

交通工程數位化研究—以道路交通事故現場圖編輯系統為例

李志昇 Chih-Sheng Lee¹

摘 要

過去辦理花蓮地區易肇事路段改善計畫時，筆者嘗試使用各種軟體繪製交通工程設計圖，俾利提供廠商按圖施作，然而設計圖完成後終究只是圖檔或簡報檔，僅是借由畫筆或繪圖物件去描述自然人能理解的資訊，而非提供電腦相關資訊直接產生所需的結果。與之相關的，在辦理易肇事路段改善前常調閱交通事故現場圖，然而我們得人工檢視現場圖的內容，除大部分的現場圖係手繪後掃描而成，部分縣市應用 Visio 套裝軟體協助繪製現場圖，Visio 可藉由巨集來蒐集物件資訊，但因其軟體功能的侷限性，除了類別、數量、長度等物件數據外，難以分析諸如「撞擊點是否在慢車道上」、「肇事主因是否係變換車道車侵犯直行車路權」…等資訊。

在經歷長期的觀察與思考發現，我們需要數位化道路線型及交通工程設施，不單只是紀錄數據而已，更需要能明確描述交通工程的數學模型，以便我們將道路資訊轉換成交通工程布設圖，能演算分析放置其上之各項抽象物件（如車輛位置、行車軌跡）以回答前文所列舉之問題。

在接續的論文中筆者將概述如何以數學模型數位化街道地圖與其上之交通工程布設情形，結果得到諸多令人振奮的應用，最顯而易見的是實現交通工程布設圖的編輯系統，從結構簡單的直線道、彎道、正交路口、複雜的多岔路口乃至於區域路網，依據實際存在的道路（路網）線型，選擇適當的道路橫斷面，配合路口標線設定，即能演算產生符合道路交通標線標誌號誌設置規則之交通工程設施布設圖，並依使用者需求任意調整，以此為基礎，進一步討論如何實現道路交通事故現場圖編輯系統及相關之應用，並以此整合全文的論述。

最後，很榮幸分享目前道路交通事故現場圖編輯系統開發情形，希望藉由本論文建立的基礎能觸發更多的研究及討論，並實際能運用於實務中。

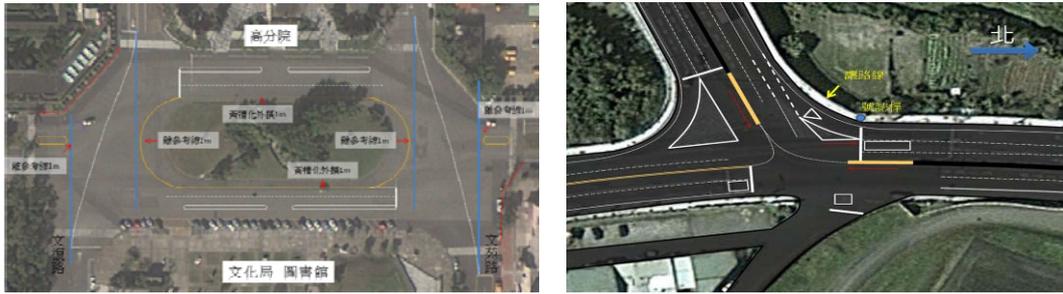
關鍵字：電子地圖、交通工程、道路橫斷面、數位化、道路交通事故現場圖

一、緒 論

1.1 研究動機

¹ 苗栗縣警察局後勤科警務員(苗栗市祥發街27號3樓,0928-669991, k333483@hotmail.com)

1.1.1 基於繪製交通工程設計圖之需求



筆者於 96~101 年間承辦花蓮縣道路交通安全聯席會報業務並兼辦交通工程時以辦理易肇事路段改善為主，曾嘗試使用各種軟體繪製交通工程設計圖，提供廠商按圖施作如圖 1。

圖 1：左為 100 年民權路改善案，右為 101 年台 9 線新生橋口改善案

這些設計圖實際上仍得輔助文字解說及配合施工人員現場踩點，現場解說設計概念才能施作工程接近預想的成果，然而任一張設計圖仍得耗廢相當時間。以第 30 期及第 31 期臺灣地區易肇事路段改善計畫（2013、2014，交通部運輸研究所）各縣市改善案為例，各縣市交通工程改善設計圖繪製方式分析如下：

使用空照圖(Google Map)、路網數值圖（2012，交通部運輸研究所）或其它地籍圖製作道路底圖，以影像處理軟體直接修改而成。

使用繪圖軟體、Power Point 或 Visio 等軟體直接繪製設計圖。

使用第一點方式製作道路底圖，再搭配 Power Point 或 Visio 等軟體繪製設計圖。

以圖 1 中左、右圖為例，係使用空照圖旋轉至適當位置後，再使用 Power Point 標繪道路輪廓及其上之標線。然而無論設計圖繪製再怎麼精細，終究只是圖畫，差別只在於是以破壞原圖之影像處理或（及）藉由 Power Point 或 Visio 應用程式中的繪圖物件疊合而成，再依設計者的巧手將各式幾合物件「湊」成能以人眼辨識的設計圖，這過程同時考驗設計者的繪圖技能及圖型表達能力，十分耗力廢時，所以我們需要開發交通工程編輯系統，跳脫傳統以組合物件的繪圖方式，讓設計者聚焦於道路、設施結構上的規劃與設計，並將設計的結果交由系統演算成交通工程圖。

1.1.2 基於分析、檢討、改善易肇事路段的需求

在辦理易肇事路段改善前，時需調查交通事故數據，調閱交通事故現場圖，然而現有交通事故 e 化系統採用開放式表格式填報，使用路口資料檢索時，因輸入之地址格式差異或不正確，而有件數缺漏的情形，更缺乏路段及區域的數據統計分析，亦無法達到相似路口路段比較的功能。同樣在調閱交通事現場圖時，同路口各案件繪製的方式、方法及描敘邏輯皆不盡相同，即使應用 Visio 繪圖，對調閱者而言都是圖資，最多差別在於是否使用事先準備好的街廓交通設施圖（如臺中市警察局使用 Visio 預先製作路口街廓標線

