

從周車感知到多車協同：智能 網聯汽車關鍵技術研究

汪龔 博士

香港理工大學

中國生產力促進中心協會汽車工作委員會委員

世界交通運輸大會車路雲交通行為技術委員會委員

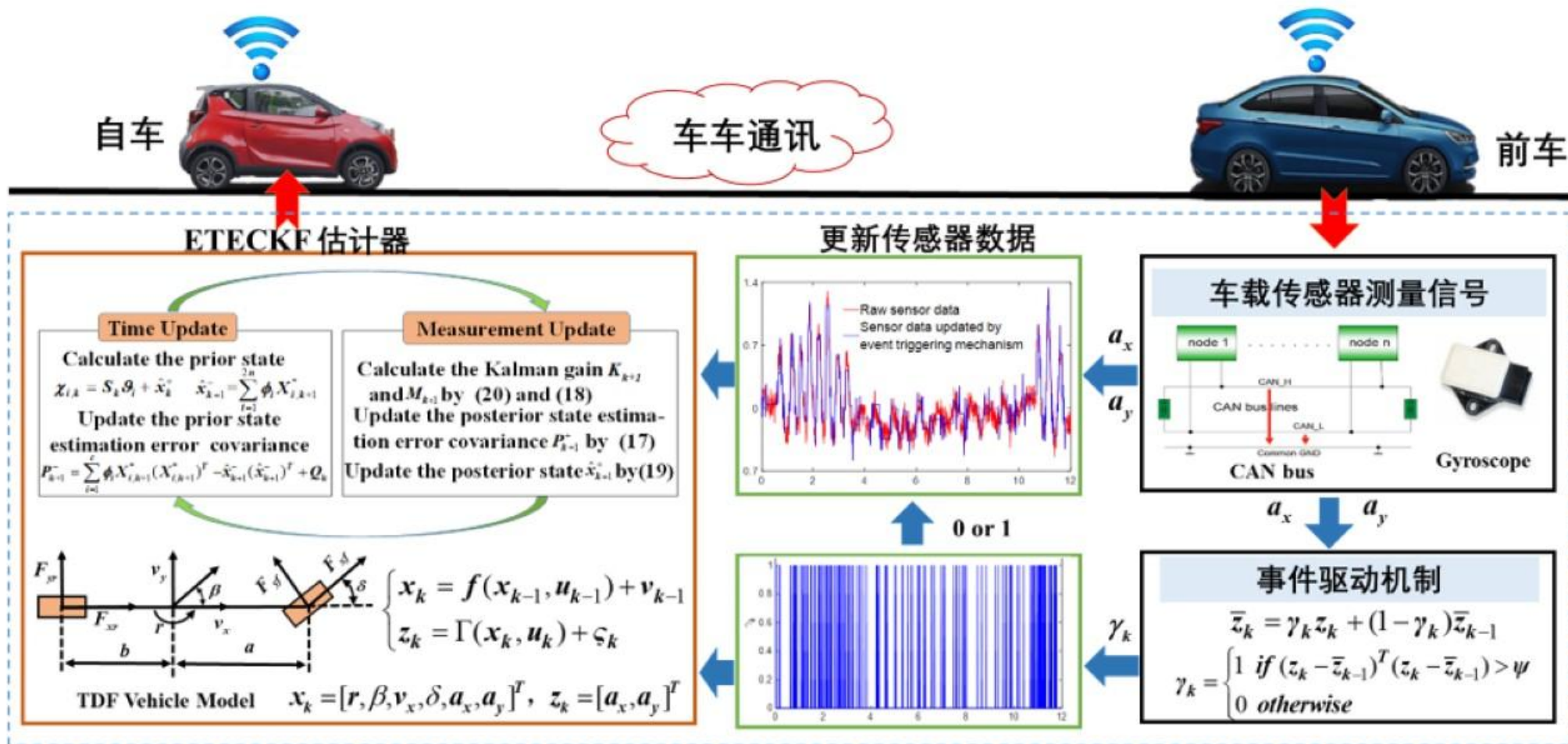
中國自動化學會智能車工作委員會委員



網聯環境下周車運動預測關鍵技術

事件驅動架構的前車狀態預測

構建基於測量序列偏差的事件驅動機制，提出事件驅動嵌入式容積卡爾曼濾波的綜合估計方案



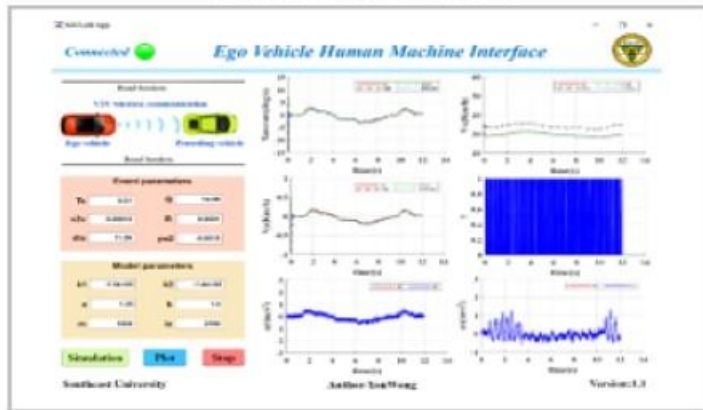
網聯環境下周車運動預測關鍵技術

事件驅動架構的前車狀態預測：測量數據間歇發送時用實車測試驗證估計演算法的有效性

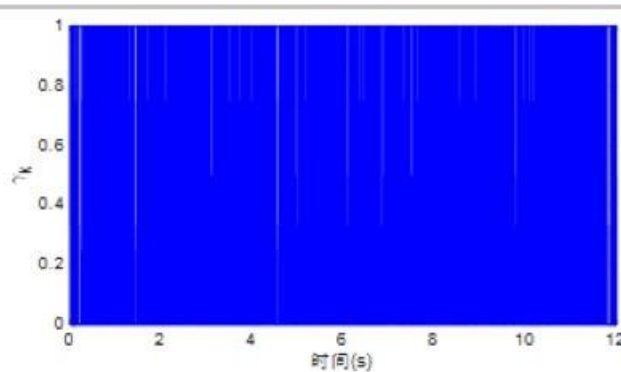
實車測試場景



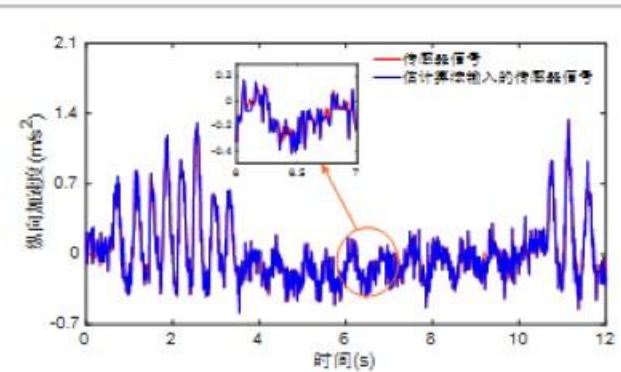
實車測試交互介面



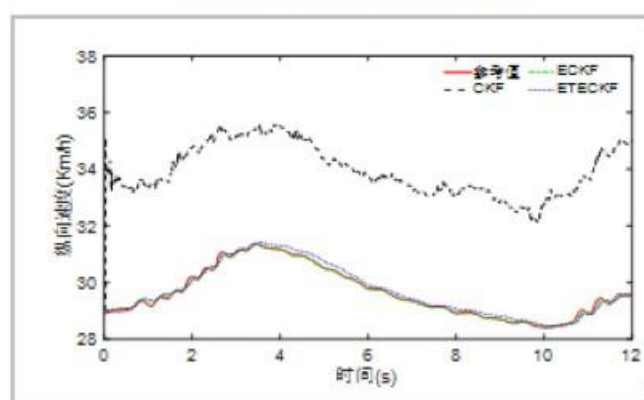
事件觸發標誌位元化



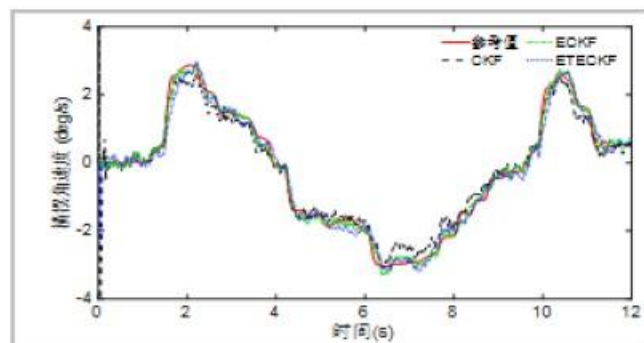
縱向加速度傳輸情況



