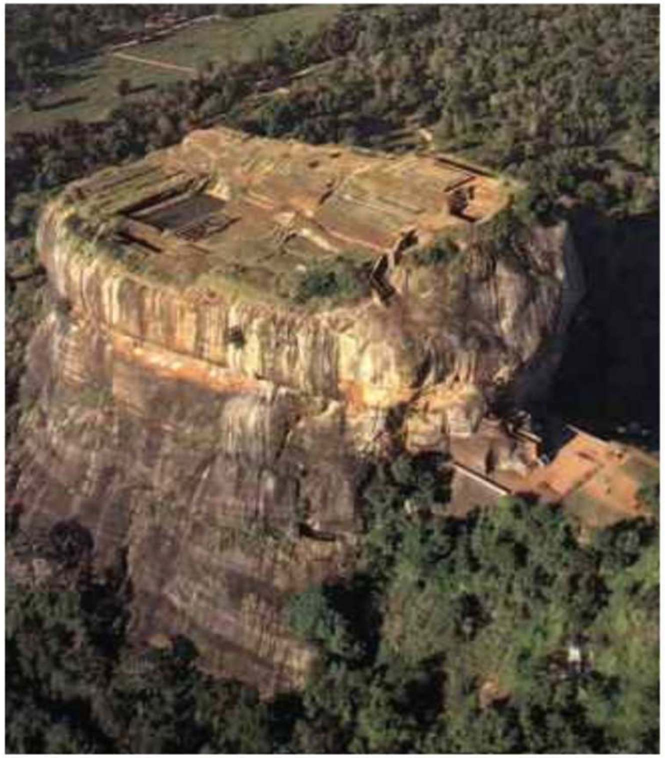
[SAAB AB, 2012.01.30]: https://youtu.be/3apAXzf3JTg

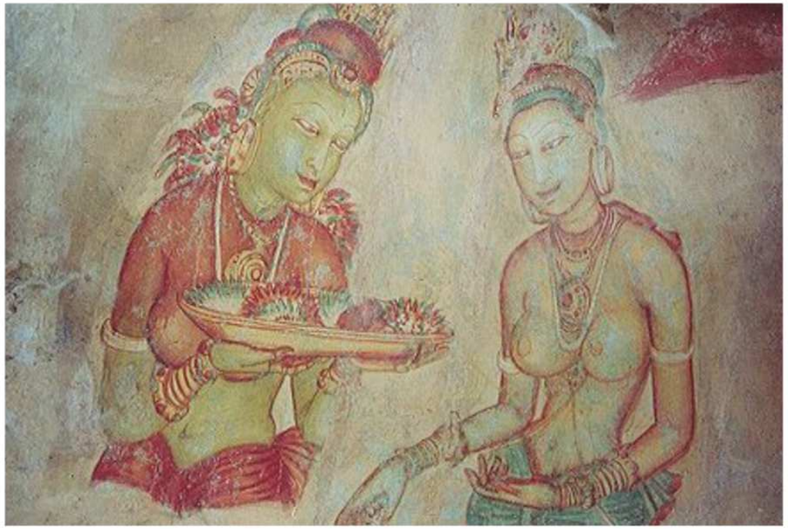
VRICON: The World in 3D [2015]

