



工業技術研究院

Industrial Technology
Research Institute

國立高雄應用科技大學

電機系

應用運算與多媒體實驗室

指導老師：黃敬群

學生：葉濟賢 黃偉立

結合影像和慣性元件之定位技術與系統

Outline

- ▶ 摘要
- ▶ 介紹
 - 全球定位系統(GPS)
 - 雷達(RADAR)
 - 慣性量測元件(IMU)
- ▶ 相關研究
 - 純影像之定位
 - 純慣性元件之定位
 - 結合影像和慣性元件之定位
- ▶ 結論
- ▶ 參考文獻

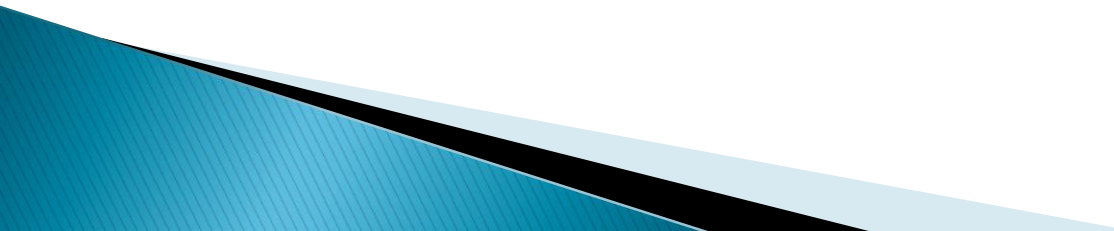
Outline

- ▶ 摘要
- ▶ 介紹
 - 全球定位系統(GPS)
 - 雷達(RADAR)
 - 慣性量測元件(IMU)
- ▶ 相關研究
 - 純影像之定位
 - 純慣性元件之定位
 - 結合影像和慣性元件之定位
- ▶ 結論
- ▶ 參考文獻

摘要

- ▶ 我們整理了近年來相關室內定位的研究，要取得室內定位資訊，大致上可分為使用純影像、純慣性元件或將影像結合慣性元件，這三大類來達到室內定位，而其中又以影像結合慣性元件最為精確。

Outline

- ▶ 摘要
 - ▶ 介紹
 - 全球定位系統(GPS)
 - 雷達(RADAR)
 - 慣性量測元件(IMU)
 - ▶ 相關研究
 - 純影像之定位
 - 純慣性元件之定位
 - 結合影像和慣性元件之定位
 - ▶ 結論
 - ▶ 參考文獻
- 

介紹

- ▶ 室內環境是一個複雜的空間，無線或衛星訊號在傳播的過程中難免受到室內建築結構的影響，造成室內精確定位的困難。

全球定位系統(GPS)

▶ 特點：

- 全天候，不易受任何天氣的影響
- 全球覆蓋（高達98%）
- 三維定點定速定時高精度
- 測站間無需通視
- 快速、省時、高效率
- 應用廣泛、多功能
- 可移動定位

雷達(RADAR)

▶ 特點：

- 同時多功能
- 傳感器融合
- 高靈敏度
- 隱身
- 反隱身
- 雷達ECCM
- 自動目標識別
- 戰場敵我識別
- 高可靠性



慣性量測元件(IMU)

▶ 3軸陀螺儀

- 量測三軸的角速度，經過換算可得尤拉角(roll, pitch, yaw)

▶ 3軸加速度儀

- 量測三軸的加速度，經過換算可得三軸的速度及位置

▶ 缺點

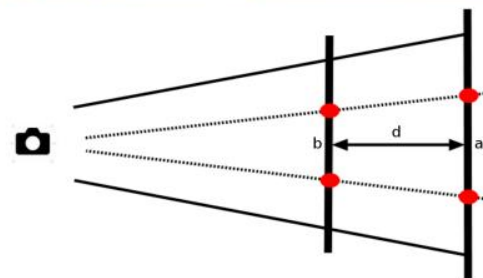
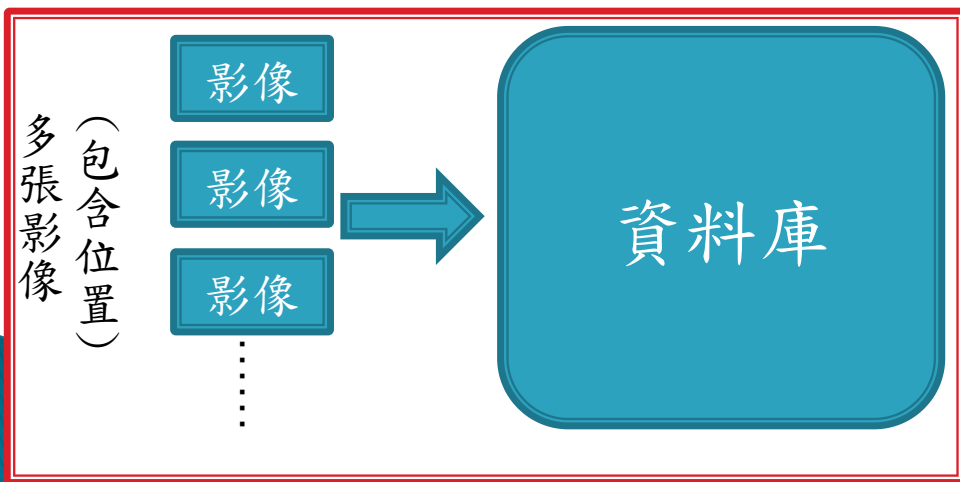
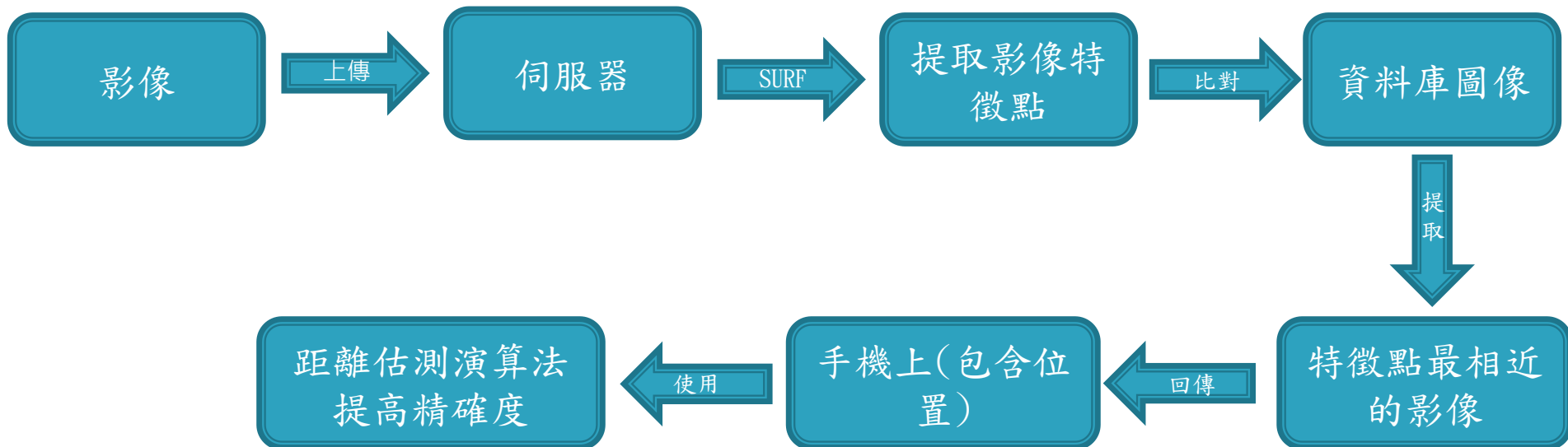
- 加速度儀與陀螺儀會隨著時間產生累積誤差

