

# 以程式模擬汽車煞車時的減速度運動

4106021061 王品淳

\* 程式執行：執行檔和所有程式所需的檔案與資料皆在「build」資料夾中。打開「build」資料夾中的「exe.win-amd64-3.7」資料夾，執行「Physics.exe」

## 前言

台灣車禍頻繁，安全距離的觀念雖然人人都有聽過但是似乎實踐上還是不完全，沒有保持安全距離容易造成反應不及而增加車禍機率。本專案欲藉由模擬汽車加速度運動與道路種類、輪胎種類及煞車皮種類的不一樣來展示汽車煞車減速時所需的距離和時間及速度的變化，以Pymunk Physics Engine模擬物理運動，最後繪製X-T、V-T、A-T圖來顯示模擬結果。使用語言：Python。

## 資料回顧

煞車來令片的摩擦力資料來自於自由時報2016年的報導：想要煞車「煞很大」，來令片怎麼選差很多！

	煞車來令片等級(摩擦係數 $\mu$ )						
第一個英文字母 (常溫 0-250°C)	E	E	F	F	F	G	G
第二個英文字母 (高溫 250°C-680°C)	E	F	E	F	G	F	G

註：E 摩擦係數為  $0.25 \leq \mu \leq 0.35$

F 摩擦係數為  $0.35 \leq \mu \leq 0.45$

G 摩擦係數為  $0.45 \leq \mu \leq 0.55$

道路、輪胎類型的摩擦係數資料來自於Nuhindro Priagung WIDODO, Suseno KRAMADIBRATA, Abdul ROHMAN, Yudhidya WICAKSANA, Fajar HERMAWAN於2009年出版的論文：*Rolling Resistance study of gravelly sand material on laboratory scale*

Tire type	Surface		
	Concrete	Medium Hard Soil	Sand
Passenger car	0.015	0.08	0.30
Truck	0.011	0.06	0.25
Tractor	0.020	0.04	0.20

## 研究方法及步驟

本專題納入三個因素，分別是：道路種類、輪胎種類及煞車皮種類。透過這三個因素的摩擦係數算出理想的減速度，再透過算式轉換成Physics Engine中的減速度參數，使黃色汽車進行減速度運動的模擬。模擬時儲存模擬的速度、時間、距離、減速度等資訊，待車子減速度至零之後動態繪製X-T圖、V-T圖、A-T圖呈現給使用者模擬的資料。

## 應用程式說明

使用者打開應用程式時會看到以下這個介面。使用者可以選擇想要模擬的道路類型、輪胎類型、煞車皮類型，下面就會出現相對應的摩擦係數。道路類型有分為：Concrete、Medium Hard Soil、Sand，輪胎類型分為：Passenger Car、Truck、Tractor，煞車皮類型分為：EE、FF、GG三種。使用者選擇好欲模擬的情況後，按下旁邊的「Start」按鈕即可開始模擬，應用程式執行時隨時可以按下「Quit」按鈕結束程式。

Road Type	Tire Type	Brake Pads Type
<input type="checkbox"/> Concrete	<input type="checkbox"/> Passenger Car	<input type="checkbox"/> EE
<input type="checkbox"/> Medium Hard Soil	<input type="checkbox"/> Truck	<input type="checkbox"/> FF
<input type="checkbox"/> Sand	<input type="checkbox"/> Tractor	<input type="checkbox"/> GG

\_\_\_\_\_ Road & \_\_\_\_\_ Tire Friction of Coefficient:
 \_\_\_\_\_ Brake Pads Friction of Coefficient:



按下「Start」按鈕後，程式會以使用者選擇的摩擦係數進行計算，算出理想的減速度後會換算成程式裡Pymunk Physics Engine的減速度、速度參數進行減速度運動。需注意的是摩擦係數所直接計算出的理想減速度和實際模擬出來的減速度運動有些微的差距（此部分在程式邏輯中詳述）。黃色車子進行減速度運動時上方會顯示理想減速度