[SAAB AB, 2015.05.16]: https://youtu.be/yWaOVwxZd3o

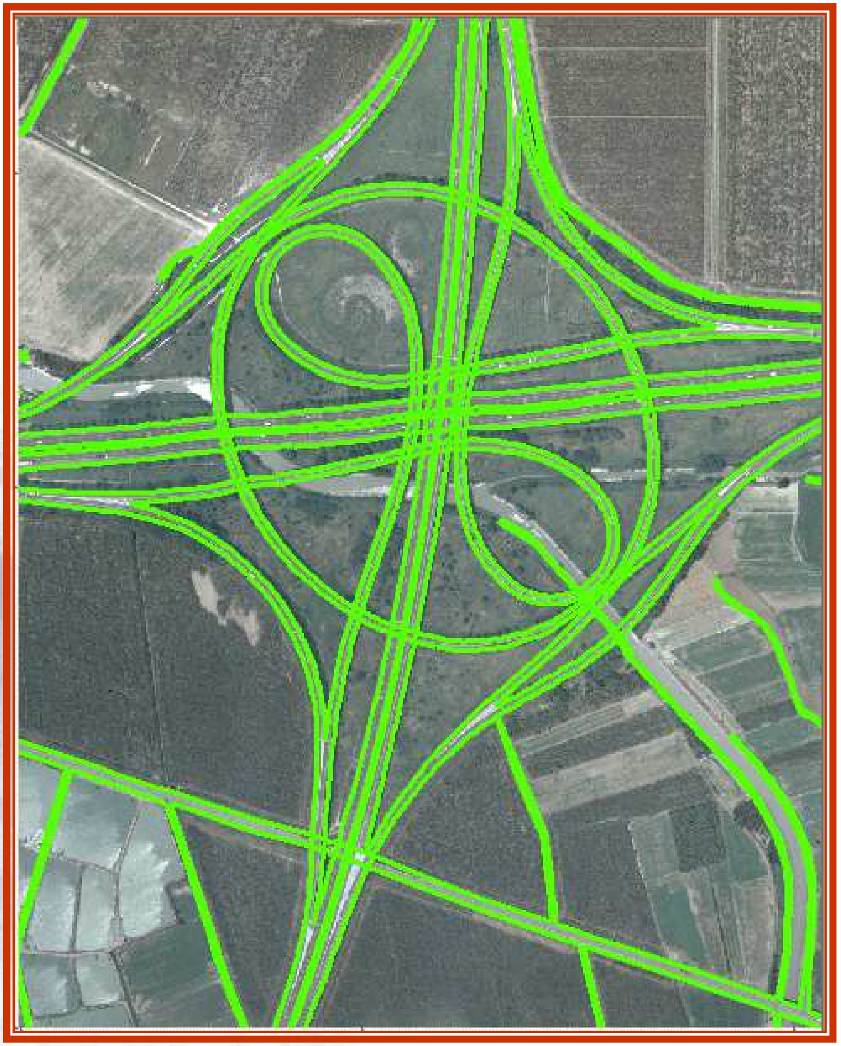
3D 挑戰 – 特殊地形

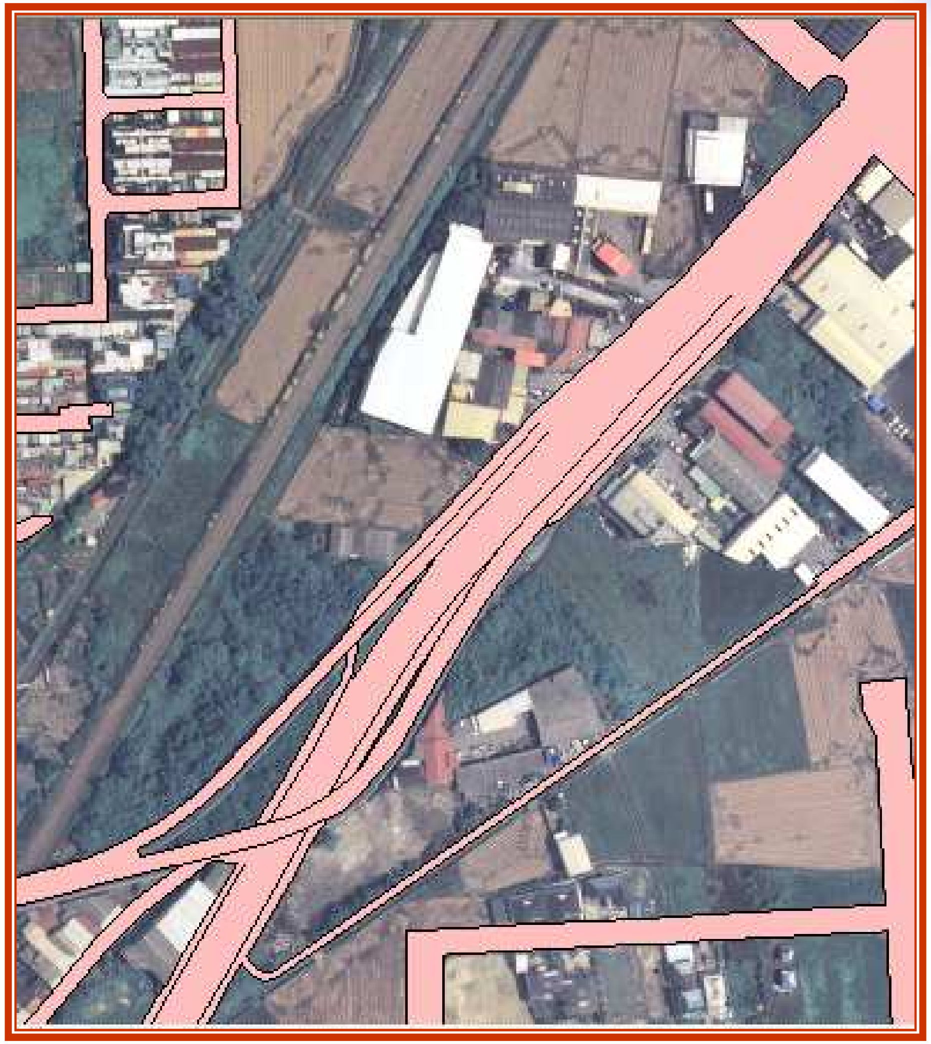
Sigiriya (Lion’s Rock) , Sri Lanka



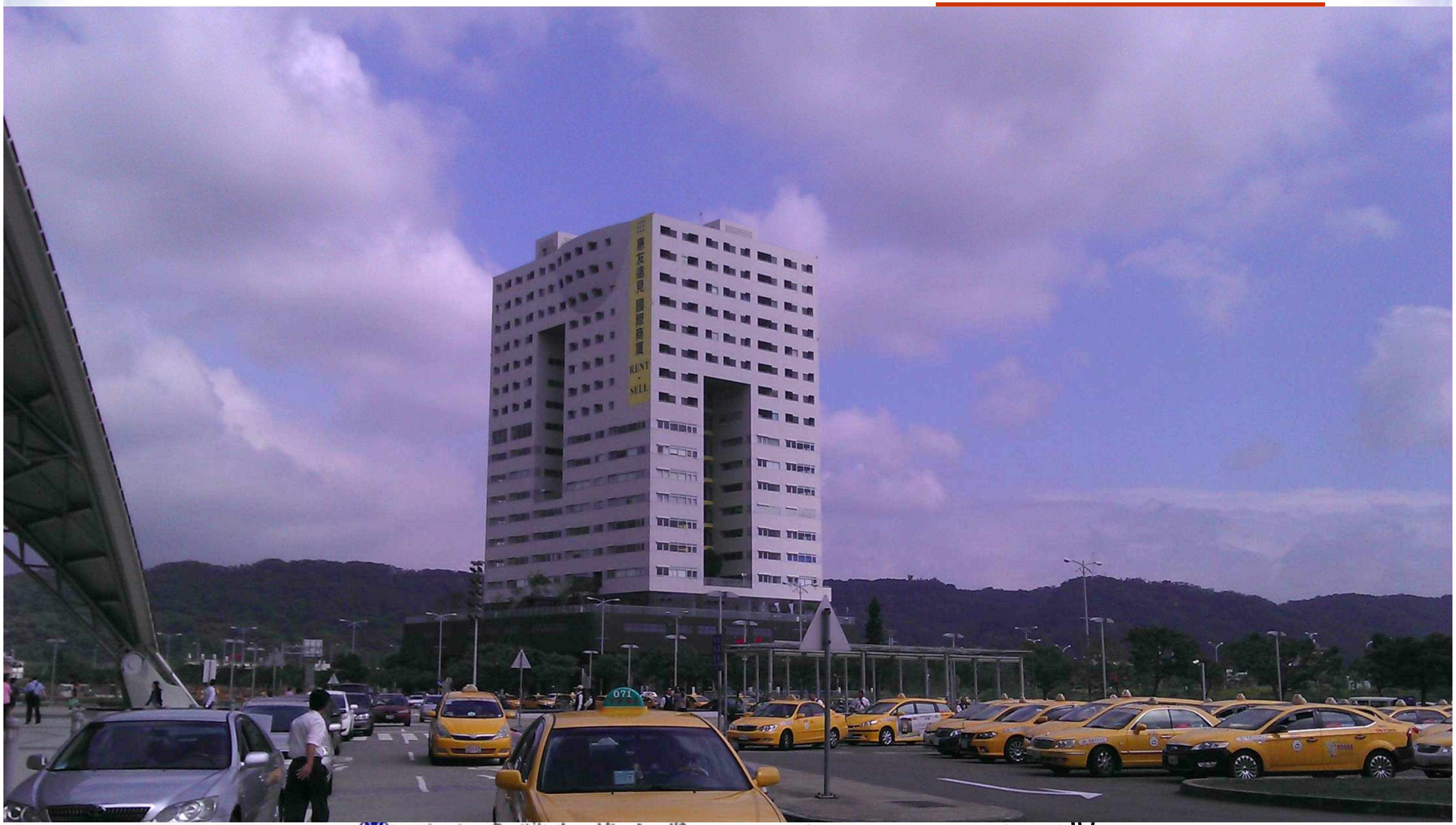


3D 挑戰 – 立體道路





3D 挑戰 – 三維建物


RENT
SELL
071

3D 挑戰 – 真

長春路19巷
2
長春路
38
長春路15巷
24
長春路13巷
32
長春路11巷
長春路9巷
長春路
新坡一街
新坡二街
新坡一街
新坡二街
A

需要：

- 精確的影像方位
- 精確的 DSM 或
- 精確的 DEM + DBM
- 陰影及遮蔽補償

國立臺灣師範大學
National Taiwan Normal University

如何從空間資料模塑三維城市模型？

三維建物模型

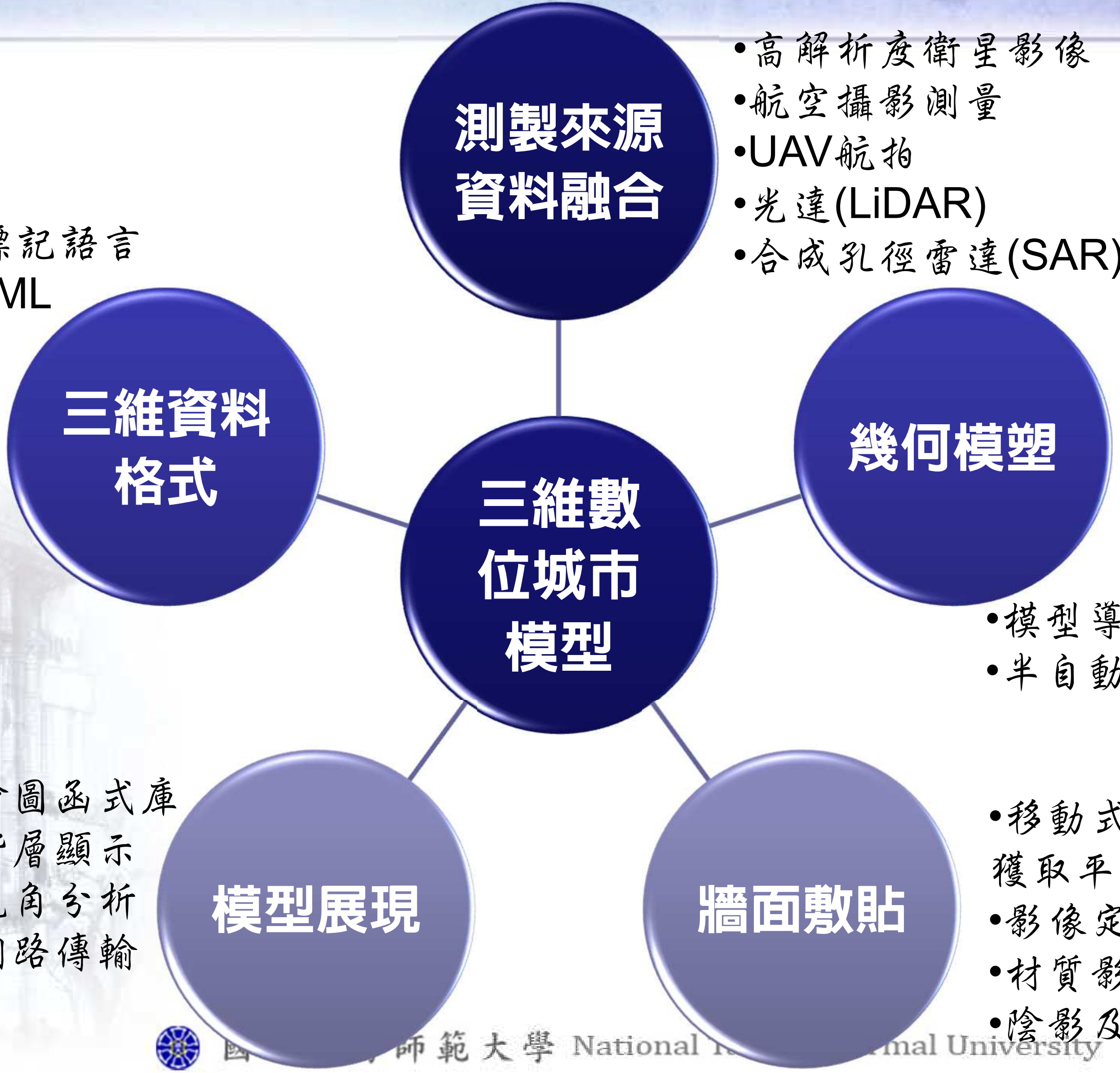
設計

- 正向工程
- 由虛擬到實境
- 消費市場精度->工程精度
- 軟體：
  - Autodesk AutoCAD
  - Bentley Microstation
  - 3D Studio Max
  - Google Sketchup
  - Microsoft 3DVIA
  - …

測量

- 逆向工程
- 由實境到虛擬
- 測量精度
- 軟體：
  - BAE Socet GXP
  - ERDAS LPS
  - DAT/EM Summit Evolution
  - …

三維模塑研究議題



三維數位城市模型

測製來源資料融合

- 高解析度衛星影像
- 航空攝影測量
- UAV航拍
- 光達(LiDAR)
- 合成孔徑雷達(SAR)

三維資料格式

- 地理標記語言
- CityGML
- KML
- BIM

幾何模塑

- 模型導向 v.s. 資料導向
- 半自動化 → 全自動化

模型展現

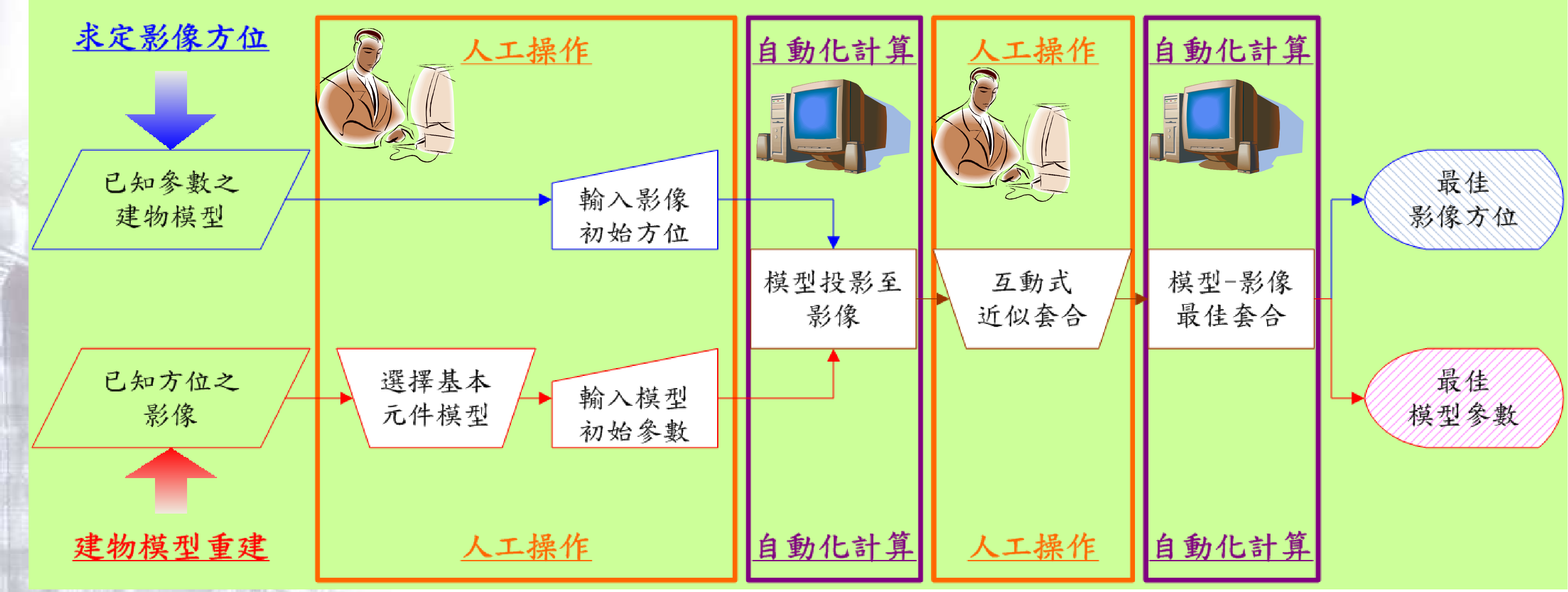
- 繪圖函式庫
- 階層顯示
- 視角分析
- 網路傳輸

牆面敷貼

- 移動式空間資訊獲取平台
- 影像定位定向
- 材質影像製作
- 陰影及遮蔽處理

半自動化萃取流程

半自動萃取策略



求定影像方位

已知參數之
建物模型

已知方位之
影像

建物模型重建

人工操作

選擇基本
元件模型

輸入影像
初始方位

輸入模型
初始參數

人工操作

自動化計算

模型投影至
影像

自動化計算

人工操作

互動式
近似套合

人工操作

自動化計算

模型-影像
最佳套合

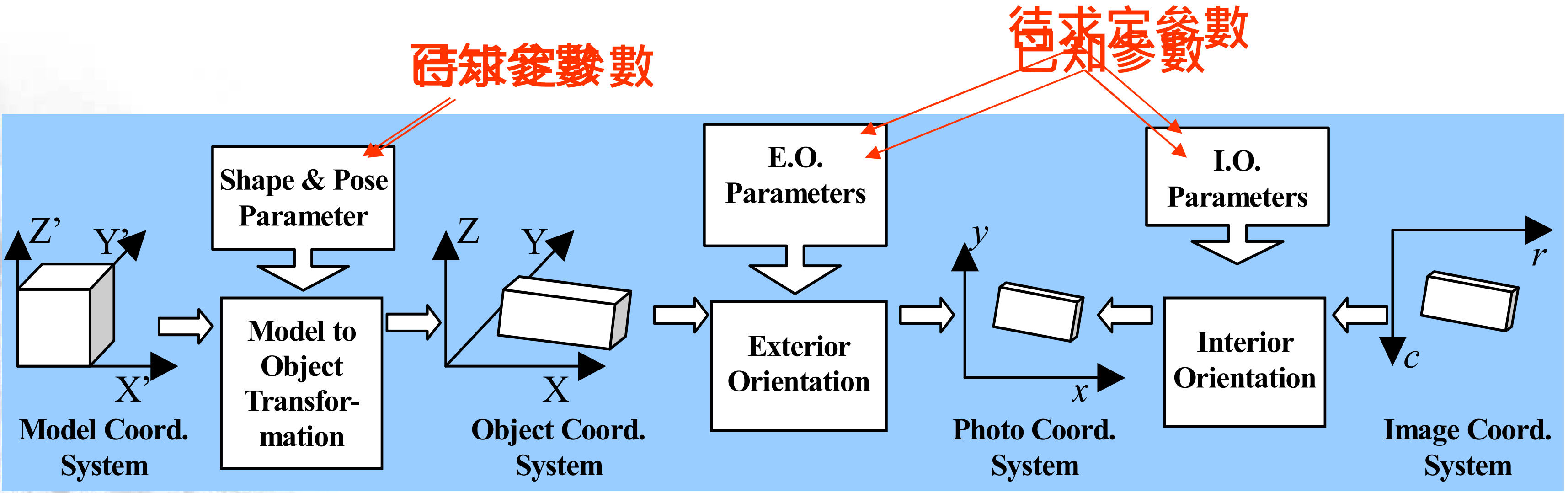
自動化計算

最佳
影像方位

最佳
模型參數

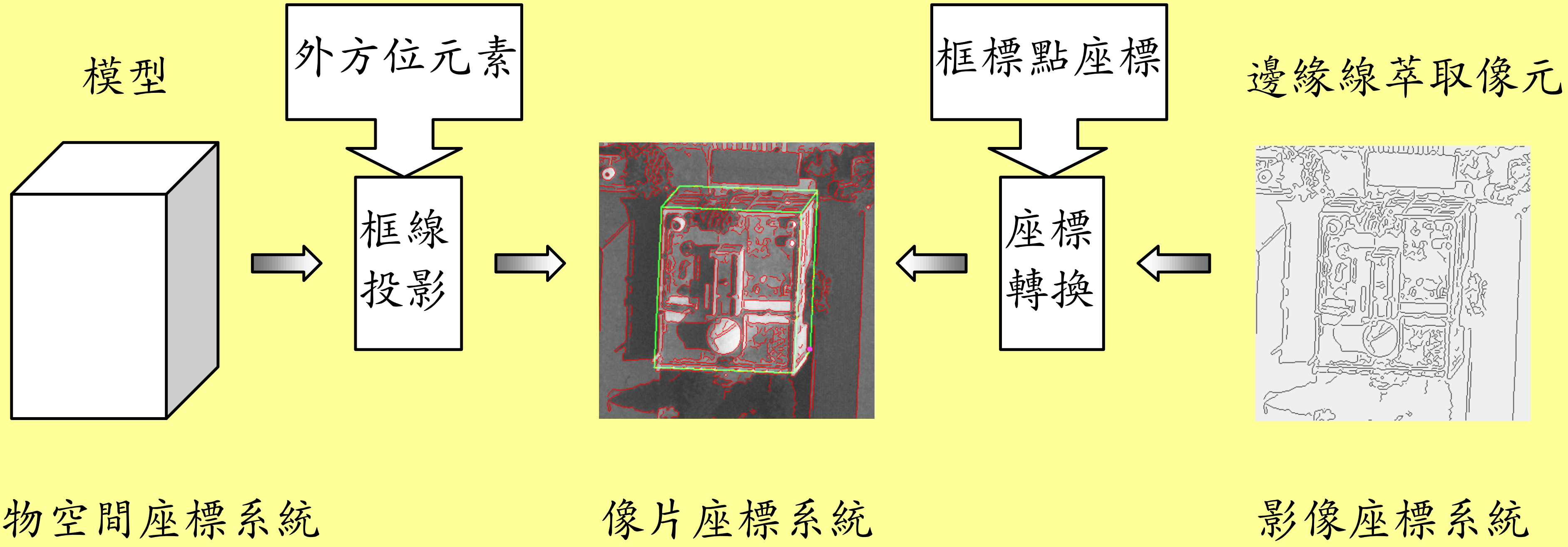
模型投影時牽涉到的座標系統轉換

- 元件模型定義在模型座標系統（Model Coordinate System）
- 邊緣線像元是從影像座標系統（Image Coordinate System）中萃取出來
- 實際的套合是在像片座標系統（Photo Coordinate System）進行