圖資)，無論如何，在分析、討論單一路口交通事故發生原因時仍得逐案分析交通事故現場圖，解析車流衝突的區域及討論特定車種肇事的主因。以現行 e 化事故處理系統的模式，在資料庫端只剩圖資，即使留有原始處理檔（如 Visio 檔案），想要進行交通事故車流動線分析，仍得人工解析交通事故資料。Visio 雖可引用巨集進行部分的運算或連接特定的資料庫，畢竟該應用程式本身主要功能是以繪製輸出為紙本的結構圖為主，並非為了統計、分析及運算所設計，作為易肇事路段改善規劃人員，我們需要從巨觀的角度從路口、路段進而區域地檢索交通事故資料，亦需要微觀的從單一路口或集合相似路口所有事故案件分析諸如撞擊點分布、事故車輛行車動線交織區域...等能發掘交通事故潛在因素。此外更想了解，各項交通設施改善後之成效及「為什麼」有效，相似路口路段是否能類推適用相同的改善方式，是否存在區域性的差異...等等。所以我們需要研究能以數學模型描敘道路結構、各項交通設施及各類交通事故物件的方法，俾利設計及演算各類應用，並可依資料結構輸出成文字檔，以供海量資料之統計、分析及檢索之用。

1.1.3 整合原有研究

筆者曾以研究交通事故現場處理處理系統，完成碩士論文：「道路交通資訊系統：道路結構、事故現場圖建構與資訊查詢之雛型研究」，該研究係從巨觀的交通路網出發，並以現場處理人員手持平版電腦(iPad)操作之應用程式為目標，從路網、路段再向下至路口布設的方式操作(如圖 2)，屬 Top-Down 的設計思維，並完成單一路口交通事故案件的撞擊點及行車動線疊合比較及區域性顯示交通事故斑圖等功能(如圖 3)。



圖 2：雛型系統展示從路網切入路口事故編輯的過程

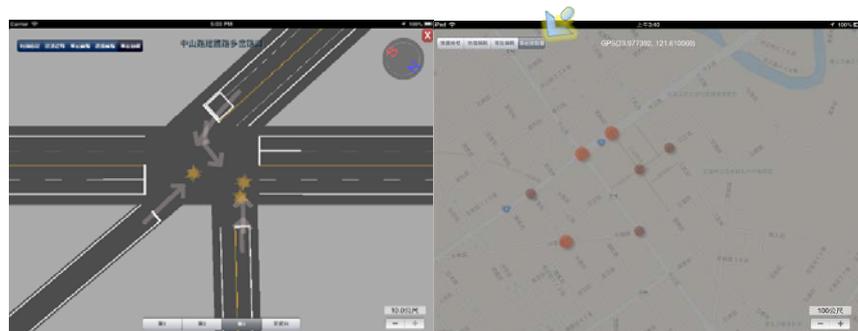


圖 3：雛型系統展示—左：撞擊點及行車動線的疊合。右：交通事故斑點圖。

本文嘗試從後端處理人員自行繪製，或接手現場處理人員自 iPad 等平板電腦傳回之資訊或手繪稿再行精製的角度，從敘述細節開始，再集結成路口路段，最後以離散的方式建構路網，以 Bottom-Up 的設計思維，並整合現場、後端系統的資料結構。

1.2 研究目標

1.2.1 交通工程的編輯方法

利用 Visio 或是 PowerPoint 等應用軟體製圖時，係使用一個個物件去疊合、組合而成，一步步去建構腦中思索的圖型，從無生有。而本文研究的編輯方法，則是從樣板開始，先直觀而具體地編輯路網結構、道路線型、道路橫斷面配置及設定道路屬性，系統會依據道路交通標誌標線號誌設置規則、市區道路及附屬工程設計規範及其它交通工程書籍之原理原則演算適合之交通工程圖，再由使用者針對細節或較特殊的結構手動設定，最後才搭配適當的物件來補足道路設施（或附屬設施）設置的情形。而所有編輯而成的道路資料，都能被複製引用於相似之路段，且能持續編輯更新。

1.2.2 交通工程及交通事故現場圖的數位化

為了實現交通工程及交通事故現場圖的編輯系統，並跳脫繪圖、製圖的思維，我們需要以數學模型描敘交通路網、街道輪廓、道路橫斷面以至於標線、安全島等交通工程設施，以及在其上同樣以數學模型紀錄之結構物、車輛、行車動線、跡證、散落物等實體或抽象物件，最後能透過數學式的延伸及計算來設置輔助線，以供標定各項物件之相對位置。

最重要的，數位化過程將產生純文字的描敘資料，事實上就是資料結構藉由遞迴展開的物件資料，本文以 JSON(JavaScript Object Notation)做為資料描述結構，任何能正確解譯 JSON 的平台只要配合適當的演算函式就能以自由產生交通工程圖及交通事故現場圖，並能自行修改內容。

1.2.3 建置跨平台編輯系統

經查全國各縣市，除少數縣市（如臺中市）能達成以數位方式繪製交通事故現場圖，多數縣市多不限制交通事故現場圖繪製的方式，部分原因係 Visio 等繪圖應用程式屬付費套裝軟體，礙於經費及授權數量不易推廣，並受限作業系統。為了加速推廣及大幅降低建置成本，本文研究嘗試以 HTML5 配合 Javascript 實作網頁應用程式，達到跨平台、免安裝系統（只需要安裝適當之瀏覽器）、免安裝額外瀏覽器動態元件及支援離線編輯。