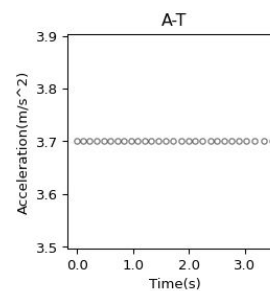
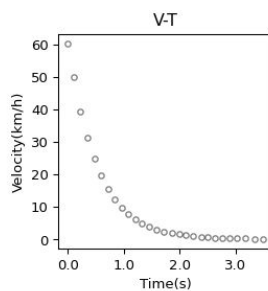
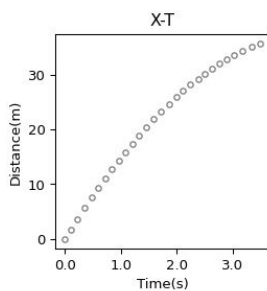
Deceleration ( $\text{m/s}^2$ )，相對應計算出的速度Velocity ( $\text{km/h}$ ) 會隨著車子的減速運動不斷減少至零，距離Distance ( $\text{m}$ )、時間Time ( $\text{s}$ ) 則會不斷增加。當黃色車子模擬時，透過程式內部預設的公式將Pymunk模擬出的速度參數進行轉換成具有物理意義的時速 ( $\text{km/h}$ ) 再計算出距離 ( $\text{m}$ ) 將這些資料存起來等待稍後使用。

Deceleration:  $1.08 \text{ m/s}^2$    Velocity:  $11.7 \text{ km/h}$    Distance:  $63.87 \text{ m}$    Time:  $4.49 \text{ s}$

Quit



黃色車子的減速度運動結束後，車子減速至零時，程式會使用方才車子模擬減速度運動時存在程式中的減速度、速度、距離、時間等資料，動態繪製成X-T圖、V-T圖、A-T圖，以用圖表方式顯示模擬的成果給使用者看。最後繪製完成後會出現「Restart」按鈕，並有提示的字提醒使用者可以按下「Restart」按鈕重玩或是「Quit」按鈕結束程式。「Restart」按鈕會讓使用者回到最初的畫面重新選擇各項參數，「Quit」按鈕則會直接結束程式。



Please press  
"Restart" or "Quit"

Restart

Quit



## 程式邏輯

程式架構與使用模組：

使用Pygame、Pymunk、Matplotlib等三個模組。Pygame用來將Pymunk的物理模擬呈現在視窗中，Matplotlib用來呈現x-t、v-t、a-t圖。為了使程式修改更方便，使用物件導向方式撰寫，定義了Plot、Select、Car三個物件。

物理計算：

使用者選擇道路、輪胎、煞車皮類型後，會得出相對應的摩擦係數。以相對應的摩擦係數計算出減速度（m/s<sup>2</sup>）

假設車子的質量為  $m = 1600\text{kg}$ ， $g = 9.8\text{ m/s}^2$ ，施加在煞車皮上的力道為  $5000\text{N}$

$$F_{\text{tireroad}} = mg \times \mu_{\text{tireroad}}$$

$$F_{\text{brake}} = 5000 \times \mu_{\text{brake}}$$

$$F_{\text{total}} = F_{\text{brake}} + F_{\text{tireroad}}$$

$$d(\text{m/s}^2) = F_{\text{total}}/m$$

得出的減速度（ $d$ ）是具有物理意涵的理想中的減速度。以下說明，此理想中的減速度根本專題實際模擬的誤差狀況。本專題透過Pymunk Physics Engine進行模擬，根據Pymunk的官方文件中Pymunk物理模擬使用Euler Integration模擬速度和位置因此Pymunk的模擬和理想值會有些微差距。另外Pymunk物理模擬中速度和加速度的單位都是一個單純的數字，沒有物理意涵，因此模擬時需要依照「看起來」的速度和加速度調整velocity和damping（加速度參數）兩個參數。模擬過程中會使用算式轉換（在以下詳述）將Pymunk內部沒有物理意涵的velocity和damping兩參數轉換成具有物理意涵的速度（km/h）和加速度（m/s<sup>2</sup>）以此呈現此物理模擬給使用者。

以上計算出減速度（ $d$ ）後，根據資料顯示一般城市中車輛的平均減速度介於1~4 m/s<sup>2</sup> 之間，因此透過嘗試測試出以下的算式，能夠將減速度（ $d$ ）轉換成Pymunk中的參數（Pymunk的減速度計算是：減速度參數damping = 0.8，物體的速度變化就會是速度乘上0.8）

$$\text{damping} = -0.01382 \times d + 1.00545$$

模擬中車子以等減速度運動，因此設定一個統一的初速度，根據資料中，普遍車輛行經在市區會以60.12km/h的速度，在Pymunk中相對應的速度參數透過經驗和觀測設為500，隨著模擬中程式會將Pymunk算出的速度參數轉換成實際具物

