

Collision avoidance method for intersection accidents using 5G edge computing environments in Cellular-V2X

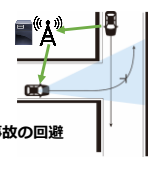
2022/2/10
 大阪大学 大学院情報科学研究科
 情報ネットワーク学専攻 村田研究室
 八千古嶋 龍

1

C-V2X による道路安全の高度化と課題

2

- 高度運転支援技術の発展
 - 機械学習と計算機環境の進歩により車の自律的な周辺環境認知が可能に
 - センサーの死角にある脅威を認知することは困難
 - 通信技術を活用したセンサーの認知限界の解消に期待 [1]
 - C-V2X (Cellular-Vehicle to Everything) の登場
 - 4G/5G セルラー網を使用し、車と車/人/ネットワークを接続
- MEC (Multi-access Edge Computing) を用いた衝突事故の回避
 - セルラー網の末端に配置したエッジサーバで交通参加者の情報を集約
 - 複数の交通参加者の挙動を先読みし、衝突事故の予兆を発見・警告
 - 交通参加者の不確定な将来位置をリアルタイムに算出する手法が不可欠




[1] "Verizon & Honda test how 5G enhances safety for connected and autonomous vehicles"
<https://www.verizon.com/about/news/verizon-honda-test-5g-connected-autonomous-vehicles>

2

研究目的と研究手順

3

- 研究目的
 - MEC を用いた車両挙動の確率予測に基づく中央集権的な交通流の協調
 - 衝突検知をユースケースにその有効性を明らかにする
- 研究手順
 1. MEC 用いた衝突検知に着目
 - エッジサーバが車両の位置速度情報を収集・解析、衝突予兆を警告
 - 確率的衝突検知手法を導入
 2. 簡易交通流シミュレーションで衝突検知の動作確認
 3. 5G 実環境と交通流シミュレータを用いて提案手法の有効性を評価

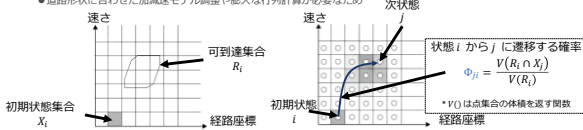


3

マルコフ連鎖による車両位置予測と課題

4

- マルコフ連鎖の車両位置予測への応用 [1]
 - 単一車両の速さ・経路座標を状態変数とする状態空間 X を定義、離散化
 - 遷移確率は各状態について時間ステップ τ 秒後に到達可能な集合と各状態集合の被覆割合として定義
 - 駆動入力量により可到達集合が変化するため、駆動入力量もマルコフ連鎖で確率予測
- 課題
 - 計算量が大きく遅延が発生し、衝突検知・警告遅れが発生
 - 道路形状に合わせた加減速モデル調整や膨大な行列計算が必要のため



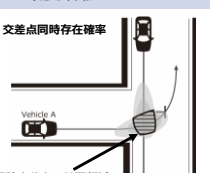
[1] M. Althoff and D. Grebenyuk. Implementation of interval arithmetic in CORA 2016. In Proc. of the 3rd International Workshop on Applied Verification for Continuous and Hybrid Systems, pages 91-105, 2016.

4

マルコフ連鎖の計算量削減と衝突リスクの表現

5

- マルコフ連鎖の状態更新式
 - $p(t_{k+1}) = \Gamma \Phi p(t_k)$
 - 時刻 t_k から τ 秒後の車両の状態へ更新
 - Φ により位置と速さを、 Γ により駆動入力量の状態を更新
 - Γ はアクセルブレーキの変化をモデル化しているため、道路形状、速度制限などにより調整が必要
- 計算量を削減した状態更新式
 - $p'(t_{k+m}) = p(t_{k+m}) + (\Gamma \Phi)^m \Delta p(t_k)$
 - 予測誤差: $\Delta p = p'(t_k) - p(t_k)$
 - 過去の予測結果と実測値の誤差を基に、過去の予測結果の中から可能性の無くなった確率遷移をキャンセル
 - 衝突検知対象エリアが固定である特徴を活かして $(\Gamma \Phi)^m | m = \{1, 2, 3, \dots, f\}$ を予め計算しておくことで、計算量を削減
- 交差点に同時に存在する確率を衝突リスクとして算出