Outline

- ▶ 摘要
- ▶ 介紹
 - 全球定位系統(GPS)
 - 雷達(RADAR)
 - 慣性量測元件(IMU)
- ▶ 相關研究
 - 純影像之定位
 - 純慣性元件之定位
 - 結合影像和慣性元件之定位
- ▶ 結論
- ▶ 參考文獻

純影像之定位

Mobile Visual Indoor Positioning System



距離估測演算法

Speeded Up Robust Features (SURF)

▶ 特徵點偵測

- 尋找Hessian矩陣行列式的極值

$$H(\mathbf{x}, \sigma) = \begin{bmatrix} L_{xx}(\mathbf{x}, \sigma) & L_{xy}(\mathbf{x}, \sigma) \\ L_{xy}(\mathbf{x}, \sigma) & L_{yy}(\mathbf{x}, \sigma) \end{bmatrix}$$

$\mathbf{x}$: 影像上的某點(x, y)

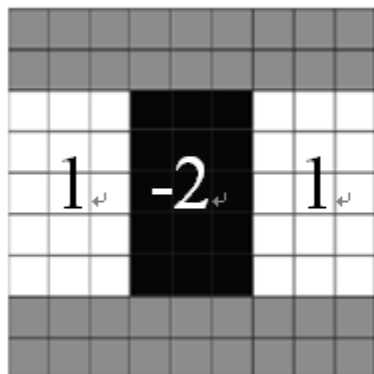
σ : 尺度

$L_{xx}(\mathbf{x}, \sigma)$: 影像上的 $\mathbf{x}$ 與高斯二階導數 $\frac{\partial^2}{\partial x^2} g(\sigma)$ 的摺積

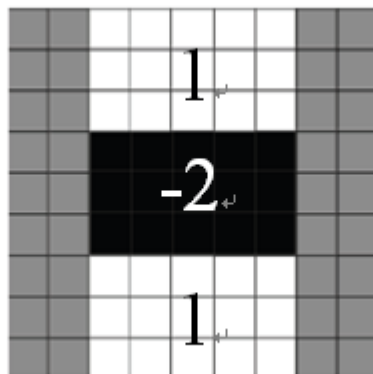
Speeded Up Robust Features (SURF)

▶ 特徵點偵測

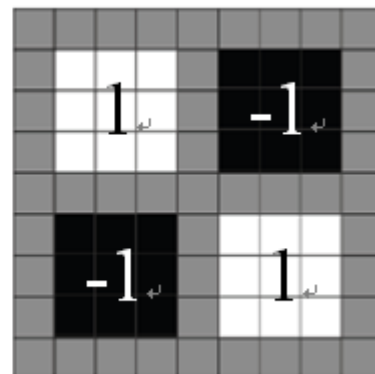
- 以盒子濾波器近似高斯二階導數



x方向



y方向



xy方向

- Hessian矩陣行列式的近似值

$$\det(H_{\text{approx}}) = D_{xx}D_{yy} - (wD_{xy})^2$$

D_{xx} : 近似原本Hessian矩陣中的 L_{xx}

D_{yy} : 近似原本Hessian矩陣中的 L_{yy}

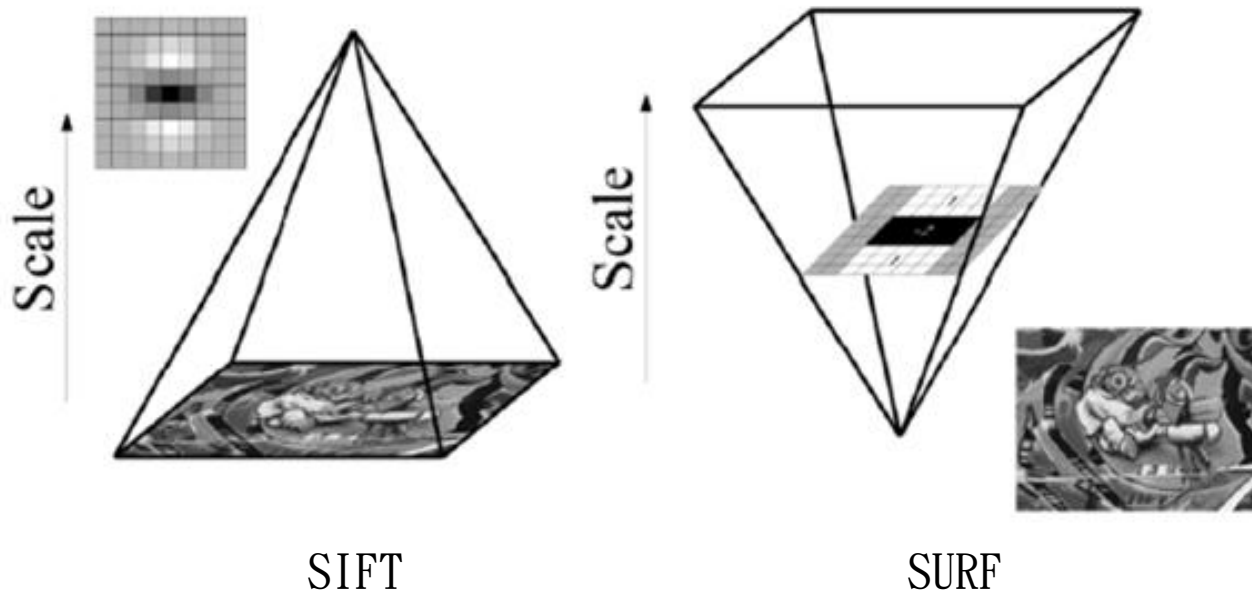
D_{xy} : 近似原本Hessian矩陣中的 L_{xy}

w : 權重係數

Speeded Up Robust Features (SURF)

