

大阪大学 1

車両位置予測に基づく 5G セルラーリソース割当手法の実装と評価

大阪大学 基礎工学部 情報科学科
中村 樹

特別研究会報告 2022.2.15

1

研究背景 2

- CPS (Cyber-Physical System) の実用化
 - フィジカルシステムにおいてセンシングをし、サイバースystemにおいて情報蓄積・解析、その後再びフィジカルシステムにアクチュエーションするフィードバックループにより制御
 - 監視、自動運転、医療機器、高度交通システムなどの多岐にわたるアプリケーション
 - 様々なアプリケーションや大量のデバイスが動作し、それぞれに求められるサービスが異なる
 - センシングには、移動体通信システム (4G、5G) の利用

2

CPS の通信リソース制御 3

- 限られた通信リソースの適切な使用
 - 必要なタイミングで必要な量のリソースの割当
 - 低遅延性、リソースの効率化
- フィジカルシステムの振る舞いの予測を考慮した通信リソース制御が重要
 - 現在の移動体通信システムはフィジカルシステムからの要求によって通信リソースを割当
 - サイバースystemによるフィジカルシステムの分析、予測とは独立

3

研究目的・研究手順 4

- 研究目的
 - フィジカルシステムの振る舞いの予測を考慮した通信リソース制御の実証
- 研究手順
 - 監視カメラを想定した CPS に着目し、車両位置予測に基づいた 5G セルラーリソースの割当手法の実装
 - ミニチュア車両を用いたフィジカルシステムの実装
 - 車両位置予測を行うサイバースystemの実装
 - 5G システムの構築
 - 車両位置予測に基づいてリソースを割り当てるための 5G システムの拡張
 - セルラーリソース割当実験及び評価
 - 走行車両の動きに合わせてリソースを割り当てているか評価

4

想定するシナリオ 5

- 道路上の監視カメラが走行車両の映像を基地局へ送信
 - フィジカルシステム：車両が走行
 - サイバースystem：車両の位置速度情報を収集し、将来の車両の存在確率の算出
 - 5G システム：存在確率に基づき 5G セルラーリソースの割当

5

サイバースystem：車両位置予測手法 6

- 将来の車両の存在確率分布を算出
 - マルコフ連鎖を用いて車両の到達可能領域を求める既存手法[8]を使用
 - マルコフ連鎖を適用するため、車両状態及び駆動力量を離散化
 - 車両状態の状態間遷移確率 Φ を t 移後の到達可能集合を用いて定義
 - 駆動力量の状態間遷移確率を駆動力優先度、駆動力変更モデルを用いて定義
 - 定義したマルコフ連鎖モデルを用いて、位置速度情報から時刻 t における存在確率 $x_i(t,s)$ を算出 (s : 車両位置)
- カメラ i の撮影可能な領域に車両が存在する確率 $m_i(t)$ を求める

$$m_i(t) = \sum_{s \in P_i} x_i(t,s) \quad (P_i: \text{カメラ } i \text{ の撮影可能領域})$$

[8] M. Althoff, O. Stursberg, and M. Buss, "Model-based probabilistic collision detection in autonomous driving," IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol. 10, pp. 299–310, July 2009.

6

5G システムの構築

7

- RU (Radio Unit)、gNB、5GCore から構成
 - RU : USRP N320、gNB : OAI、5GCore : Open5GS をそれぞれ使用
- 5G システム諸元
 - スロット構成 : 5ms 周期、DL 5、UL 4、Mix 1 で構成
 - 帯域幅 : 90MHz
 - 周波数方向の RB (Resource Block) 数 : 245 個
 - RB : 端末へのリソース割当単位
- カメラ映像の送信
 - 5G 端末のデザリング機能を利用

7

5G システムの拡張

8

- 存在確率をリソース割当へ反映
 - gNB が所持している RNTI (端末のランダム識別子) と MEC が所持している車両存在確率のマッピング

RNTI	存在確率
Ox1234	0.1
Ox4321	0.5
Ox1111	0.0

8

5G セルラーリソース割当手法

9

- 存在確率を考慮した 2 種類のセルラーリソース割当アルゴリズムを実装
 - 割当単位は RB 数であり、最大を $N_{RB}=245$ とする
 - 車両位置予測で求めた存在確率 m_i を $w_i = \text{floor}(50 m_i)$ で重み付けを行う

[手法 1] 重み付き公平キューイング

- 200ms ごとに計算したスレープット T_i を w_i で重み付け
- 送信データ量 D_i から係数 C_i を求め、最大の係数 C_m に対し、端末 m へ送信データ量に必要な最大の RB を割当
- 残りの端末に対し、繰り返し

$$T_i = \frac{T_i}{1 + w_i} \quad C_i = \frac{D_i}{T_i}$$

[手法 2] 閾値を用いて割り当てる最大リソースブロック数 R_i を決定

$$R_i = \begin{cases} 0.1 \cdot N_{RB} & (w_i = 0) \\ 0.3 \cdot N_{RB} & (0 < w_i \leq 5) \\ 0.5 \cdot N_{RB} & (5 < w_i \leq 16) \\ N_{RB} & (16 \leq w_i) \end{cases}$$

9

実装システム

10

- ミニチュア車両を用いた車両走行システムの実装
 - 現実世界の 1/60 スケールに調節
 - GNSS 情報の誤差のため、予め用意した位置情報を使用
 - 車両はカメラ 1 を 9 ~ 11、カメラ 2 を 19 ~ 21 秒後に通過

表: 実験環境詳細

実験車両	WiFiE を使用
GNSS情報取得	ZED-FSR モジュールを使用
ライブ配信環境	Blackmagic Web Presenter 4K を使用
ライブ配信プラットフォーム	YouTube Live で配信
カメラ	Sony α1、α7R を使用
UE1	Galaxy S21 5G、Galaxy S21 Ultra 5G を使用

10

5G セルラーリソース割当実験結果 - 手法 1 -

11

- 評価方法
 - 2 種類の割当手法と比較手法で実験
 - [手法 1] 存在確率に基づいた重み付き公平キューイング
 - [手法 2] 存在確率に基づいて閾値を用いて割当 RB 数を決定
 - [比較手法] 重みなし公平キューイング
- 手法 1 の評価
 - 車両通過時刻の 1100 フレーム目、2100 フレーム目に、僅かに多く RB を割り当てた傾向を確認したが、大きな変化は無し
 - カメラ 1 において、存在確率が低い時に、リソースを抑えられた傾向を確認

11

5G セルラーリソース割当実験結果 - 手法 2 -

12

- 評価方法
 - 2 種類の割当手法と比較手法で実験
 - [手法 1] 存在確率に基づいた重み付き公平キューイング
 - [手法 2] 存在確率に基づいて閾値を用いて割当 RB 数を決定
 - [比較手法] 重みなし公平キューイング
- 手法 2 の評価
 - 存在確率に応じて RB を割り当てていることを確認
 - 存在確率 最小: 平均 7RB
 - 存在確率 最大: 平均 120RB 以上
 - 車両位置予測に基づいた適宜リソース制御の実現

12

まとめと今後の課題

13

● 車両位置予測に基づく5Gセルラーリソース割当実験の実施

- フィジカルシステムの振る舞いの予測を考慮した通信リソース制御の実現
 - 車両存在確率に応じたリソースの割当を確認

● 今後の課題

- 実環境をより忠実に再現した模擬環境もしくは実環境での評価
 - 車両の動きに加速・減速を追加
 - GNSS における位置誤差の影響の低減
- フィジカルシステムの振る舞いに応じて送信データ量の制御
 - 存在確率に応じた動画品質の動的制御

13