八十六年道路交通安全與執法研討會
中華民國86年6月6日

臨界間距應用於計算路口潛在衝突量之探討

林良泰[1] 吳淵展[2] 謝宗男[2] 劉瑞麟[3]

[1]林良泰係逢甲大學交通工程與管理學系副教授
[2]吳淵展、謝宗男係逢甲大學交通工程與管理學系大四學生
[3]劉瑞麟係台北市交通管制工程處交通分析師

摘要

車輛於通過路口時，易與其他車流產生分流、併流及交叉等衝突行為，故當車輛行進於道路系統中，均會因不同之交織行為而產生不同之衝突或肇事。因此如何計算出路口之衝突量，乃為路口安全分析上之重要課題，並且可作為交通工程師於分析路口安全時之參考依據與判斷準則。然而於過去於分析路口之衝突時，大都著重於衝突點之計算，並未考量衝突發生之潛在機率、流量大小及車輛位置等因素，故近期之研究乃以潛在衝突量代替衝突點，以反應路口真實之潛在特性，但其假設條件並未引進間距之特性，因此，本研究除以潛在衝突量為路口安全之衡量外，更引進臨界間距特性作為二股車流是否產生衝突行為之判斷準則，冀望能使交叉路口之安全性有一更臻完備之衡量指標。

一、前言

安全與效率往往為交通工程師於規劃設計路口時所努力達成之目標，於效率方面通常以路口之紓解情況作為效率之指標，其指標包括延滯值、等候長度與服務水準等；於安全方面則一般以路口之總衝突量做為路口安全性之衡量指標，其衡量方式有肇事分析法、肇事率分析法及肇事嚴重指標等。然而以往對於交叉路口安全性之評估，大多偏重於衝突點之計算以及肇事率之多寡，並未考量衝突發生之潛在機率、流量大小及車輛位置等因素。而近期之研究者乃從期望值之觀點，分別歸納出交叉、併入及分出之衝突量模式，以建立以潛在衝突量替代傳統衝突點之觀念，但其假設條件並未引進車流之間距特性，使得模式較難反應實際之車流衝突行為。因此，本研究除以潛在衝突量做為路口安全之衡量指標外，更引進臨界間距特性作為車輛是否產生衝突行為之判斷準則，並透過統計期望值之觀點，求算出路口之期望衝突量。

綜合上述，本研究冀望能以潛在衝突量替代傳統之衝突點分析方式，並使潛在衝突量之求算更能符合實際車流所產生之衝突量，而使交叉路口之安全性有一更臻完備之衡量指標，此指標值即可做為交通工程師於分析路口安全性之事前事後評估參考依據。

二、文獻回顧

2.1 文獻回顧

為了瞭解衝突量之估算，本研究對相關之研究分成衝突部份與間距特性兩方面進行文獻回顧。

2.1.1 衝突部份

一般交通工程學[1]均定義某輛車與另一輛車之行車軌跡相交點即為一衝突點，故當車隊進入交叉路口運行時，所遇的衝突點數目將隨著交叉路口路肢（ Approach ）數目之增加而增加，且衝突點之數目亦可隨著路口號誌之設立而減少，如此可知衝突點數將隨著路口之幾何配置與號誌時制而有所不同，因此衝突點數目將難以反應路口交通量及衝突型態與路口安全之相關性，且衝突點之計算並未考慮到車流量與車輛位置之關係，故其估計方式與實際衝突量之計算仍有相當之差距。

張新立君[2]以個體觀點提出「曝光量」之觀念，指出運輸工具於運輸系統中發生交通事故的機會是一種曝光量的問題，而所謂「曝光量」係指一個駕駛人或一個交通系統可能發生交通事故之機會量，因此若能掌握此曝光量之大小及成因，即能預測該運輸工具在運輸系統中發生事故之機率的大小，並可作為有效預防事故發生或管制措施之參考，由此可知交通事故之發生機會或其發生之機率隱含著潛在衝突之觀念，故於推估衝突量時應考量所有可能之潛在衝突。

Brundell-Freij 與 L.Ekman[3]之交通衝突理論中，對於肇事次數之估算中，提出肇事次數可以期望值方式求得，並提及肇事次數之期望值為流量、速度與幾何設計之函數，若將該觀念以數學式表達則為 E(A) = F(流量、速度、幾何設計...)。由此可知雖然能產生衝突現象未必會發生肇事行為，但是肇事必為衝突之結果，故衝突亦為流量、速度及幾何設計等參數之函數。