理意義的速度（ $km/h$ ）來呈現給使用者，透過觀測的經驗與反覆測試得出以下的算式計算能夠較精確轉換。

Pymunk中的初速度  $v_{ip} = 500$

實際的初速度  $v_{ir} = 16.67 \text{ m/s} = 60.12 \text{ km/h}$

$v_r$ （實際） $= 0.12 \times v_p$

算出速度之後程式透過運算再算出車輛行經的距離，儲存於程式作於X-T圖顯示之用。距離  $x$  單位公尺m。

實際的初速度  $v_{ir} = 16.67 \text{ m/s}$

$x = v_{ir} \times t + (-d \times t^2)/2$

模擬後儲存以上算式算出的數據，因為車子放掉油門踩剎車後不再有加速度，因此車子會以上述算出的減速度進行等減速度運動，車子煞停之後，上方將開始把方才模擬的車子減速度運動時的數據以x-t圖、v-t圖、a-t圖方式動態顯示出來。

摩擦係數：

道路類型、輪胎類型、煞車皮類型三項計算減速度運動摩擦力的參數所使用的數據如下表。在閱讀道路類型、輪胎類型等摩擦力相關的資料時發現，道路類型和輪胎類型的摩擦力是相互影響的，如同以下的數據。因此在程式中顯示當使用者選擇道路、輪胎類型選項時，程式顯示會同時顯示此兩項的摩擦力，並非如煞車皮會個別顯示。

	煞車來另片等級(摩擦係數 $\mu$ )						
第一個英文字母 (常溫 0-250℃)	E	E	F	F	F	G	G
第二個英文字母 (高溫 250℃-680℃)	E	F	E	F	G	F	G

註：E 摩擦係數為  $0.25 \leq \mu \leq 0.35$

F 摩擦係數為  $0.35 \leq \mu \leq 0.45$

G 摩擦係數為  $0.45 \leq \mu \leq 0.55$

<i>Tire type</i>	<i>Surface</i>		
	<i>Concrete</i>	<i>Medium Hard Soil</i>	<i>Sand</i>
Passenger car	0.015	0.08	0.30
Truck	0.011	0.06	0.25
Tractor	0.020	0.04	0.20

效能問題：

此專題裡為了要模擬車子的等減速度運動並且將數據以圖表呈現，需要動態顯示圖表以及讓車子動態模擬物理過程，所以遇到效能問題。過程中為了顯示圖表和車子的動態變化，程式每跑一次迴圈都要更新圖片一次，因此圖表和車子的模擬出現延遲。為了解決延遲的問題，使用了Pygame裡面的Dirty Sprites，將車子、圖表都做成Dirty Sprite提高Pygame繪製的效能。Dirty Sprites可以使每一次迴圈更新畫面時僅對某個有改變的特定區塊做更改，而不需要全部都更改，藉此提高效能。另外閱讀繪製圖表時使用的matplotlib模組的官方文件發現，使用專門繪製散佈圖的scatter()會比使用plot()（參數：點狀、無色）來得慢，因為scatter()使用的是迴圈，因此效能較低。再做了此兩項更動之後效能明顯提升。另外一個較小的效能問題是文字顯示時也遇到延遲問題，因此在while迴圈（程式的主迴圈）前先將會使用到的字型匯入。

## 參考資料

Rolling Resistance study of gravelly sand material on laboratory scale

[https://www.researchgate.net/publication/280239942\\_Rolling\\_Resistance\\_study\\_of\\_gravelly\\_sand\\_material\\_on\\_laboratory\\_scale](https://www.researchgate.net/publication/280239942_Rolling_Resistance_study_of_gravelly_sand_material_on_laboratory_scale)

想要煞車「煞很大」，來令片怎麼選差很多！

<https://auto.ltn.com.tw/news/5725/38>

Suitable Deceleration Rates for Environmental Friendly City Driving

[http://iieng.org/images/proceedings\\_pdf/ER1216002.pdf](http://iieng.org/images/proceedings_pdf/ER1216002.pdf)

Acceleration and deceleration models

[https://www.researchgate.net/publication/238778191\\_Acceleration\\_and\\_deceleration\\_models](https://www.researchgate.net/publication/238778191_Acceleration_and_deceleration_models)