

車両ネットワークにおける V2V協調キャッシュの 動画配信性能に対する評価

電気通信大学 情報理工学研究科

I専攻 吉永研究室

石津 智基

研究背景と課題

背景

- ITS（Intelligent Transport Systems）の進展
- 5Gの普及に伴う車両向け動画ストリーミング等の大容量配信需要の急増

課題

- トラフィックが基地局（BS）に集中し、
回線の帯域逼迫と遅延増大が発生

対策

- 車両間通信（V2V/D2D）を用いた近隣端末間でのキャッシュ共有
- コンテンツ指向ネットワーク（CCN/ICN）の導入

研究背景

エッジキャッシング

- データをネットワーク上のノードに保存
 - オリジン-キャッシュ間のネットワーク負荷の低減
 - ユーザのレスポンス向上
-
- RSUや車両のキャッシュを利用することで同等の効果を実現

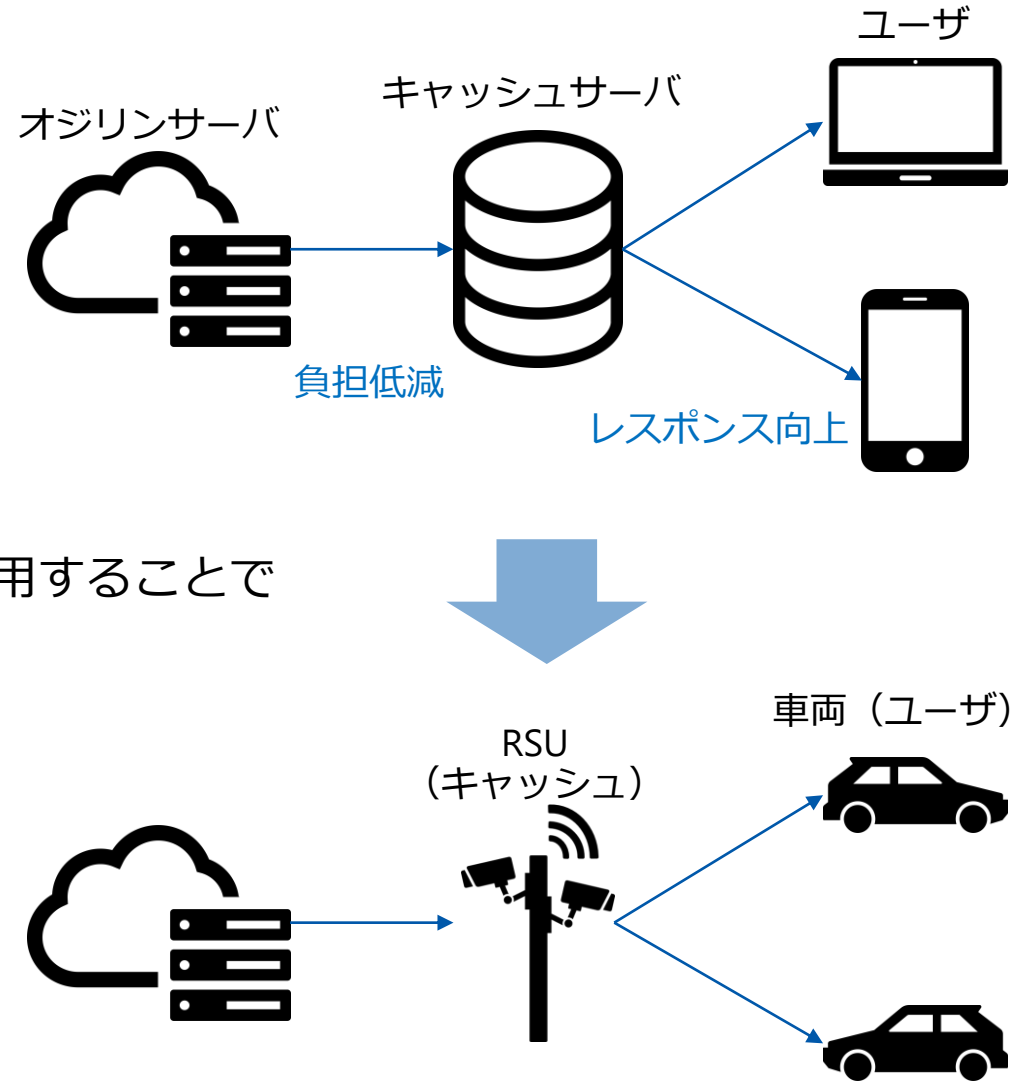


図1 車両ネットワークにおけるエッジキャッシング

関連研究

CCN (Content Centric Network)