使用 HTML5 配合 Javascript 實作網頁應用程式，等同開程式碼，希望藉此吸引更多同好加入開發行列。

二、交通工程數位化方法

2.1 道路結構模組化

2.1.1 路段與道路節點

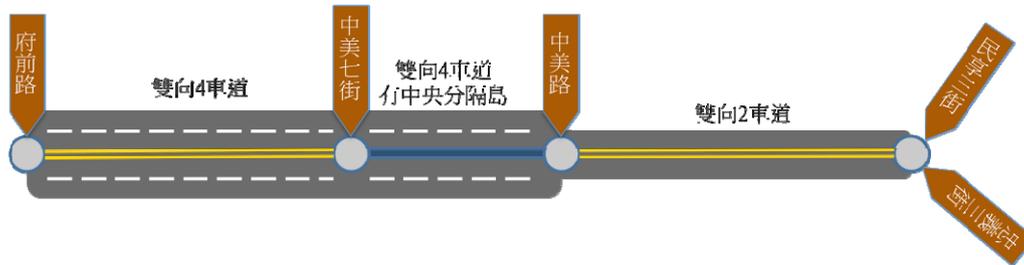


圖 4：花蓮市化道路全線道路橫斷面（車道範圍）的配置情形

所謂的路網，係由眾多道路與其交會的路口所組成，為利公眾交通使用，道路除遇交岔路口、路幅擴張（縮減）、障礙物或道路設施改變，原則上保持一定之結構俾利用路人遵循，故能依此特性將單一道路區隔為路段及道路節點。如圖 4 所示花蓮市化道路起自府前路口，終至民享三街忠義三街多岔路口，自府前路起原為設有分向限制線的雙向 4 車道，過了中美七街口後變為設有中央分隔島之雙向 4 車道，再經過中美路口路幅縮減至僅配置雙向 2 車道。所以我們在進行花蓮市化道路的數位化時，僅需使用 4 個道路節點及 3 個路段，其中道路節點用來銜接不同道路橫斷面配置之路段，如道路節點銜接逾 2 條路段，則該道路節點即為所謂的交岔路口。

2.1.2 路段及路口模組化概念

進一步將路段的結構放大，經由觀察路口前道路設施可得知，路段中原本穩定的道路橫斷面配置會因為接近路口而改變，如中央分隔島將終結，為了引導車輛左、右轉而有左（右）轉專用道，並可能為配合專用道而漸變車道，以及提供及引導停止之空間（如機車停等區）或界限（停止線），在停止線（或車道標線終結處）與路口間為行人空間，提供規劃行人穿越道及自行車穿越道，而各道路末端之交會區域則為路口範圍，如圖 5 所示。



圖 5：花蓮市民族路、民權路及忠義二街多岔路口

民族路及民權路因為道路橫斷面結構完整，依路段、道路終結段、行人空間，最終進入路口範圍。而忠義二街因路幅不足，為未設置分向設施之道路，故無道路終結段但仍有行人空間，如在鄰近路口處設有停、讓標線標誌仍可規劃道路終結段以建立前揭設施之結構。

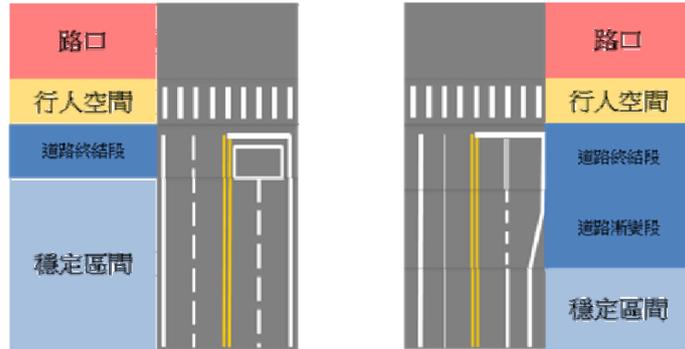


圖 6：模組化道路結構圖

接續參考圖 6 內容，圖解模組化道路結構：

- 一、穩定區間：為符合該道路橫斷面配置之路段。
- 二、道路漸變段：如圖左側所示，外側慢車道漸變為快車道，漸變的起迄點道路漸變段。
- 三、道路終結段：為指示車輛臨停的界限（停止線）、供機車臨停的區域及避免車輛超車（雙黃線）或跨越（雙白線），終結段與漸變段並非各自獨立的區間，亦可能互相重疊。
- 四、行人空間：停止線（或車道線終止處）至路口間的區域。
- 五、路口：交岔路口各方向街道路線延伸線交會所形成的封閉區域。

2.2 建構數學模型

2.2.1 基礎線段與座標空間

假設空間中存在一線段 A，我們可以找到所有在空間中與 A 最短距離為 w 的點集合 S，此集合將形成封閉的線段（如圖 7），如果捨去首、尾端產生的圓弧將可各別成為線段 Aw1 及 Aw2。

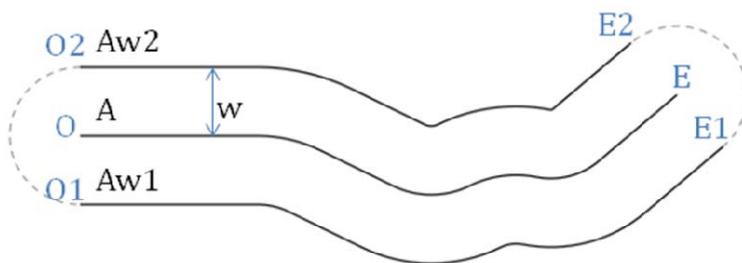


圖 7：線段 A、Aw1 及 Aw2

接續我們在 A 其中一端標上起點 O，另一端標上終點 E，並以 O 往 E 方向的右側空間任意點的投影距離為正，左側為負，在 A 上的任 1 點（投影距離為 0）皆可求得其與原點的距離 X_0 ，而與 A 相距 w 的 Aw_1 及 Aw_2 （如圖所示 Aw_1 在 $+w$ 上、 Aw_2 在 $-w$ 上），在與 A 上起點 O、終點 E 的相對位置標上 O_1 、 E_1 及 O_2 、 E_2 ，同樣可以求到 Aw_1 與 Aw_2 上任意點與原點距離為 X_1 與 X_2 ...以此類推，以 A 為基準線，在距離 y 的位置可得新線段 Ay ，並可求得 Ay 上之任一點與 Ay 原點 AyO 距離為 x ，則所有任意 x,y 的集合將形成新的座標體系（以下稱為線形座標），並可投影在 A 原有的座標平面上（以下稱為真實座標）。