記号	意味
p	車両状態と駆動入力量の結合確率ベクトル
Φ	車両状態の確率遷移行列
Γ	駆動入力量の確率遷移行列
p'	予測誤差を用いて更新される結合確率ベクトル
f	予測ステップ数

5

提案手法を用いた現実に近い状況での衝突検知実験

6

- 現実に近い車両挙動のシミュレーション
 - 交通流シミュレータ CARLA を用いて実時間シミュレーション
 - シミュレーション上では現実に近い物理法則や車両の加減速などが再現
- シミュレーション上の衝突検知システム
 - シミュレーションサーバから 5G を介してエッジサーバへ、各車両の位置速度情報を送信
 - シミュレーションサーバではエッジサーバからの確率通知に応じて車両に回避命令
 - 次スライドの衝突検知デモでは、衝突確率 50% 以上の車両に停止命令
 - シミュレーション側は衝突が発生するようにパラメータを設定



6

7 デモ動画：2車両が同時に交差点に進入するシナリオ

車両生成地点

エッジサーバから確率が通知・更新

確率 50% 以上の通知を受けたため停止

確率
0 - 25% 黄色
25 - 50% 赤色
50 - 100% 黒色

7

8 交通流シミュレータを用いた衝突検知性能の評価

● **評価指標**

- 交差点進入前の合流車に対して警告される衝突リスクの正確性
 - センサー検知範囲外にある車両の接近を正確に検知・通知できるか
 - 警告から回避までの遅延を考慮し、交差点 L [m] 手前到達時の正確性を評価
- 合流車左方から進入する車両との衝突リスクを交差点同時存在確率で、接近を相対距離 d [m] で測定

● **実験設定**

- 提案手法と既存手法それぞれについて測定
 - 10 [min] × 6 回、合計 1 時間の実験
- 右のマップでランダムな交通流を生成
 - 衝突せずに車両が循環
- 制限速度を 60 [km/h] に設定
- 交差点 $L = 15$ [m] 手前の衝突リスクを記録
- 低速車両については衝突検知の対象としない

8

9 評価結果

● **提案手法により検知漏れが削減、より正確な衝突リスクを通知可能に**

- 青色：エッジサーバから通知がある場合
- 赤色：確率計算の遅延等によって L [m] 手前までに通知が無い場合

衝突検知可能な割合

相対距離

(a) 既存手法

合流車が交差点 L [m] 手前到達時の左方車両との相対距離 d [m] と交差点同時存在確率の関係

(b) 提案手法

2車両が接近するほど通知される衝突リスクがより高い傾向

車両速度差により衝突リスクになっていない

9

10 まとめと今後の課題

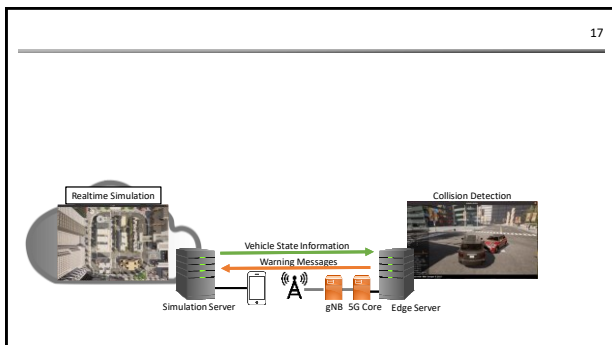
● **まとめ**

- 将来の車両位置を確率的に算出し、衝突リスクを確率的に捉える手法を提案
 - 自動運転車向けの既存手法を MEC 型の特徴を踏まえて計算時間を削減
- 交通流シミュレーションにより現実に近い交通状況での提案手法の有効性を評価
 - 交通流シミュレーション上の衝突を検知する 5G-V2X 衝突検知環境を構築
 - 提案手法により接近時の検知遅れが 0 に、接近距離に対してより正確な衝突リスクを通知可能に

● **今後の課題**

- 車両位置の確率分布を活用した中央集権的な交通流の協調
 - 現状、車両位置確率分布の活用用途は衝突リスクの評価に留まる
 - 自動運転車/ドライバーの環境把握、行動計画に更なる有用となる情報の検討が必要
- 例、車両位置確率分布を用いた衝突回避の方針指示や交差点の通過スケジューリングなど
- 異なる道路シナリオでの性能評価とより現実的な実験設定の検討
 - T 字型交差点以外の合流シナリオでの衝突検知性能の評価
 - 現実的な測位誤差を考慮した確率計算

10



17