▶ 特徵點偵測

◦ 建立尺度空間



SIFT: 高斯濾波器大小不變，改變影像的大小
SURF: 影像大小不變，改變盒子濾波器的大小

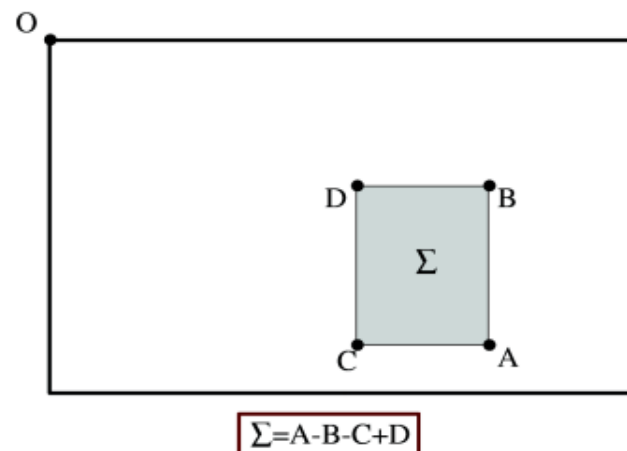
Speeded Up Robust Features (SURF)

▶ 特徵點偵測

- 由積分圖像搭配盒子濾波=>加速

$$I_{\Sigma}(\mathbf{x}) = \sum_{i=0}^{i \leq x} \sum_{j=0}^{j \leq y} I(i, j)$$

$\mathbf{x}$: 影像 I 的某點位置 (x, y)

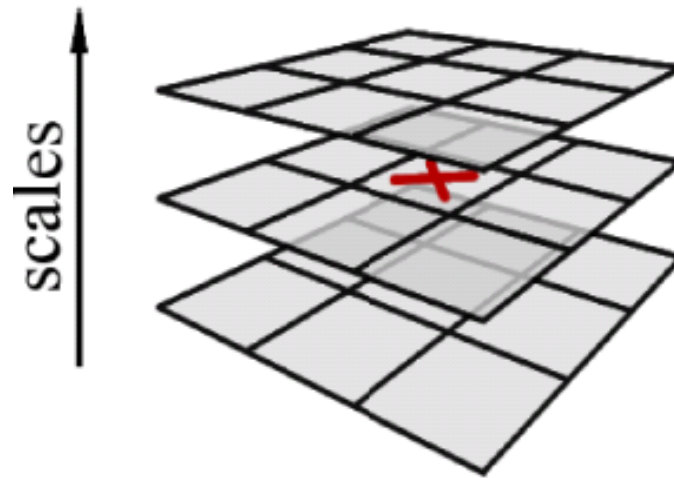


計算區域內像素值的總和

Speeded Up Robust Features (SURF)

▶ 特徵點偵測

- 找出極大值
 - 在鄰近 $3 \times 3 \times 3$ 的空間中進行非極大值抑制



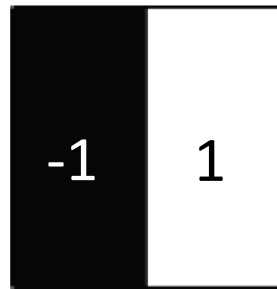
- 為了更精準的定位
 - 將Hessian矩陣行列式的極大值在影像尺度空間中做內插

Speeded Up Robust Features (SURF)

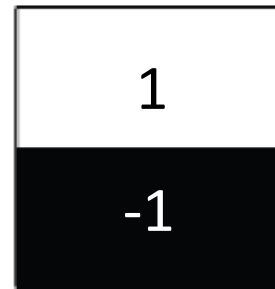
▶ 特徵點描述

- 找出區塊內所有像素的梯度強度與方向=> Haar小波濾波器

Haar小波濾波器



x方向

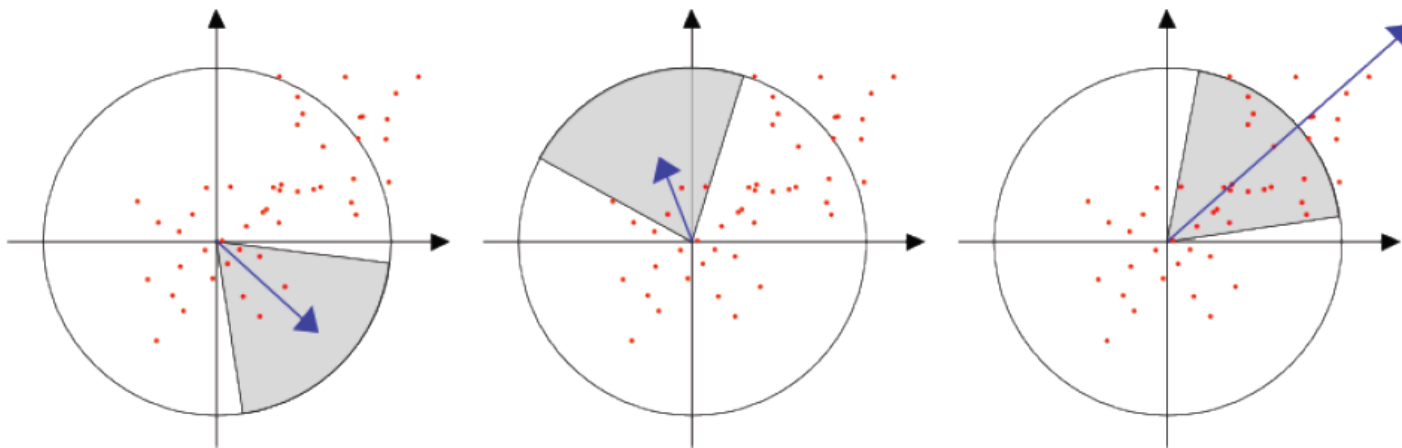


y方向

Speeded Up Robust Features (SURF)

▶ 特徵點描述

- 找出特徵點的主方向=> Haar小波響應
 - 如下圖，扇形視窗滑動整個圓，找出響應總和最大的即為特徵點的主方向



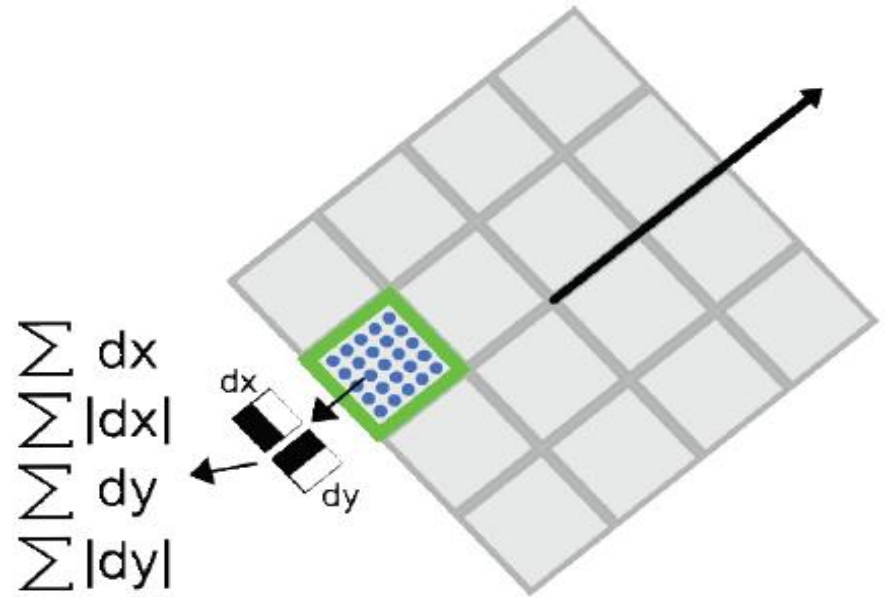
圓半徑為 6σ ; 扇形大小為 $\frac{\pi}{3}$

Speeded Up Robust Features (SURF)

