

大阪大学 1

## 5G 通信技術を用いた C-V2X における セルラーリソース割当手法の実装と評価

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 修士 1 年 中村 樹

NS 研究会 2022.12.16

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、サイバーシステムにおいて情報を蓄積・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品質が異なる
  - センシングには、移動体通信システム (4G, 5G) の利用も考えられている

2

CPS の通信リソース制御 3

- 限られた通信リソースの効率的な使用**
  - 必要なタイミングで適切な量のリソースを割当
- 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
  - サイバーシステム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**
  - 車両位置予測に基づいて 5G セルラーリソースを割り当て、監視カメラを想定した CPS の実機実装
    - 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システムの実装
    - 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するための 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を評価

4

想定するシナリオ 5

- 道路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
  - サイバーシステム：車両の位置速度情報の収集、各カメラに対する単位時間後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

サイバーシステム：車両位置予測手法 - 定義 - 6

- 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[2]を使用**
  - マルコフ連鎖を適用するため、車両状態及び駆動入力量を離散化
  - 車両状態の状態間遷移確率  $\phi$  を  $T$  秒後の到達可能集合を用いて定義
  - 駆動入力量の状態間遷移確率を優先度、駆動入力変更モデルを用いて定義
- 車両情報の定義：車長、速度や加速度のパラメータ
- 経路情報の定義：道幅、セグメントの長さ、制限速度
- 座標空間は車両経路の始点を原点とする一次元座標で表現

[2] 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

### サイバーシステム：車両位置予測手法 - 計算 -

7

- 単位時間後の車両の存在確率分布を算出
  - MEC サーバは車両から緯度経度・速度情報を UDP で毎秒受信
  - ヒュベニの公式を用いて緯度経度の二次元座標から一次元座標に変換
  - 定義したマルコフ連鎖モデルと位置・速度情報から時刻  $t$  におけるセグメント  $s$  の存在確率  $x(t,s)$  を算出
  - 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

$$D = \sqrt{(Dy \cdot M)^2 + (Dx \cdot N \cdot \cos P)^2}$$

$$M = \frac{Rx(1-E^2)}{W^2}$$

$$N = \frac{Ry}{W}$$

$$W = \sqrt{1-E^2(\sin P)^2}$$

$$E = \sqrt{\frac{Rx^2 - Ry^2}{Rz^2}}$$

ヒュベニの公式 (Hybery's Distance Formula)  
 $D_x$ : 二地点の経度差,  $D_y$ : 二地点の緯度差  
 $P$ : 二地点の経度平均  
 $M$ : 子午線曲率半径,  $N$ : 赤道曲率半径  
 $W$ : 子午線・赤道曲率半径分母  
 $E$ : 離心率,  $R_x$ : 赤道半径,  $R_y$ : 極半径

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

7

### 5G システムの構築

8

- RU (Radio Unit)、gNB、5G-Core から構成
  - RU: USRP N320、gNB: OAI、5G-Core: 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 S, 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

8

### 5G システムの拡張

9

- 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
0x1234	0.1
0x4321	0.5
0x1111	0.0

RNTI	存在確率	リソース割当
0x1234	0.1	2
0x4321	0.5	13
0x1111	0.0	17

9

### 5G セルラーリソース割当手法

10

- 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  $w_i = \text{floor}(50 m_i)$  で補正

[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

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

[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

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

10

### 実装システム

11

- 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

実験環境詳細
実験車両: Jetson Nano 搭載ロボットカーを使用
GNSS情報取得: ZED-PNR モジュールを使用
ライブ配信環境: Blackmagic Web Presenter 4k を使用
ストリーミングプラットフォーム: YouTube Live で配信
カメラ: Sony a1, a7R を使用
UE: Galaxy S21 SE, Galaxy S21 Ultra 5G を使用