線形座標適合用來描敘道路線型，以一個 10 公尺寬的道路，配置雙向 2 車道，車道寬為 3.5 公尺，路肩為 1.5 公尺，如我們以道路中心線（分向線處）為基準線，則與基準線 ± 3.5 公尺的位置即為路面邊線的位置；與基準線 ± 5 公尺的位置即為路緣的位置如圖 8 所示。



圖 8：雙向 2 車道—車道寬為 3.5 公尺及路肩為 1.5 公尺之直線道

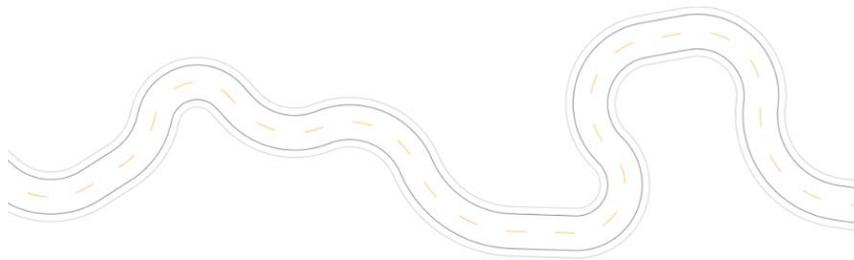


圖 9：雙向 2 車道—車道寬為 3.5 公尺及路肩為 1.5 公尺之連續彎道

圖 8 係基準線為直線時，若基準線為複雜曲線時，則可呈現如圖 9 的結果。首先，對於線形座標而言，圖 8 及圖 9 中之分向線、路面邊線及路緣在線形座標中敘描是一樣的：分向線 $y = 0$ 、路面邊線 $y = \pm 3.5$ 及路緣 $y = \pm 4.5$ 。

其次，我們可以注意到圖 8 及圖 9 的分向線，是依道路交通標線標誌號誌設置規則（以下稱設置規則）劃設的，在線形座標中敘描同樣如下： $(x, y) = (0, 0)$ 為起點、劃設起點 $x = 10n$ 及劃設終點 $x = 10n + 6$ ，其中 n 為任意值。

圖 8 及圖 9 的差異在於基準線的組成不同，圖 8 為直線，圖 9 為直線與圓弧的集合形成的線段（詳見 2.4.3 節），在線形座標中相同的描敘，依據在真實座標下的基準線不同，可以在真實座標下投影出不同的結果。

接續我們來看線形座標的另一種應用：



圖 10：直線道上的避車彎

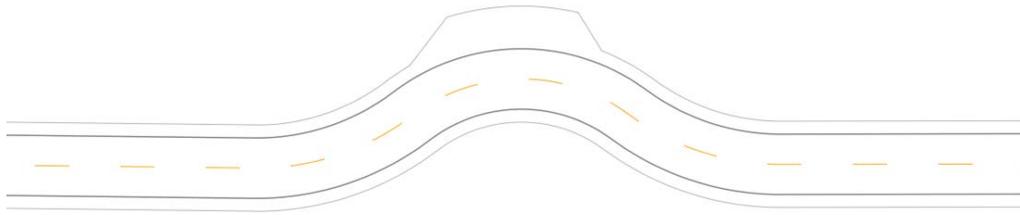


圖 11：彎道上的避車彎

圖 10 呈現在直線道的避車彎，係以已投影至真實座標上的路緣線再次作為基準線，並於線形座標的描敘如下：起點為(0,0)，劃設至(x1,0)、(x2,y1)、(x3,0)...最後劃設至終點(x4,0)。現在改變原道路之基準線為彎道，在同樣避車彎的線形座標描敘下，呈現結果為圖 11，所以我們可以了解，在真實座標與線形座標的互相轉換下，我們可以依簡單的設定帶出複雜的結果，並符合現實存在的道路結構。

2.2.2 道路節點與街道輪廓

2.1.1 節定義道路節點為用來銜接不同道路橫斷面配置之路段，如道路節點銜接逾 2 條路段，則該道路節點即為所謂的交岔路口。本節將介紹如何經由道路節點及其延伸之路段建構交岔路口。

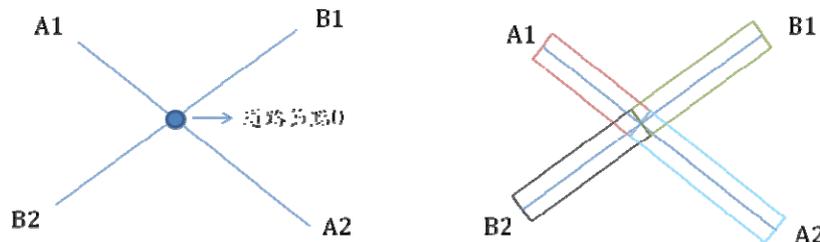


圖 12：道路節點及銜接路段之基準線。圖 13：各路段依路寬產生之路緣範圍。

我們以道路節點 O 銜接 A1、A2、B1 及 B2 等 4 個路段的基準線 (圖 12 - 各路段基準線另一端亦連結其它道路節點作為終結點)，這形成一個簡單的交岔路口。4 個基準線依其道路橫斷面配置產生兩側路緣如圖 13 (同時從道路橫斷面配置描敘的線形座標轉成真實座標)，以 4 種不同顏色之空心矩型來表示產生路緣後各路段的道路範圍。

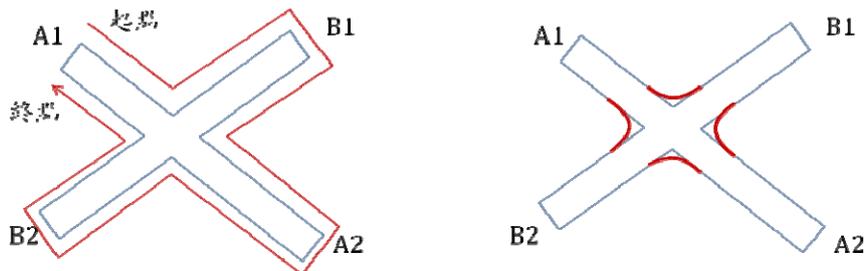


圖 14：計算路緣交會產生道路輪廓。圖 15：各路緣交會處依需要修飾。

此時各路段之道路範圍有重疊的區域，各路段兩側之路緣線也與其它路段之路緣線交會，為了結合各路段產生路口的結構，我們以道路節點為圓心，計算各路段的方向角再將之以順時鐘排序，以本例來說我們假設排序的序列為 A1-B1-A2-B2。得到序列後依序取出相鄰路段中相鄰之路緣，計算其線段交點並以之重新計算各路緣的起、迄點，最後我們可以得到該路口的街道輪廓如圖 14，該圖紅線部分示意計算交點的路徑，特別注意的是各路段的底部並不是實際的路緣，所以不會列入計算。

