


# 應用擴展式卡爾曼濾波器處理飛航資料以分析危害天氣

楊明浩

(行政院飛航安全委員會)

## 應用擴展式卡爾曼濾波器於無慣性裝置之飛航資料以識別風場危害

報告人: 楊明浩 副工程師  
行政院飛航安全委員會  
調查實驗室




第三屆海峽兩岸航空氣象與飛行安全研討會  
07年12月2日

## 大綱

- 飛航資料特性
- 事故背景簡介
- 擴展式卡爾曼濾波器整合飛航資料
- 應用飛航資料識別大氣危害
- 估算結果
- 討論

## 飛航資料特性~機載飛航資料



FDR

Parameter	Accuracy	Parameter	Accuracy
Attitude	±2 deg	Normal ACC	±0.45 g
Airspeed	±3%	Lat ACC	±0.05 g
Ground Speed	Depend	Long ACC	±0.05 g
Drift Angle	Depend	TAT	±2°C
Wind Speed	Depend	AOA	Depend
Wind Dir	Depend	Lat/Long	Depend

**Dead Reckoning**  
The sensors mounted on the aircraft to obtain the state of aircraft

**Benefits:**  
The accuracy is higher for the sensors' measurements. The data's sampling rate could be higher.

**Disadvantages:**  
The position is obtained by integration and the error of position will be accumulate.

$$P(t) = P_0 + \left( \int (V_0 + \int Acc(t) * dt) * dt \right)$$

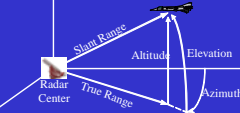
## 飛航資料特性~航管雷達資料

	次級雷達	初級雷達
<b>系統性誤差</b>		
斜距偏差	小於100公尺	小於100公尺
斜距增益誤差	小於1公尺/哩	小於1公尺/哩
方位角偏差	小於0.1度	小於0.1度
系統時間誤差	小於0.1秒	小於0.1秒
<b>隨機誤差</b>		
斜距誤差標準差	小於70公尺	小於120公尺
方位角誤差標準差	小於0.08度	小於0.15度
<b>短暫跳移</b>	少於0.05%	少於0.05%

**Radio Return Signal**  
Radio wave or frequency to detect the time/orientation of the aircraft, such as Radar, GPS...

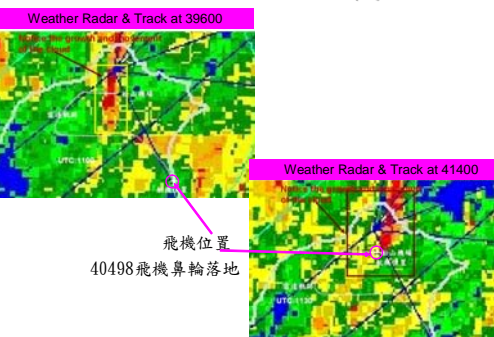
**Benefits:**  
The error is independent and doesn't accumulate with time.

**Disadvantages:**  
The Position's error is depended on the wavelength of radio or detection method.



Using survey,  $r$  - bearing angle...

## 事故背景簡介 (1)



飛機位置  
40498 飛機鼻輪落地

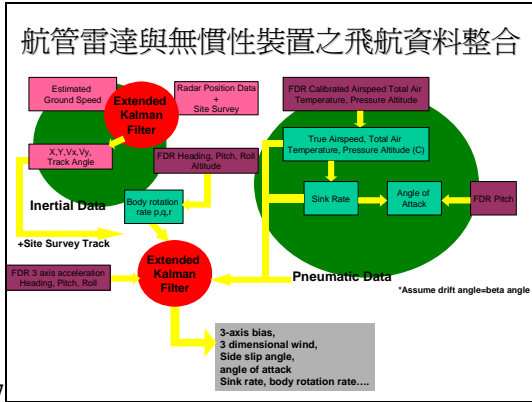
## 事故背景簡介 (2)

Evaluate how much factual information do you have

- Limited FDR Data
  - Lacking ground speed, drift angle, wind information, position
- Limited Terminal Radar Data
  - Low sampling rate, aircraft flight into blind area
- Other Useful Information
  - MM5 wind, AWOS wind, LLWAS, Other two flights

What's the Key issue for this occurrence.....

- Whether wind was a key issue or not..?
- The flight path was not easy to determine through the recorded data
- How severity of the weather....?



