

# 智慧車輛設計與實務—個人報告

電動貨卡組

王邑安

R12522615

1	任務(一) 量測/預估車輛之偏擺轉動質量(Yaw Moment of Inertia) .....	2
1.1	量測車輛之偏擺轉動質量.....	2
1.1.1	懸吊法 Suspension Method .....	2
1.1.2	扭擺法 Torsion Pendulum.....	2
1.2	預估車輛之偏擺轉動質量.....	3
1.2.1	雙重擴增卡爾曼濾波法.....	3
1.2.2	最小平方法回歸.....	4
1.2.3	經驗公式法 .....	4
1.3	執行.....	5
2	任務(二) Double lane change(ISO-3888-2 2011) 轉向角規劃.....	6
2.1	假設.....	6
2.2	路徑規劃到轉向規劃.....	6
2.3	執行與日後目標.....	8
3	工作日誌.....	8

## 1 任務(一) 量測/預估車輛之偏擺轉動質量(Yaw Moment of Inertia)

### 1.1 量測車輛之偏擺轉動質量

一般來說，想要獲得一個非均質物體的轉動質量，需要先知道該物體的質心位置，然後積分每立方單位的重量乘以距離質心的平方，得到該物體正確的轉動質量。或是準確量測各部件之轉動質量，再依據各部件與質心的距離依平行軸定理，求得全體轉動質量之和。然而，由於車輛有其複雜性與附載的變動性，難以透過上述之方法直接計算車體之轉動質量。因此，車輛的偏擺轉動質量精確值，通常需使用量測的方式逆推。在 20 世紀，就有論文提出使用鐘擺的原理量測飛機、車輛的轉動質量。量測方法大致上可分為兩種，一種是懸吊法，另一種是扭擺法。基本上都是透過分析擺盪物體的動態，來回推轉動質量。具體的公式會依機具的不同而有不同的推導方式。但是量測法的成本通常都頗高，而且只能量測車輛在空負載或固定負載下的轉動質量。如果車輛有了多餘的載重，需要另外求得該負載的轉動質量與相對車輛質心的距離，才能透過平行軸定理獲得變動後的轉動質量。

#### 1.1.1 懸吊法 Suspension Method<sup>i</sup>

懸吊法的基本原理與公式:

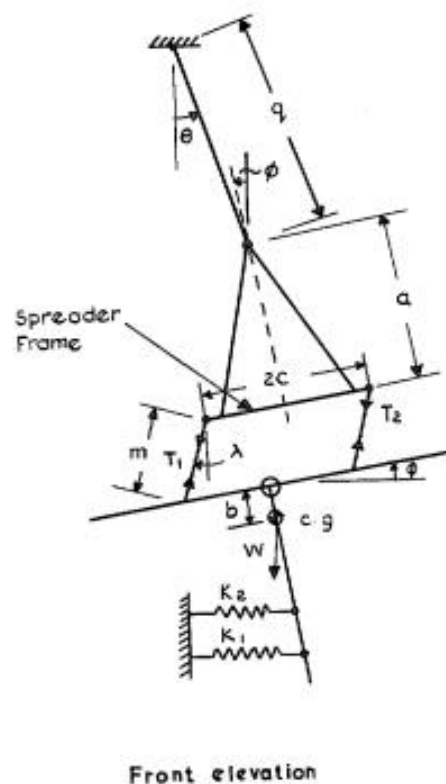
- 將載具從單一點懸掛起來，前後兩側分別用彈簧作為約束，以獲得扭轉方向的約束條件。
- 扭轉慣性矩  $I_{zz}$  可以通過下式求得:

$$I_{zz} = \frac{\sum(Kl^2)}{\omega_1^2}$$

其中  $\sum(Kl^2)$  是前後彈簧剛度和臂長的總和， $\omega_1$  是扭轉振盪的固有頻率。

#### 1.1.2 扭擺法 Torsion Pendulum<sup>ii</sup>

扭擺法的基本原理與公式:



- 將載具放在一個可以繞垂直軸轉動的測試平台上,利用螺旋彈簧提供復位扭矩。
- 扭矩慣性矩 $I_{zz}$ 可以通過下式計算:

$$I_{zz} = T^2 \frac{C_T}{4\pi^2}$$

其中 $T$ 是測試平台載有載具時的擺動週期, $C_T$ 是彈簧提供的扭轉剛度。

## 1.2 預估車輛之偏擺轉動質量

若無法藉由量測來獲得車輛的轉動質量，便只能透過推估的方式來獲得大概的數值。這也是多數研究採用的方法。然而，雖然車輛轉動質量可以用很多方法去推估，但其中有些方法只能得到 $I_{xx}$ ， $I_{yy}$ ，能夠較準確預估「偏擺方向」的轉動質量之方法仍然有限。

### 1.2.1 雙重擴增卡爾曼濾波法<sup>iii</sup>

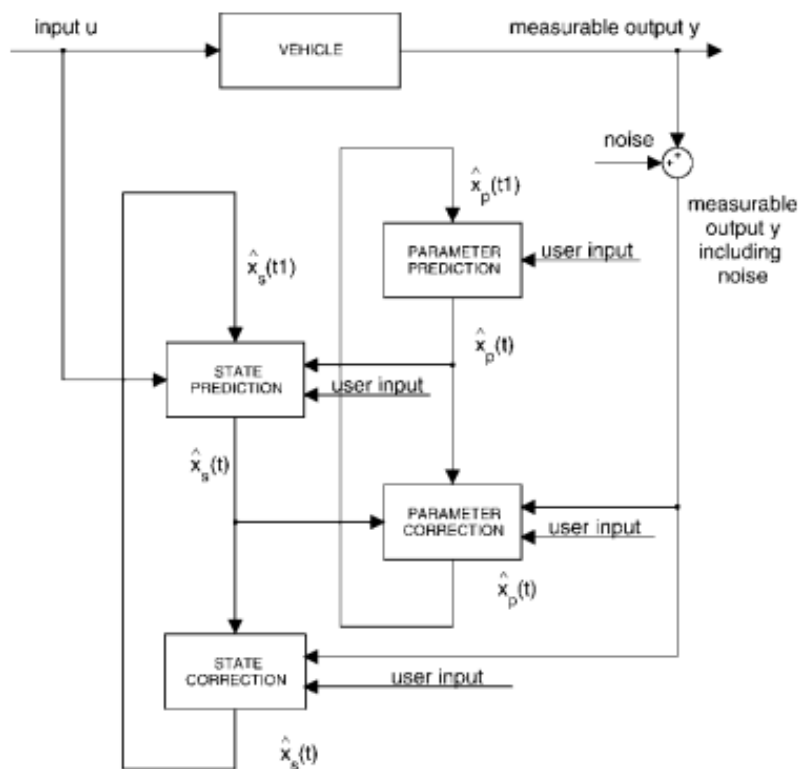


Figure 2. Scheme of DEKF.

雙重擴增卡爾曼濾波器法 Dual extended Kalman filter，簡稱 DEKF。卡爾曼濾波器是一種時域的濾波器。首先我們先假設我們能準確獲得車輛的各種動態數據，如: steer angle、四輪各

自的轉速等等，再將欲量測的變數分為兩類，一類是車輛的狀態變數(會一直改變的) $x_p$ ，有速度、加速度還有 slip angles 等等。另一類是車輛的常態變數(不會變的) $x_s$ ，有質心位置、yaw moment of inertia 等。然後針對這兩類的變數建立卡爾曼濾波器(EKF)，並偵測車輛跑動的數據，輸入給這兩個 EKF，同時這兩個卡爾曼濾波器也會互相修正，最後  $x_s$  的 EKF 會收斂，便可以關掉它，只剩下  $x_p$  卡爾曼濾波器繼續獲得當下的車輛狀態。