前車縱向速度估計



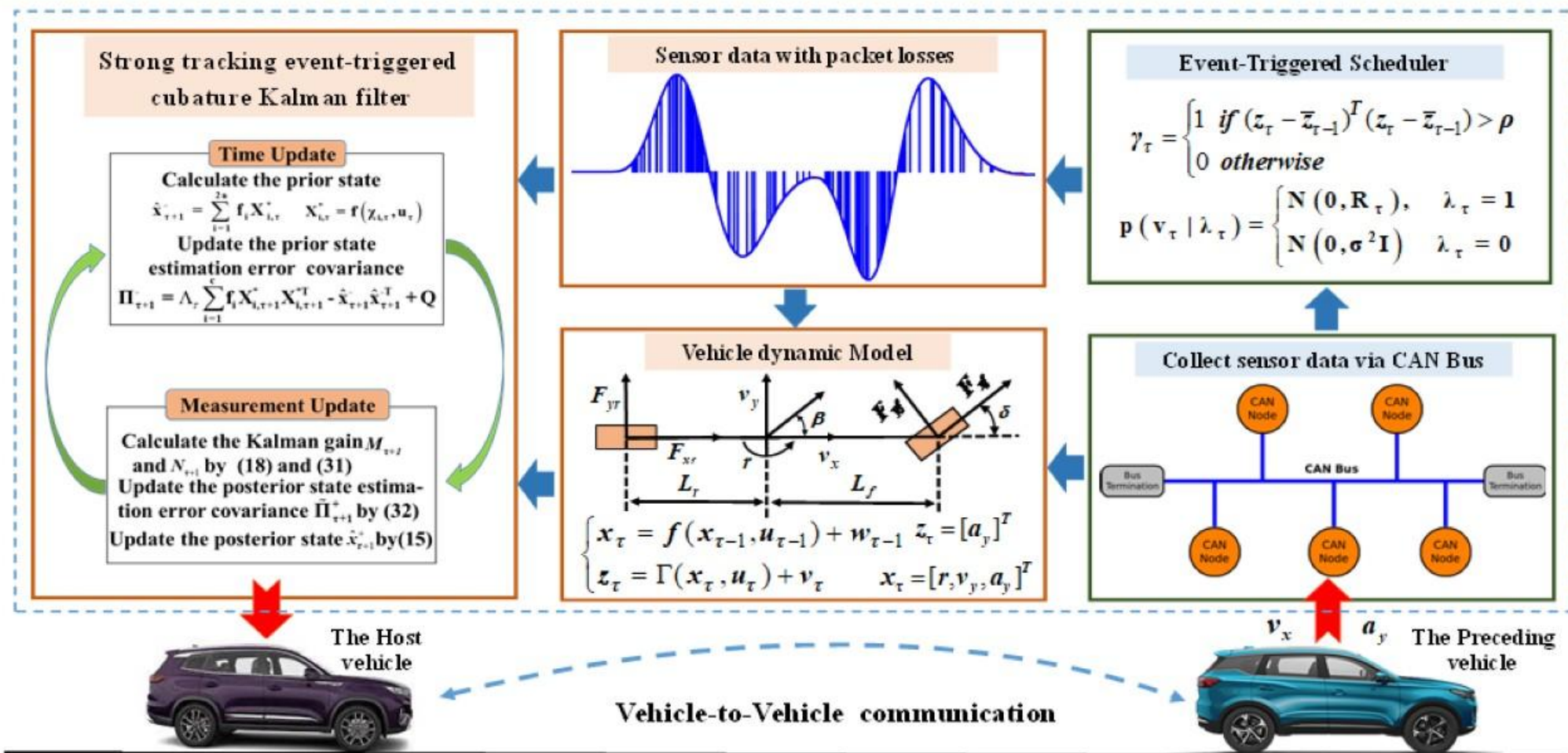
橫擺角速度估計



網聯環境下周車運動預測關鍵技術

考慮參數攝動與丟包的網聯車輛狀態預測

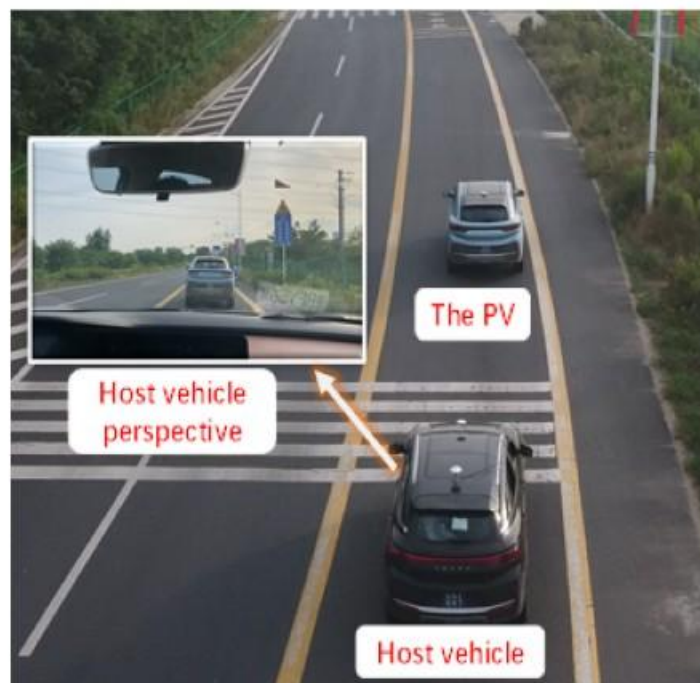
融合事件驅動機制與強跟蹤濾波，提出事件驅動強跟蹤無跡濾波的估計方案



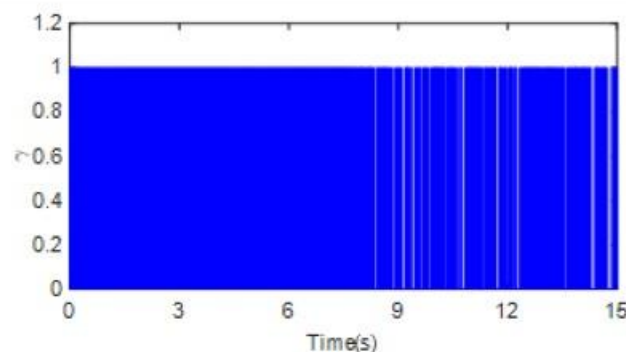
網聯環境下周車運動預測關鍵技術

考慮參數攝動與丟包的網聯車輛狀態預測：真實道路實車測試驗證估計演算法的有效性

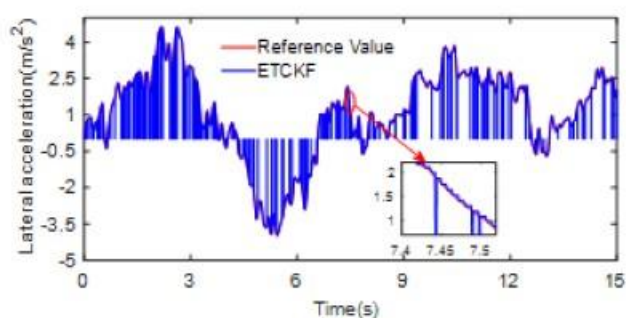
實車測試場景



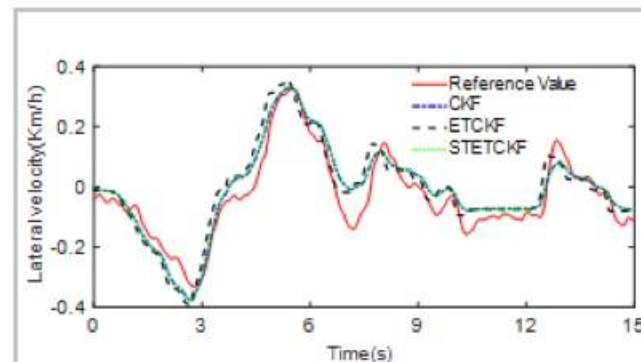
事件觸發標誌位變化



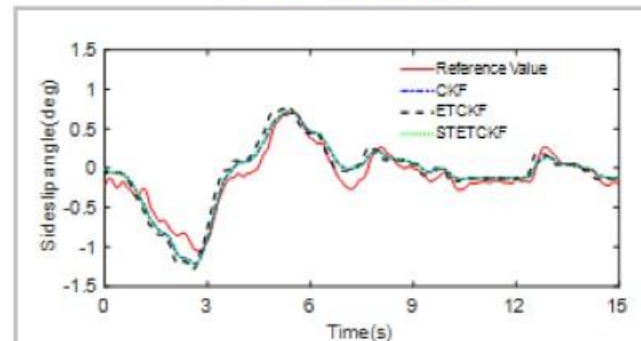
數據丟失情況



前車側向速度預測

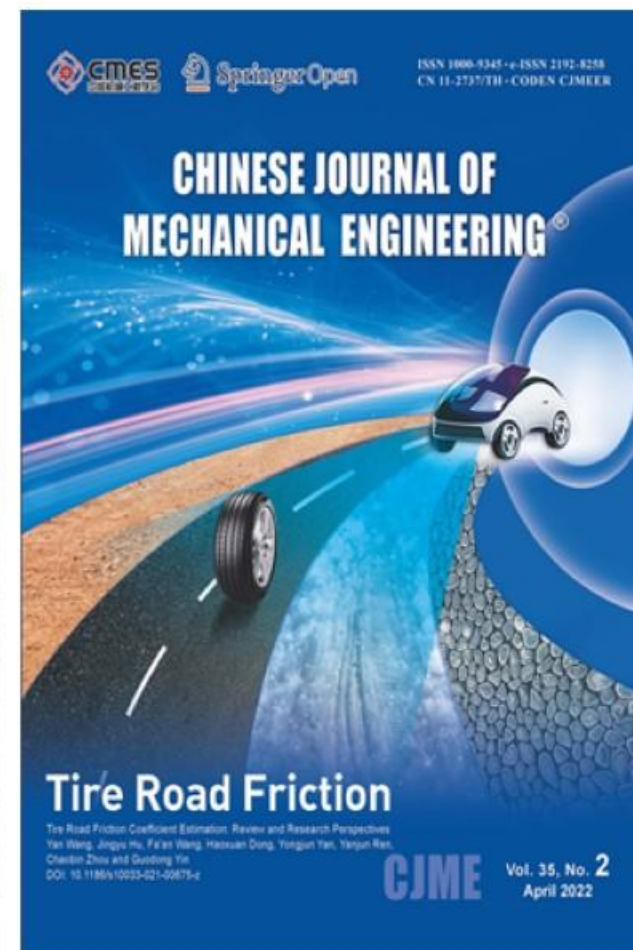
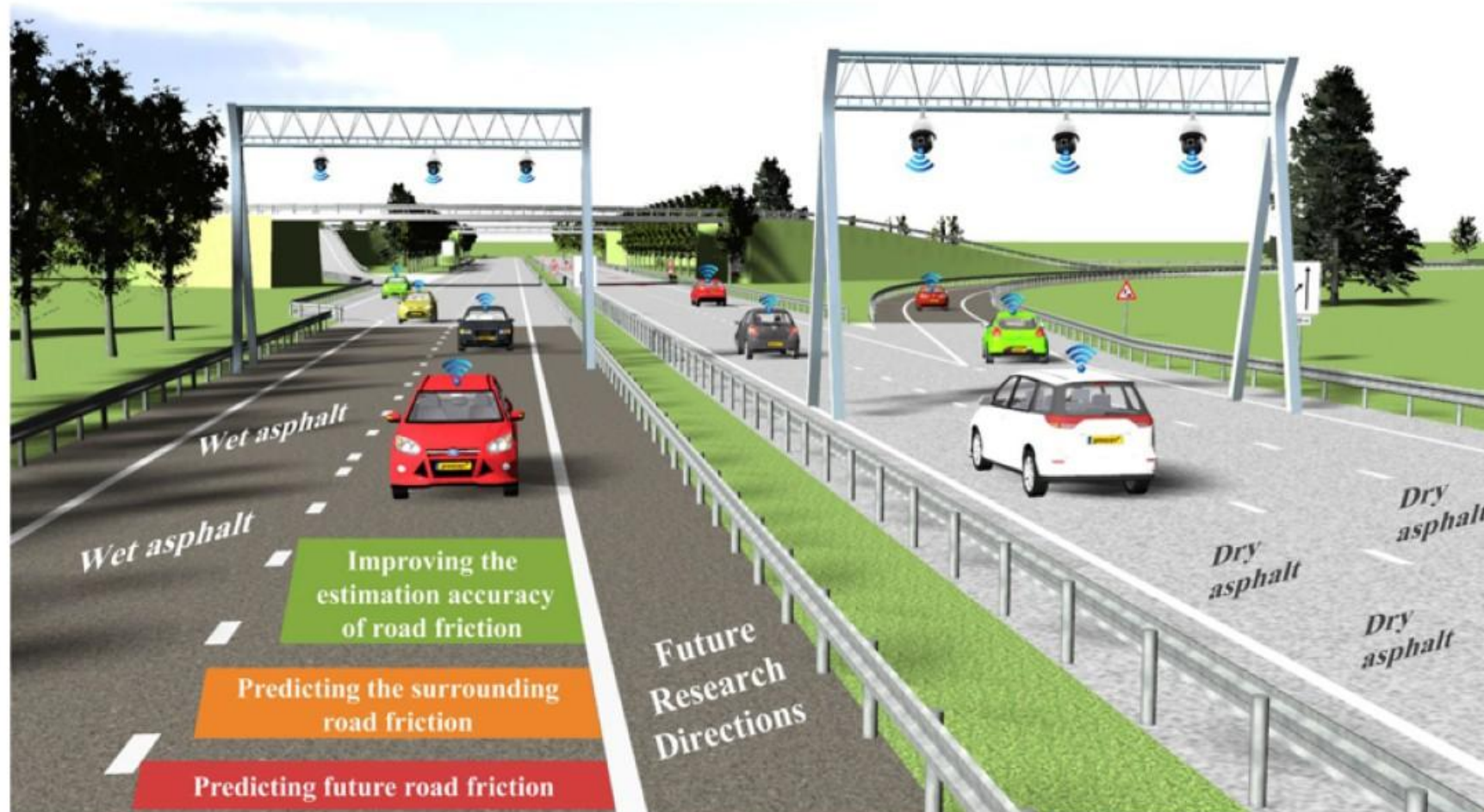