林良泰、朱純孝與吳淵展君[4,5]由衝突之特性分析可將路口衝突分為交叉、併入及分出等三類，且衝突亦具有避免性、遞移性、潛在性及隨機性等特性。然過去衝突點分析並未考量衝突發生之機率、交通量大小及車輛位置等因素，此研究乃綜合考量上述因素後，建立各種衝突型態之期望衝突量公式如下：

$$交叉：\frac{NX}{2} \qquad 併入：\frac{NX}{2} \qquad 分出：\frac{X(N-1)}{2} \qquad (1)$$

上式中，N 為被交叉、併入或分出流動之車輛數，X 為欲交叉、併入或分出流動之車輛數。

2.1.2 間距特性

關於間距（ Gap ）[6]乃指前車車尾至後車車頭之距離或時間，依據 Raff 所定義之接受間距與拒絕間距次數分配曲線交點稱為臨界間距（ Critical Gap ），此乃指比某一特定值小之間距而被接受之次數與比該特定值大而被拒絕之次數相等時，該特定值即定義為臨界間距，而 Greenshields 之定義則謂被接受間距之第 50%的特定值稱為臨界間距，此即為接受間距第 50 百分位法。至於 1994 年之美國公路容量手冊則將此定義修定為幹道車流中允許支道車流穿越之最小時間間隔，即稱為臨界間距。至於比臨界間距大之間距為接受間距，反之則為拒絕間距。

林良泰、朱純孝與吳淵展君[7]指出車輛間距（時間間距或空間間距）對交通工程師而言甚為重要，因其值會決定用路者在自由運行時的安全感、危險性及擁擠感，同時亦將連續影響其行車所選取的速率與位置，因此，此類研究乃為值得深入探討之課題，而關於間距特性之研究，一般多應用於飽和流率推估、當量值計算、車流模擬分析以及車隊擴散等方面。

簡益正君[8]於探討非號誌化路口容量與延滯中，以接受間距之第 50 百分位為臨界間距，並以卡方分配檢定非尖峰時段、尖峰時段與路口幾何型態是否影響駕駛人之接受間距。其結果顯示時段與路口幾何型態對駕駛者之接受間距並無影響，且駕駛者之臨界間距值均比美國公路容量為低，故國人之駕駛行為屬於具有冒險性之行為。

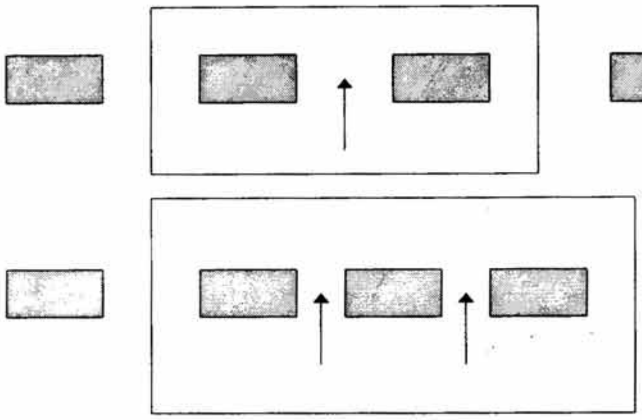
2.2 綜合評析

由上述可知，以往對於衝突之研究，起初乃著重於衝突點之求得，而後加入曝光量之觀念，定義出肇事指標，然而這些方法均是於肇事後所得之資料，均以事故或肇事之發生經驗做為路口安全性之設計準則，對於路口安全性均毫無預防之效，針對以上缺點近期研究乃以潛在衝突量替代衝突點之觀念，推估潛在衝突量，但其假設條件並未引進車流之間距特性，使得模式較難以反應真實之車流衝突情況。因此，本研究除以潛在衝突量做為路口安全之衡量外，並藉由歸納衝突量之結果，推導出總衝突量模式，更引進臨界間距特性作為車輛通過之判斷準則，並透過統計期望值之觀點，求算出路口之期望衝突量。

三、模式建立

經由上述可知當假設各間距均有可能被交叉、併入或分出時，可得如（ 1 ）式之路口期望衝突量，其乃假設此車輛之間距皆為接受間距且為均一分配時所推導出衝突量之通式，而當間距分配中若包含若干個接受間距及拒絕間距時，則此式將難以用於推估路口衝突量，因此本研究乃以車群（ Vehicle Grouping ）之概念，作為改善上述模式之基礎，即若兩相鄰車輛間存在拒絕間距時，則將之視為同一車群，是故依此觀念類推，若某一車流流動之所有間距均為拒絕間距時，