- ▶ 特徵點描述
 - 特徵向量

$$\mathbf{v} = \left(\sum d_x, \sum d_y, \sum |d_x|, \sum |d_y| \right)$$

$\sum d_x$ 、 $\sum d_y$: 為 Haar 小波響應的總和



距離估測演算法

- ▶ 以此提高定位精確度

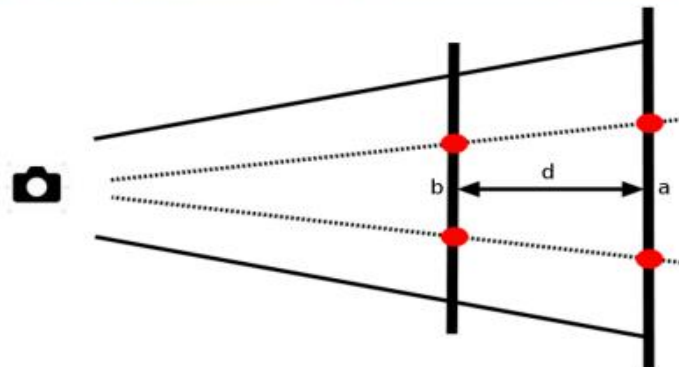
$$d = \alpha \frac{a}{b}$$

a: 相機距離較近拍攝

b: 相機距離較遠拍攝

α : 相機視野的參數

d: 估算兩圖像之間的距離



距離估測演算法示意圖

純慣性元件之定位

方法



手機掃描二維條碼

手機掃描二維條碼

下載

地圖和初始位置

使用

導航演算法

推算

下一時間點位置

取得初始位置

經由

精確的初始位置

得到

二維條碼與使用者的距離

推導

plane-to-plane homography

計算物體位移

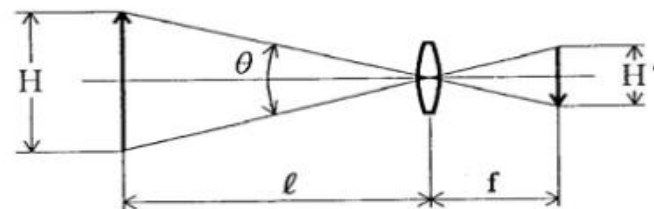
導航演算法

加速度計



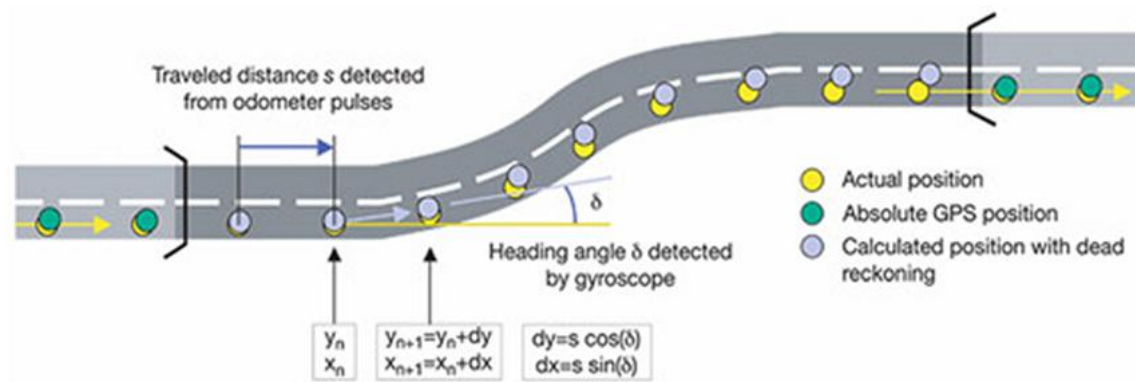
陀螺儀

計算偏移角度



推倒2維條碼到攝影機的距離

導航演算法



導航演算法概念

x_n 、 y_n : 初始位置

x_{n+1} 、 y_{n+1} :經由初始位置 x_n 、 y_n 和 dx 、 dy 計算出的下一時間點位置

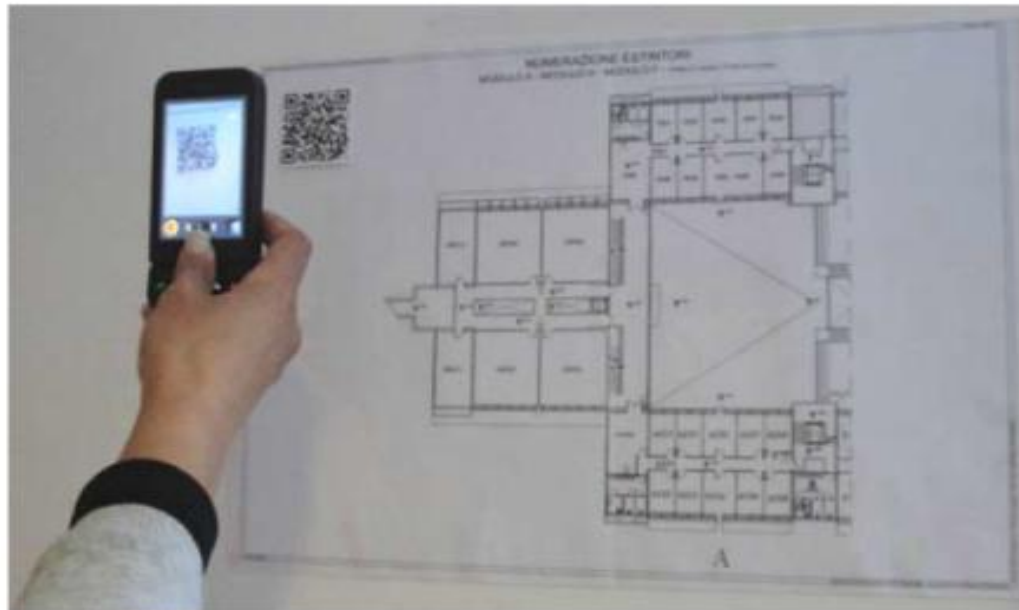
dx 、 dy : x 和 y 方向的位移

S: 位移(加速度計算出)