待求定參數
已知參數
待求定參數
已知參數
Shape & Pose Parameter
E.O. Parameters
I.O. Parameters
Z'
Y'
X'
Model Coord. System
Model to Object Transfor-mation
Z
Y
X
Object Coord. System
Exterior Orientation
y
x
Photo Coord. System
Interior Orientation
r
c
Image Coord. System

最小二乘模型-影像套合

- 影像邊緣線偵測
  - Sobel Edge Detection, Förstner Interest Operator, Canny Operator, LoG…
- 線框模型投影
  - 由已知的像片方位利用共線式計算角點的像片座標
- **將線框模型套合至萃取出的邊緣線上**
  - 沿著線框模型的投影線設定環域（Buffer）
  - 令環域中每一個萃取出的邊緣線像元至線框邊線的距離平方和為最小


模型
外方位元素
框線投影
框標點座標
座標轉換
邊緣線萃取像元
物空間座標系統
像片座標系統
影像座標系統

目標函式

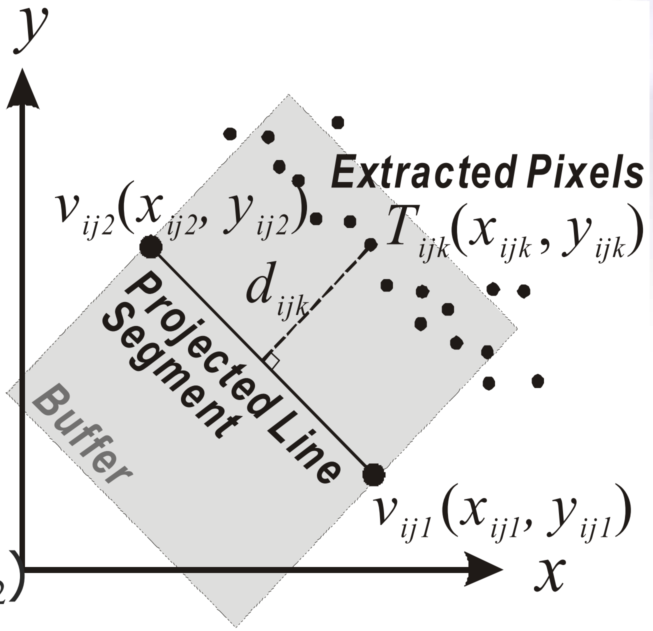
- 理想上模型參數正確時，線框模型的投影應該恰好重疊於影像上建物的邊緣線上
- 若將萃取像元 T_{ijk} 到線段$v_{ij1}v_{ij2}$ 的距離 d_{ijk} 視為不符值，則 d_{ijk} 可由下式計算：

$$d_{ijk}=\frac{\left|(y_{ij1}-y_{ij2})x_{ijk}+(x_{ij2}-x_{ij1})y_{ijk}+(y_{ij2}x_{ij1}-y_{ij1}x_{ij2})\right|}{\sqrt{(x_{ij1}-x_{ij2})^2+(y_{ij1}-y_{ij2})^2}} \quad \textbf{(1)}$$

其中 i 代表重疊影像的編號，由 $1\sim I$

j 代表線框模型邊緣線的編號，由 $1\sim J$

k 代表該邊緣線環域中萃取點的編號，由 $1\sim K$


y
Extracted Pixels
$v_{ij2}(x_{ij2}, y_{ij2})$
$T_{ijk}(x_{ijk}, y_{ijk})$
d_{ijk}
Projected Line Segment
Buffer
$v_{ij1}(x_{ij1}, y_{ij1})$
x

- 以模型參數代入式(1)中的 (x_{ij1}, y_{ij1})及(x_{ij2}, y_{ij2})

$$d_{ijk}=F_{ijk}(l, w, h, dX, dY, dZ, \alpha) \quad \textbf{(2)}$$

- 目標函式 q：

$$q=\sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}\sum_{k=1}^{K}d_{ijk}^{\ 2}=\sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}\sum_{k=1}^{K}\left[F_{ijk}(l, w, h, dX, dY, dZ, \alpha)\right]^2\rightarrow \min \quad \textbf{(3)}$$

最小二乘平差

- 要讓(3)式中的目標函式 q 為最小，則：

$$\frac{\partial q}{\partial p_i} = 0,\quad \text{其中}p_i\text{代表了所有未知數}(l, w, h, dX, dY, dZ, \alpha) \qquad \textbf{(4)}$$

- 由於 F_{ijk} 為非線性，因此在實際計算上通常採用牛頓法漸進求解，利用一階的泰勒展開式將其表示為參數增量的線性函式：

$$d_{ijk} = \left(\frac{\partial F_{ijk}}{\partial l}\right)_0 \Delta l + \left(\frac{\partial F_{ijk}}{\partial w}\right)_0 \Delta w + \left(\frac{\partial F_{ijk}}{\partial h}\right)_0 \Delta h + \left(\frac{\partial F_{ijk}}{\partial dX}\right)_0 \Delta dX + \left(\frac{\partial F_{ijk}}{\partial dY}\right)_0 \Delta dY + \left(\frac{\partial F_{ijk}}{\partial dZ}\right)_0 \Delta dZ + \left(\frac{\partial F_{ijk}}{\partial \alpha}\right)_0 \Delta \alpha + F_{ijk0}$$

(5)

其中 F_{ijk0} 代表 F_{ijk} 函式的初始值

$\Delta l,\ \Delta w,\ \Delta h,\ \Delta \mathrm{d}X,\ \Delta \mathrm{d}Y,\ \Delta \mathrm{d}Z,\ \Delta \boldsymbol{\alpha}$ 代表未知模型參數的增量

- 將未知參數的初始值代入(5)式中，並以矩陣的形式來表達：$V=AX-L$，則未知參數的增量可經由 $X=(A^TPA)^{-1}A^TPL$ 求解
- 經由迭代計算直到增量小於臨界值，即得最佳套合時的模型參數

Box Modeling Example – T3048

Initial Parameters

l	w	h	dX	dY	dZ	α
11. 250m	10.850m	10.000m	369354.400m	6669671.600m	37.934m	10.000000°

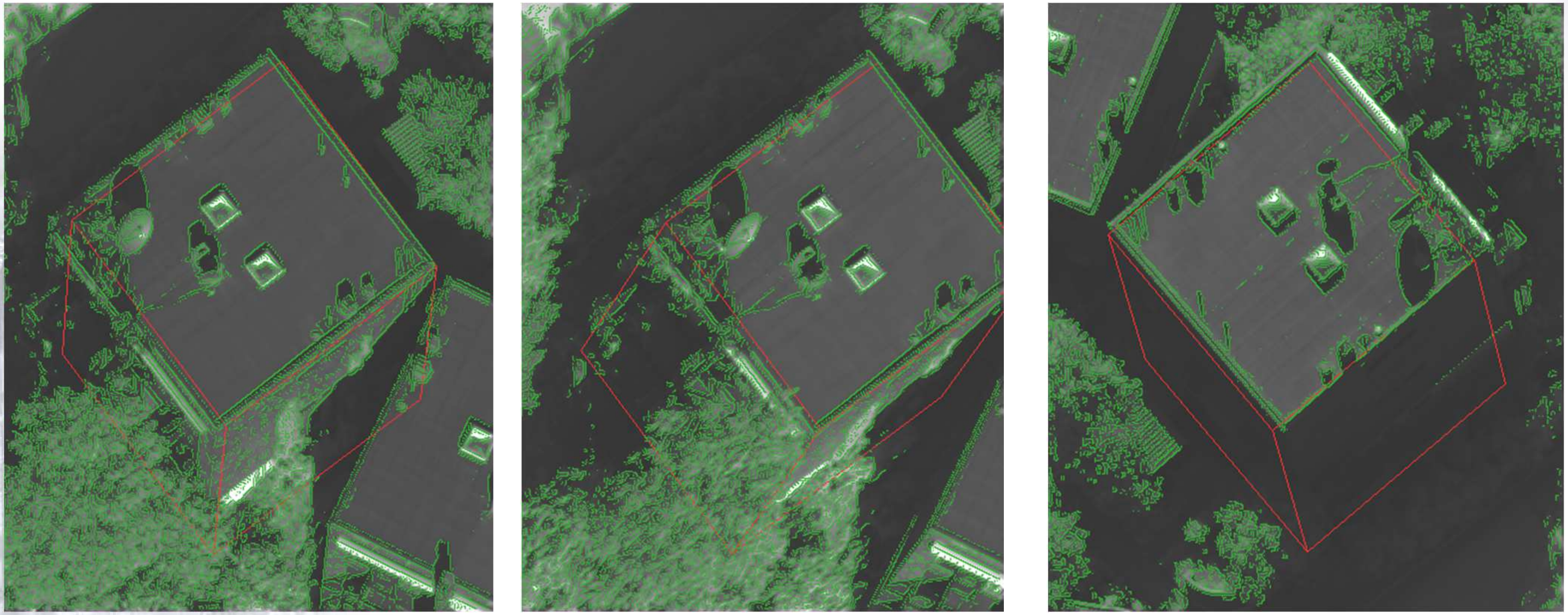


Photo 01-0013

Photo 01-0014

Photo 02-0013

Box T3048 Fit to Aerial Photos Only

- Horizontal Buffer
  - Initial: 0.15mm
  - Decreasing step: 0.05mm
  - Final: 0.05mm
- Edge Pixel Selection Criteria
  - Gradient Magnitude: >20
  - Gradient Vector Direction: 45°
- Convergent Criteria
  - Max. Iteration No.: 50
  - $\Delta l, \Delta w, \Delta \mathrm{d}X, \Delta \mathrm{d}Y$: 0.05$m$
  - $\Delta h, \Delta \mathrm{d}Z$: 0.10$m$
  - $\Delta\alpha$: 0.001°

Edge pixels in buffers

Iteration	01-0013	01-0014	02-0013
Original	33256	30254	18918
1	4662	4580	2564
2	3541	3347	2426
3	2142	1959	1808

Model Parameters after Each Iteration

Iteration	l	w	h	$\mathrm{d}X$	$\mathrm{d}Y$	$\mathrm{d}Z$	α
1	11.171	10.912	9.917	369354.218	6669671.597	38.268	9.791426
2	11.212	10.952	9.855	369354.123	6669671.629	38.441	9.676084
3	11.236	10.996	9.831	369354.092	6669671.628	38.501	9.660705

Box T3048 Fitting Progress (Aerial Photos Only)

