

聯網隊列之路口決策方法

車輛中心 研究發展處 陳昱睿、王崑騰

一、前言

根據全球市場調查，2021 年至 2030 年全球卡車隊列市場預估從 639.4 億成長至 3 兆 5493 億美元。各國積極投入開發，如日本國土交通省與業者共同發展自駕卡車車隊，並著重實車道路測試；美國郵政署與自駕卡車業者合作，運行範圍自亞利桑那、新墨西哥至德州；國際大廠 Peloton Technology、Volvo、Scania 及 Daimler 等皆投入隊列技術中。雖有這麼多國際技術團隊投入，但未見隊列應用於市區路口場景，可見隊列路口決策為技術落地之關鍵技術。因此車輛中心（ARTC）開發團隊針對隊列車隊通過路口提出一決策流程。

二、隊列自駕路口決策—系統架構與流程

基於 C-V2X 交通號誌傳輸架構，隊列路口系統架構如下圖 1，交通號誌、車隊長及車隊員皆具定位、CV2X 功能可相互傳遞訊息。車隊長及車隊員具感知功能，可判定各車可行駛間距；車隊長另具導航功能，可規劃 A 點到 B 點行駛路線。

隊列路口決策模組包含預估通過路口時間及可行空間與速度、加速度規劃。車隊長依當下車速及可行空間推估隊列車隊通過路口所需時間，再經由最佳化速度決策模組決定速度、加速度。故大致可將路口決策分為三部分 a. 推估各車可行駛空間、b. 規劃速度與加速度、c. 預估隊列車隊通過路口時間。