雖然產生了街道輪廓，但事實上路口轉角處都會有適當的退縮如圖 15 紅線所示，在此我們採用了 3 種方式來修飾轉角如下（圖 16）：

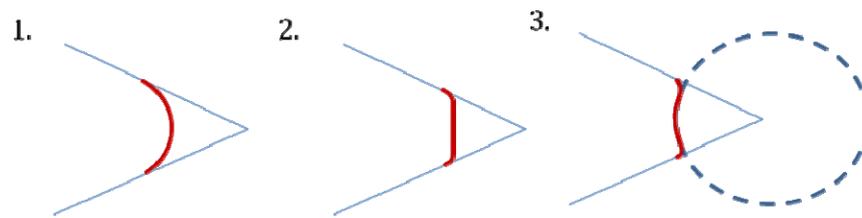


圖 16：3 種修飾路口轉角的方式。

- 一、以兩線段的夾角，依指定的轉彎半徑產生圓弧，圓弧兩端之切線與銜接線段之方向角相等。
- 二、取兩線段上之 2 點（預設與交點等距），使之以直線連結，該直線與原線段再以(1)之方式修飾接點。
- 三、路口中心點為圓心取適當的半徑與兩線段交會，取兩交會點間的圓弧，該圓弧與原線段再以(1)之方式修飾接點。

2.2.3 路口範圍與標線設施

產生了街道輪廓後，接續的工作就是確定路口範圍，路口範圍能決定行穿線、停止線或車道的起始（終結）位置，在計算街道輪廓時，各路段兩側路緣線已從線形座標轉成真實座標，並存在同一個平面上（所以才能計算交點），最基本的路口範圍判定方法就是依序連結計算街道輪廓時兩兩路緣線之交點（未修飾轉角前），如圖 17 左側路口。如道路交角過小或兩側交角差異太大（如 T 字型路口），則取所有垂直路段基準線之線段中能銜接路段兩側其中一路緣交點並能交會另一側之路緣線之線段，如圖 17 右側路口。



圖 17：紅線區域標示路口範圍。

在確定路口範圍後，各路段根據基準線依橫斷面配置產生之車道或設施線型如圖 18，我們可以看到圖中有 5 線段在其上標示路肩、快車道、中央分

向線等文字（其後數字為寬度，如路肩寬 1.5 公尺），都是根據基準線依橫斷面配置（以線形座標敘述橫斷面配置各部份再轉成真實座標）所產生之線段，各線段與指示路口範圍之紅線交會計算各線段之起（迄）點，再參考諸如路口距標線距離、行穿線長度、行穿線與停止線間距等變數，就可以標定行穿線、停止線、車道相關標線之起始（迄）位置。

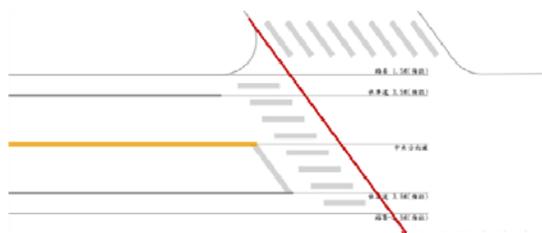


圖 18：紅線範圍指示路口範圍。

2.2.4 衍生其它標線或道路設施

在 2.2.1~2.2.3 節概要地介紹街道輪廓、道路線形及相關標線的數學模型，在本節將進一步介紹如何經由數學模型的計算衍生功能設定或是據以演算其它種類的道路設施。

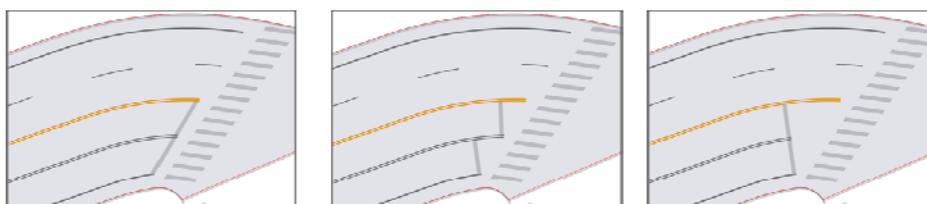


圖 19：左為隨路型劃設、中為梯型劃設及右為垂直中心線劃設之行穿線。

圖 19 為劃設停止線的 3 種方法，左為隨路型劃設法，係取各縱向標線的起點連結而成；中為梯型劃設法，以各車道標線之起點，取其與內側車道標線（或分向限制線）最短之投影線劃設而成；右為垂直中心線劃法，以最外側車道標線起點與分向限制線最短之投影線劃設而成，並以該投影線重新計算中間車道標線的起點。

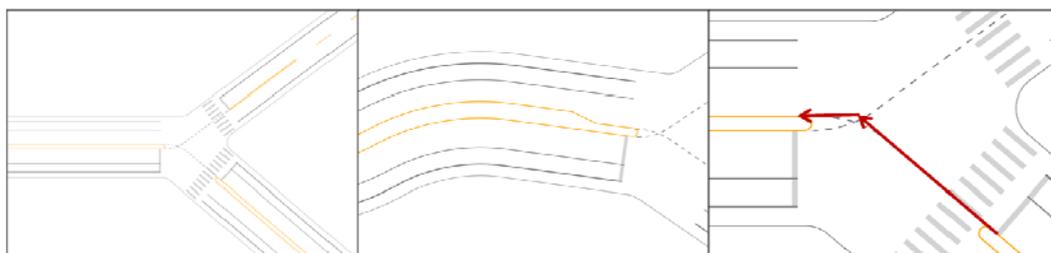


圖 20：中央分隔島與引導線的產生方法。

本文在 2.2.1 節解釋線形座標之概念，除了產生縱向標線外，亦可以如圖 20 產生中央分隔島之結構，更進一步使用遞迴式線形座標，依道路基準線產生中央分隔島之基準線，再產生中央分隔島本身之結構（如圖 20 中圖），而中央分隔島（或任何車道標線）可依車行方向延伸線段與其它路段之延伸線