Iteration 1 » Iteration 2» Iteration 3

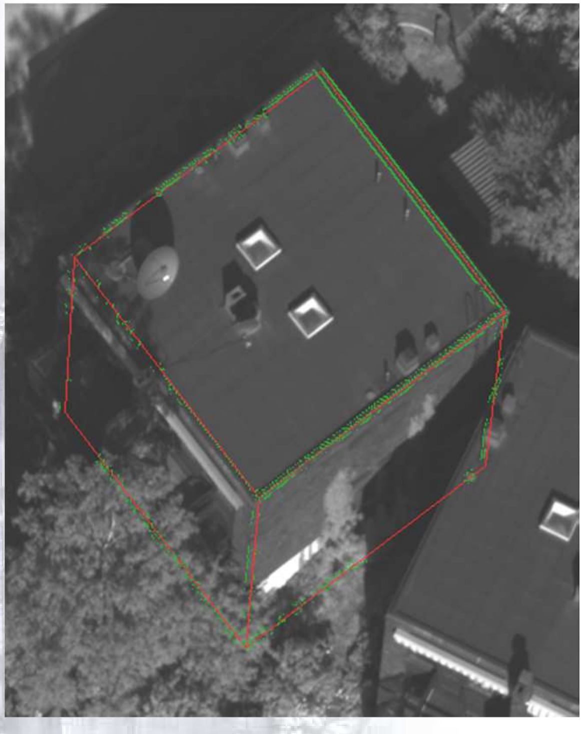


Photo 01-0013

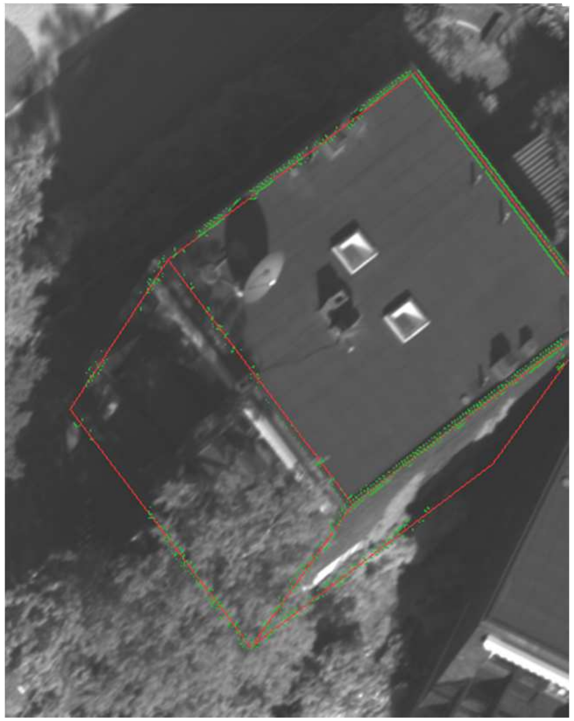


Photo 01-0014

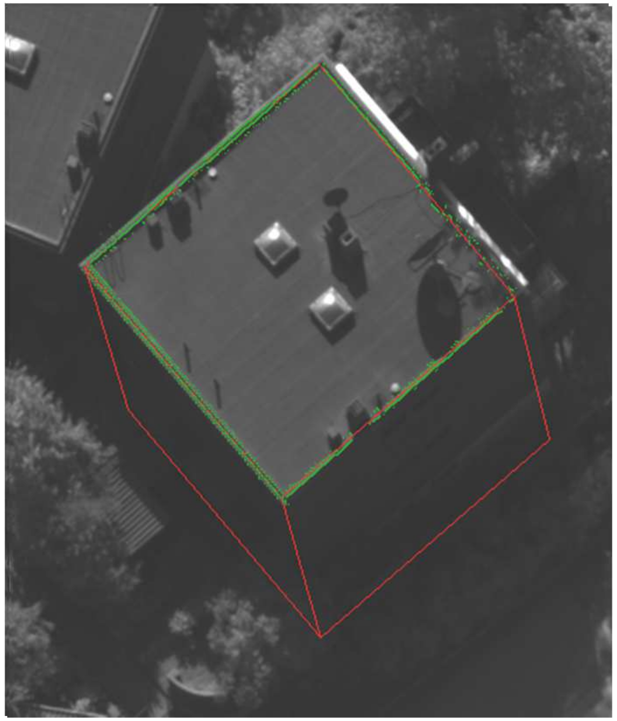
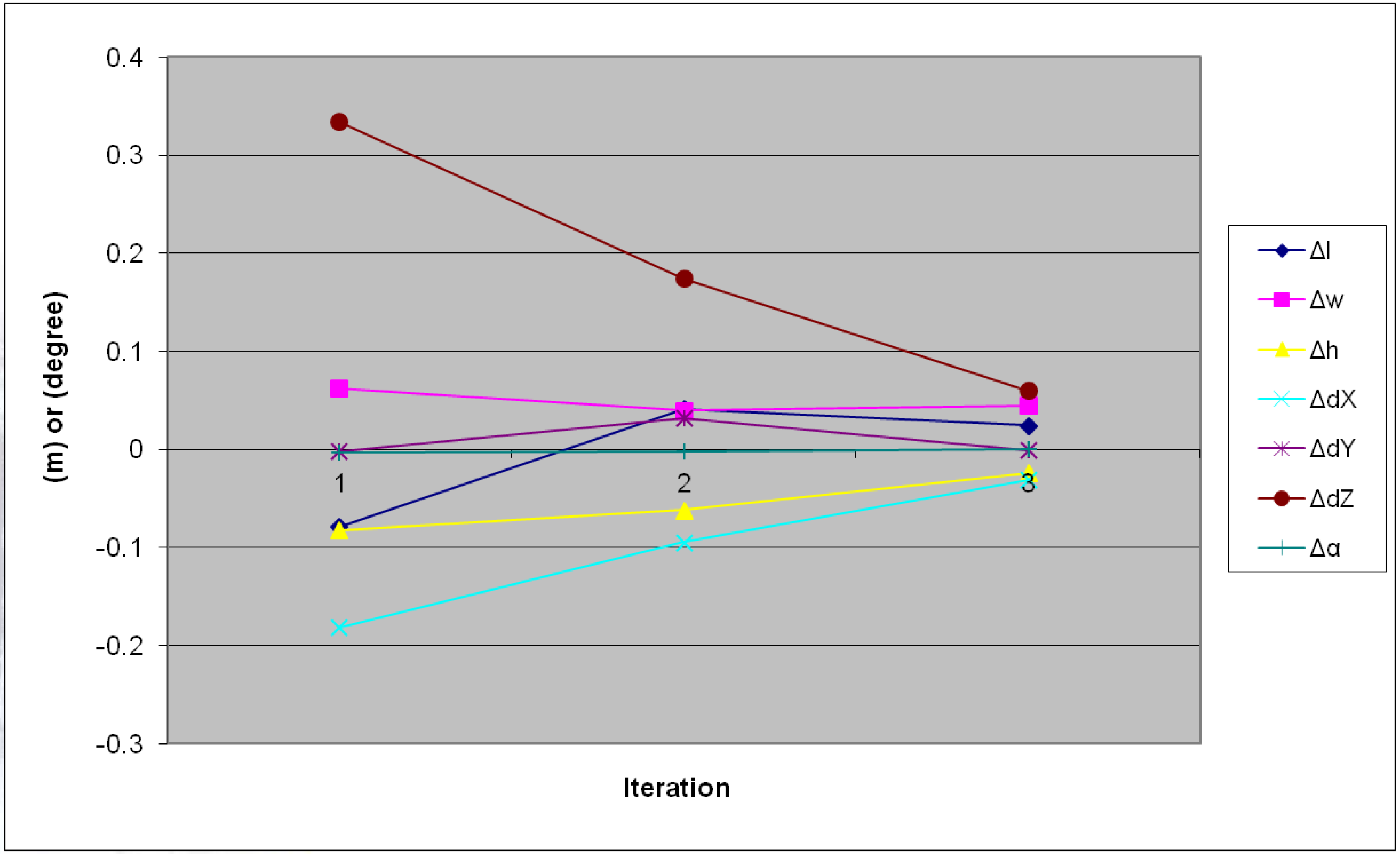
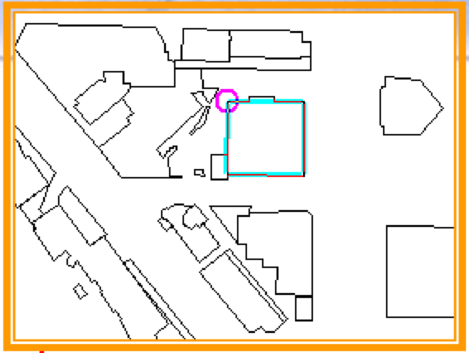


Photo 02-0013

Convergence of Parameters' Increments (Aerial Photos Only)



測製來源整合

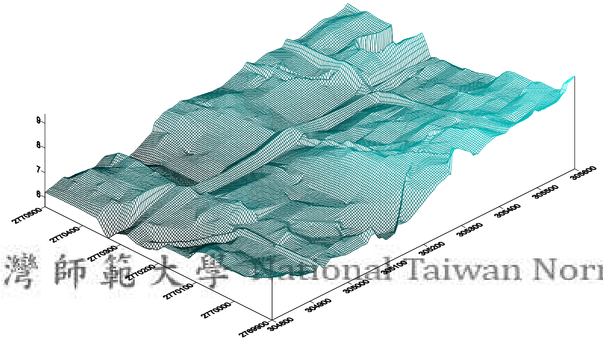


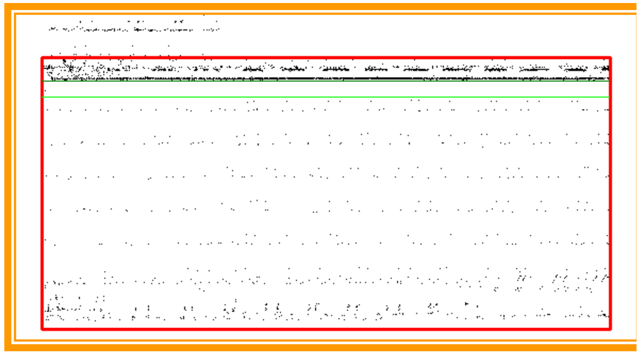
Plenary Information

Check &
Modify

Roof's
Height

Ground's
Height





Box T3048 Fit Both to Aerial Photos and LiDAR Data

- Horizontal Buffer
  - Initial: 0.15mm
  - Decreasing step: 0.05mm
  - Final: 0.05mm
- Edge Pixel Selection Criteria
  - Gradient Magnitude: >20
  - Gradient Vector Direction: 45°
- Convergent Criteria
  - Max. Iteration No.: 50
  - Δl, Δw, $\Delta \mathrm{d}X$, $\Delta \mathrm{d}Y$: 0.05m
  - Δh, $\Delta \mathrm{d}Z$: 0.10m
  - $\Delta \alpha$: 0.001°

Edge pixels in buffers

Iteration	01-0013	01-0014	02-0013
Original	33256	30254	18918
1	4367	4361	2754
2	3411	3278	2432
3	2041	2030	1710

Model Parameters after Each Iteration

Iteration	l	w	h	$\mathrm{d}X$	$\mathrm{d}Y$	$\mathrm{d}Z$	α
1	11.012	10.913	8.141	369354.336	6669671.615	40.288	9.919545
2	10.967	10.943	8.157	369354.324	6669671.645	40.288	9.821490
3	10.968	10.987	8.159	369354.314	6669671.651	40.288	9.870790

Box T3048 Fitting Progress (Both Aerial Photos and LiDAR Data)

Iteration 1 » Iteration 2 » Iteration 3

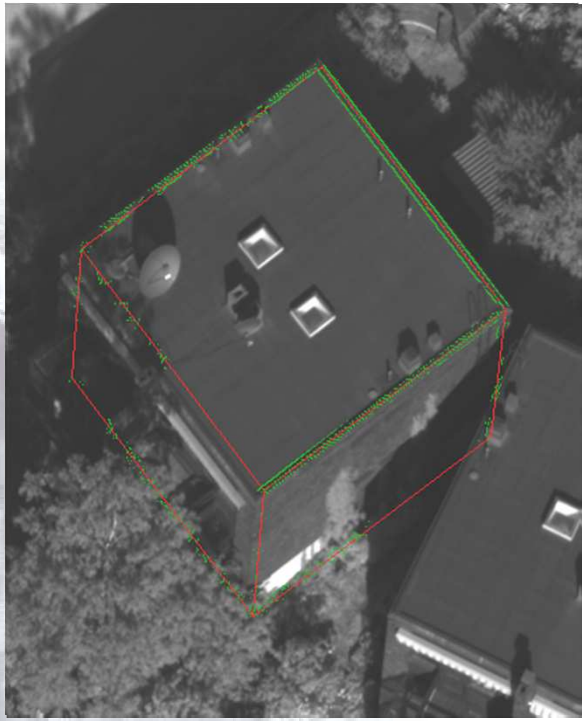


Photo 01-0013

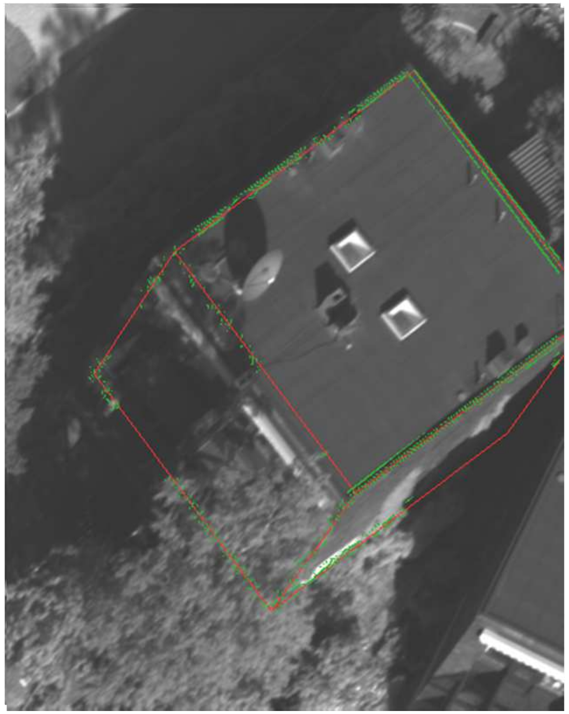


Photo 01-0014

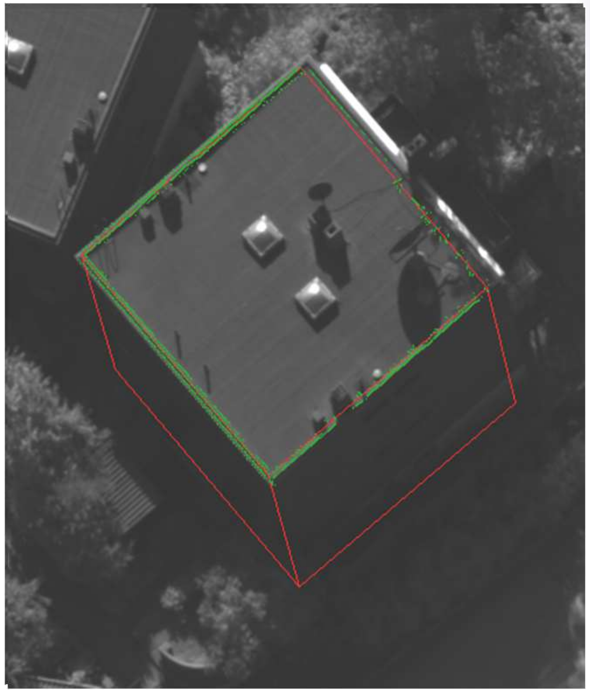
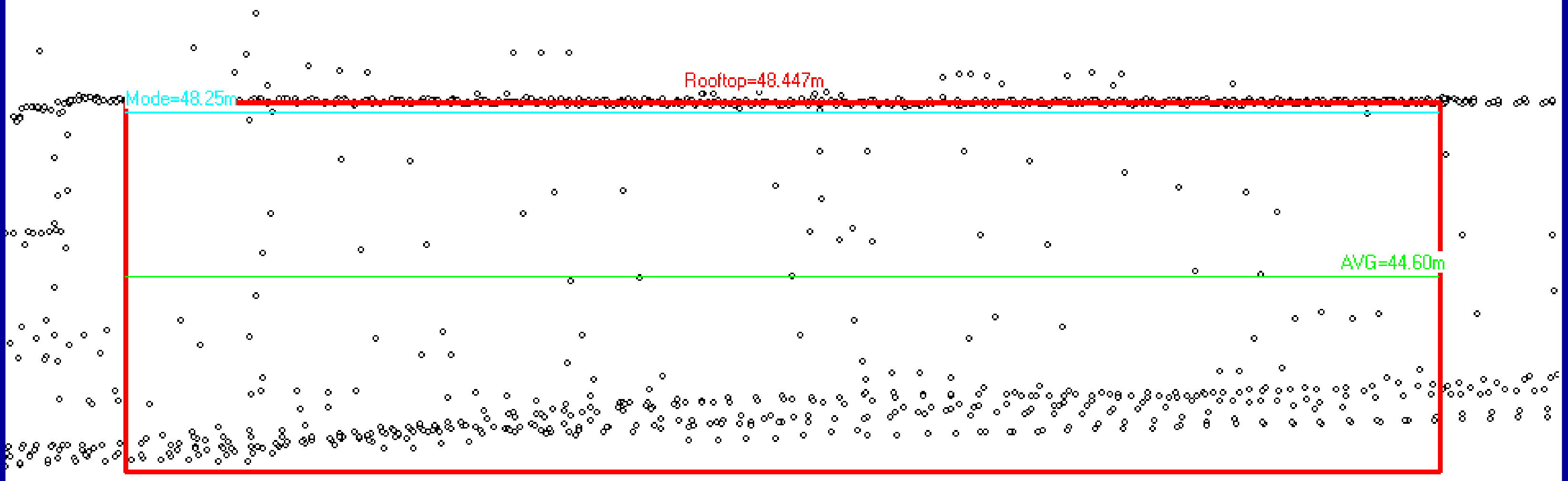
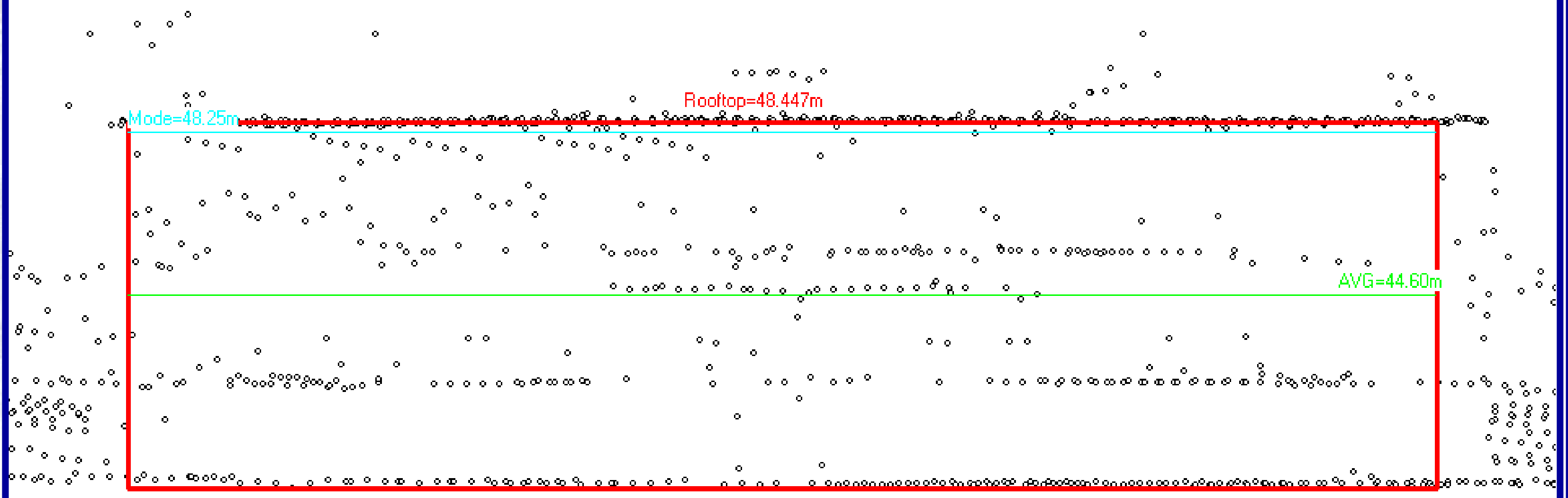