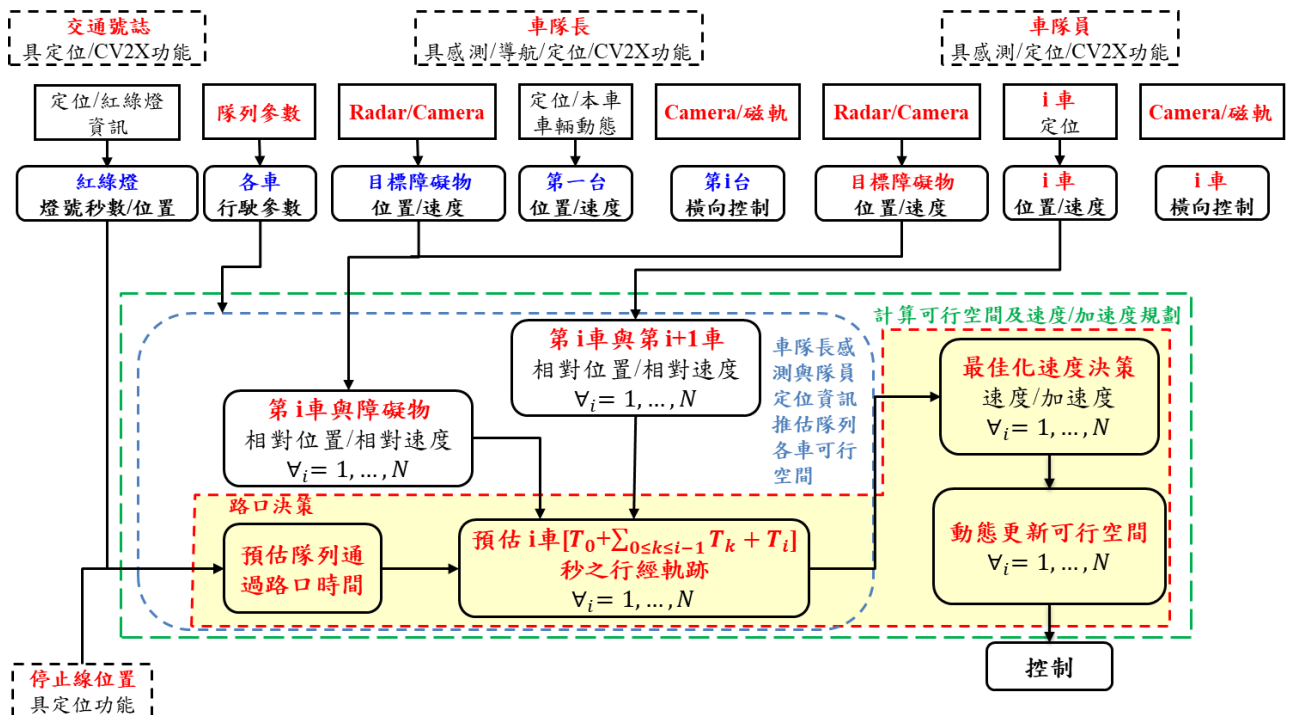


圖 1、隊列路口決策系統架構

隊列路口決策流程如圖 2 所示，當隊列車隊接近路口時車隊長計算通過路口時間、接收紅綠燈剩餘秒數資訊與車間間距及前方障礙物資訊。若車隊遭其它車輛 cut in 則執行拆組隊。接著判斷隊列車隊是否能夠順利通過路口，判斷邏輯如式(1)、(2)所示。在綠燈剩餘時間內無法通過路口時，隊列車隊發送訊號請求號誌延長秒數，若在設定延長時間最大值內還是無法通過，則調整隊列車隊之車速至最佳化來通過路口或停等號誌。反之隊列車隊接近路口時若路口號誌是紅燈，車隊長取得紅燈剩餘秒數後，以不停等紅綠燈為目標調整車隊車速至最佳化如式(3)。

$$V_{lead}^{cmd}, \text{ if light is red, } \frac{D_{last}}{V_{last}} > T_R \text{ and } \frac{D_{last}}{V_{last}} - T_R < T_G + T_Y + T_{delay} \quad \text{式(1)}$$

$$V_{lead}^{cmd}, \text{ if light is green or yellow along with } \frac{D_{last}}{V_{last}} \leq T_G + T_Y - T_{delay} \quad \text{式(2)}$$

$$\min\left(\frac{D_{last}}{T_{cycle}}, V_{lead}^{cmd}\right), \text{ o.w. , where } T_{cycle} \text{ is time to next green ligh} \quad \text{式(3)}$$