文獻指出，一個車輛輪胎模型的準確性會大大的影響  $x_s$  卡爾曼濾波器的結果，代表轉動質量的預估結果可能高達 20%，但也有可能僅 4%。但是  $x_p$  卡爾曼濾波器相對強韌，車輛的狀態變數不會因為模型的不準確而出現太大的誤差。

### 1.2.2 最小平方回歸<sup>iv</sup>

LSR 是另一種推估車輛的轉動質量之方法，全名為最小平方回歸法。LSR 就是將離散的數據取逼近的回歸線，以得到最小誤差的方法。這篇論文將車輛簡化為二輪的 single-track vehicle model。輸入有側向加速度、轉向加速度、後輪側向力等。其中，轉向、側向的加速度由 GPS 和其他感測器獲得，但是因為會有誤差(車輛的朝向有可能偏左偏右)，所以需先透過 LSR 修正過 bias angle。而後輪側向力則由輪胎的鬆弛長度推估，一樣，鬆弛長度也會通過 LSR 修正。最後，當獲得了修正過的動態車輛數據後，便可以再用最小平方方法推估車輛的轉動質量了。參考文獻的這篇論文說，用他的方法在 CarSim 裡跑過後，與 CarSim 自己推估的  $I_{zz}$  相差僅 1.5%，但是作者有提到，CarSim 的  $I_{zz}$  無法保證是準確的，所以並不能代表套用 LSR 法將可以準確的預測車輛轉動質量。

### 1.2.3 經驗公式法<sup>v vi</sup>

SAE 有分文獻統整歷年不同學者提出的經驗公式，雖然論文有將他們進行仔細的評估，但是該經驗公式都是針對 20 世紀的車輛而來的，與現代車輛已有不小的差異，而且 EC35 貨卡為電動車，重量分布應與油車有不小差異，拿來評估我們貨卡組的  $I_{zz}$  可能不太適合。

另有一篇經驗公式的文獻透過蒙地卡羅法將大量的車輛參數與轉動質量樣本作線性化，目的是要找出一條誤差較小的公式  $I = f^*(m, l_{12}, b, H, h_{CG}, L)$ 。該篇文獻提出了經驗公式最吸引人的部分在於大部分需要輸入的車輛參數都是較容易獲得的，無須經過複雜的量測。

### 1.3 執行

對於上述獲得車輛轉動質量之方法，我們列出了一項評估表：

評估 $I_{zz}$ 的方式	誤差 error (relative)	使用成本 cost(relative)	備註
Measure vehicle yaw moment of inertia (Suspension method)	small	large	
Measure vehicle yaw moment of inertia (Torsion pendulum)	small	large	
Estimate by model(DEKF)	middle	middle	儘管車輛參數的誤差可能稍大，但是可以同時獲得相對準確的車輛動態變數 states variables
Estimate by model(LSR)	middle	middle	
Empirical equation	big	small	

首先，藉由量測獲得之車輛慣性矩應是最為準確的，但是的兩個量測方法都需要有專業的儀器，考量到成本，我們判斷這些量測應不會在計畫中執行。準確度其次的是藉由動態參數預估車輛轉動質量之方法，而比起直接在 EC35 實車上加裝感測器，在模擬環境內讓車輛模型移動，再從車輛模型上獲得動態參數應該是較為容易且實際的做法。不過由於目前車輛模型尚未完善，動態參數預估車輛轉動質量的方法就先保留。而用經驗公式來預估的車輛慣性矩雖然準確度較差，但是由於其所需的參數容易獲得，並且獲得之答案與實際數值仍具有

高相關性，所以我們目前先採用此方法。篩選論文中，誤差最低的經驗公式為：

$$I_z = 0.279 \cdot l_{12}^{0.166} \cdot b^{0.042} \cdot H^{0.357} \cdot m^{0.798} \cdot h_{CG}^{-0.343} \cdot L^{1.829}$$

where:

$m$  - mass of a vehicle,

$l_{12}$  - wheel base,

$b$  - average wheel track,

$H$  - vehicle height,

$h_{CG}$  - center of gravity height (COG height),

$L$  - vehicle length.

