

Real-time obstacle prediction utilizing edge-cloud cooperation in mobile robot control

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
 博士前期課程2年
 木村 一貴

2023/2/9

令和4年度 修士論文発表会

研究背景

- 倉庫内などでの搬送用ロボットの利用が拡大
 - 人や他のロボットなどが多数存在する環境下で活動
 - 衝突を回避しつつ、ロボット自身のタスクを迅速に完了する必要性
- 人や他のロボットの移動のリアルタイムな予測が必要
 - 衝突する可能性が高い地点を事前に把握
 - リスクの高い地点を避けた移動経路の選択
 - 事前に減速し、安全性を確保



<https://rnamiblog.org/wp-content/uploads/2019/05/amazon-warehouse.jpg>

2023/2/9

令和4年度 修士論文発表会

2

研究目的とアプローチ

研究目的

- ロボットの動作環境内における移動障害物のリアルタイムな状況把握を反映した予測

アプローチ: エッジ・クラウド連携による予測モデルの更新

- ロボットが動作する領域を複数サブエリアに分割
 - サブエリアに対応したエッジコンピュータを配置
 - 複数サブエリアの情報をクラウド側で統合
- 移動障害物の有無を表す時空間確率場をエッジ・クラウドで分担して更新
 - エッジ: 狭い範囲でリアルタイムな観測情報を反映した予測
 - クラウド: 広い範囲の長期的な予測
- エッジとクラウドの連携により、エッジのみでは把握できない領域を予測

2023/2/9

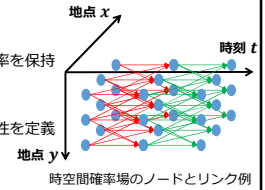
令和4年度 修士論文発表会

3

時空間確率場を用いた予測モデル

- 障害物の有無について、時空間上の各地点とその関係をモデル化

- ノード:
 - 時空間上の各地点について定義
 - 障害物の有無、移動属性に対応する確率を保持
- リンク:
 - 相関のあるノード間にリンクを構築
 - 学習データをもとに、ノード間の関係性を定義



時空間確率場のノードとリンク例

- 観測データを反映後、確率伝播アルゴリズム[1]を用いることで、各地点の障害物の状態について、周辺確率を計算 → 各地点の障害物の有無を予測可能

[1] Murphy, Kevin, Yair Weiss, and Michael I. Jordan. "Loopy belief propagation for approximate inference: An empirical study." arXiv preprint arXiv:1301.6725 (2013).

2023/2/9

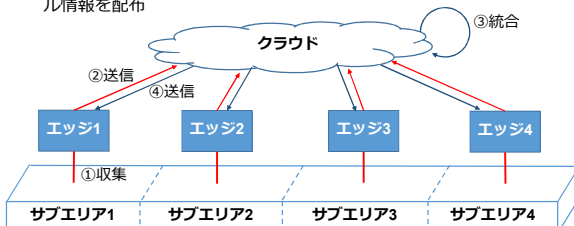
令和4年度 修士論文発表会

4

エッジ・クラウドの連携手法

- エッジとクラウドの連携により時空間確率場を更新し、観測情報を予測に反映

- エッジ: 観測情報を収集/局所的なモデルの更新
- クラウド: エッジからモデル情報を収集/統合/各エッジに担当範囲周囲のモデル情報を配布



2023/2/9

令和4年度 修士論文発表会

5

エッジ側の処理

- 観測情報をもとにした時空間確率場の更新:
 - 観測情報を時空間確率場に反映
 - クラウドから取得した情報を時空間モデルに反映
 - 確率伝播アルゴリズムにより、各時刻・各点での予測結果を得る

- クラウドへの情報送信:

- 前回クラウドへのデータ送信時には予測できなかった地点に関する情報のみをクラウドに送信

$$\max_l \left| o_{t,x,y}^{(e,t, \text{current})}(l) - o_{t,x,y}^{(e,t, \text{end})}(l) \right| > \lambda$$