 δ : 角度(陀螺儀算出)

Plane-to-plane homography

推算二維條碼與使用者的距離



Plane-to-plane homography

$$\lambda \begin{pmatrix} x \\ y \\ 1 \end{pmatrix} = [P] \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{pmatrix} \quad \longrightarrow \quad \begin{pmatrix} x \\ y \\ 1 \end{pmatrix} = [P] \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z = 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

λ : 比例參數

(x, y) : 影像平面座標

P : 攝影機投影矩陣

(X, Y, Z) : 影像轉換到三維空間的座標

$$P = K[R|T] = K[r1 \ r2 \ r3 \ t] \quad \longrightarrow \quad H = [K][r1 \ r2 \ t] = \begin{bmatrix} h11 & h12 & h13 \\ h21 & h22 & h23 \\ h31 & h32 & h33 \end{bmatrix}$$

P : 攝影機投影矩陣

K : 攝影機內部參數

R : 攝影機旋轉矩陣

T : 攝影機平移矩陣

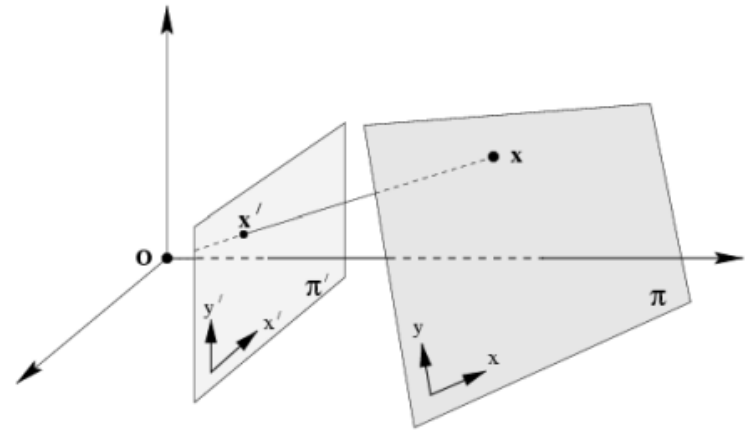
Plane-to-plane homography

$$P'_i = HP_i$$

P'_i : 由 P_i 投影在影像平面的點

H : 投影矩陣

P_i : 三維空間中令 $Z=0$ 二維平面的點



二維平面對應到影像平面

以二維條碼的四個角點 $P1'(x1,y1)$, $P2'(x2,y2)$, $P3'(x3,y3)$, $P4'(x4,y4)$ 和投影影像上的四個座標點 $P1(x1,y1)$, $P2(x2,y2)$, $P3(x3,y3)$, $P4(x4,y4)$ 帶入下式公式解出矩陣 H

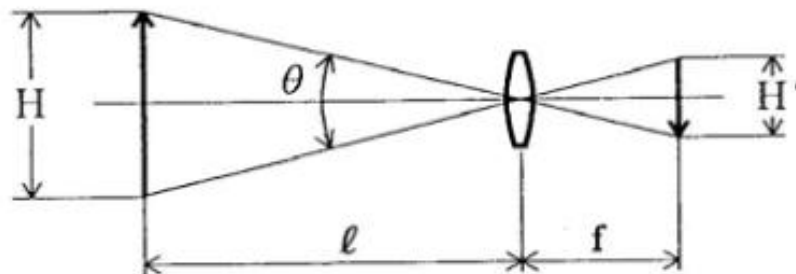
$$xi' = \frac{h11xi + h12yi + h13}{h31xi + h32yi + h33}$$

$$yi' = \frac{h21xi + h22yi + h23}{h31xi + h32yi + h33}$$

Plane-to-plane homography

將矩陣 H 經由QR分解，分解出 $\begin{bmatrix} r1 & r2 & t \end{bmatrix}$ 和內部參數 $\begin{bmatrix} K \end{bmatrix}$ ，再由 $\begin{bmatrix} K \end{bmatrix}$ 可得出焦距 f

為了提高初始位置定位的精確度：求取二維條碼與使用者的距離



H : 三維空間中二維條碼的大小

H' : 影像上二維條碼的大小

f : 攝影機焦距

ℓ : 二維條碼與使用者之間的距離

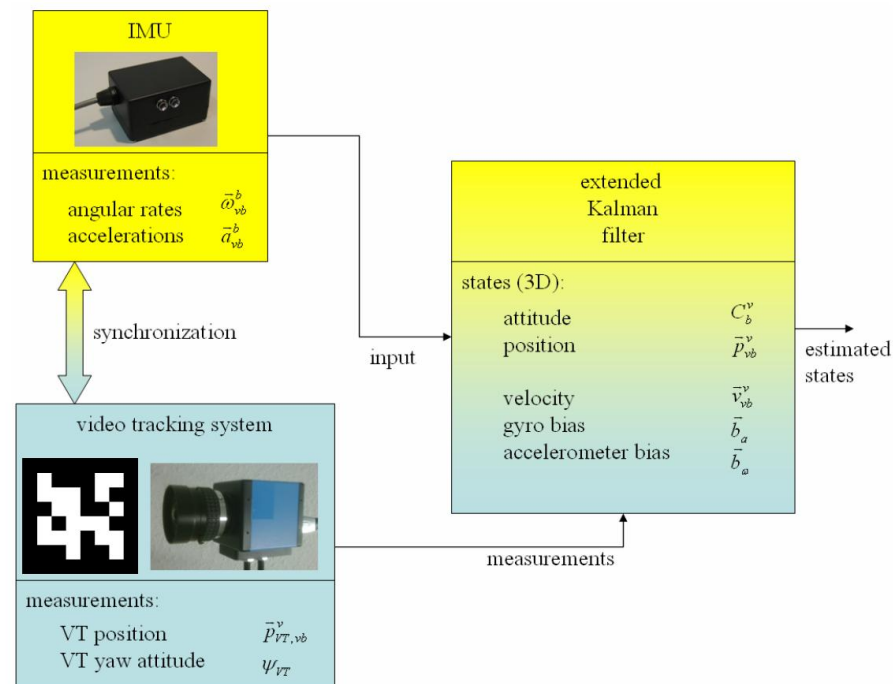
結合影像和慣性元件之定位

▶ 量測:

- 慣性量測元件
- 基於視覺的視訊追蹤系統

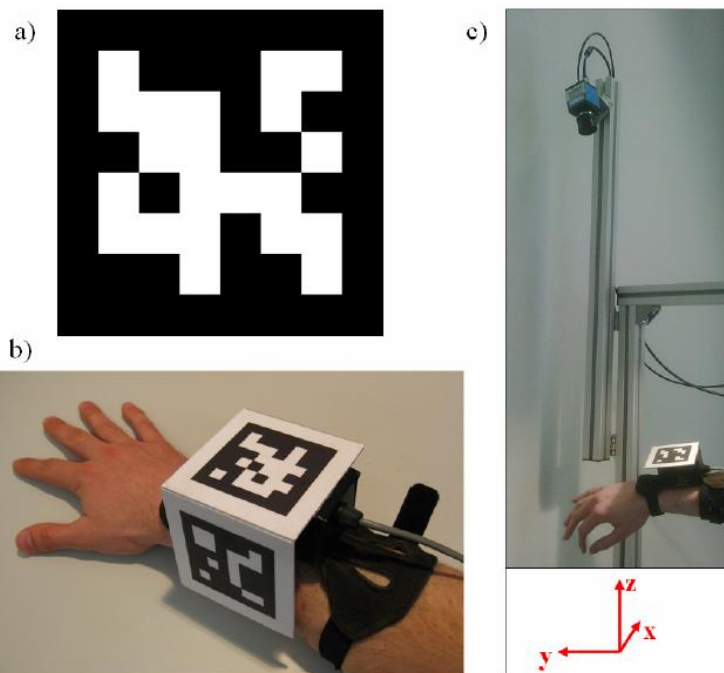
▶ 整合: 整合兩個個感測器

- 利用擴展型卡爾曼濾波器



視訊追蹤系統

- ▶ 利用一個或多個攝影機來取得移動物體的位置和姿態
- ▶ 缺點
 - 會被視線所限制，而造成資訊的遺失，例如：遮蔽



導航模型

- ▶ 導航模型可用兩個座標系來描述
 - 慣性量測元件座標系 (b-frame)
 - 攝影機座標系 (v-frame)
 - b-frame和v-frame可經過旋轉矩陣轉換，旋轉矩陣如下

$$C_b^v = \begin{pmatrix} c\psi c\theta & c\psi s\theta s\phi - s\psi c\phi & c\psi s\theta c\phi + s\psi s\phi \\ s\psi c\theta & s\psi s\theta s\phi + c\psi c\phi & s\psi s\theta c\phi - c\psi s\phi \\ -s\theta & c\theta s\phi & c\theta c\phi \end{pmatrix}, \quad (1)$$

s : sine

ϕ : roll

c : cosine

θ : pitch

ψ : yaw

導航模型

▶ 角速度與尤拉角的關係

$$\dot{\phi} = (\omega_{vb,y}^b \sin\phi + \omega_{vb,z}^b \cos\phi) \tan\theta + \omega_{vb,x}^b \quad (2)$$

$$\dot{\theta} = \omega_{vb,y}^b \cos\phi - \omega_{vb,z}^b \sin\phi \quad (3)$$

$$\dot{\psi} = (\omega_{vb,y}^b \sin\phi + \omega_{vb,z}^b \cos\phi) \sec\theta \quad (4)$$

$\vec{\omega}_{vb}^b$: 在b-frame的角速度

導航模型

▶ 動態速度

$$\dot{\vec{v}}_{vb}^v = \vec{a}_{vb}^v + \vec{g}^v = C_b^v \vec{a}_{vb}^b + \vec{g}^v \quad (5)$$

$\vec{a}_{vb}^b$: 在b-frame的加速度

$\vec{a}_{vb}^v$: 在v-frame的加速度

$\vec{g}^v$: 重力

▶ 位置微分方程

$$\dot{\vec{p}}_{vb}^v = \vec{v}_{vb}^v. \quad (6)$$

擴展型卡爾曼濾波器

▶ 系統狀態模型

$$\vec{x}_{k+1} = \vec{f}(\vec{x}_k, \vec{u}_k, \vec{w}_k)$$

▶ 系統狀態

$$\vec{x}_k = \left(\vec{\Psi}_k^T \quad \vec{p}_{vb,k}^T \quad \vec{v}_{vb,k}^T \quad \vec{b}_{\omega,k}^T \quad \vec{b}_{a,k}^T \right)^T \quad (7)$$

attitude in Euler angles $\vec{\Psi} (\phi, \theta, \psi)$,

position $\vec{p}_{vb} (x, y, z)$,

velocity $\vec{v}_{vb} (v_x, v_y, v_z)$,

angular rate sensor bias $\vec{b}_{\omega} (b_{\omega x}, b_{\omega y}, b_{\omega z})$

accelerometer bias $\vec{b}_a (b_{ax}, b_{ay}, b_{az})$

擴展型卡爾曼濾波器

► 輸入向量

$$\vec{u}_k = \left(\vec{\omega}_{vb,IMU,k}^b{}^T \quad \vec{a}_{vb,IMU,k}^b{}^T \right)^T. \quad (8)$$

$$\vec{\omega}_{vb,IMU}^b = \vec{\omega}_{vb}^b + \vec{b}_\omega + \vec{w}_\omega \quad (9)$$

$$\vec{a}_{vb,IMU}^b = \vec{a}_{vb}^b + \vec{b}_a + \vec{w}_a \quad (10)$$

$\vec{b}$: 偏差

$\vec{w}$: 雜訊

擴展型卡爾曼濾波器

► 非線性系統方程

$$\vec{f}(\vec{x}, \vec{u}, \vec{w}) = \begin{pmatrix} \vec{\Psi} + \vec{f}_{EulerUpdate}(\vec{x}, \vec{u}, \vec{w}) \\ \vec{p}_{vb}^v + \vec{v}_{vb}^v \Delta T + \frac{1}{2} \Delta T^2 (C_b^v \vec{a}_{vb}^b + \vec{g}^v) \\ \vec{v}_{vb}^v + \Delta T (C_b^v \vec{a}_{vb}^b + \vec{g}^v) \\ \vec{b}_\omega \\ \vec{b}_a \end{pmatrix}, \quad (13)$$

$\vec{a}_{vb}^b$ 取代 $\vec{a}_{vb,IMU}^b$

擴展型卡爾曼濾波器

► 尤拉角更新方程

$$\vec{f}_{EulerUpdate}(\vec{x}, \vec{u}, \vec{w}) = \begin{pmatrix} \left(\omega_{vb,y}^b s\phi + \omega_{vb,z}^b c\phi \right) \tan\theta + \omega_{vb,x}^b \\ \omega_{vb,y}^b c\phi - \omega_{vb,z}^b s\phi \\ \left(\omega_{vb,y}^b s\phi + \omega_{vb,z}^b c\phi \right) \sec\theta \end{pmatrix} \Delta T. \quad (14)$$

$\vec{\omega}_{vb}^b$ 取代 $\vec{\omega}_{vb,IMU}^b$

擴展型卡爾曼濾波器

- ▶ 量測值模型

$$\vec{z}_k = \vec{h}(\vec{x}_k, \vec{v}_k)$$

- ▶ 量測方程

$$\vec{h}(\vec{x}, \vec{v}) = \begin{pmatrix} \psi \\ \vec{p}_{vb}^v \end{pmatrix} + \vec{v}, \quad (15)$$