段交會，用以產生如引導線、左彎待轉線及槽化島等結構，圖 20 展示引導線劃設之結果，圖 20 左圖之紅線表示中央分隔島線段延伸及與其它路段之延伸線交會之情形，在取得交會之 2 線段後，再使用圖 16 之方法修飾線條。

2.2.5 設置物件

相對 2.2 節前段各小節敘述如何建構道路結構、街道輪廓、道路橫斷面布設與其上之標線及交通設施，建構物件單純許多，如圖 21 我們可以看到位於車道上的車輛及自行車物件，以向量圖的概念，各物件依獨立的座標系統標定各類幾何圖形與線段所結合而成，經以原點為圓心旋轉後，轉成真實座標置入指定位置，如圖 21。

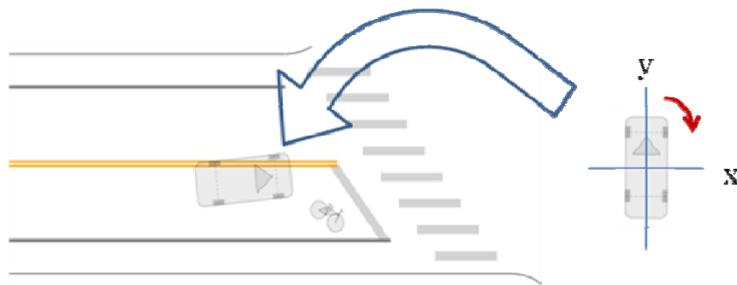


圖 21：車輛物件於獨立的座標繪製，經以原點為圓心旋轉後置於道路中。

所以物件可以是車輛、自行車、電桿、樹木、交通島、停車格線、標字，或是煞車線、血跡，也可以是碰撞點、行車動線...等，在系統中的操作方式是一致的，差異在於我們可以依各物件的 ID (識別代碼)、objSN (物件序號) 及物件本身搭載的資料連結相關執行程序以帶來不同的應用。

2.2.6 建構參考線

在處理交通事故時，為標定車輛、物體、人員所在位置以利日後重建事故現場，多使用參考線輔助定位如圖 22。參考線之應用係選取一參考基準線，再藉其它線段延伸線之交會點、延伸線端點或物件中指定位置之投影點及圓或圓弧以圓心投影點來定義參考點，再顯示相鄰參考點、參考點至相鄰線段端點之距離、延伸線或投影線之長度供使用人員定位物件之位置。

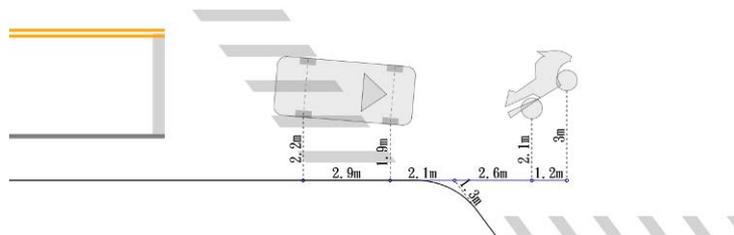


圖 22：使用路緣為參考基準線，並引用側向道路之路緣延伸線協助定位。

在交通工程數位化的過程，街道輪廓及各類縱向標線 (如分向線) 皆以明確的數學式定義 (詳見 2.4.1 節)，各類物件也可依物件特性指定線段端點或物件中的圓形部分以配合參考基準線產生參考點 (如車輛物件指定車軸兩

端點，機車指定輪胎之位置)。參考線皆是引用既有資料產生，我們可以使用不同的線段(可選擇使用全線段或特定線段中直線或圓弧部分)搭配不同物件或任何延伸線可與參考基準線相交之線段來述敘交通事故的相關位置如圖 23 及 24。

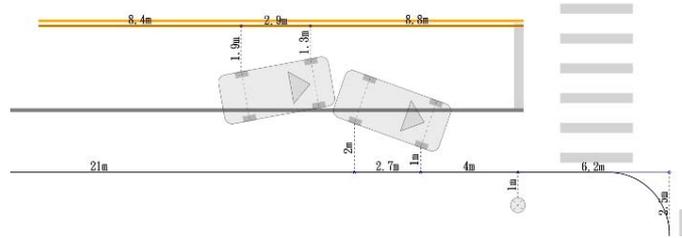


圖 23：使用路緣及雙黃線為參考線，並引用路外的電桿協助定位

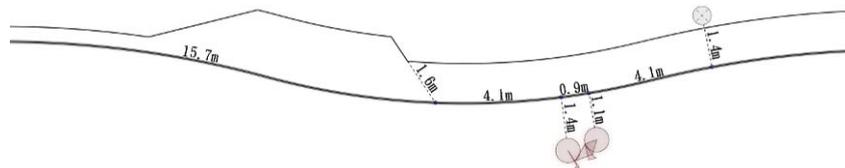


圖 24：使用路緣特定線形之延伸點及路外的電桿之投影點協助定位

2.4 交通工程數位化後之資料結構

前節我們了解交通工程數位化的主要方法，本節將來介紹交通工程數位化後之資料架構及主要物件之資料定義。

2.4.1 描敘線形數學式之資料結構

為了簡化整體道路結構，避免無謂的細節使用大量數學方程式致使系統複雜化並令使用者難以理解及上手，在交通工程數位化的過程所需的基準線形、經線形座標轉化後的投影線形及所有物件結構的主體，皆使用下列 3 種線性方程式集合而成的陣列：