質心側偏角預測



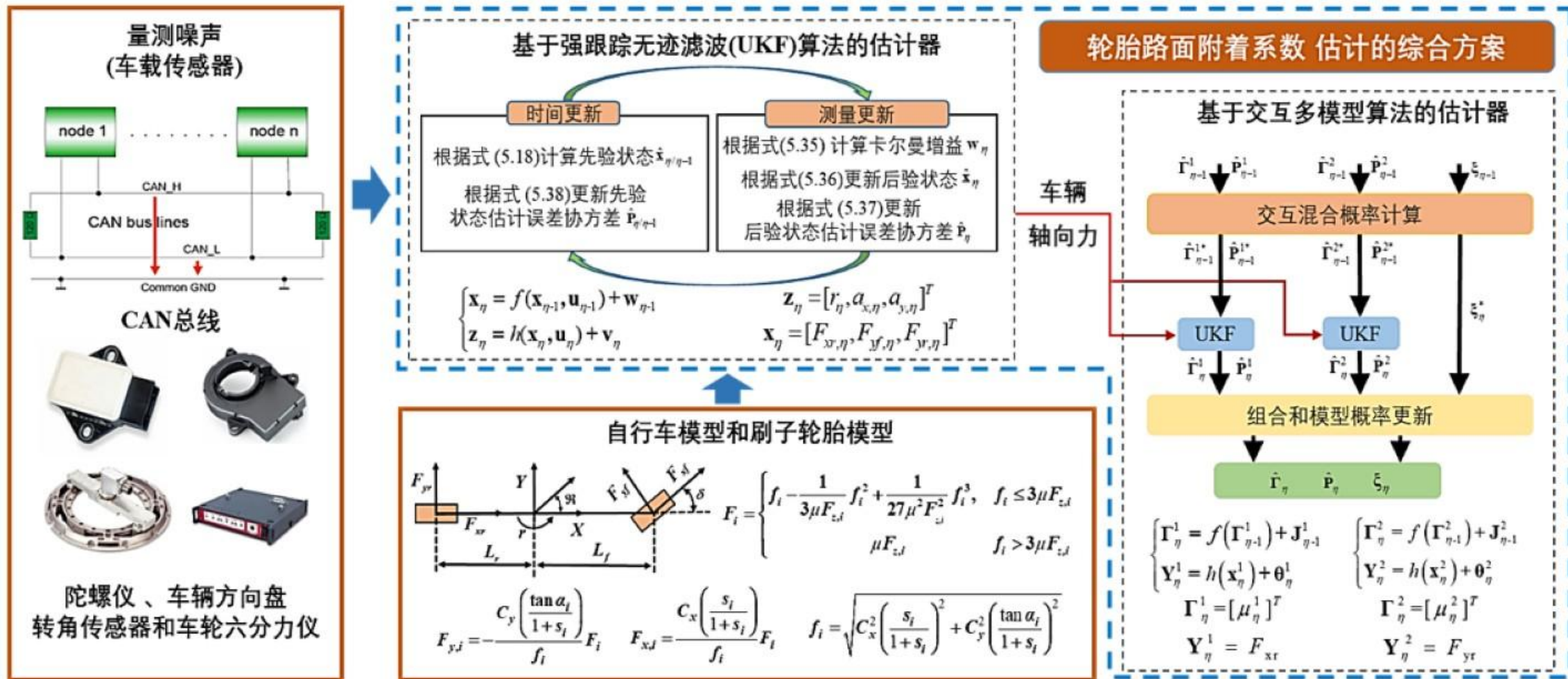
網聯環境下路面感知關鍵技術

網聯環境下前方路面資訊感知提前給車輛超視距資訊提前進行安全決策



網聯環境下路面感知關鍵技術

複雜工況下多模型融合路面附著係數辨識：建立考慮模型參數攝動多工況下路面附著係數辨識框架



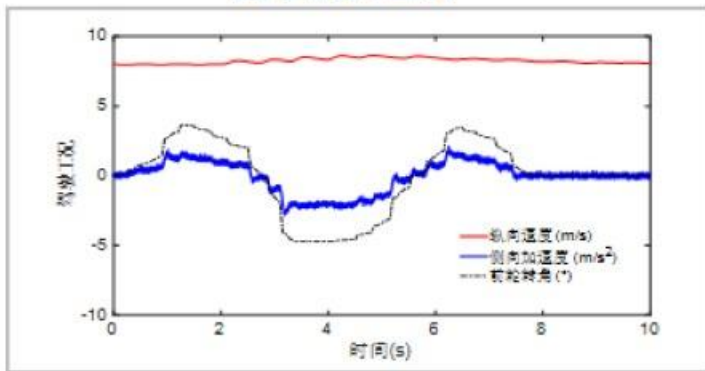
網聯環境下路面感知關鍵技術

多模型融合路面附著係數辨識：模型參數失配下實車試驗資料軸向力與路面附著係數估計驗證

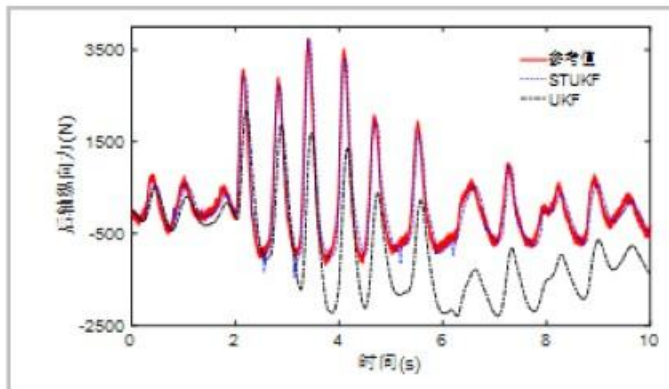
實車試驗數據獲取



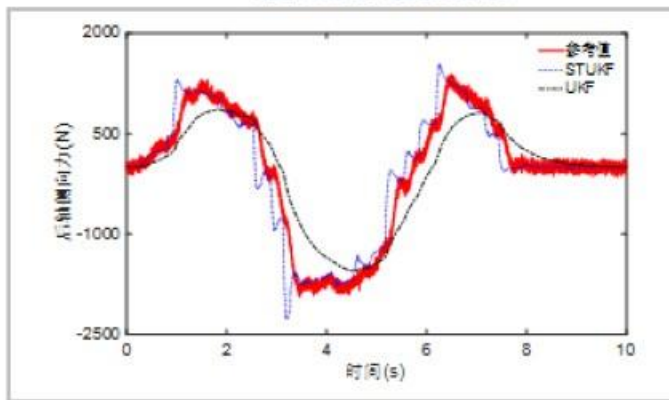
實車測試工況



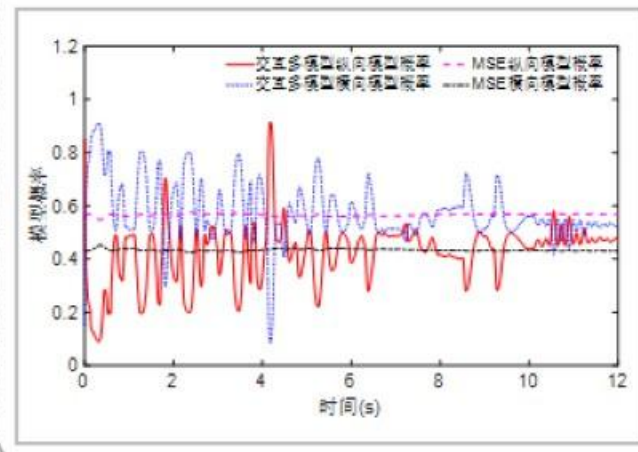
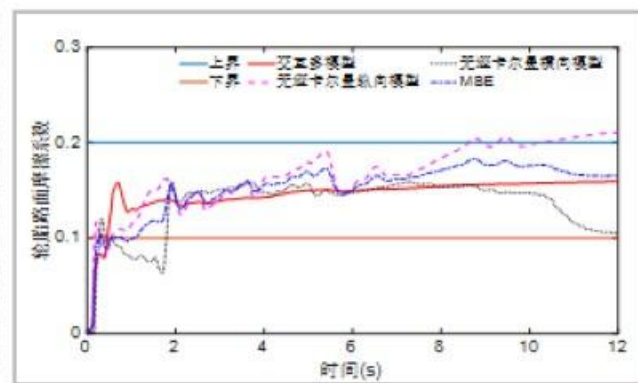
後軸縱向力估計