Photo 02-0013

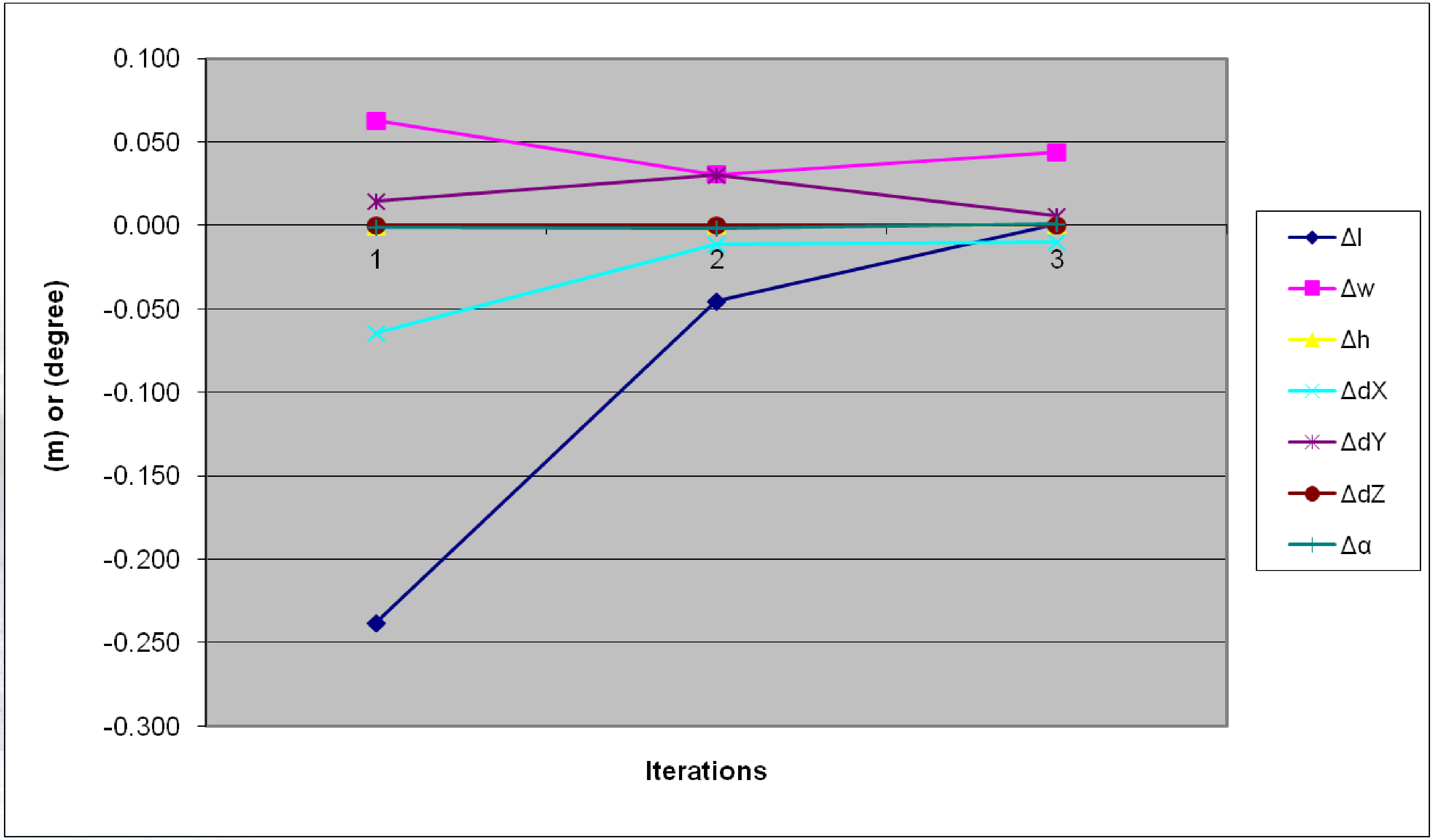
X' - *Z'* Profile View



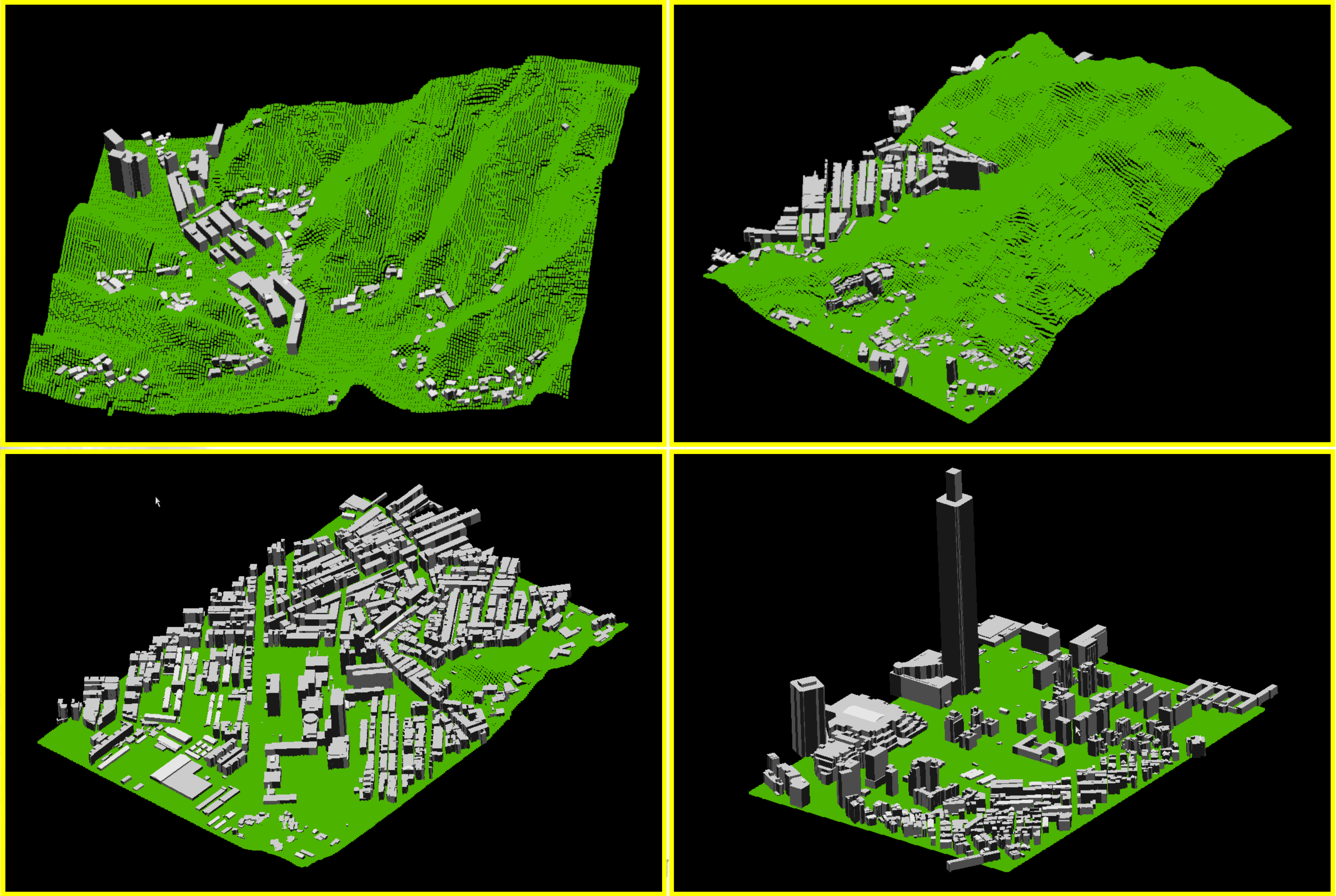
Y' - *Z'* Profile View



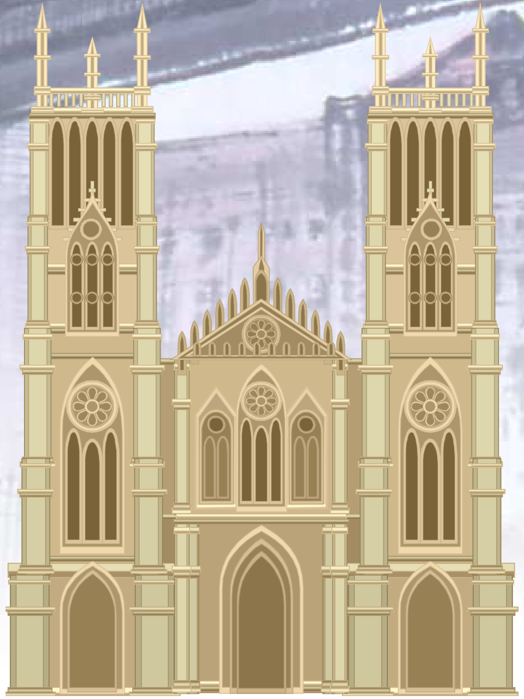
Convergence of Parameters' Increments (Both Aerial Photos and LiDAR Data)