(1) $x=ay+b$ ， y 的數值範圍為 $ps \rightarrow pe$ 。

Json 輸出結構範例：`{fn:"x", a:1, b:0, ps:100, pe:200}`

(2) $y=ax+b$ ， x 的數值範圍為 $ps \rightarrow pe$ 。

Json 輸出結構範例：`{fn:"y", a:-1, b:30, ps:0, pe:-100}`

(3) 以 (x, y) 為圖心，取角度 $ps \rightarrow pe$ 的圓弧，半徑為 r 。

Json 輸出結構範例：`{fn:"a", x:30, y:30, r:50, ps:0, pe:-100}`

當使用以上線性方程式陣列來組合線形時，同時須符合下列限制：

- 一、為避免直線方程式之 a 值(斜率)過大造成溢位並利於線段長度計算，當 $x=ay+b$ 之 a 值大於 1 時，將該方程式轉換為 $y=ax+b$ ，使 a 值小於等於 1。

- 二、當陣列元素依序為 a1、a2、a3 時，a1 方程式代入其 p_e 得出的座標應等於 a2 代入其 p_s 得出的座標；a2 方程式代入其 p_e 得出的座標應等於 a3 代入其 p_s 得出的座標，以此類推。
- 三、當直線方程式銜接圓弧方程式時，直線方程式應等於圓弧銜接點的切線方程式，以確保基準線形藉由線形座標投影新線形（方程式陣列）時，能正常運作。

2.4.2 描敘道路節點的資料結構

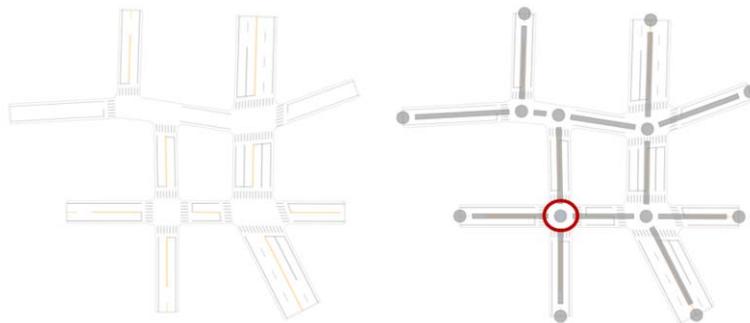


圖 25 左為街道路網，右顯示街道節點（圓）與路段（線）的銜接關係

從圖 25 中左、右對照，我們可以清楚了解如何使用街道節點及路段線形敘描真實存在的街道路網，作為整體資料結構最上層的道路節點，主要的功能在於標定座標位置及儲存不適於隨路段結構儲存的路口物件（如路口引導線、網狀線、路口圓環...等物件），當我們編輯未使用 GPS 座標之路網或進行交通事故現場圖之編輯時，可以指定某一道路節點為中心點，如圖 23 右側紅圓所示，此時該路口節點之座標為(0, 0)，其它道路節點使用相對位置紀錄（或從彼此之 GPS 座標推算相對位置），反之若原路網未定義 GPS 座標，則在給定中心點 GPS 座標後，即可依相對位置推算其它道路節點的 GPS 座標。另外，為銜接路段，每個道路節點都由系統給定獨立的 ID（識別名稱），各個路段藉由登記道路節點之 ID 來銜接路段起、迄之道路節點。綜上，道路節點之主體資料結構及與路段的相互關係，可參閱圖 26。



圖 26：道路節點之資料結構及與路段的相互關係

2.4.3 描敘路段的資料結構



圖 27：路段之資料結構及與道路節點的相互關係

描敘路段的資料結構，可以說是交通工程數位化的主體結構，由圖 27 所示，我們可以了解在路段兩端點銜接道路節點是基準線形（起、迄點為道路節點的座標），基準線形係由線性方程式陣列組成（詳見 2.4.1 節），實際構成路段之路線、車道（分隔島）、中央分向（分隔島）等線形，皆是由基準線形配合線形座標轉換而成（投影新的線性方程式陣列），搭配兩側路緣的主要資料是街道名稱（路段兩側可能分屬不同路名）；搭配其它車道（分隔島）線形的是設置於其上的標線（或分隔島之輪廓），並可依需求配置如：「線形起點-雙黃線 20 公尺-黃虛線(長度由系統自動計算)-雙黃線 20 公尺-線形終點」之敘述，有關有線形起、迄點的計算可參閱 2.2.3 節。

在確定路段之縱向線形設施後，剩餘之橫向標線或設施則使用路段物件來紀錄，並搭配使用線形座標，使之可隨基準線形及路口之交會方式變化。

2.4.4 交通事故現場圖資料組成

本文主體討論交通工程數位化的方法，可以用來定義各級道路及路網結構等同於電子地圖的規模，而在編輯交通事故現場圖（以下稱現場圖）的時候，事實上無需紀錄無關的路段及道路節點資料，多數情形下，期待能預先以 GPS 定位之道路節點銜接路段，選取適當街道區域進行編輯，在急迫的情形下，亦可直接選擇交岔路口樣板，依據實際路型略做調整後即可編輯現場圖，如圖 28 所示。