後軸側向力估計

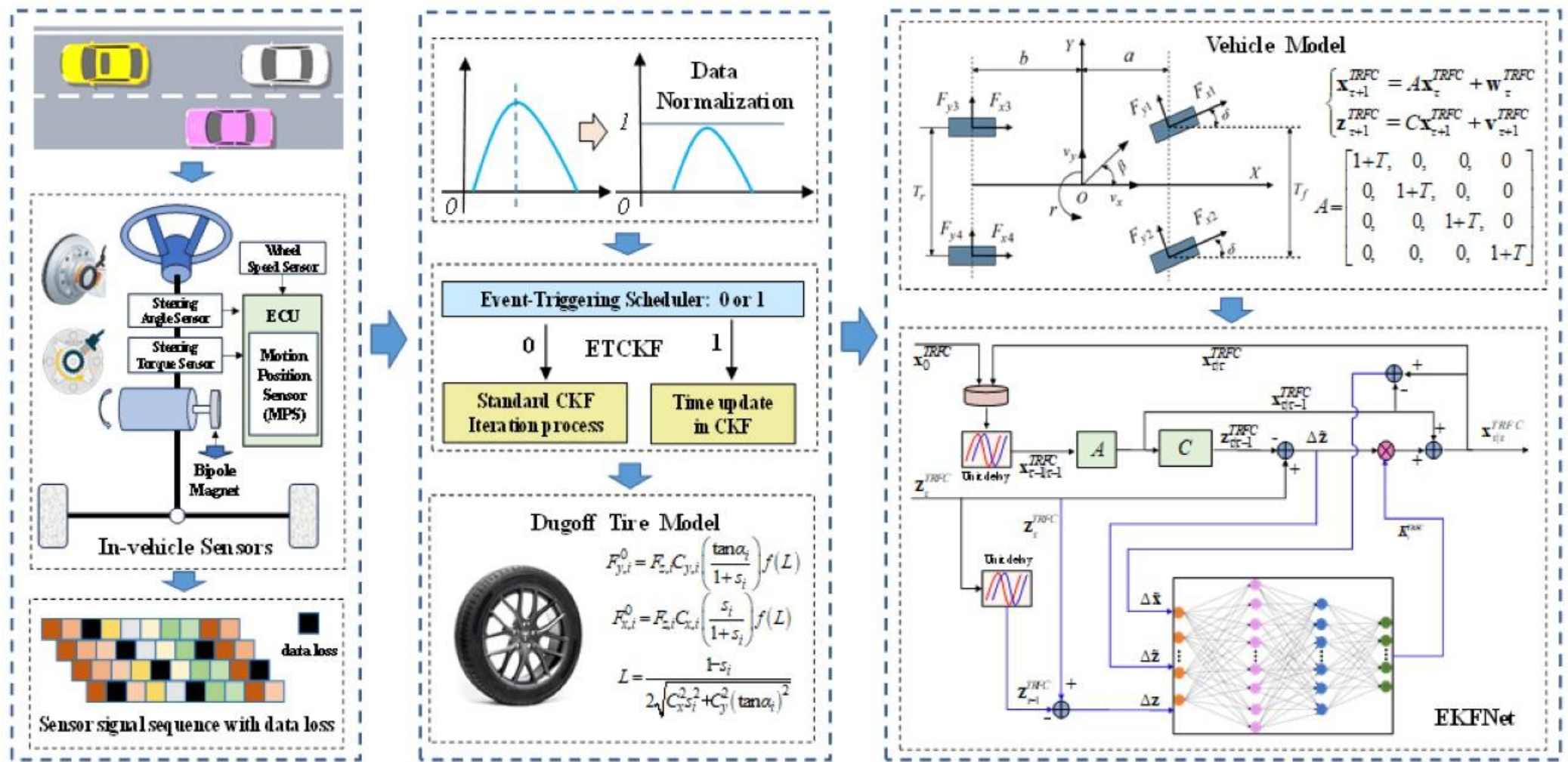


附著係數估計與概率



網聯環境下路面感知關鍵技術

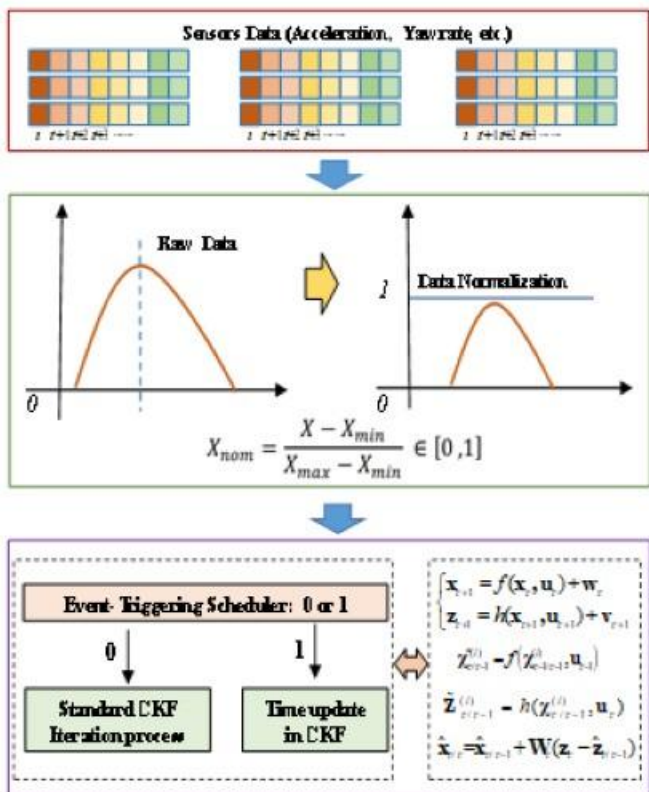
輪胎-路面附著係數的通用估計：一種基於模型的學習框架



網聯環境下路面感知關鍵技術

考慮感測器數據丟失的容錯縱向和橫向輪胎力估計

切換容積卡爾曼



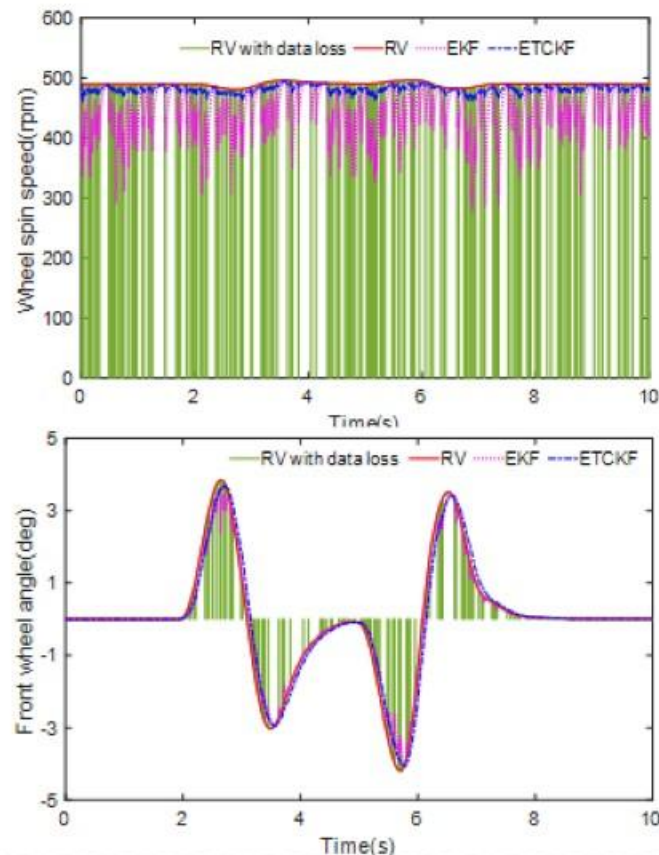
重構後感測器信號

$$\begin{cases} \mathbf{x}_{t+1} = f(\mathbf{x}_t, \mathbf{u}_t) + \mathbf{w}_t \\ \mathbf{z}_{t+1} = h(\mathbf{x}_{t+1}, \mathbf{u}_{t+1}) + \mathbf{v}_{t+1} \end{cases}$$
$$\mathbf{x} = [v_x, v_y, r, \dot{r}, a_x, a_y, \omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4, \delta]^T$$
$$\mathbf{P}_{\mathbf{z}, t/t-1} = \sum_{i=1}^c \ell_i \tilde{\mathbf{z}}_{t/t-1}^{(i)} \tilde{\mathbf{z}}_{t/t-1}^{(i)T} - \hat{\mathbf{z}}_{t/t-1} \hat{\mathbf{z}}_{t/t-1}^T + \mathbf{R}_t$$
$$\mathbf{P}_{\mathbf{x}, t/t-1} = \sum_{i=1}^c \omega_i \ell_i \tilde{\mathbf{z}}_{t/t-1}^{(i)} \tilde{\mathbf{z}}_{t/t-1}^{(i)T} - \hat{\mathbf{x}}_{t/t-1} \hat{\mathbf{x}}_{t/t-1}^T$$

Yaw Acceleration (rad/s²)

Time (s)

