

交差点形状を考慮した速度モデルに基づく 車両の行動予測技術

Vehicle Trajectory Prediction Technique Based on Velocity Model
Taking Intersection Configurations into Consideration

交差点での他車両の動きを予測し、一般道でのスムーズな自動運転の実現に貢献

自動車の安全な自動運転を実現するには、自動運転車が交通状況を常に予測しながら、交通流を乱さずに走行することが求められます。交差点は、特に交通状況が複雑なため、事故が発生しやすい場所の一つです。

そこで東芝は、安全な自動運転に向け、交差点における他車両の行動予測技術を開発しています。他車両の将来位置は、交差点の曲率や横断歩道の位置などに影響を受ける交差点内での速度変化によって大きく変わります。この将来位置を、今回開発した交差点形状を考慮した速度モデルで予測しました。横断歩道の手前で最小速度に到達する速度モデルを、過去に観測した他車両の速度を用いてフィッティングすることで、様々な交差点上で、将来の他車両位置を高精度に予測できました。

技術的背景

自動運転車が、車線変更や交差点での右左折を行うときには、静的な障害物だけではなく、他車両や歩行者などの移動体の状態を把握する必要があります。移動体の位置は、時々刻々と変化するので、安全で、かつ交通流を乱さない自動運転を行うには、移動体の将来位置を予測することが求められます。特に、交通事故の多い交差点内の他車両の位置予測は重要です。自動運転車が衝突することなく交差点を右折するためには、対向他車両の将来位置を予測する必要があります。対向他車両の中で、直進車の将来位置は、等加速度運動などの簡単な速度モデルで予測できますが、右左折車の将来位置は、交差点の曲率や横断歩道の位置が速度変化に大きく影響するため、簡単な速度モデルで表現できません。

東芝は、交差点形状を考慮した右左折時の速度モデルを開発し、高精度な車両の位置予測を実現しました。

他車両の将来位置の予測

自動運転車が交差点を右折するときに、自車と衝突する可能性が高い対向他車両は、直進車両と左折車両です。直進車両は、前述のとおり簡単なモデルで表現できるので、左折車両について考えます。

交差点を左折する他車両の将来位置を求めるには、左折

時に変化する速度と、走行レーンに沿うための角速度を正確に予測する必要があります。このとき、交差点形状から走行レーンの方向が得られていることを前提にすると、角速度は、走行レーンの方向と車両の向きの差分から算出できます。また、交差点左折時の速度は、交差点に進入するときに減速し、退出するときに加速します。そこで、後述する加減速を表現した速度モデルと前述の角速度から、将来の他車両位置を求めます。

交差点における他車両の速度モデル

横断歩道がある交差点で、車両は、一般に横断歩道手前の位置まで減速を続け、その後加速を始めます。そこで、横断歩道手前の位置で最小速度に到達する拘束に基づいた速度モデルを構築します。加減速を行う速度モデルを、図1に示す二つの3次関数で表現し、二つの3次関数は、互いの極値である最小速度で接続します。

3次関数①の係数は2段階で求めます。まず、最小速度の初期予測値(v_0)とそのときの時刻(t_0)を求めます。 v_0 は、交差点の交差角や曲率を変数とする線形式から推定します⁽¹⁾。各変数のパラメーターは、実際に収集した複数の車両データを用いて、最尤(さいゆう)推定で求めます。一方、 t_0 は、横断歩道の手前で速度が最小になると仮定して、現在位置から横断歩道までの距離と、現在の速度・加速