$\vec{v}$: 雜訊

擴展型卡爾曼濾波器

► 預測步驟

$$\vec{x}_{k+1}^- = \vec{f}(\vec{x}_k^+, \vec{u}_k, 0),$$

$$P_{k+1}^- = \Phi_k P_k^+ \Phi_k^T + W_k Q_k W_k^T,$$

P_k : 誤差共異變數

Q_k : 雜訊共異變數

$$\Phi_k = \frac{\partial \vec{f}}{\partial \vec{x}}(\vec{x}_k, \vec{u}_k, 0)$$

$$W_k = \frac{\partial \vec{f}}{\partial \vec{w}}(\vec{x}_k, \vec{u}_k, 0)$$

擴展型卡爾曼濾波器

► 校正步驟

$$K_k = P_k^- H_k^T (H_k P_k^- H_k^T + V_k R_k V_k^T)^{-1},$$

$$\vec{x}_k^+ = \vec{x}_k^- + K_k \left(\vec{z}_k - \vec{h}(\vec{x}_k^-, 0) \right),$$

$$P_k^+ = (I - K_k H_k) P_k^-.$$

K_k : Kalman gain

R_k : 雜訊共異變數

$$H_k = \frac{\partial \vec{h}}{\partial \vec{x}}(\vec{x}_k, 0)$$

$$V_k = \frac{\partial \vec{h}}{\partial \vec{v}}(\vec{x}_k, 0)$$

實驗結果

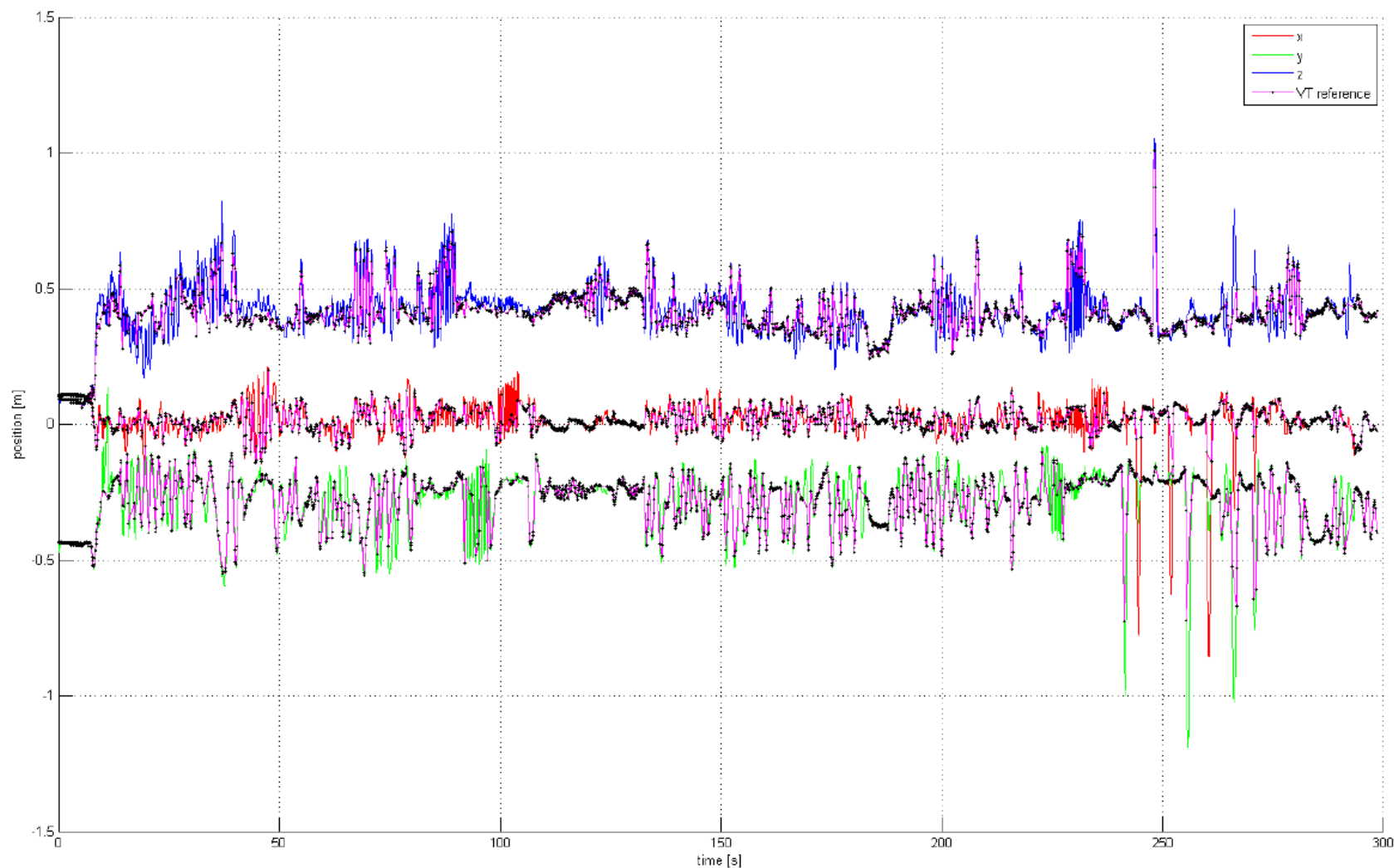


Fig. 6. EKF position estimation result and VT measurements for a real data sequence. VT measurements are shown as black dots and are linearly interpolated by the magenta line.