當我們完成交通事故現場圖編輯時，只須將選取之街道與交通事故物件資料合併儲存，不但可以大幅減少資料使用空間，日後也可供交通事故案件的交叉分析。

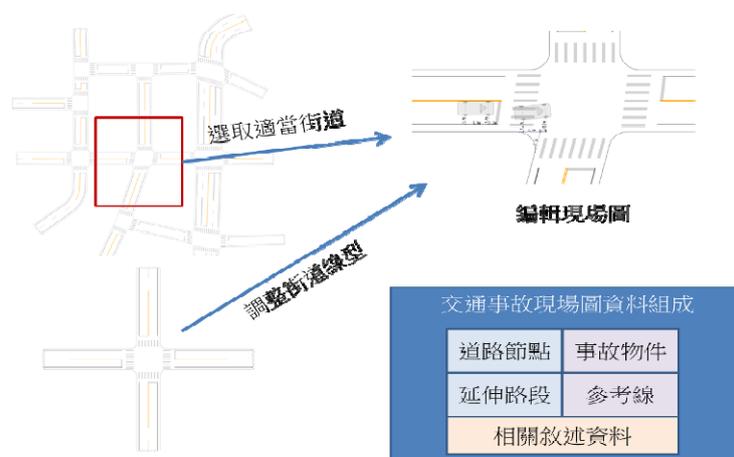


圖 28：編輯現場圖之方式及資料組成。

三、現行系統開發進度

目前系統開發（2014年8月）已完成初步版本，以實作的方式測試基礎數學模型大致無誤，現行的系統架構如圖左部分系統架構圖，以網頁應用程式（HTML5 結合 Javascript）進行開發，俟開發至一定程度便可連結資料庫開放外界使用，當系統開發進展到實際使用時，將接續開發 iPad 版本供現場處理人員使用，如圖 29 右部分系統架構圖。



圖 29：左為現行系統架構，右為將來運用資料庫及結合事故現場處理之架構。

本文使用的範例圖多是出自現行系統操作畫面直接輸出，目前將進行安全島之編輯、增加事故物件的種類及衍生運算（如判斷車輛所在車道、行車動線是否有跨越車道之情形...等等），其相關數學模型及演算程序皆已初步確認。展示目前系統操作畫面（圖 30、31），作為本節之小結。

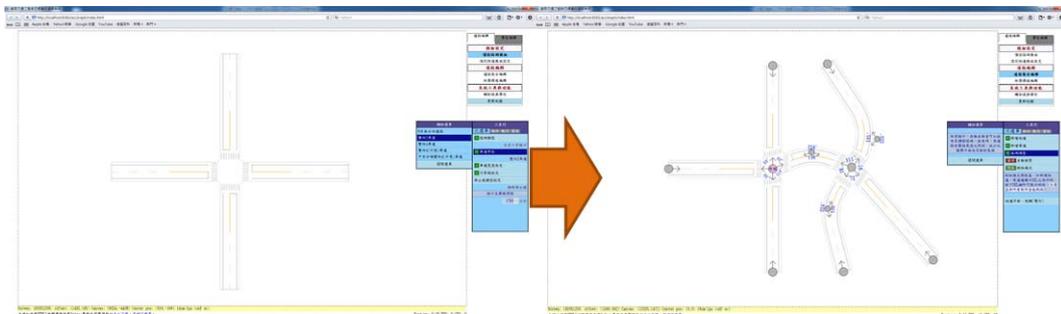


圖 30：左-選擇樣版路型。右-新增街道及彎道。

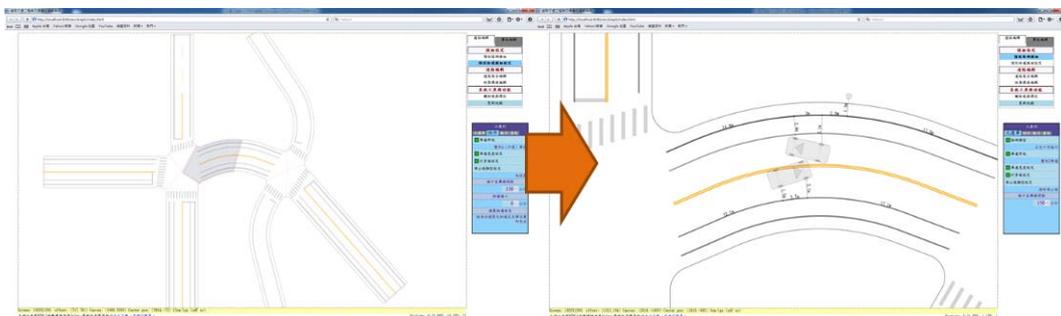


圖 31：左-各別調整橫斷面配置及各類設定。右-製作交通事故現場圖。

四、結論與未來展望

本文交通工程及交通事故現場圖數位化的研究已取得相當的成果，有待加速系統開發來驗證，礙於篇幅及時間因素，僅能介紹數學模型主體及現行開發成果，事實上數位化過程需要輔以大量的演算程序及數學計算，另規劃設計系統操作介面亦是有趣的課題，未能逐一說明，實有遺珠之憾。

本研究及網頁應用程式之開發計畫於 2014 年底前進入開放測試及實務使用之階段，除將接續開發交通事故現場處理系統，更期望藉由實務操作及累積交通工程及交通事故現場圖之資料，能發掘系統操作或數學模型不足之處並反覆改善至接近完善。亦希望在獲得真實交通工程及交通事故之海量資料 (Big Data) 後能從資料採勘 (Data Mining) 的角度，發掘新問題或是嘗試解答各種令人著迷的交通課題。

參考文獻

- 王文麟(1998)，*交通工程學理論與實用*。
- 王昭仁(2011)，「道路工程與交通肇事關聯性之研究—以台中市為例」，逢甲大學運輸科技與管理學系碩士在職專班碩士論文。
- 內政部(2009)，「市區道路及附屬工程設計規範」。
- 交通部運輸研究所(2013)，第 30 期臺灣地區易肇事路段改善計畫。
- 交通部運輸研究所(2014)，第 31 期臺灣地區易肇事路段改善計畫。
- 李志昇(2013)，*道路交通資訊系統：道路結構、事故現場圖建構與資訊查詢之雛型研究*，國立東華大學資訊工程研究所碩士論文。
- 林志勇、林志浩(2006)，「交通事故現場分析系統之研究」，*龍華科技大學學報*第二十一期。
- 徐承原、王能超、許巖燦、吳昶清、王韋力、何毓芬、曹瑞和(2012)，*路網數值圖永續資料庫建置計畫(四)*，交通部運輸研究所執行計畫。
- 黃維信、董基良、林志勇、曾志煌、陳茂南、邱雅莉(2010)，*規劃建置全國公路養護資料庫*，交通部運輸研究所執行計畫。
- 黃瑞德、黎驥文(2012)，「簡易攝影量測於交通事故調查之研究」，2012 台灣地理資訊學會年會暨學術研討會。