重構相關結果



網聯環境下路面感知關鍵技術

設計擴張卡爾曼神經網路，建立適應多種雜訊和多車型估計演算法

基於模型學習辨識

Sensors Data form Event-triggered CKF

Dugoff Tire Model

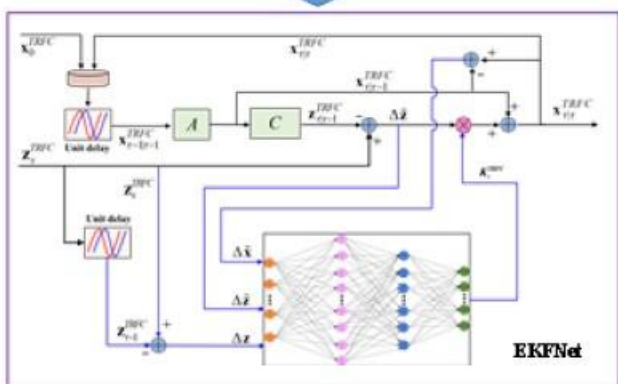


$$L = \frac{1-s_j}{2\sqrt{C_x^2 s_j^2 + C_y^2 (\tan \alpha_j)^2}}$$

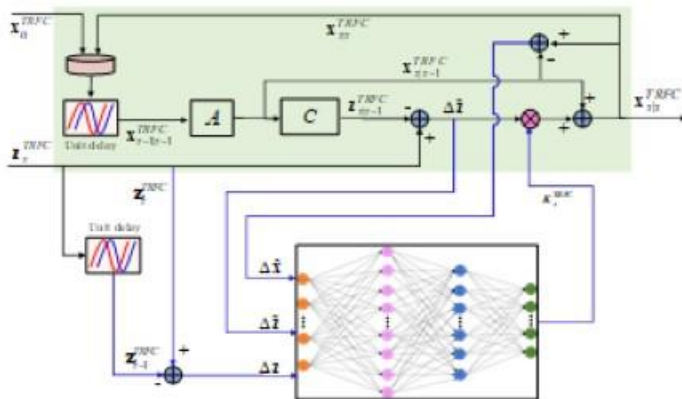
$$F_{x,j}^0 = F_{x,j} C_{x,j} \left(\frac{s_j}{1+s_j} \right) f(L)$$

$$F_{y,j}^0 = F_{y,j} C_{y,j} \left(\frac{\tan \alpha_j}{1+s_j} \right) f(L)$$

$$F_{z,j} = \frac{mg b}{2(a+b)} - \frac{m a_j h}{2(a+b)} - \frac{m a_j h}{T_j} \frac{b}{a+b}$$



擴展卡爾曼神經網路



$$\mathbf{x}_{t|t-1}^{TRFC} = \mathbf{A} \mathbf{x}_{t-1|t-1}^{TRFC}$$

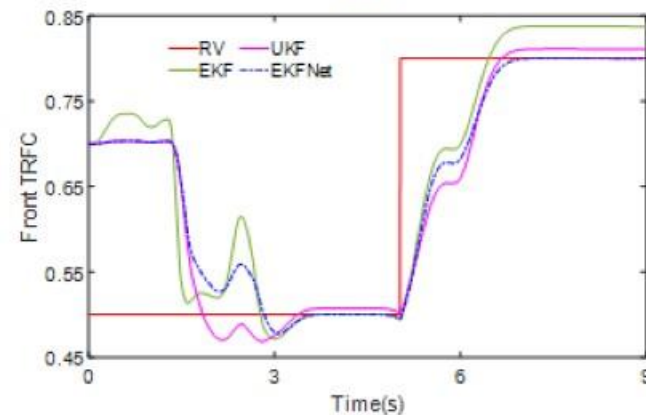
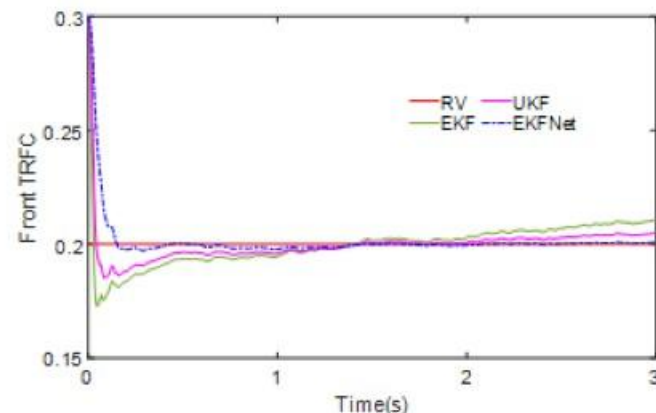
$$\mathbf{K}_t^{TRFC} = \mathbf{P}_{t|t-1}^{TRFC} \mathbf{C}^T (\mathbf{C} \mathbf{P}_{t|t-1}^{TRFC} \mathbf{C}^T + \mathbf{R}^{TRFC})^{-1}$$

$$\mathbf{P}_{t|t}^{TRFC} = (\mathbf{I} - \mathbf{K}_t^{TRFC} \mathbf{C}) \mathbf{P}_{t|t-1}^{TRFC}$$

$$\mathbf{P}_{t|t-1}^{TRFC} = \mathbf{A} \mathbf{P}_{t-1|t-1}^{TRFC} \mathbf{A}^T + \mathbf{Q}^{TRFC}$$

$$\mathbf{x}_{t|t}^{TRFC} = \mathbf{x}_{t|t-1}^{TRFC} + \mathbf{K}_t^{TRFC} (\mathbf{z}_t^{TRFC} - \mathbf{C} \mathbf{x}_{t|t-1}^{TRFC})$$