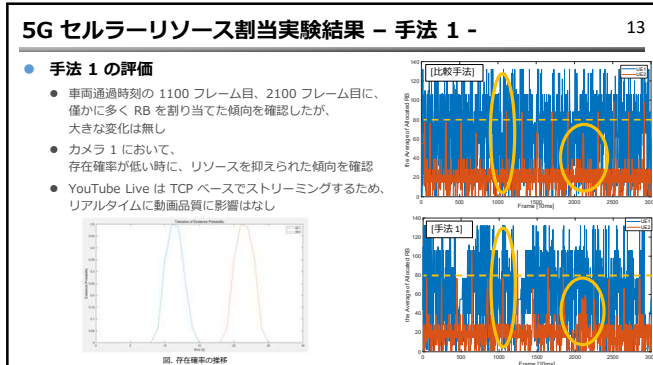
11

### リソース割当実験

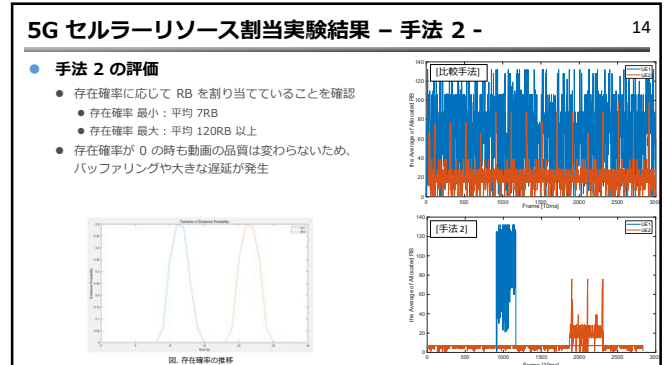
12

- 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
- カメラ 1 → 高品質、カメラ 2 → 低品質でストリーミング
- 実験の様子

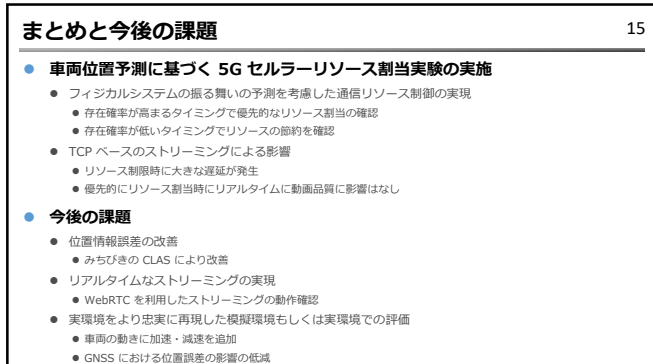
12



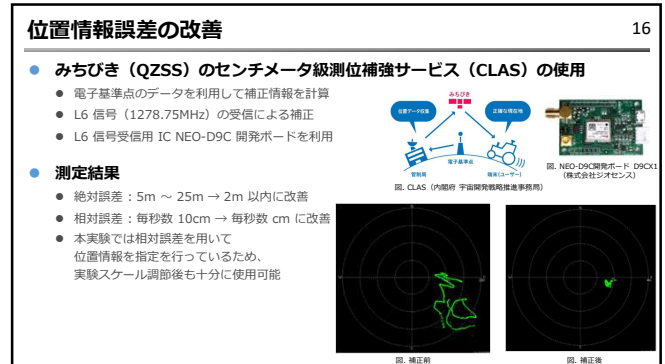
13



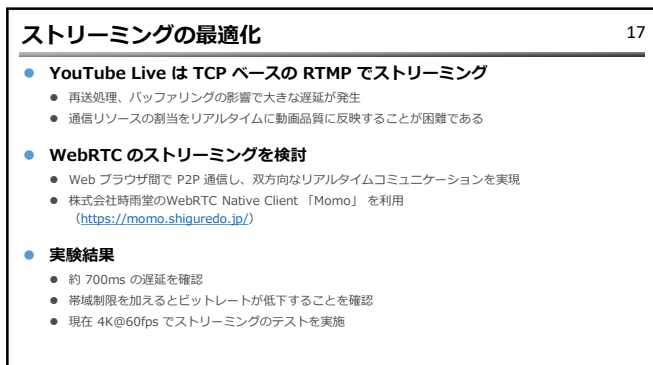
14



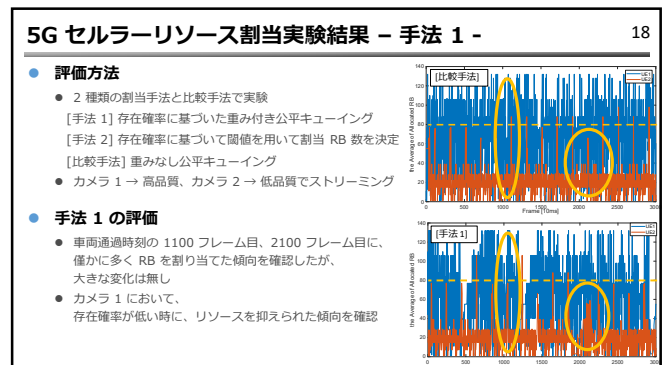
15



16



17



18

## 5G セルラーリソース割当実験結果 - 手法 2 -

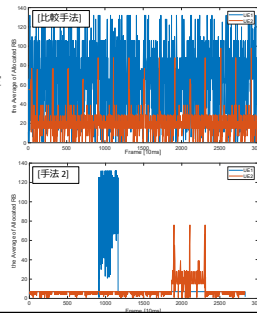
19

## ● 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
- カメラ 1 → 高品質、カメラ 2 → 低品質でストリーミング

## ● 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通信リソース制御の実現



19