### 應用飛航資料識別危害天氣

**風切危害因子 (F\_factor)**  
 遭受風切影響後能量損失，是否大於飛機剩餘推力 (Excess Thrust) 作為強度指標

**亂流危害因子 (Eddy Dissipation Rate)**  
 亂流指數 (Turbulence Index) 為透過瞬間與平均之湍流消散率 (EDR) 描述湍流外傳過程中動能消失速率透過所風流對飛機影響透過輸入與輸出，將亂流風場視為系統輸入，飛機垂直加速度視為風場輸入下之系統反應

**瞬間風切危害因子 (F)**

$$E_T = V_{cl} \left[ \frac{T-D}{mg} - \left( \frac{W_{cl} \cos \gamma}{g} - \frac{W_{cl} \sin \gamma}{V_{cl}} + \frac{W_{cl} \sin \gamma}{V_{cl}} \right) \right]$$

**湍流消散率 (EDR)**

$$e^2(t) = \frac{\sigma^2(t)}{0.7V^{2/3}T(t)}$$

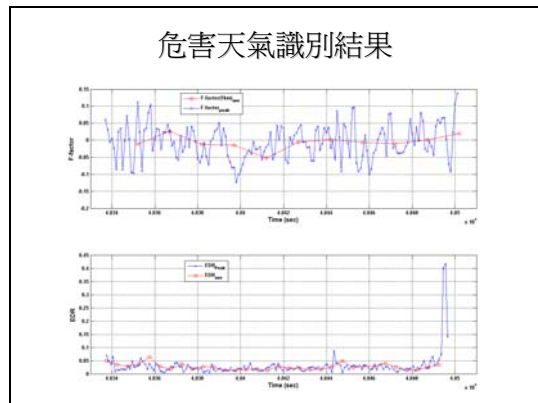
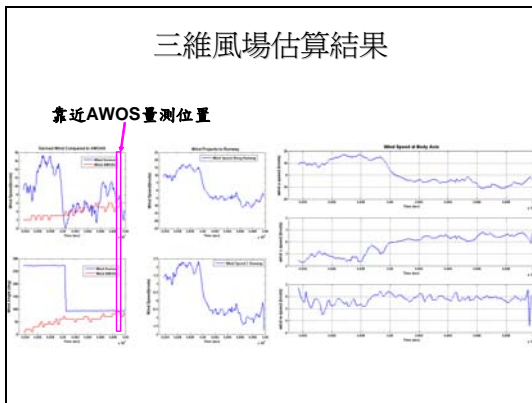
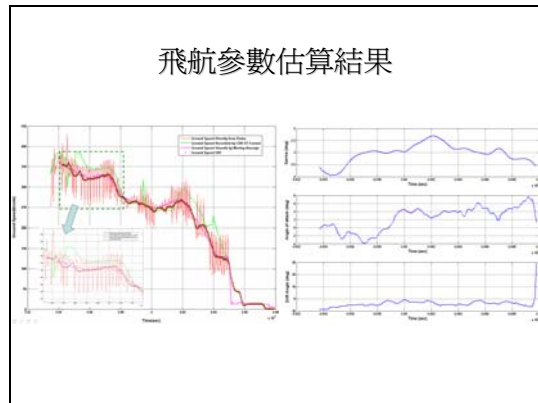
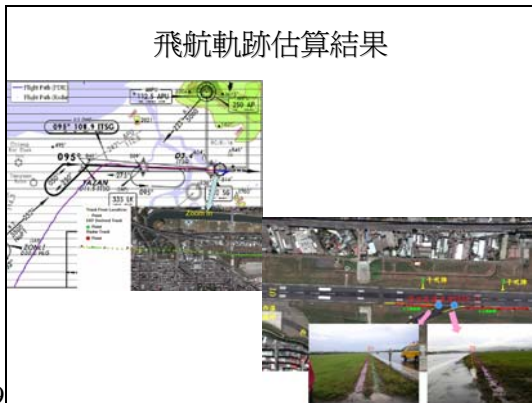
**1公里平均風切危害因子**

$$\bar{F} = \frac{1}{L} \int_{t-L}^{t+L} F ds$$

0.1為危險門檻值，  
 超過0.13為風切警告門檻值

Average value of turbulence	Peak value of turbulence							
EDR (m <sup>2/3</sup> /s)	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
0.1	0	3	6	10	15	20	25	30
0.2	2	4	7	11	16	21	26	31
0.3	3	6	10	15	20	25	30	35
0.4	4	8	13	19	25	31	37	43
0.5	5	10	16	23	30	37	44	51
0.6	6	12	19	27	35	43	51	59
0.7	7	14	22	31	40	49	58	67
0.8	8	16	25	35	45	55	65	75
Statement								

8



- ### 結論
- 透過EKF可整合無慣性裝置之飛航資料、航管雷達資料及現場量測，並可互補不同資料之特性及處理不同來源資料之誤差，以估算未記錄之飛航參數。
  - 該機於無線電高度2500呎以下側風量值極小，40397時至40412時曾遭遇風切，當時風向由尾風轉變成頂風，其強度未達危害程度。
  - 該機開始偏離跑道時，未發現風場存在顯著變化。
  - 該機落地前可能遭遇地面效應，導致三維風場於機軸分量出現擾動，其擾動經分析達到中度亂流。
  - 危害天氣識別時，由於風切為風場趨勢變化，宜透過1公里平均風切危害因子；亂流為瞬間風場變動，因此宜瞬間湍流消散率則較能看出大氣擾動。
- 13