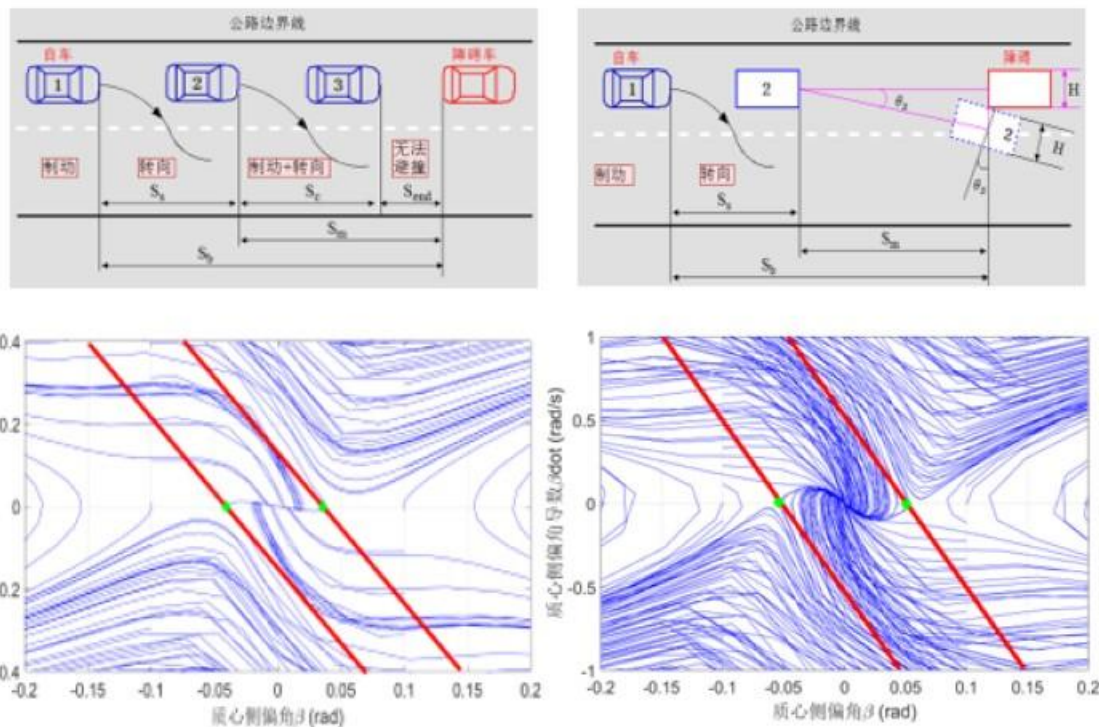
多種路面驗證



網聯環境下多車協同控制關鍵技術

車車通訊下車輛自學習協調避撞：設計自適應避撞模式分類方法，提出考慮車-路狀態與車輛穩定性和幾何約束下綜合避撞控制方案

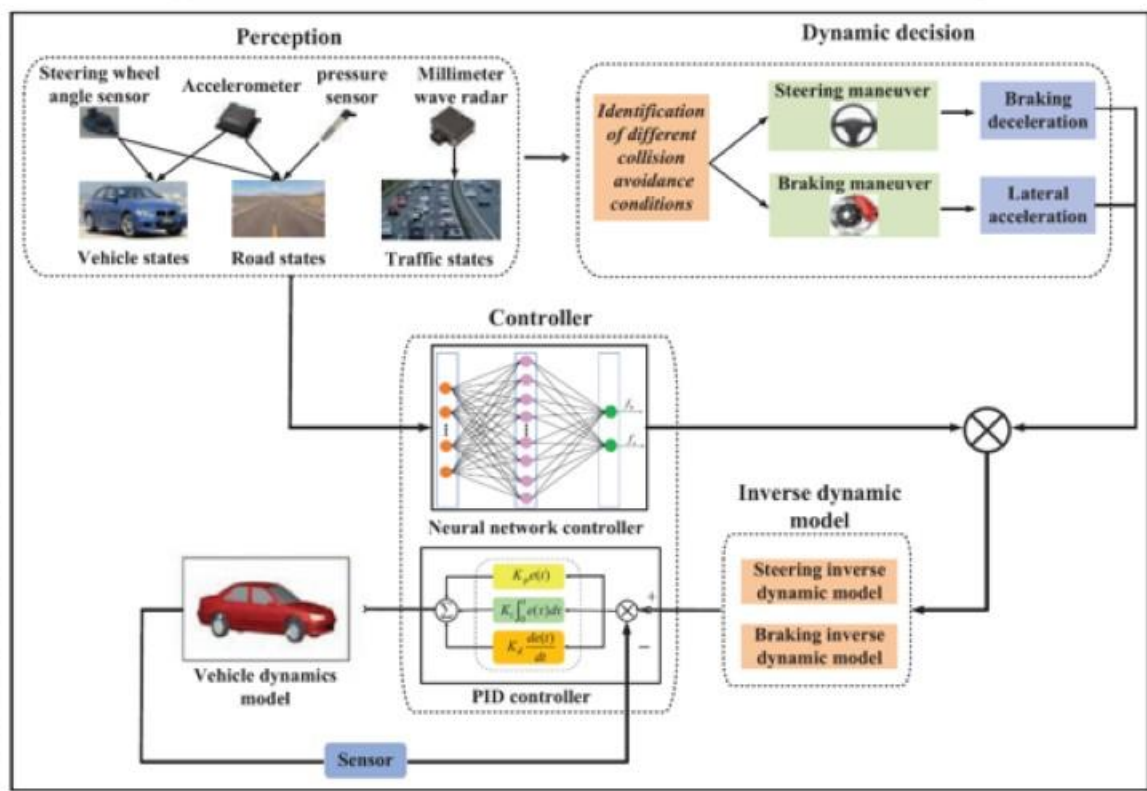
車輛避撞模式分類與穩定域判定



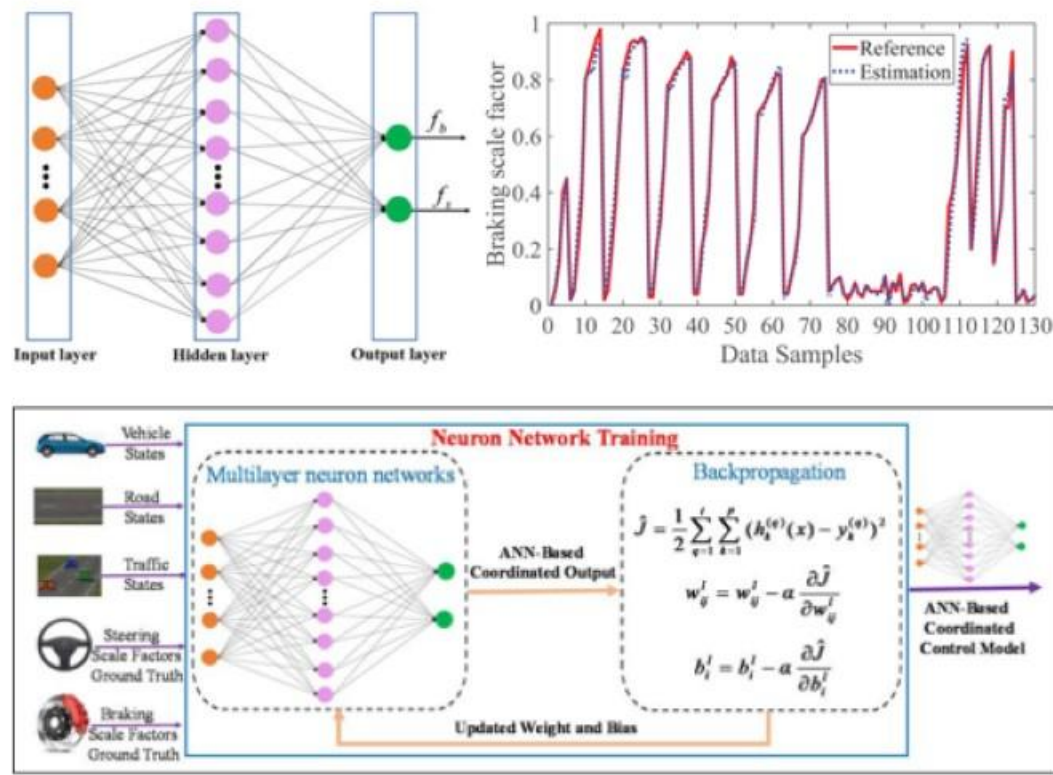
網聯環境下多車協同控制關鍵技術

車車通訊下車輛自學習協調避撞：基於神經網路自學習能力設計制動與轉向協調比例因數並建立分層控制架構

制動與轉向自學習協調避撞



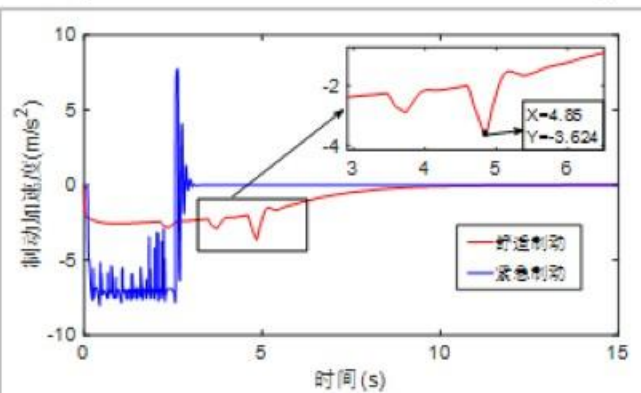
神經網路結構與協調比例因數預測



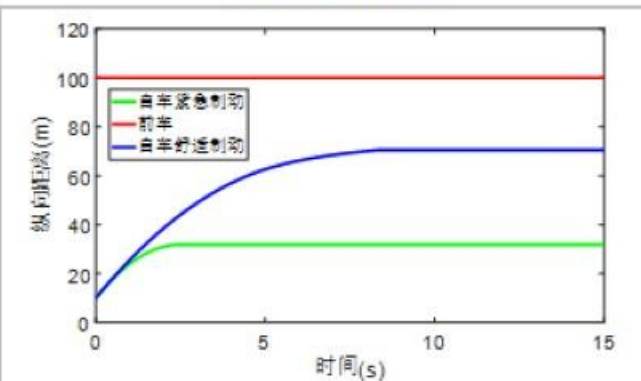
網聯環境下多車協同控制關鍵技術

車車通訊下車輛自學習協調避撞：不同避撞模式下車輛主動避撞模擬測試驗證

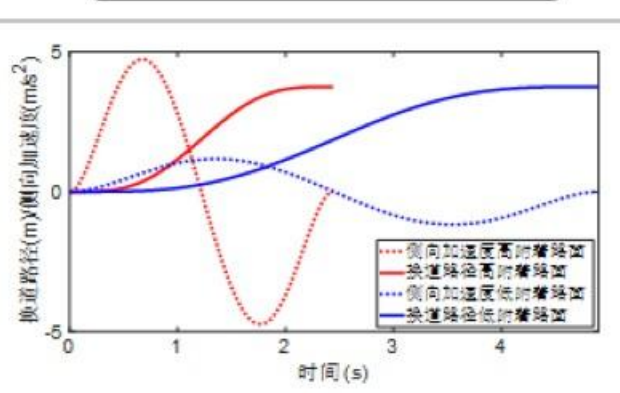
縱向避撞驗證



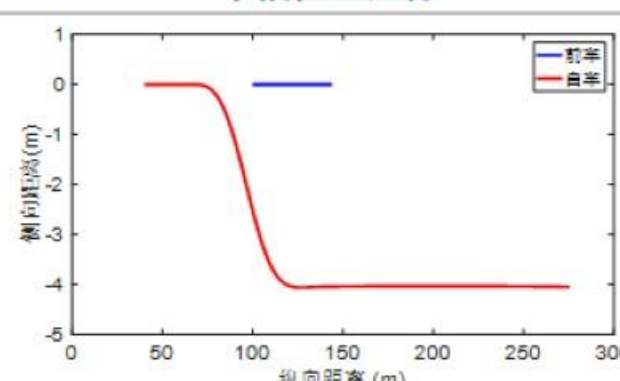
車輛縱向位移



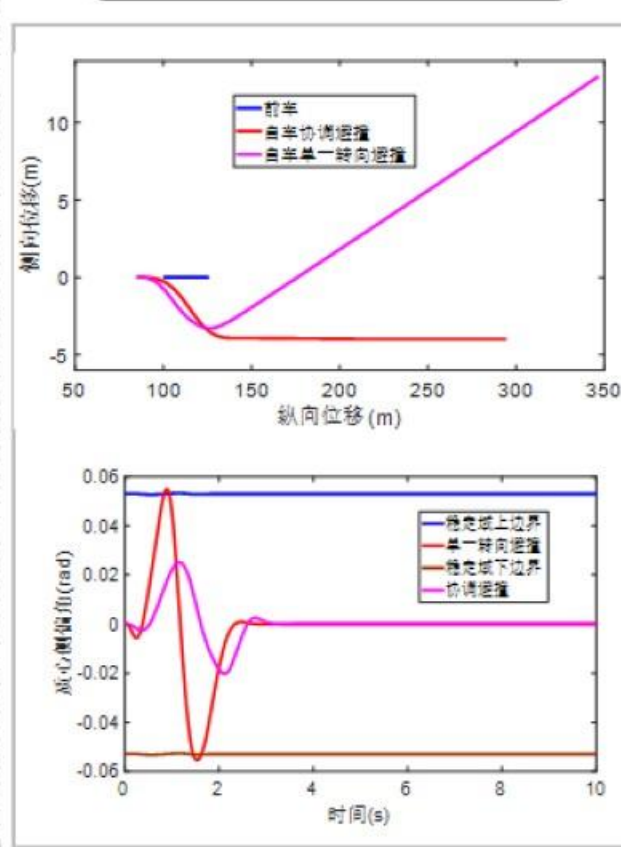
轉向避撞驗證



車輛位置座標



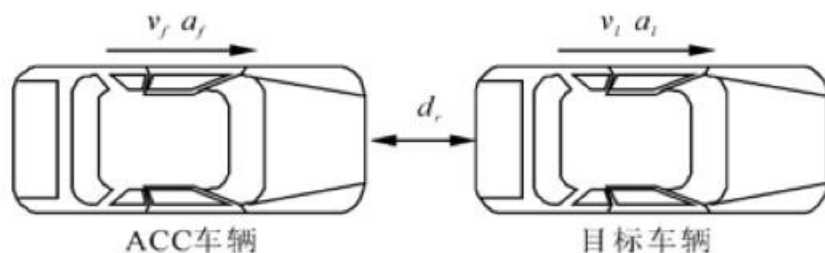
協調避撞驗證



網聯環境下多車協同控制關鍵技術

網聯自适应巡航控制：基於自巡航車輛速度、距離、加速度等資訊建立自我調整模型預測控制系統，實現多目標優化控制

問題公式化



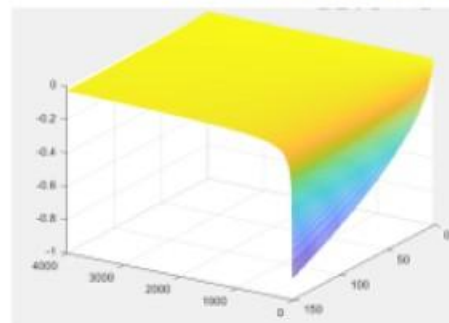
$$\dot{x} = Ax + Bu + \Gamma\mu$$

$$\begin{bmatrix} \Delta \dot{d} \\ \Delta \dot{v} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta d \\ \Delta v \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -\tau_h \\ -1 \end{bmatrix} a_f + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} a_l$$