實驗結果

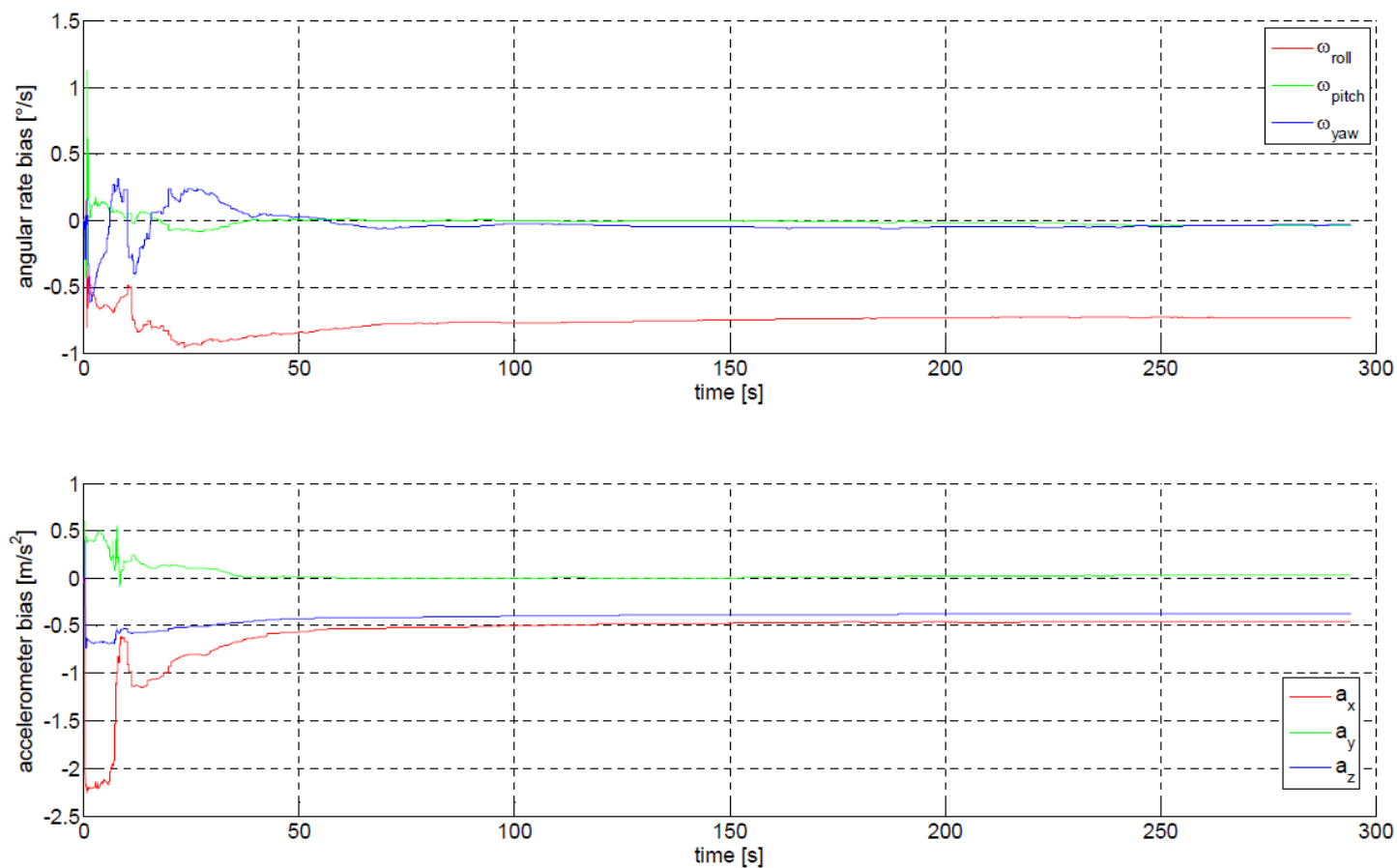


Fig. 10. EKF bias estimations for a real data sequence.

實驗結果

TABLE II
REAL DATA TEST RESULTS

test sequence	Position - mean deviation to VT [m]		
	x	y	z
1	0.0063	0.0075	0.0167
2	0.0075	0.0082	0.0137
3	0.0069	0.0067	0.0163
4	0.0072	0.0064	0.0130
5	0.0096	0.0099	0.0221
6	0.0078	0.0076	0.0168
overall	0.0075	0.0077	0.0164

test sequence	Position - maximal deviation to VT [m]		
	x	y	z
1	0.0747	0.1054	0.1434
2	0.1123	0.0846	0.1066
3	0.0964	0.1167	0.0890
4	0.0884	0.1390	0.0811
5	0.1408	0.1778	0.1489
6	0.1540	0.1093	0.0998
overall	0.1540	0.1778	0.1489

test sequence	VT measurements		
	sampling rate ¹⁾	outage max ²⁾	#outages >1s ³⁾
1	6.01	2.42	26
2	5.86	2.23	18
3	6.47	1.62	9
4	6.35	2.05	7
5	4.42	3.19	49
6	5.83	1.94	20
overall	5.8229	2.2405	21.5
¹⁾ average sampling rate in test sequence [Hz] ²⁾ longest outage in test sequence [s] ³⁾ number of outages >1s in test sequence			

Outline

- ▶ 摘要
- ▶ 介紹
 - 全球定位系統(GPS)
 - 雷達(RADAR)
 - 慣性量測元件(IMU)
- ▶ 相關研究
 - 純影像之定位
 - 純慣性元件之定位
 - 結合影像和慣性元件之定位
- ▶ 結論
- ▶ 參考文獻

結論

- ▶ 室內定位因建築環境使得衛星或雷達的定位訊號衰減，其無法由全球定位系統和雷達來實現，所以我們研讀了許多室內定位技術並且在以上做了大致的介紹，包括純影像定位、純慣性元件定位和影像結合慣性元件定位等方式，而在這之中，又以影像結合慣性元件定位的精確度最為準確，因其將影像與慣性元件利用卡爾曼濾波器整合，如實驗結果所示，可提供較小的定位誤差。

Outline

- ▶ 摘要
- ▶ 介紹
 - 全球定位系統(GPS)
 - 雷達(RADAR)
 - 慣性量測元件(IMU)
- ▶ 相關研究
 - 純影像之定位
 - 純慣性元件之定位
 - 結合影像和慣性元件之定位
- ▶ 結論
- ▶ 參考文獻

參考文獻

- [1] <http://zh.wikipedia.org/wiki/GPS>
- [2] http://en.wikipedia.org/wiki/Differential_GPS
- [3] <http://en.wikipedia.org/wiki/Radar>
- [4] Martin Werner and Moritz Kessel, “Indoor Position Using Smartphone Camera,” *In Position Location and Navigation (IPIN)*, 2011 IEEE.
- [5] D. Lowe., “Distinctive image features from scale-invariant keypoints,” *IJCV*, 60(2):91–110, 2004.
- [6] JiDuL, 2012, [Android] Utiliser et appliquer l’algorithme SIFT sur une image avec Android. Available: <http://www.jidul.com/wp/2011/07/15/android-utiliser-et-appliquer-lalgorithme-sift-sur-android/>
- [7] H. Bay, T. Tuytelaars, and L. Van Gool., “Surf: Speeded up robust features.” *European Conference on Computer Vision*, 1:404–417, 2006.
- [8] Alberto Serra, Tiziana Dessi, Davide Carbon, Vlad Popescu, Luigi Atzori “Inertial Navigation Systems for User-Centric Indoor Applications,” *NEM proceedings*, 2010.
- [9] B. Hartmann, N. Link, and G. F. Trommer, “Indoor 3d position estimation using low-cost inertial sensors and marker-based video-tracking,” *In Position Location and Navigation Symposium (PLANS)*, 2010. *IEEE/ION*, May 2010, pp. 319 – 326.
- [10] Analog Devices, Inc. All Rights Reserved, 1995–2012. Available: <http://www.analog.com>.
- [11] The Imaging Source Europe GmbH, 1991–2012. Available: <http://www.theimagingsource.com>.
- [12] H. Kato and M. Billinghurst, “Marker tracking and hmd calibration for a video-based augmented reality conferencing system,” *IWAR ’99: Proceedings of the 2nd IEEE and AC International Workshop on Augmented Reality*, p. 85, 1999.