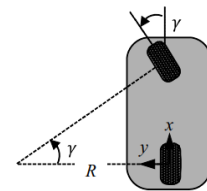
試算結果為:  $2.3704 \times 10^2 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$

## 2 任務(二) Double lane change(ISO-3888-2 2011) 轉向角規劃

### 2.1 假設

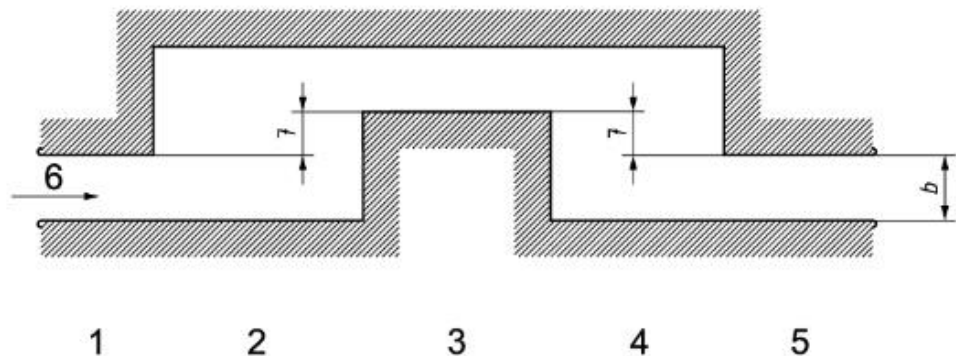
預設 EC35 貨卡的轉向系統為完美的前輪轉向，當車子在轉彎時，左前輪軸的延伸線與右前輪軸的延伸線剛好交於後輪軸上的一點。基於此條件下，便可將 EC35 貨卡模型視為廣為使用的 Bicycle Model，前後軸都各視為單輪，前輪有轉向角時，前軸的延伸線會與後軸的延伸線交於一點，而後軸中點與該焦點的距離即可視為車輛轉彎時的旋轉半徑。

此外，假設車子在進行轉向時沒有側滑，所以前輪朝向 $\xi$ (路徑切線)與車輛後軸座標 $\psi$ 為基準的轉向角相等。



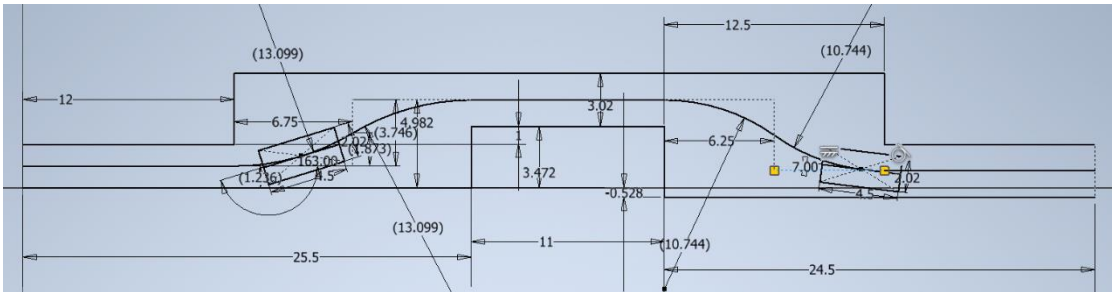
Bicycle Model

### 2.2 路徑規劃到轉向規劃



ISO-3888-2 規範道路

我最初的想法，是將貨卡在切換車道的區段(section2&4)各用兩個圓弧切來當作它的路徑，其他區段車輛的轉向角完全為 0。這麼做的話，便可以有條件地將轉向曲率κ視為常數。