クラウドへ送信する際の条件式

$o_{t,x,y}^{(e,t, \text{pred})}(l)$	エッジコンピュータeが時空間確率場で予測した時刻tにおける時刻t、地点x,yの障害物の状況がラベルlである確率
$t_{t,x,y}^{\text{send}}$	時刻t、地点x,yに対応する情報を最後にクラウドに送信した時刻

2023/2/9

令和4年度 修士論文発表会

6

クラウド側の処理

- エッジからの情報をもとにした時空間確率場の更新
 - エッジからの情報を時空間確率場に反映
 - 確率伝播アルゴリズムにより、各時刻・各点の予測結果を得る
- エッジへの情報送信：
 - エッジが担当するサブエリアの周囲の予測結果も送信
 - エッジコンピュータは担当サブエリア外からの障害物の流入を予測可能

2023/2/9

令和4年度 修士論文発表会

7

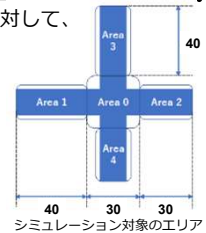
評価環境

- 交差する2本の道路を移動する障害物に対して、シミュレーションを実施

- 移動障害物
 - サイズ：3 × 3, 最大速度：3/time slot
 - ランダムな地点から侵入
 - 交差点付近で減速、1タイムスロット間停止
 - ランダムに方向を変更した後、加速

- 学習
 - 20個の障害物を用いて、時空間確率場を学習

- 評価指標
 - False Negative Rate (FNR) = FNの数 ÷ 実際に障害物があるものの数
 - False Discovery Rate (FDR) = FPの数 ÷ 障害物ありと予測された数

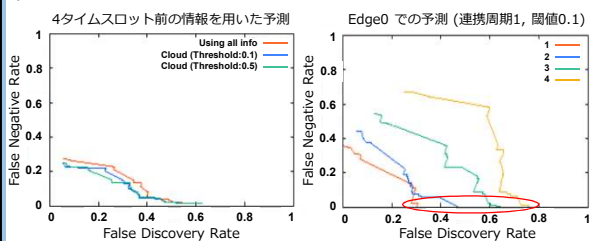


2023/2/9

令和4年度 修士論文発表会

8

評価結果 (予測精度)



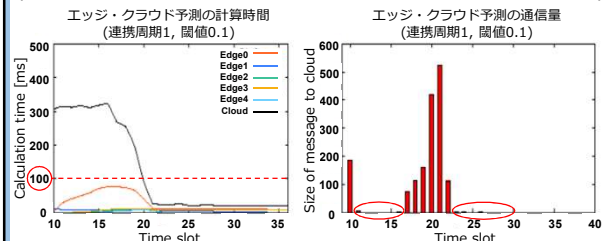
- エッジ・クラウドの連携をした場合においても、クラウド側では、全情報を収集した場合と同程度の精度での予測が可能
- エッジ側では、2%以下のFNRを達成可能
 - クラウド側からの情報により、エッジ担当範囲に障害物が流入する前から予測が可能

2023/2/9

令和4年度 修士論文発表会

9

計算時間/エッジクラウド間でやり取りする情報



- エッジでは100ms以下での時空間確率場の更新・予測結果の取得が可能
 - 1m/sで移動する障害物であれば、誤差を10cm程度に留めることが可能
- エッジ・クラウド間で送る情報を、状況に合わせて抑えることが可能

2023/2/9

令和4年度 修士論文発表会

10

まとめと今後の課題

- まとめ
 - エッジクラウド連携によるリアルタイムな障害物予測手法を提案
 - 提案手法により、予測精度を保ったまま、計算時間の削減が可能
- 今後の課題
 - 予測精度の向上
 - より多くのサブ領域、複雑な経路を移動する障害物での評価
 - 実世界への拡張

2023/2/9

令和4年度 修士論文発表会

11