則其僅視為同一車群，如此可知，車群間所形成之間距即完全成為接受間距，亦即同一車群範圍內不存在接受間距，但此車群前後即為接受間距，為使車群之概念更為完善，本研究將之以圖形表示如圖 1 所示。



註:箭頭之位置代表拒絕間距所在之位置, 方形框線處則代表同一車群。

圖 1 車群意義示意圖

經由車群之概念可知，在已知拒絕間距之次數時, 吾人可依排列組合之方式歸納出路口衝突量之一般式，然而拒絕間距之次數則與間距之分配形式有關，本研究在此乃假設間距分配為負指數分配，以利模式之推導，至於間距之實際分配則須經由實地調查，並以統計之方法檢定而得之。再者可知負指數之機率密度函數為 $f(t)=\lambda\cdot e^{-\lambda\cdot t}$ ，若臨界間距之值為 h ，則拒絕間距之機率值為:

$$P(t<h)=\int_0^h \lambda\cdot e^{-\lambda\cdot t}dt=1-e^{-\lambda\cdot h} \qquad (2)$$

（ 2 ）式即為間距小於臨界間距之機率（即為拒絕間距之機率），透過此機率與 N 部車所形成之（ N+1 ）個間距之相乘積，即可得出拒絕間距之次數（ X ），即

$$X=\mathrm{mod}\left[(N+1)(1-e^{-\lambda\cdot h})\right] \qquad (3)$$

上式取整數（ mod ）之原因在於拒絕間距之次數必為整數，其次當拒絕間距之次數為已知時，吾人依照車群之觀念可知:

1. 當車輛數為 N 且拒絕間距次數為 X=0 時，表示車隊間之間距皆為接受間距，其車群數為 N 個車群。
2. 當車輛數為 N 且拒絕間距次數為 X=1 時，其關係圖如圖 2 所示:

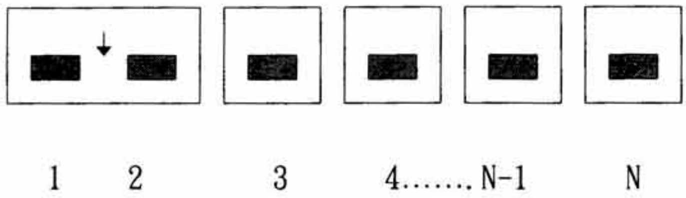


圖 2 拒絕間距數為 X=1 時，車群數計算示意圖

由圖 2 可知拒絕間位於 1 車前或 N 車後時，其車群數為 N ，而當拒絕間距位於 1 車後及 N 車前之間時，其車群數為 N-1 ，且此時之可能位置共有 N-1 個，故此情況下之可能車群數總和為（ N-1 ）（ N-1 ）。而綜合考量上述兩種情況，可知拒絕間距之次數 X=1 時，則可能形成之車群總次數為

$$[2N + (N-1)(N-1)] \tag{4}$$

3. 當車輛數為 N 且拒絕間距次數為 X=2 時，其可能之所有情形可歸納為三種:

情況 1: 當拒絕間距同時位於 N 部車之前後時，其車群次數為 N 。

情況 2: 當兩拒絕間距位於 1 車後或 N 車前之間，且兩間距兩兩相鄰時，其車群次數為 N-2 ，此時之可能位置共有 N-2 個，故其車群數為 $[(N-2)(N-2)]$。若不為兩兩相鄰時，其車群數仍為 N-2 ，但其可能位置為 $[C_2^{N-1}-(N-2)]$，經由計算結果可知其可能之車群數為 $\{[C_2^{N-1}-(N-2)](N-2)\}$ 。綜合上述兩者之車群數和為 $C_2^{N-1}(N-2)$。

情況 3: 當兩拒絕間距其中之一位於 1 車前或 N 車後，而另一拒絕間距位於 1 車後或 N 車前時，則車群數為 N-1 ，且此情況之可能位置共有 N-1 個，且 1 車前或 N 車後之兩間距位置可相互對調，故其可能車群數總和為 $2(N-1)^2$ 。

綜合考量上述之三種情況可知，當拒絕間距次數 X=2 時，則可能形成之車群總數為 $\{N+C_2^{N-1}(N-2)+2(N-1)^2\}$ 。

4. 當車輛數為 N 且拒絕間距次數為 X=3 時，其可能之所有情形也可歸納為三種:

情況 1: 當有兩拒絕間距分別位於 N 部車之前後，另一拒絕間距位於 1 車後或 N 車前時，其車群數為 N-1 ，此時可能之位置共有 N-1 個，故可能之車群數總和為 $(N-1)(N-1)$。

情況 2: 當三拒絕間距位於 1 車後或 N 車前之間，且三間距皆相鄰時，其車群數為 N-3 ，此時之可能位置共有 N-3 個，故其可能之車群總數為 $[(N-3)(N-3)]$。若皆不相鄰或僅兩個拒絕間距相鄰時，其車群數亦為 N-3 ，但其可能位置為 $[C_3^{N-1}-(N-3)]$，故其可能車群總數為

$\left\{\left[C_3^{N-1}-(N-3)\right](N-3)\right\}$。故此兩者之可能車群數總和為 $C_3^{N-1}(N-3)$。

情況 3：當三拒絕間距一位於 1 車前或 N 車後，而兩位於 1 車後或 N 車前時，車群數為 N-2，此時之位置共有 C_2^{N-1} 個，且 1 車前或 N 車後之兩間距位置可相互對調，故其可能之車群總數為 $2C_2^{N-1}(N-2)$。

由上述可知當車輛數為 N 且拒絕間距次數為 X>=3 時，其推導出之通式為：

$$C_{X-2}^{N-1}\left[N-(X-2)\right]$$

$$+C_X^{N-1}(N-X) \qquad \text{當 X>=3 時}$$

$$+2C_{X-1}^{N-1}\left[N-(X-1)\right]$$

由上述之四種情形，吾人可將可能車群之總數歸納成：

當 X=0 時，車群之總數為

$$N \tag{5}$$

當 X=1 時，車群之總數為

$$\left[2N+(N-1)(N-1)\right] \tag{6}$$

當 X=2 時，車群之總數為

$$\left\{N+C_2^{N-1}(N-2)+2(N-1)^2\right\} \tag{7}$$

當 X>=3 時，車群之總數為

$$\left\{C_{X-2}^{N-1}\left[N-(X-2)\right]+C_X^{N-1}(N-X)+2C_{X-1}^{N-1}\left[N-(X-1)\right]\right\} \tag{8}$$

然而，因為 N 部車有 N+1 個間距，又知拒絕間距的次數為 X，其應具有 C_X^{N+1} 個拒絕間距之組合數，若假設其每個拒絕間距發生之次數均相等，則每一拒絕間距發生之機率為 $\frac{1}{C_X^{N+1}}$，故可求出此股車流之期望車群次數（B）為：

當 X=0　B= N （9）

當 X=1　B= $\frac{1}{C_1^{N+1}}\left[2N+(N-1)(N-1)\right]$ （10）

當 X=2　B= $\frac{1}{C_2^{N+1}}\left\{N+C_2^{N-1}(N-2)+2(N-1)^2\right\}$ （11）

當 $X>=3$

$$B=\frac{1}{C_{X}^{N+1}}\left\{C_{X-2}^{N-1}\left[N-(X-2)\right]+C_{X}^{N-1}(N-X)+2C_{X-1}^{N-1}\left[N-(X-1)\right]\right\} \qquad (12)$$

依此方法吾人可將欲交叉或併入之兩股車流均化成期望車群數，透過期望車群數可代入路口衝突量之通式，而得路口單位時間之衝突量，此衝突量之單位為（車群數/單位時間）^{2}，而其數學式如下所示。

$$交叉：\frac{B_N B_X}{2} \qquad 併入：\frac{B_N B_X}{2} \qquad 分出：\frac{B_X(B_N-1)}{2} \qquad (13)$$

上式中，B_N 為被交叉、併入或分出流動之車群數，B_X 為欲交叉、併入或分出流動之車群數。

經由上述可知若車流之間距存有拒絕間距時，吾人以車群將拒絕間距化成車隊間完全只有接受間距之情形，透過此概念即可求算出路口衝突量。為了使路口衝突量之求算簡單明確，本研究整理其求算過程如圖 3 所示並說明如下：

1. 以攝影之觀測方式，針對所要求算之路口進行量測，而得車流間之間距資料。
2. 以統計檢定之方法，針對間距資料進行檢定工作，而得出車隊間之間距為某種分配。
3. 針對此分配，吾人可得其小於臨界間距之機率，再依量測某車流股之間距數，乘上此機率並取其整數，即可得出拒絕間距之次數。
4. 吾人可將某股車流之間距數，透過車群之概念而推導出車流中之期望車群數，依此期望車群數在代入路口衝突量之推估式，即可得出路口之衝突量。