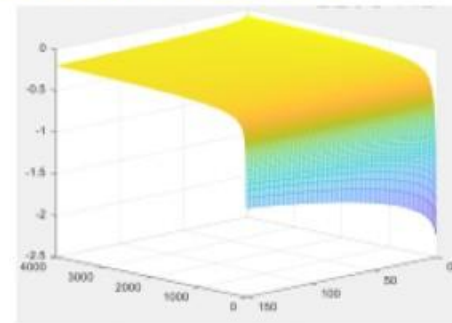
二次型性能指標為：

$$R = [r] \quad Q = \begin{bmatrix} Q_1 & 0 \\ 0 & Q_2 \end{bmatrix} \quad J = \frac{1}{2} \int_0^{\infty} [x^T Q x + u^T R u] dt$$

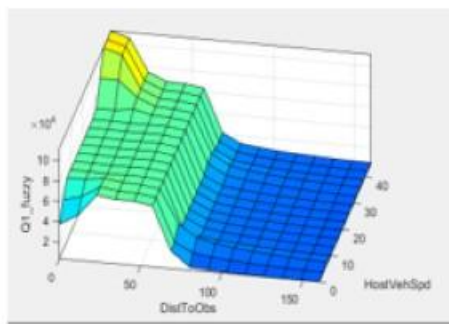
最優參數離線生成與模糊規則曲面



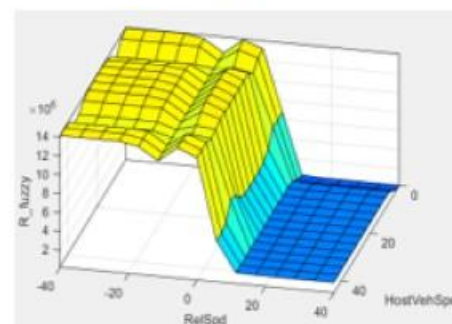
距離係數曲面



速度係數曲面



距離參數選擇規則面

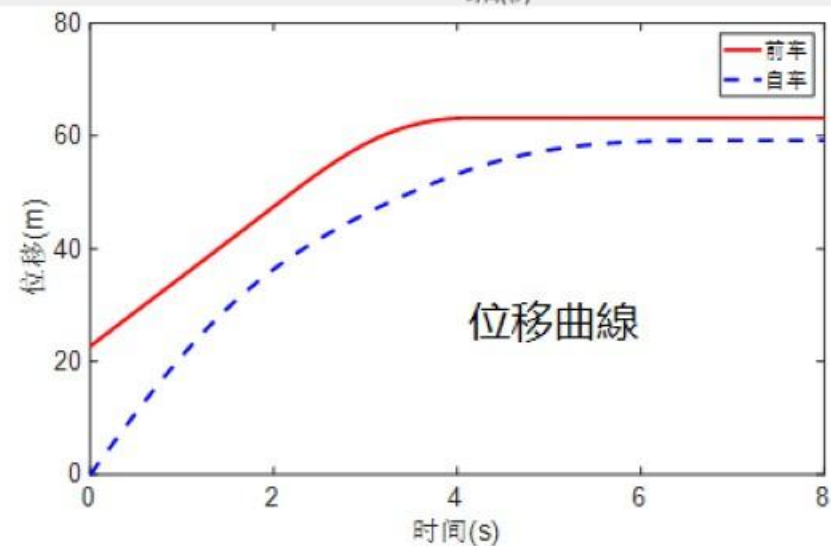
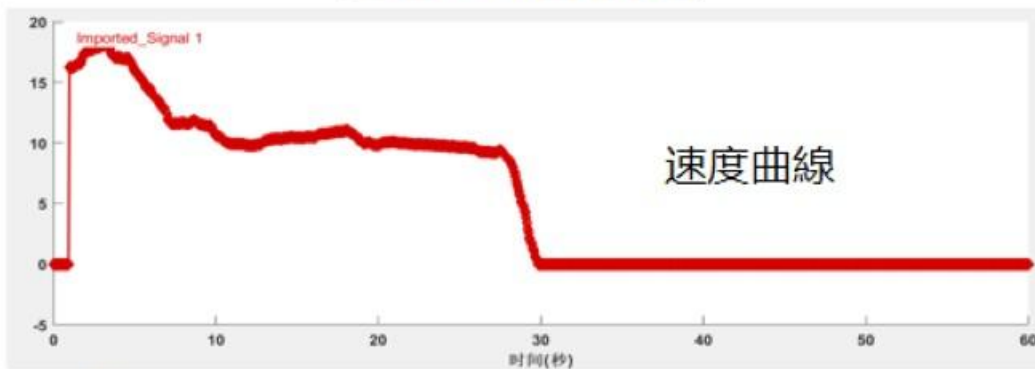


速度參數選擇規則面

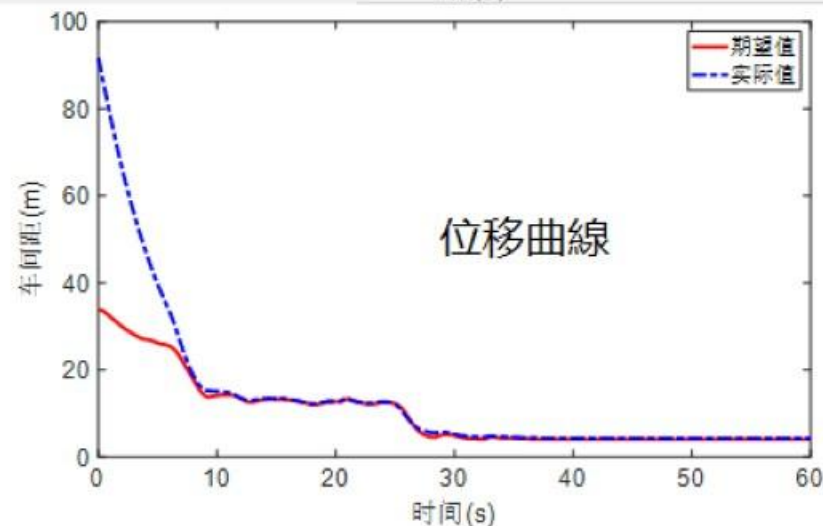
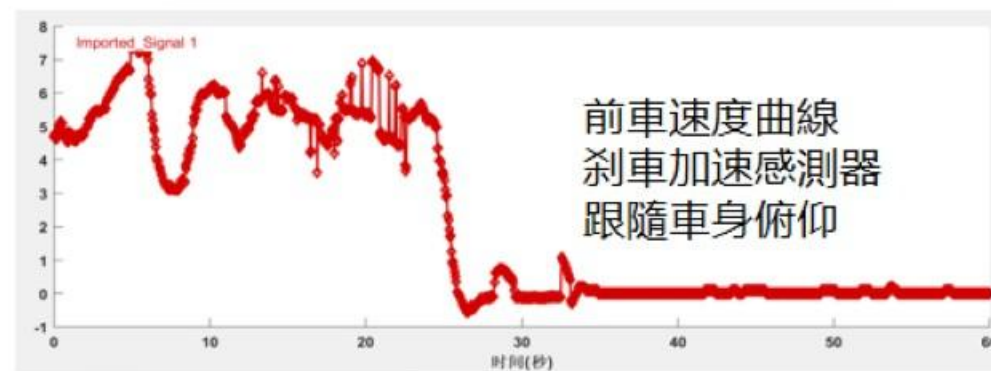
網聯環境下多車協同控制關鍵技術

網聯自我調整巡航控制：城市極端工況ACC控制效果驗證

前車急剎車情況

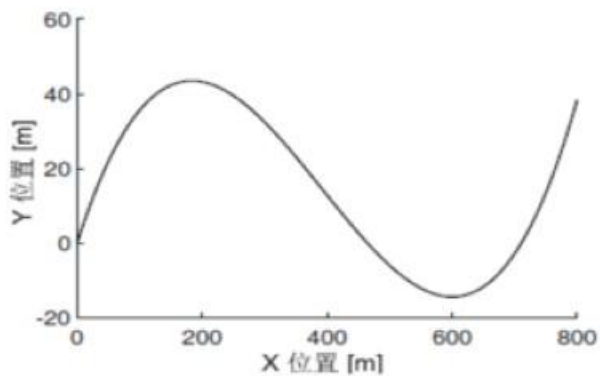
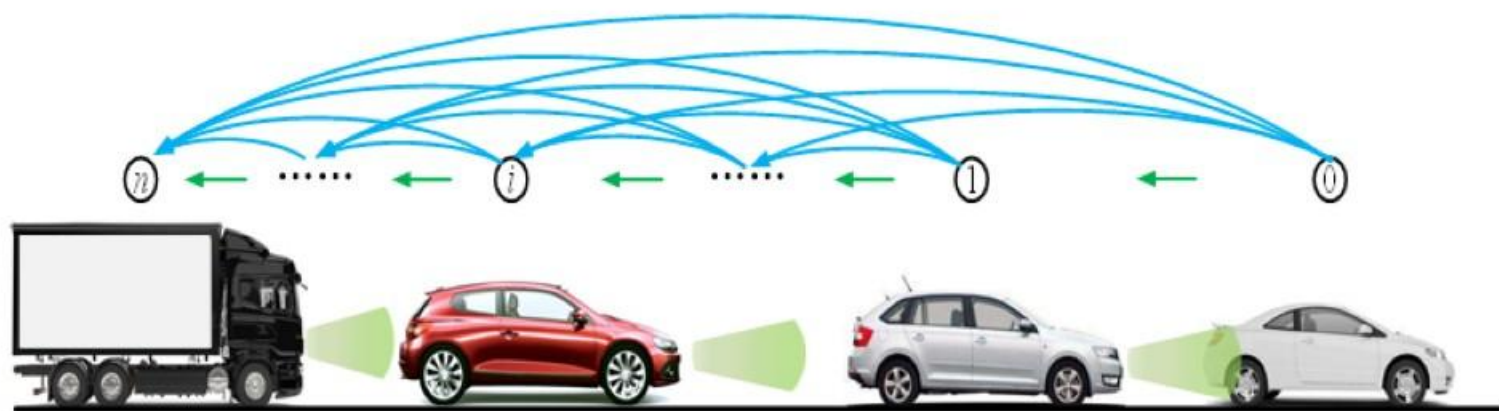