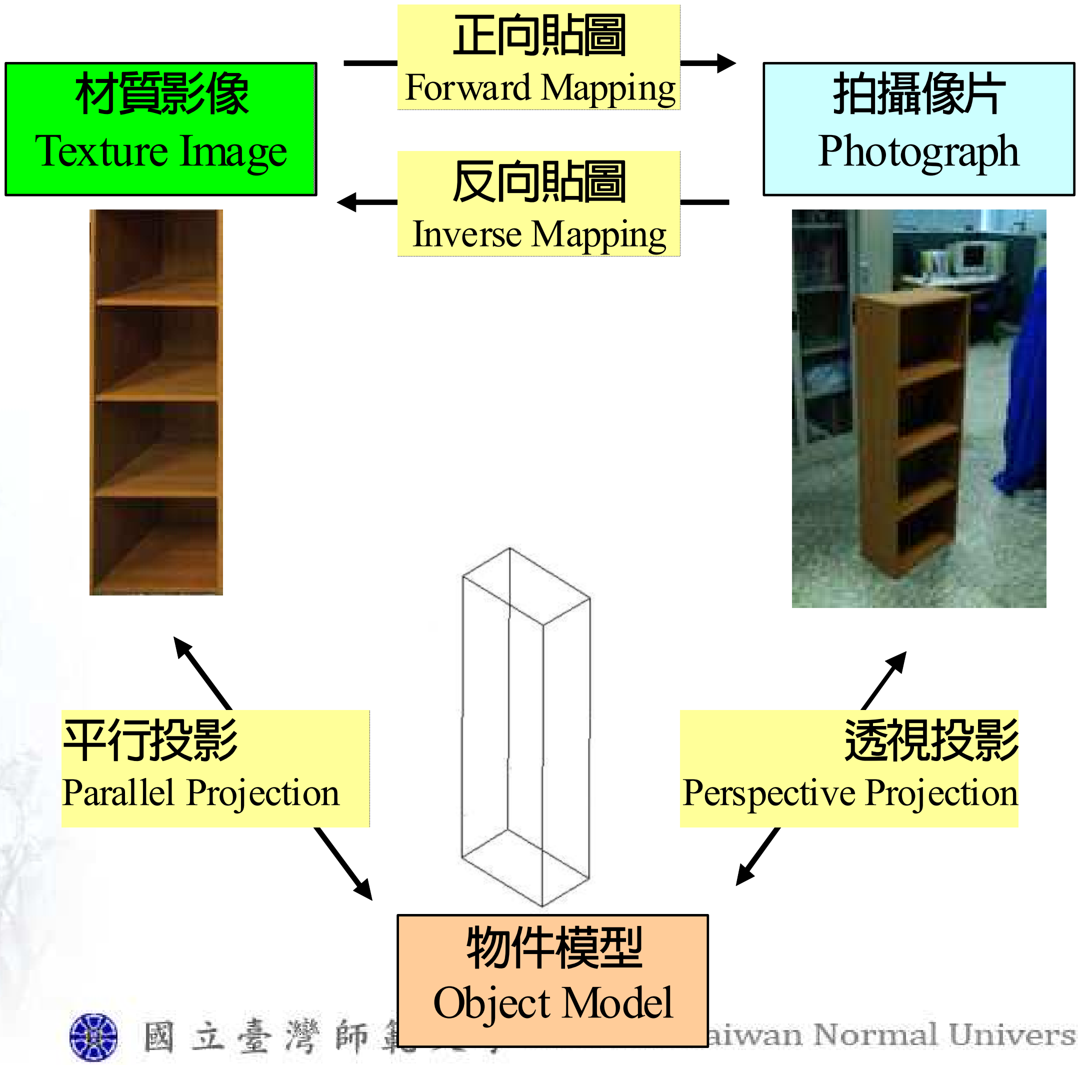
三維建物幾何模型完成範例



Façade Mapping



真實材質影像敷貼



材質影像
Texture Image

正向貼圖
Forward Mapping

反向貼圖
Inverse Mapping

拍攝像片
Photograph

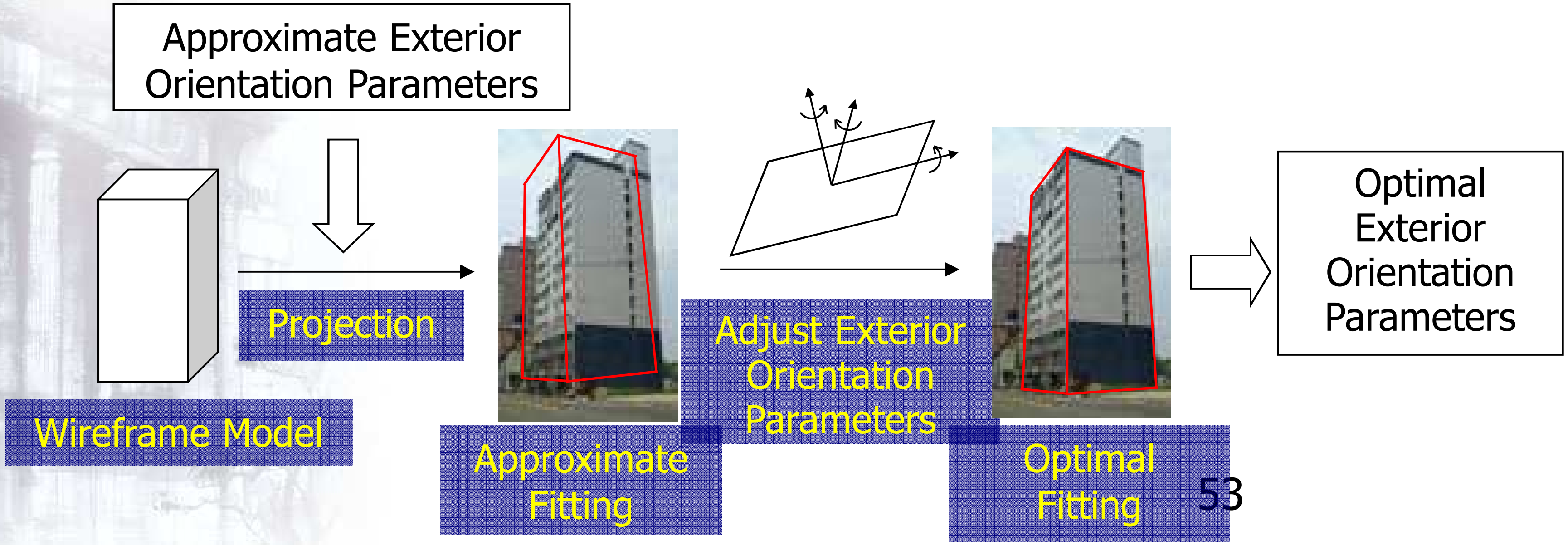
平行投影
Parallel Projection

透視投影
Perspective Projection

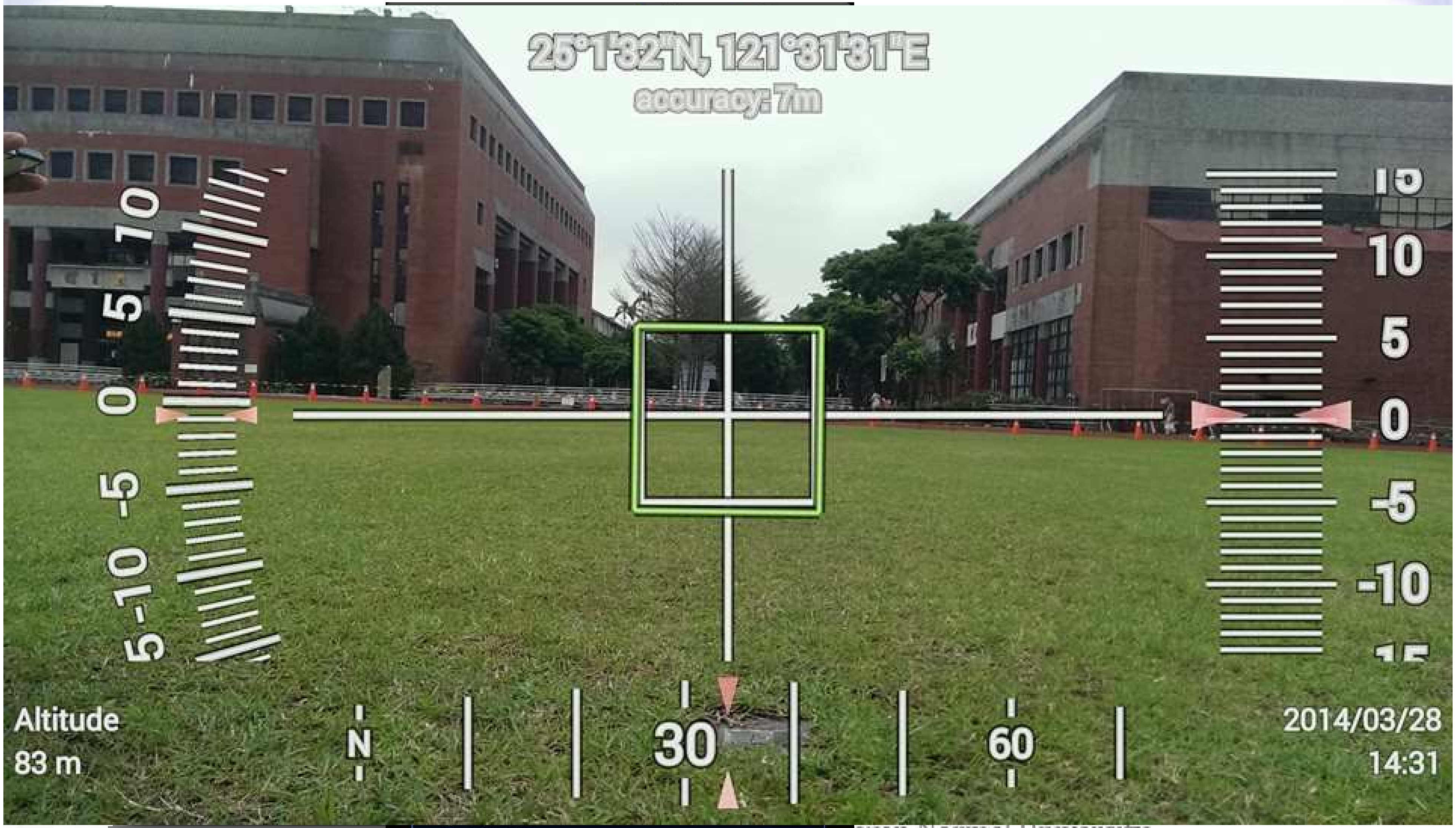
物件模型
Object Model

模型-影像套合求定像片外方位元素

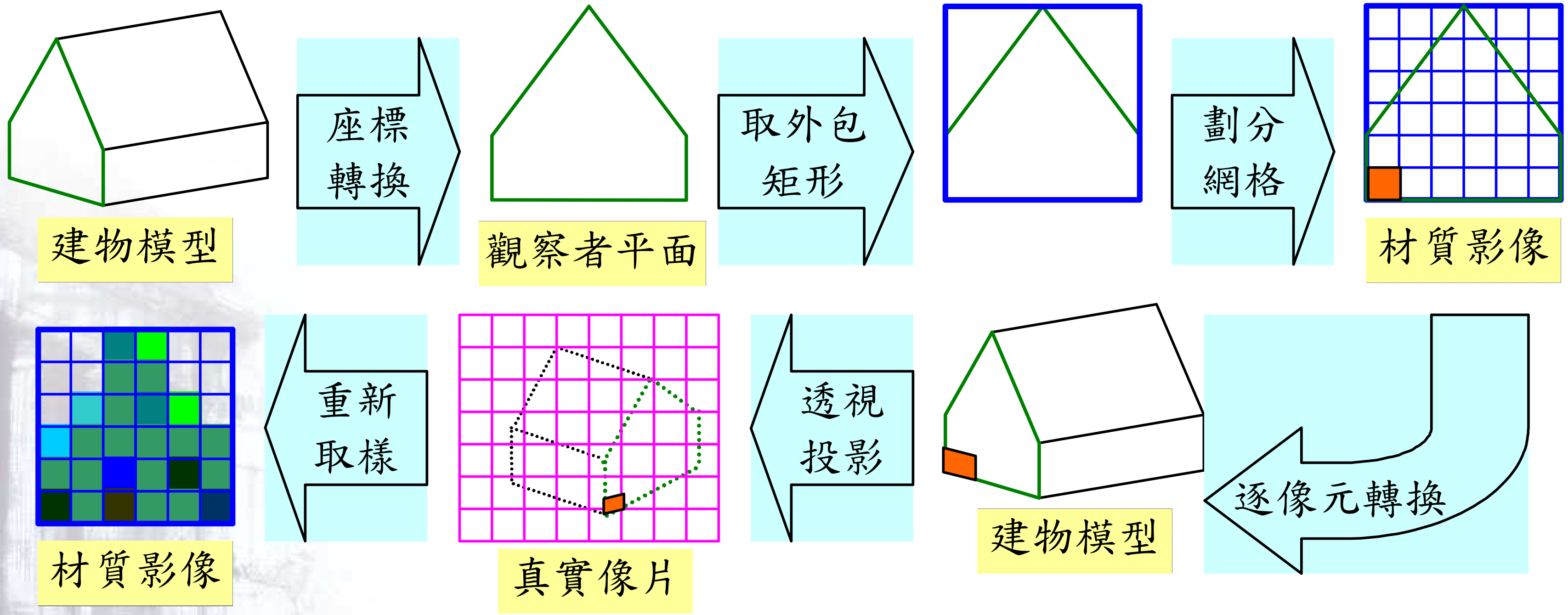
- 已知建物的線框模型拆解為 3D 線段作為控制線
- 透過進似的外方位元素，可將 3D 線段投影到像片上
- 透過 LSMIF 自動化迭代計算模型–影像最佳套合時的像片外方位元素


Approximate Exterior Orientation Parameters
Projection
Wireframe Model
Approximate Fitting
Adjust Exterior Orientation Parameters
Optimal Fitting
Optimal Exterior Orientation Parameters

如何得到近似的外方位元素？


25°1'32"N, 121°31'31"E
accuracy: 7m
10
5
0
-5
-10
10
5
0
-5
-10
Altitude
83 m
N
30
60
2014/03/28
14:31