式中各代號所代表的物理意義如下：

D_{last} ：最後一位車隊員至停止線距離

D_{lead} ：車隊長至停止線距離

V_{lead}^{cmd} ：車隊長決策速度

V_{last} ：車隊員當前速度

T_{allow}^{green} ：到路口可通過的時間

T_{allow} ：車隊通過時間

T_{delay} ：信號傳遞延遲時間

T_{cycle} ：下個綠燈剩餘時間

T_G ：綠燈剩餘時間

T_Y ：黃燈剩餘時間

T_R ：紅燈剩餘時間

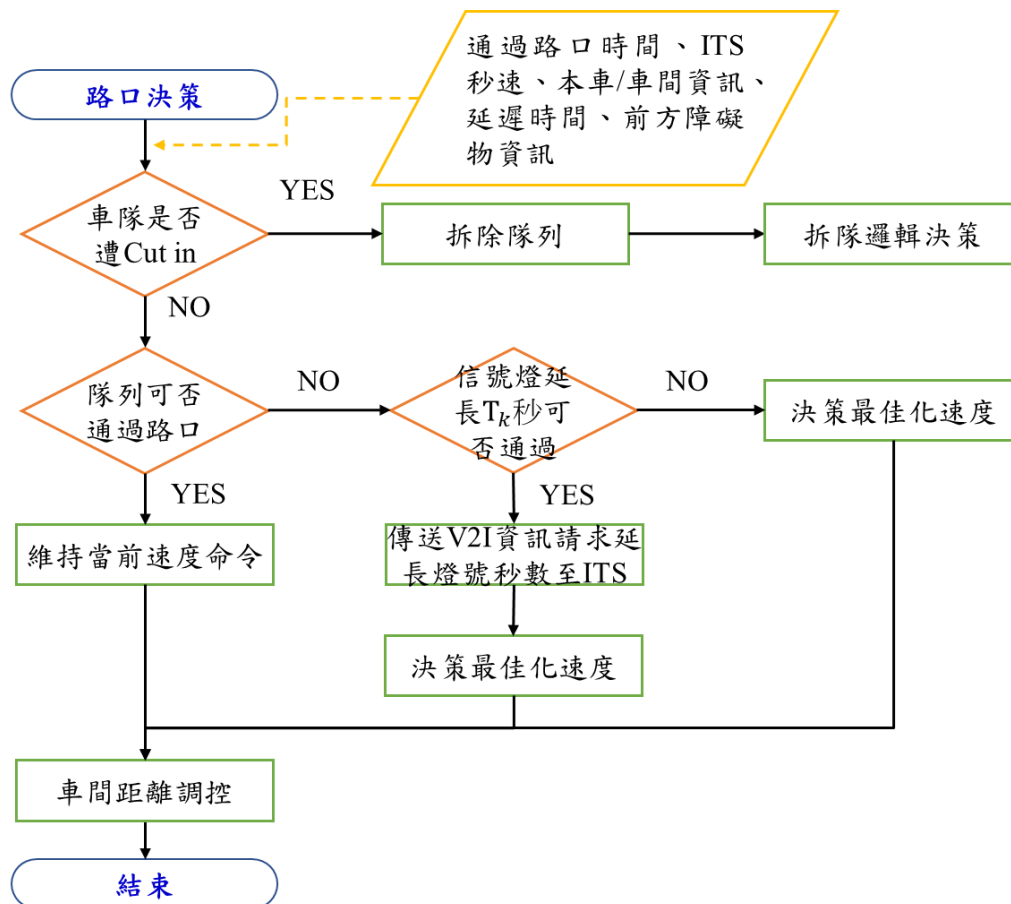


圖 2、隊列路口決策流程

三、實車測試

本文中隊列路口決策已在車輛中心 Winbus 自駕小巴上實現如圖 3，下列小節分別描述行經路口調控車速停等紅燈及調整車隊車速，不停等紅燈達到最佳行駛效率。



圖 3、(a)隊列自駕車隊

(b)隊列車隊行經有號誌路口

1. 無法通過路口—調控隊列車速

如圖 4 所示，圖表依序描述為隊列車隊車速（藍）及目標車速（紅）、車隊加速度（藍）及目標加速度（紅）、車隊跟車間距（藍）及目標跟車間距（紅）、距離紅綠燈號誌路口之距離。當車隊進入路口決策區間（圖中 t_1 ），此時車隊長判定轉換為綠燈後車隊無法通過路口。因此降低車速、緩