四、結論與建議

一般於分析路口之衝突時，大都著重於衝突點之計算，並未考量衝突發生之潛在機率、流量大小及車輛位置等因素，故近期之研究乃以潛在衝突量代替衝突點，以反應路口真實之潛在特性，但其假設條件並未引進間距之特性，因此，本研究除以潛在衝突量做為路口安全之衡量外，並藉由歸納衝突量之結果，推導出總衝突量模式，更引進臨界間距特性作為車輛產生衝突與否之判斷準則，而以機率分配及車群之概念，推導當拒絕間次數（X），並可求出某股車流之期望車群次數（B）為:

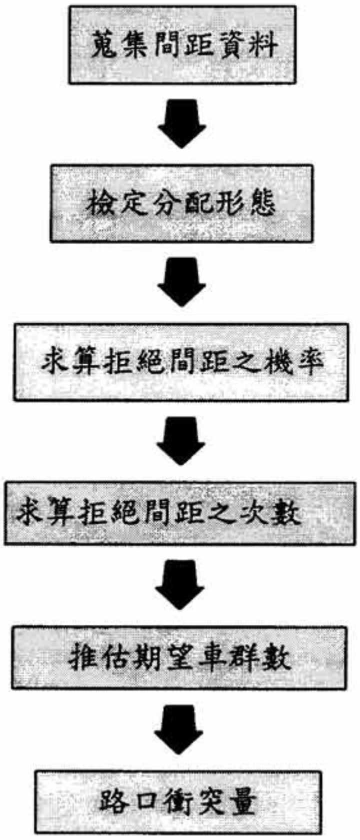


圖 3 路口衝突量之求算流程圖

當 X=0　B=N

當 X=1　B=$\dfrac{1}{C_1^{N+1}}\left[2N+(N-1)(N-1)\right]$

當 X=2　B=$\dfrac{1}{C_2^{N+1}}\left\{N+C_2^{N-1}(N-2)+2(N-1)^2\right\}$

當 X>=3　B=$\dfrac{1}{C_X^{N+1}}\left\{C_{X-2}^{N-1}\left[N-(X-2)\right]+C_X^{N-1}(N-X)+2C_{X-1}^{N-1}\left[N-(X-1)\right]\right\}$

透過期望車群數即可代入路口衝突量之通式，而得路口單位時間之衝突量，此衝突量之單位為（車群數/單位時間）^{2}，而其數學式如下所示。

交叉：$\dfrac{B_N B_X}{2}$　　併入：$\dfrac{B_N B_X}{2}$　　分出：$\dfrac{B_X(B_N-1)}{2}$

上式中，B_N為被交叉、併入或分出車流之車群數，B_X為欲交叉、併入或分出車流之車群數。

上述所得之結果，乃是以車群數為主所推導之路口衝突量，其並未考慮車群中之車輛數，而未來於模式修正時，應可朝此方向加以改進，以使路口潛在衝突量之推估能更近於事實。

參考文獻

1. 王文麟，交通工程學理論與實務，(三版)，502 頁，中華民國 82 年 9 月。
2. 張新立，曝光量設計與交通安全分析，中華民國運輸學會第二屆學術論文研討會論文集，中華民國 76 年 7 月。
3. K. Brundell-Freij, L, Ekman (1991)，"Flow and Safety-Some aspects on the relationship with respect to unprotected road users." Presented at Transportation Research Board Annual meeting , 1991, pp. 3.
4. 林良泰、朱純孝，交叉路口安全指標之研究，中華民國第三屆運輸安全研討會論文集，中華民國 85 年 11 月。
5. 林良泰、顏秀吉、朱純孝、吳淵展，交叉路口整體安全水準分析架構之研究，中華民國運輸學會第十一屆學術論文研討會論文集，中華民國 85 年 12 月。
6. 林良泰，車流理論講義，逢甲大學交通工程與管理學系，中華民國 86 年 1 月。
7. 林良泰、朱純孝、吳淵展，間距特性之應用分析，都市交通第 90 期，中華民國 85 年 11 月。
8. 簡易正，非號誌化交叉路口容量與延滯之研究，交通大學交通運輸研究所碩士論文，中華民國 83 年 6 月。