製作真實材質影像



建物模型

座標轉換

觀察者平面

取外包矩形

劃分網格

材質影像

逐像元轉換

建物模型

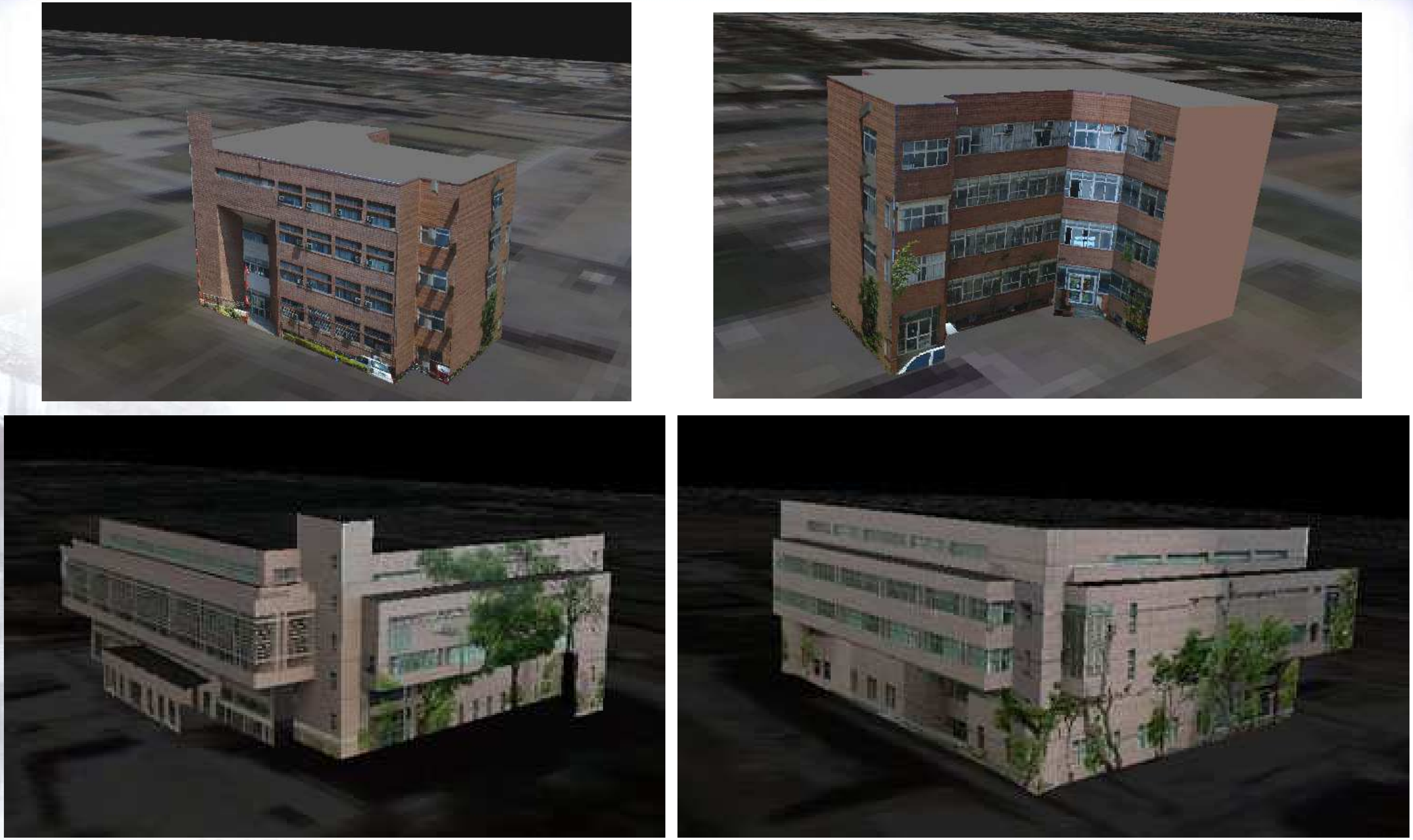
透視投影

真實像片

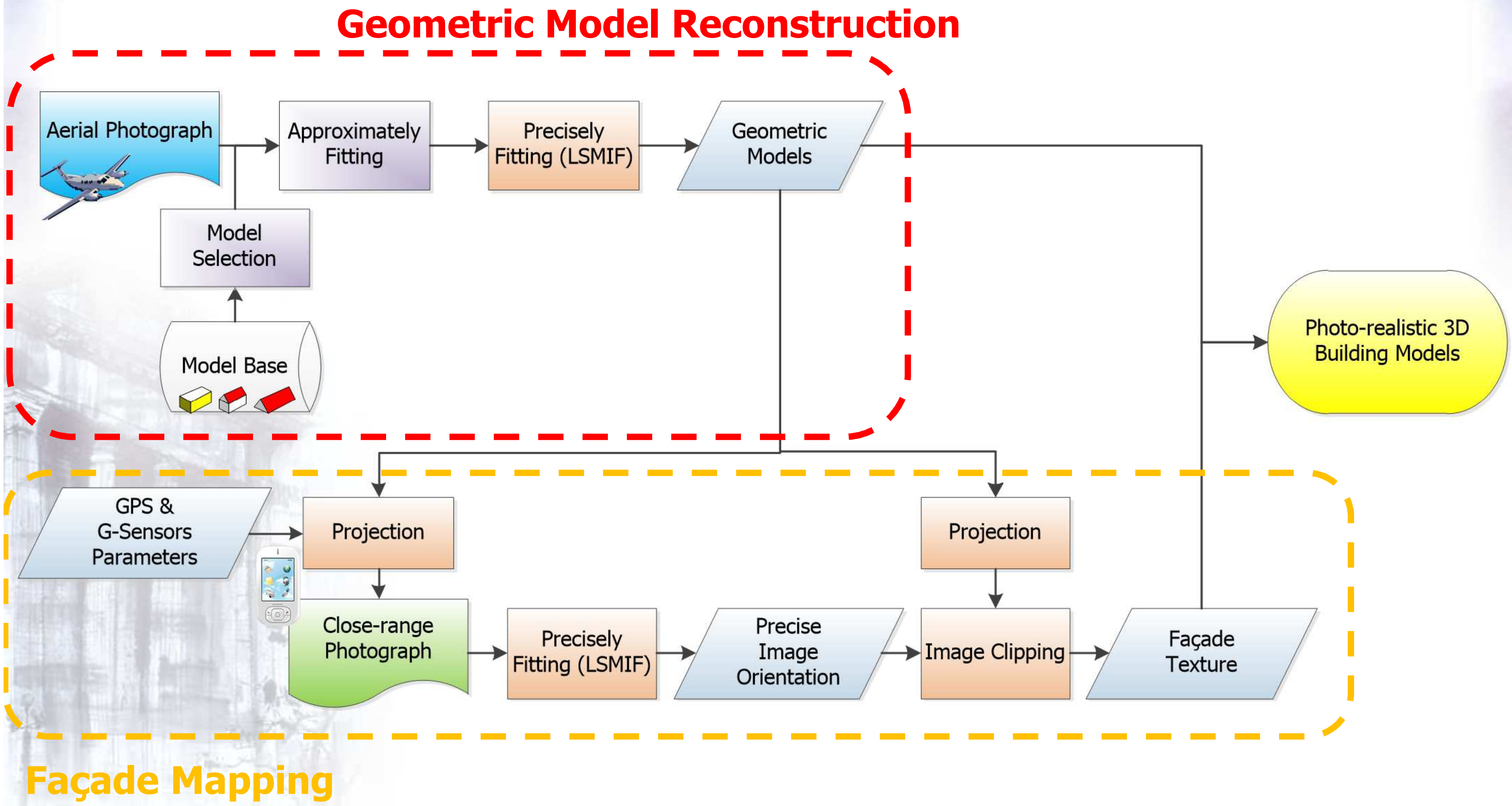
重新取樣

材質影像

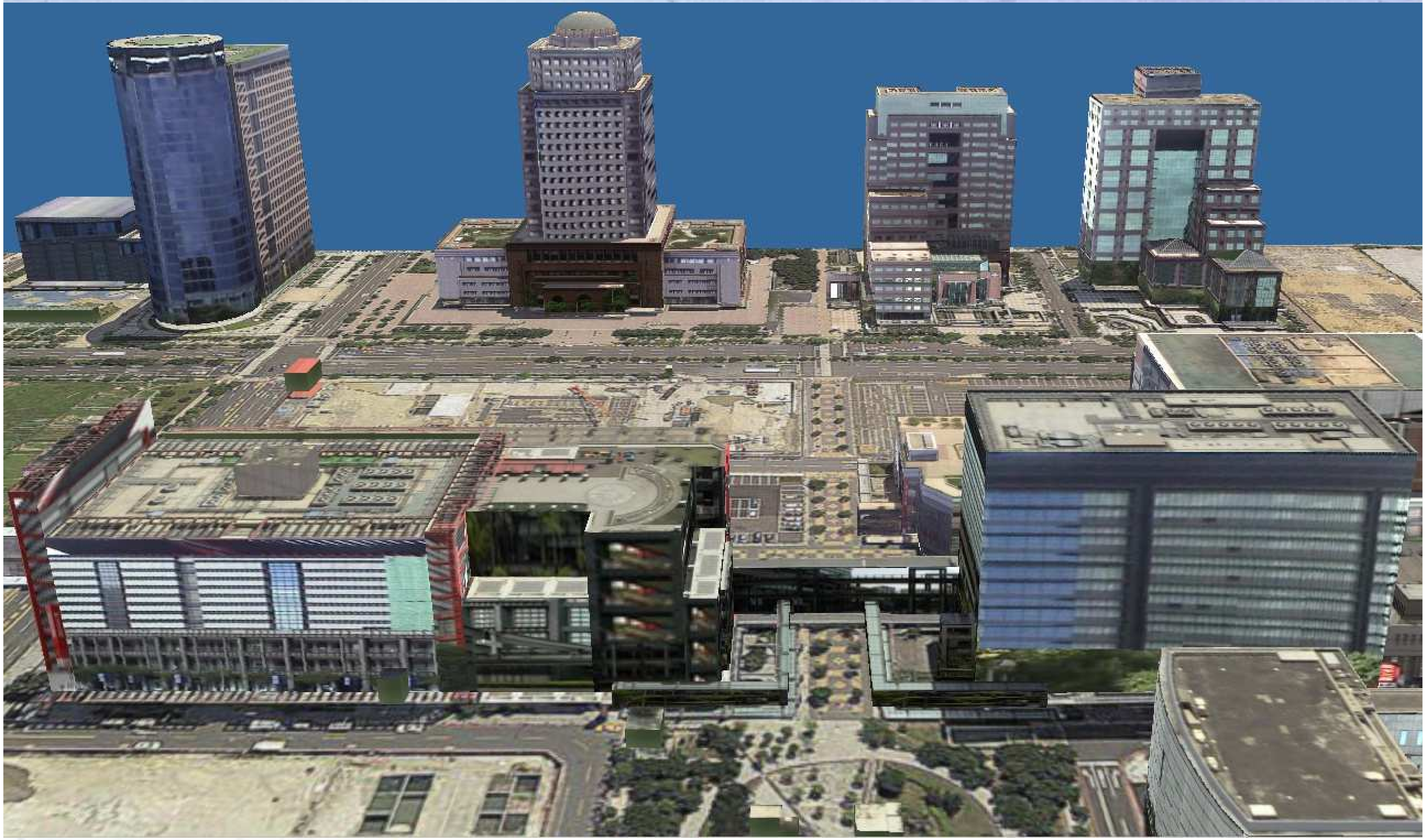
真實牆面材質影像敷貼成果範例



半自動化三維製圖及地理展現流程


Geometric Model Reconstruction
Aerial Photograph
Approximately Fitting
Precisely Fitting (LSMIF)
Geometric Models
Model Selection
Model Base
Photo-realistic 3D Building Models
GPS & G-Sensors Parameters
Projection
Close-range Photograph
Precisely Fitting (LSMIF)
Precise Image Orientation
Projection
Image Clipping
Façade Texture
Façade Mapping