慢接近路口，在 t_2 區間時推算此時加速行駛可在燈號轉變為綠燈（ t_3 區間）通過，且以通過路口時已達最高行駛速度，因此， t_2 - t_3 間提升車速。

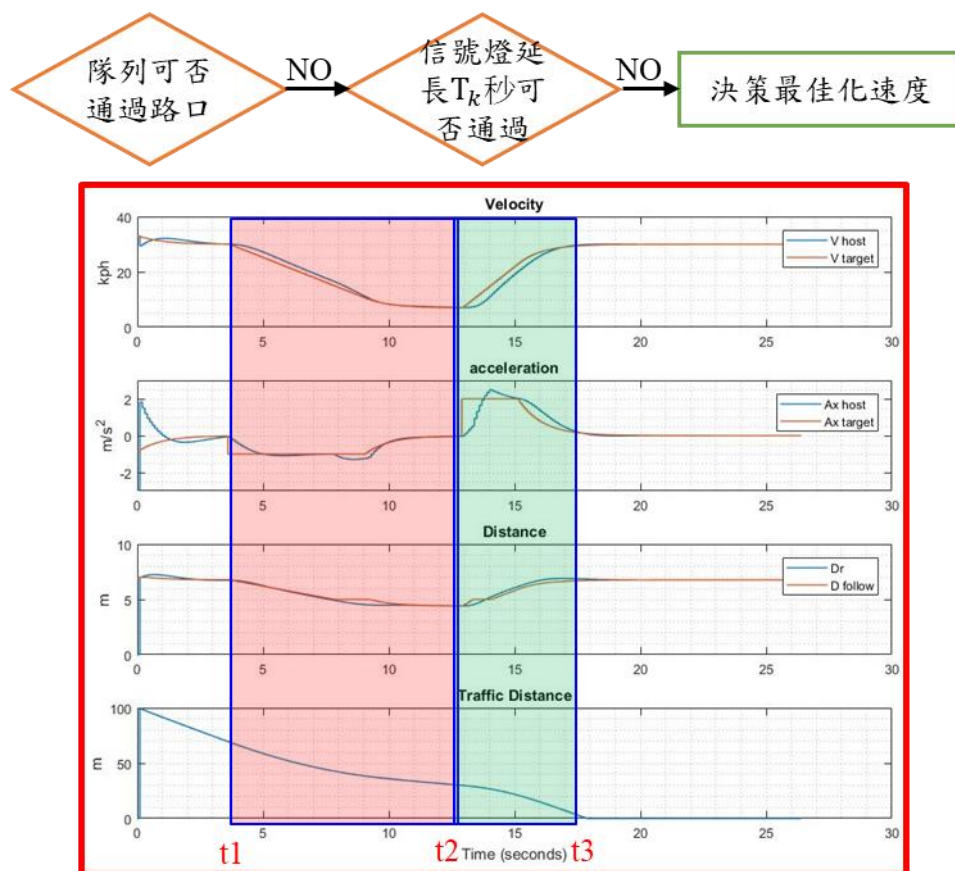


圖 4、無法通過路口—調控隊列車速

2. 延長號誌時間通過路口

當車隊長進入路口決策區間（ t_1 ），判定請求燈號延長可以通過路口，則執行最佳化速度控制，以利在燈號轉變前通過路口（ t_2 ），如圖 5。

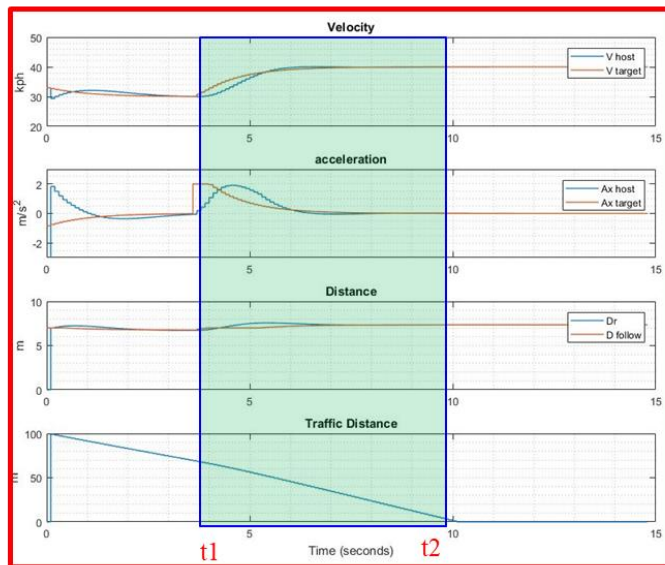
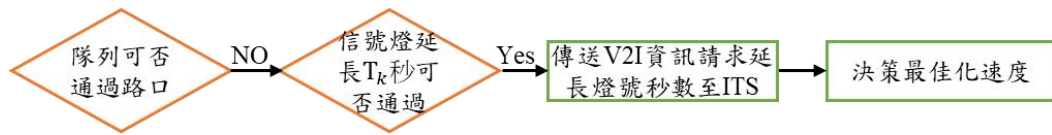


圖 5、延長號誌時間以利隊列車隊通過路口

四、總結

聯網隊列路口決策開發可以適用於臺灣都會區大眾運輸相關系統，保有隊列車隊節能、安全且有效率的優點，進而在面臨路口場景之都會區依然能夠運行，提升都會區交通效率。若隊列車隊面臨不可調控號誌秒數路口，系統依然能夠針對車隊車速進行調控，以達到最佳行駛或節能效率。另外路口決策一直以來也是自動駕駛系統中一個很受關注的議題，本文中提出路口決策方法也可適用於 level 3、4 自駕等級系統，對於未來自駕與隊列技術整合上可以減少技術銜接的落差。