前車走走停停工況

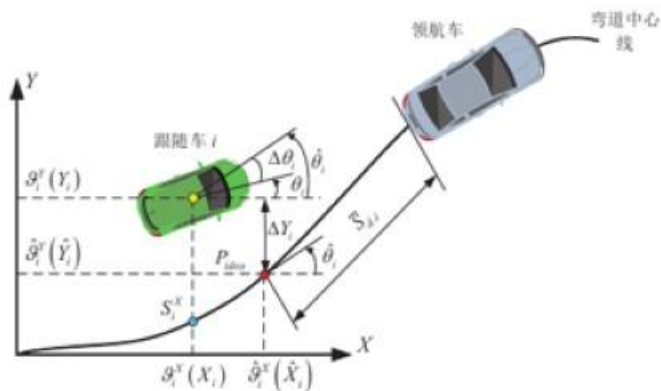


網聯環境下多車協同控制關鍵技術

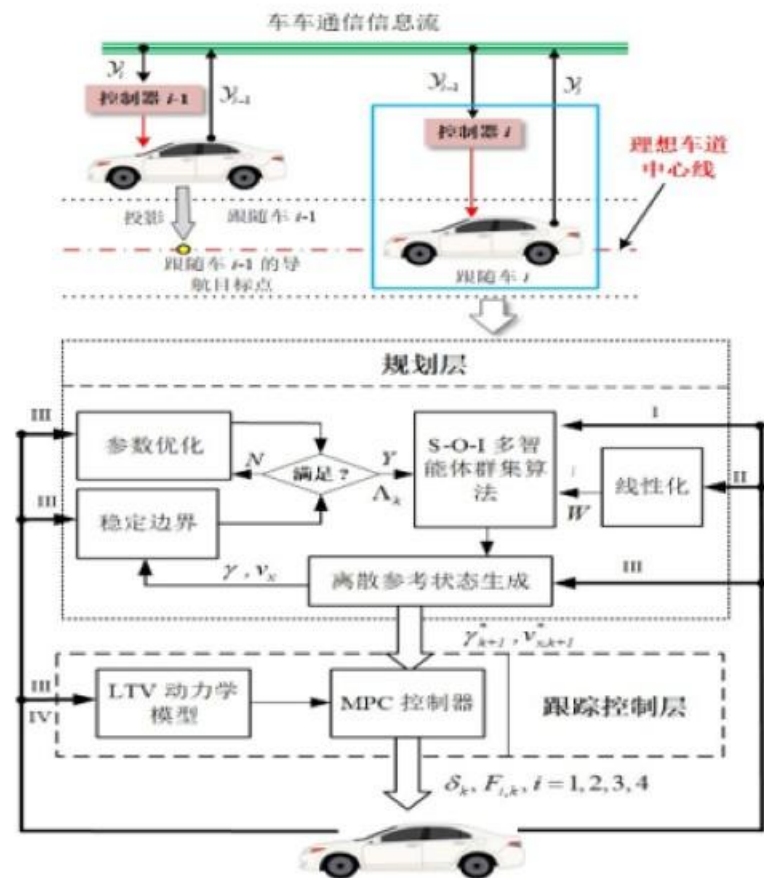
通訊時延和隨機擾動下多車隊列控制：基於瑪爾可夫跳變系統穩定性理論和 H^∞ 控制方法
提出一種可變增益分散式控制器設計方法



道路模型



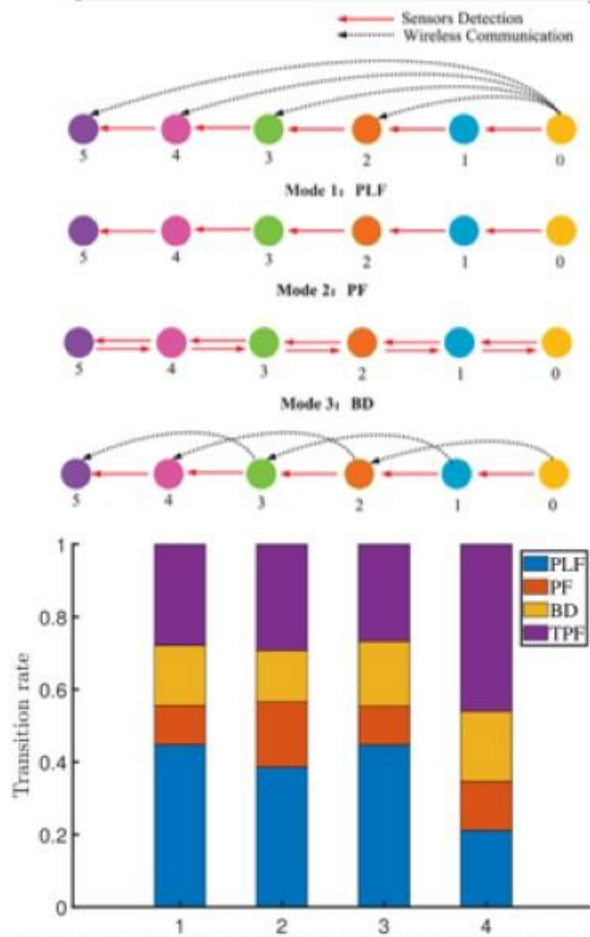
車間交互模型



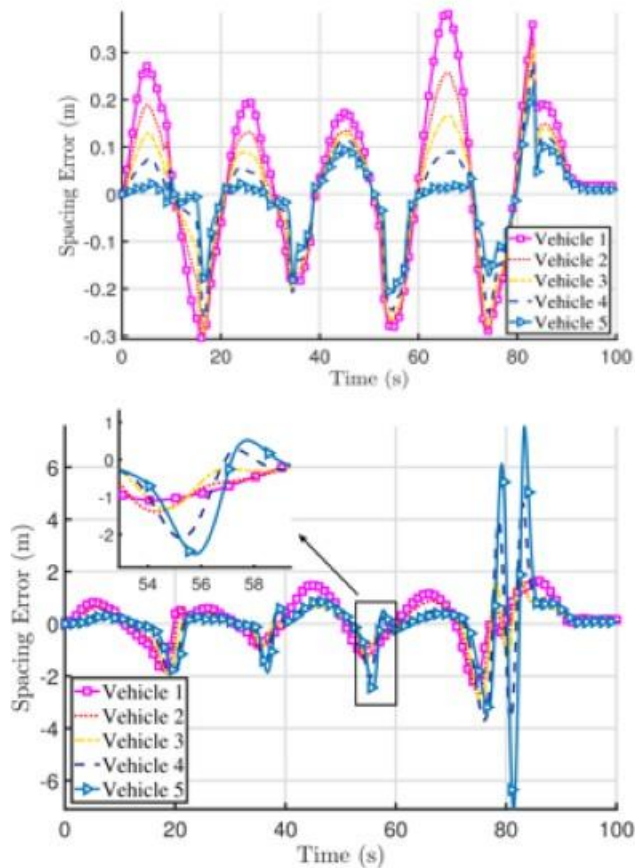
網聯環境下多車協同控制關鍵技術

通訊時延和隨機擾動下多車隊列控制：不同通訊拓撲下多車模擬測試

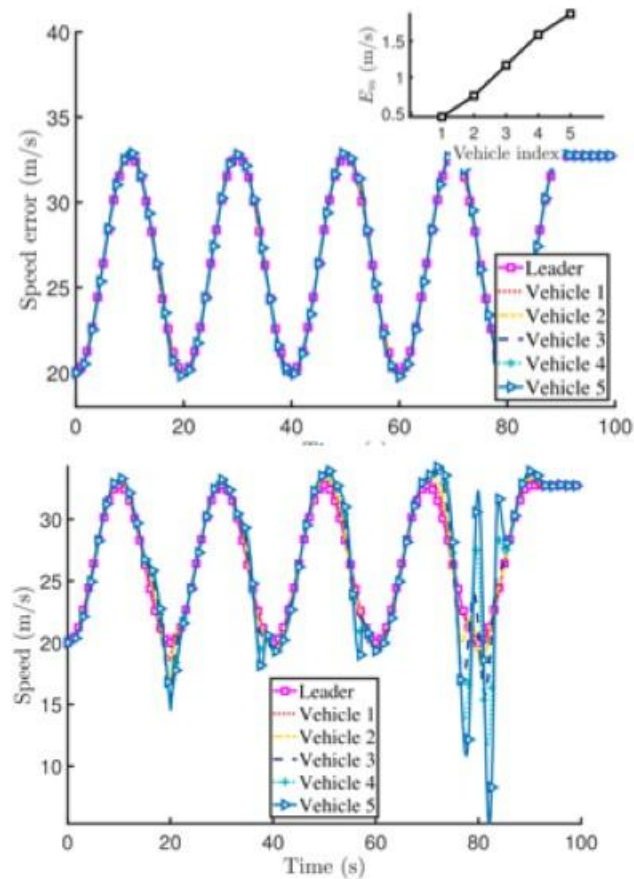
不同通訊拓撲



車間距跟蹤偏差驗證



速度跟蹤偏差驗證



智能網聯汽車研究總未來展望

政策驅動、交叉融合、產業落地

- **智能網聯汽車是國家創新驅動發展戰略的重要關注點**，國家層面上的重視必然會對相關技術行業的發展帶來極大促進作用，進而會對**未來汽車技術革新和產業佈局帶來極大影響**



中華人民共和國國家發展和改革委員會
National Development and Reform Commission



中華人民共和國工業和信息化部
Ministry of Industry and Information Technology of the People's Republic of China



國家自然科學基金委員會
National Natural Science Foundation of China

- **智能網聯汽車需要多種技術交叉融合**，電驅動底盤、融合感知、網聯通訊、智慧控制等多種技術的協同發展才能實現真正意義上的汽車網聯化和智能化的結合

智能電動汽車

取長補短，深度融合
智能網聯與電動汽車



網聯車輛系統

靈活切換，拓展單車智
慧至網聯系統



智能交通系統

收放自如，連貫智
慧車輛與智慧交通



THE HONG KONG
POLYTECHNIC UNIVERSITY
香港理工大學

懇請各位專家批評指正

汪龔 博士
香港理工大學