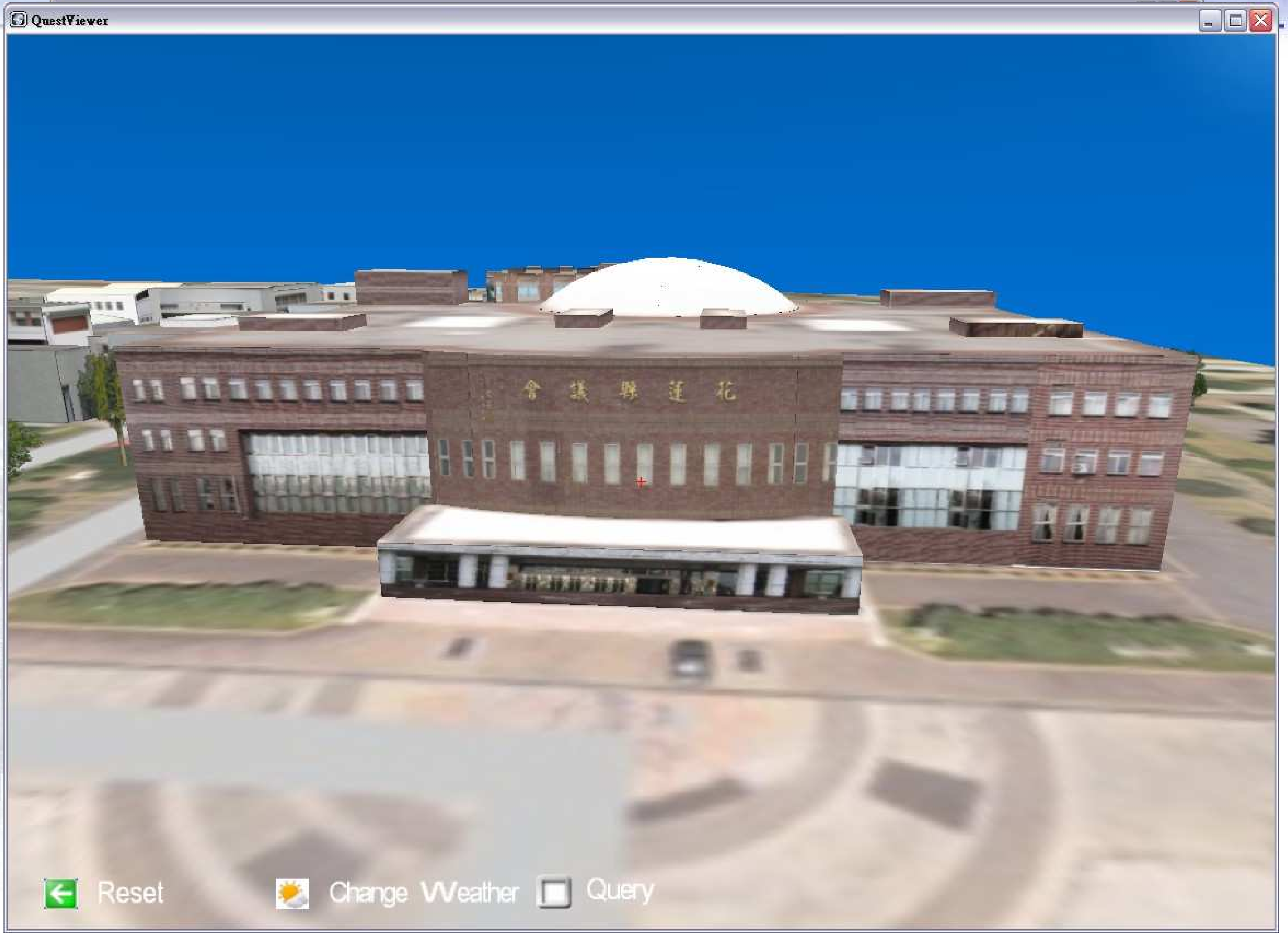
臺北市三維數位城市模型



~~內政部三維數位城市模型先期建置計畫

花蓮縣三維數位城市模型

~~台灣世曦+中央大學太遙中心
產學合作研發計畫

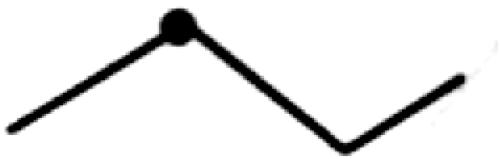

QuestViewer
花蓮縣議會
Reset
Change Weather
Query

三維城市模型可以作哪些空間分析？

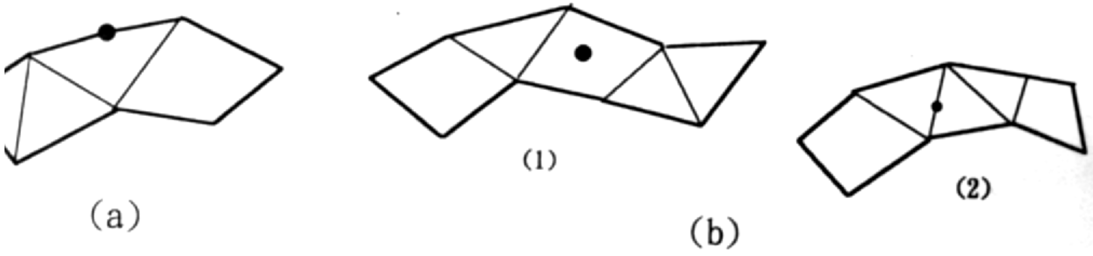
FID:29
FID:31
FID:29
FID:29
FID:28
FID:28
Second Nature Member
Smithee Bertrand

複雜的三維位相關係

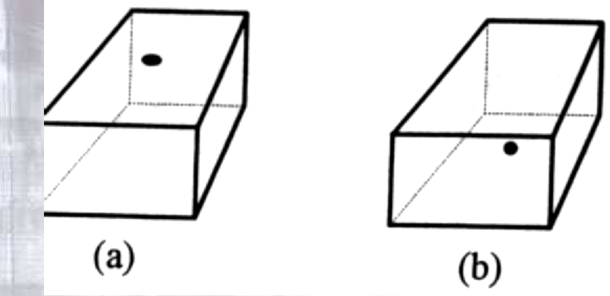
- 點、線、面、立體 4 種實體在三維空間中，彼此的位相關係遠比二維複雜許多



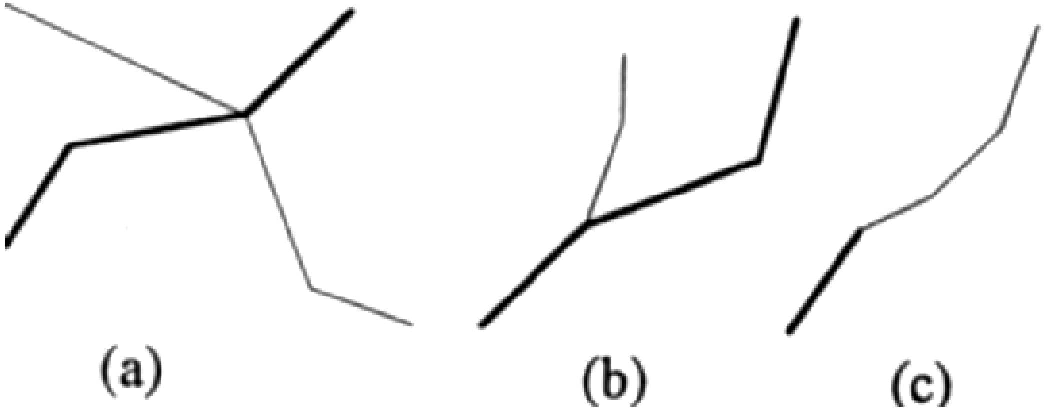
點與線的 is_on 關係



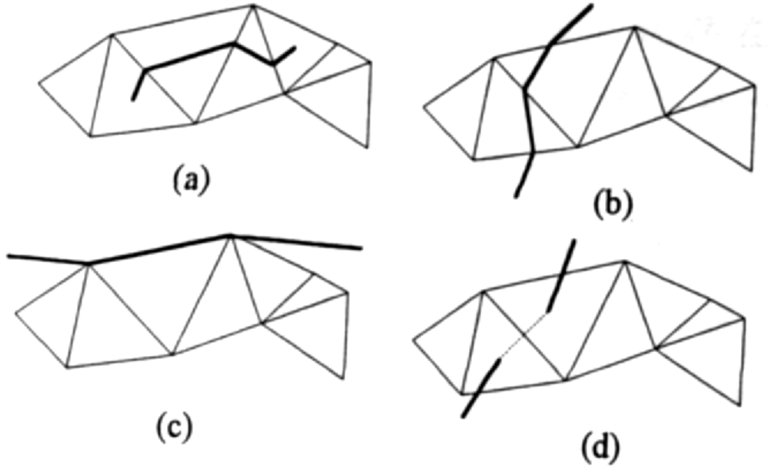
點與面的 (a)is_onborder , (b)is_on關係



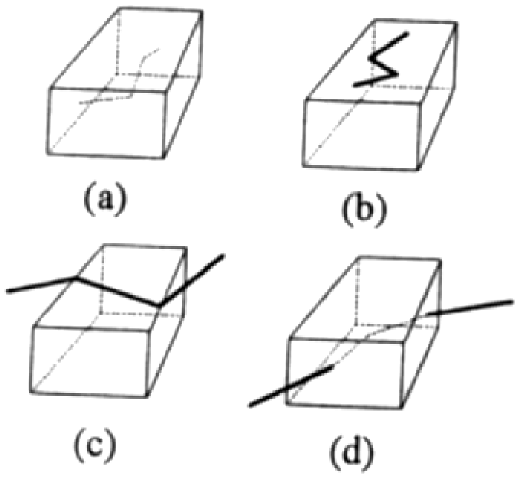
點與立體的 (a)is_on ,
(b)is_inside 關係



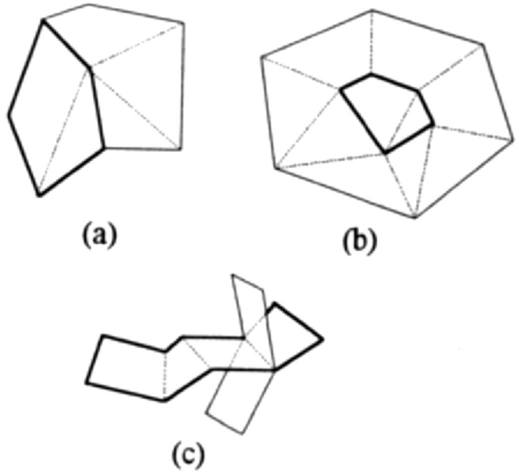
線與線的 (a)intersect , (b)is_branch ,
(c)is_link 關係



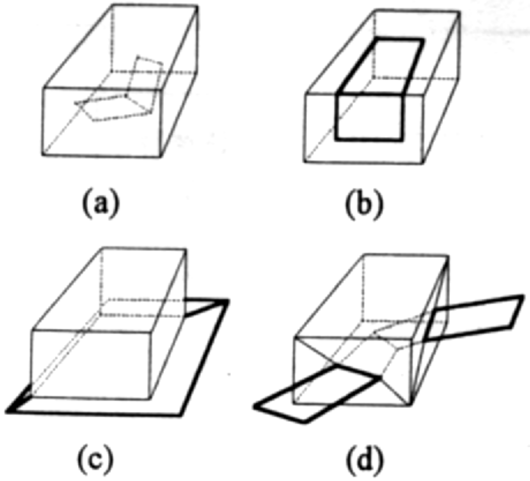
線段與表面的 (a)is_on ，
(b)(c)(d)connected 關係



線段與立體的 (a)is_inside ，
(b)is_on ， (c)(d)connected 關係

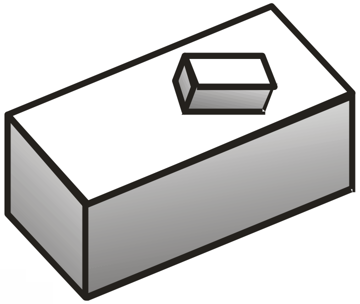


表面與表面的 (a)is_neighbor ，
(b)is_island ， (c)intersect 關係

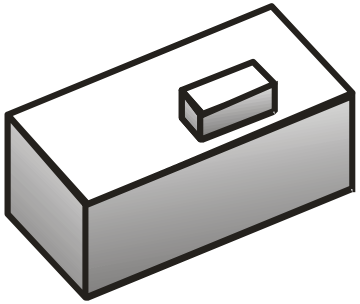


表面與立體的 (a)is_inside ，
(b)(c)is_on ， (d)intersect 關係

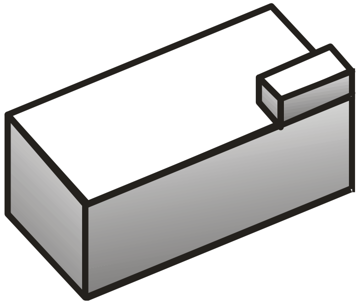
模型元件間的約制條件



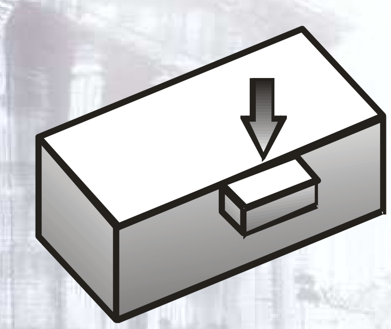
上下銜接面密合



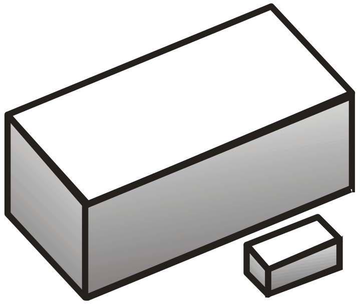
上下元件某邊緣平行



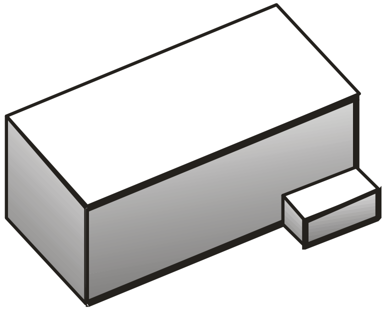
上下元件某點重合



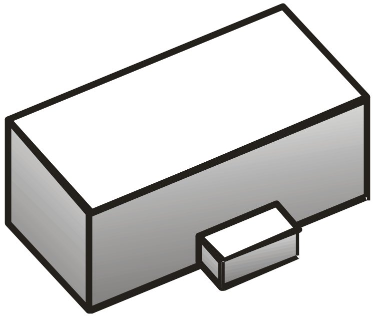
左右銜接面密合



左右元件某面平行



左右元件某點重合



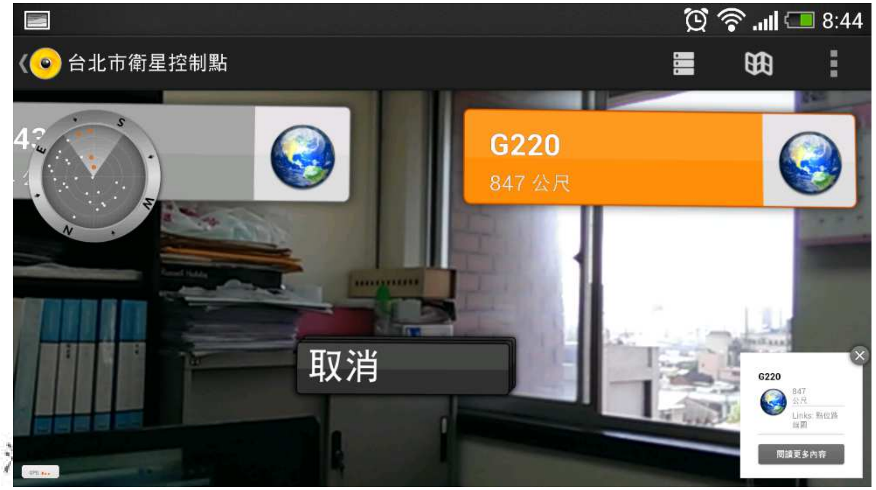
左右元件某面高程一致

Augmented Reality(AR) in GIS

- Wikitude (http://www.wikitude.org/)
  - Drive

2.0 KM
49.5KMH
49.5KM
23:40
08:48
GPS

  - World Browser


8:44
台北市衛星控制點
S
E
W
N
G220
847 公尺
取消

展望

- **3D Mapping的挑戰**
  - 新科技的運用
  - 多元感測器整合
  - 測圖方式的改變
  - 真實正射影像
- **3D Geo-visualization的挑戰**
  - 建物模塑自動化
  - 牆面材質影像敷貼自動化
  - 三維建物展現平台
- **3D Geospatial Analysis的挑戰**
  - 複雜的三維空間位相關係
  - 三維空間分析模式
  - 三維空間人機互動介面
  - Web 2.0 GIS
  - 行動 GIS 即時運算
  - 擴增實境
  - 群眾製圖

謝謝聆聽、敬請指正！

臺師大地理系：http://www.geo.ntnu.edu.tw/