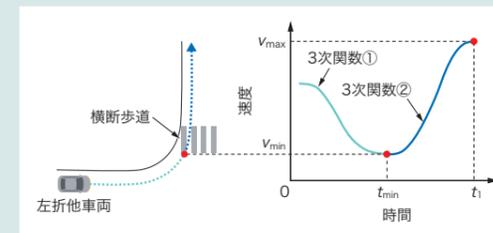


図1. 横断歩道がある交差点と車両の速度モデルの関係
左折する他車両に対し、横断歩道の手前で速度が最小となる二つの3次関数で構成された速度モデルを作成します。

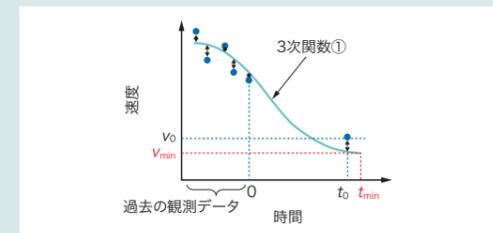


図2. 3次関数へのフィッティング

過去に観測した他車両の速度などを用い、速度モデルに3次関数をフィッティングし、最小速度を推定します。

度・ v_0 から3次関数の初期値を推定し、極値となる v_0 の時刻として算出します。

次に、 v_0 と t_0 は、最尤推定などの仮定に基づいていることから、過去に観測した他車両の速度も用いて、最適な3次関数へのフィッティングを行います。過去に観測した速度と推定した最小速度との残差が最小となる3次関数を、図2のように算出します。フィッティングによって推定された3次関数の極小値から、新たに修正された最小速度(v_{min})と到達時間(t_{min})を求め、最終的な推定値とします。

最小速度到達以降の3次関数②は、 v_{min} を極小値、法定速度(v_{max})を極大値に持つと仮定し、法定速度に到達するまでの時刻(t_1)を交差点形状も考慮して最尤推定により求めることで決定します。

評価実験

独自に収集した左折他車両の走行データを用い、予測精度を評価しました。他車両の位置や速度を取得するセンサーにはLiDAR (Light Detection and Ranging) を使用し、10種類の異なる交差点で65台の左折対向他車両を計測しました。

結果の例を、図3に示します。図3(c)の速度グラフで、過去に観測した他車両の速度や予測後に計測した実際の速度の乱れは計測誤差によるものです。位置予測・速度予測の結果は、ど

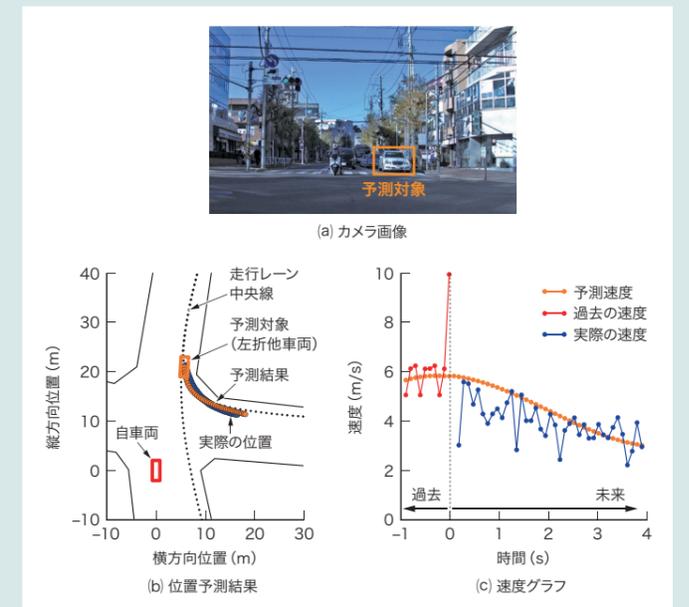


図3. 実験結果

位置予測・速度予測の結果は、どちらも実際の値に近い形になっていることが確認できました。

らも実際の値に近い形になっていることが確認できました。

更に、4 s後の平均予測誤差を比較すると、開発した手法での誤差が4.7 mであったのに対し、交差点の曲率だけを考慮した従来手法⁽²⁾による速度モデルでの誤差は5.3 m、等速運動モデルでの誤差は6.8 mでした。開発した手法は、横断歩道の位置による拘束など多くの交差点情報を用いているため、より高精度に予測できていることを確認しました。

今後の展望

開発した技術により、従来では予測が難しかった、交差点での車両行動の高精度な予測を実現しました。

今後は、予測精度の更なる向上や自動運転車の交差点右折タイミングの評価を行うとともに、車載向けの画像認識プロセッサ Visconti への搭載や、道路監視カメラ向けの交通状況モニタリングなどへの応用を検討していきます。

文献

- (1) Wolfemann, A. et al. "Modeling speed profiles of turning vehicles at signalized intersections". 3rd Conference on Road Safety and Simulation. Indianapolis, IN, 2011-09, Transportation Research Board, 2011.
- (2) Liebner, M. et al. Velocity-based driver intent inference at urban intersections in the presence of preceding vehicles. IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine. 2013, 5, 2, p.10-21.

川崎 敦史

研究開発本部 研究開発センター メディアAIラボラトリー