用 CAD 畫出來的路徑

由於 2.1 的假設，我們首先將車子視為完美的依照規畫路徑行走，此時車子的位置、朝向為時間的函數，如下列公式:

$$\begin{bmatrix} x(t) \\ y(t) \\ \varphi(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x(0) \\ y(0) \\ \varphi(0) \end{bmatrix} + \int_0^t \begin{bmatrix} \varphi(t) \\ \varphi(t) \\ \kappa(t) \end{bmatrix} v(t) dx$$

又因為在 ISO-3888-2 中，車子速度須為定值(80km/h)，且我們的車輛規劃路線又為曲率隨區段固定的路徑，所以上述公式會演變成下列式子:

$$\begin{cases} \psi(t) = \psi_0 + \kappa_n vt \\ x(t) = x_0 + \frac{1}{\kappa_n} [\sin(\psi_0 + \kappa_n vt) - \sin(\psi_0)] \\ y(t) = y_0 - \frac{1}{\kappa_n} [\cos(\psi_0 + \kappa_n vt) - \cos(\psi_0)] \end{cases}$$

接下來便靠作圖法得知 x(t)和 y(t)，帶入上述三式，便可得知幾秒時我們貨卡的迴轉半徑為:

Time(s)	0~0.54	0.54~0.859	0.859~1.178	1.178~1.673	1.673~1.973	1.973~2.273	2.273~2.813
κ	0	1/13.09947	-1/13.09947	0	-1/10.74377	1/10.74377	0

將每秒的曲率半徑轉換為車子的轉向角，便可得知車子在第 t 秒時的轉向命令。

## 2.3 執行與日後目標

實際執行後，發現車子再轉向時由於速度太快了，一旦轉彎便發生側滑，超出規定邊界。目前規劃的路徑太理想了，原本筆直行駛的車子沒辦法在瞬間將輪胎打到指定角度，而且，高速行駛下的貨卡在劇烈變換轉向角的時候勢必會有側滑現象。未來，我們需要修改轉向命令。規劃出曲率連續的路徑，如此一來貨卡的轉向更為平滑，應可以降低側滑的發生率。目標是找到一條不會發生側滑的路徑，或是即便車子側滑了偏移量也較低的路徑，讓車子在測試時可以保持在規定邊界內。

## 3 工作日誌

網址:

[https://docs.google.com/spreadsheets/d/136l6t1QK8WVLikhP79VT\\_xgPeMalyJslUWt7zZUD5s/edit?usp=sharing](https://docs.google.com/spreadsheets/d/136l6t1QK8WVLikhP79VT_xgPeMalyJslUWt7zZUD5s/edit?usp=sharing)

- 
- <sup>i</sup> Woodfield, A. A. (1969). Measurement of the yawing moment and product of inertia of an aircraft by the single point suspension method: theory and rig design. Reports and memoranda (Aeronautical Research Council (Great Britain)), No. 3607.
  - <sup>ii</sup> HEJTMÁNEK, Petr, et al. Measuring the yaw moment of inertia of a vehicle. J. Middle Eur. Constr. Des. Cars, 2013, 11.1: 16-22.
  - <sup>iii</sup> Wenzel, Thomas A., et al. "Dual extended Kalman filter for vehicle state and parameter estimation." Vehicle system dynamics 44.2 (2006): 153-171.
  - <sup>iv</sup> Yu, Zitian, Xiaoyu Huang, and Junmin Wang. "A least-squares regression based method for vehicle yaw moment of inertia estimation." 2015 American Control Conference (ACC). IEEE, 2015.
  - <sup>v</sup> Fundowicz, Piotr, and Hubert Sar. "Estimation of mass moments of inertia of automobile." 2018 XI International Science-Technical Conference Automotive Safety. IEEE, 2018.
  - <sup>vi</sup> MacInnis, Duane D., et al. "A Comparison of Moment of Inertia Estimation Techniques for Vehicle Dynamics Simulation." SAE Transactions, vol. 106, 1997, pp. 1557-75. JSTOR