- コンテンツ名で要求 (Interest Packet)
- 自律的にコンテンツを探索
- コンテンツを転送する際中継ノードでキャッシング
- キャッシュの有無を確率制御

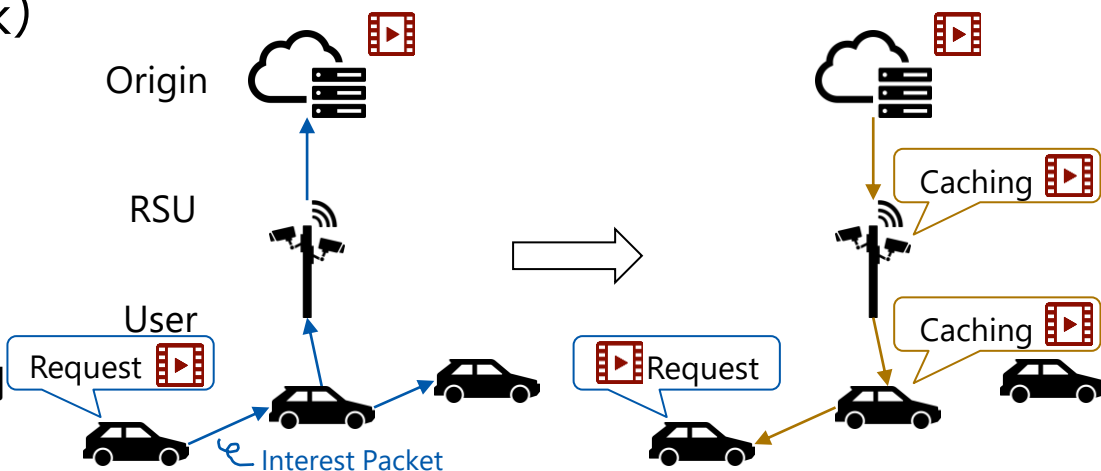


図2 CCNのネットワークイメージ

IPベースのキャッシュネットワーク

- 色タグによる制御
- コンテンツ探索は近接車両から
- 存在しない場合は上流へ探索
- 車両に割り当てられた色とコンテンツの色が一致した時キャッシング

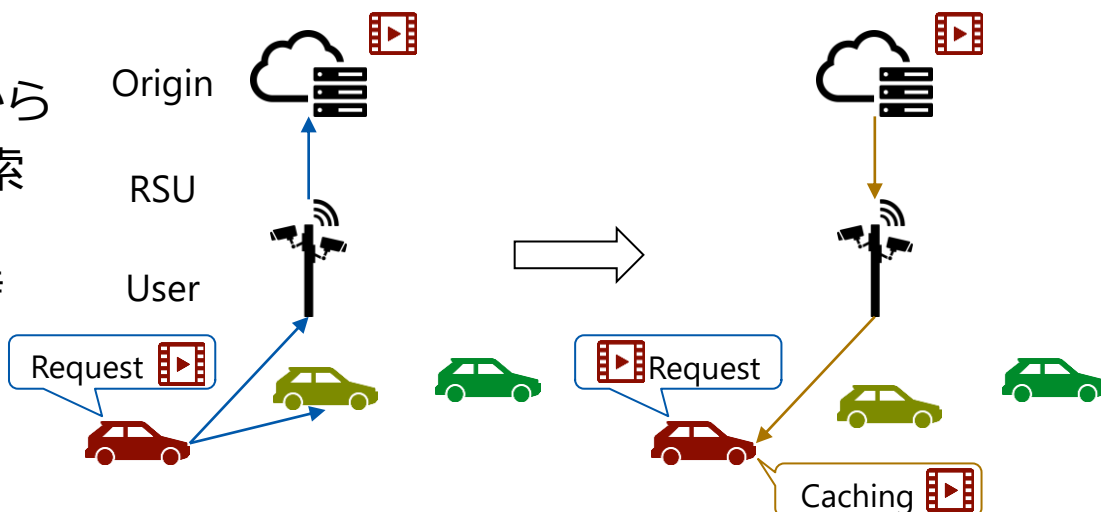


図3 IPベースのキャッシュネットワークイメージ

本研究の目的と位置づけ

既存研究

- 提案手法が各々独自の評価条件（シミュレータ）で検証されている
- ABR動画の再生バッファモデルや, Interestパケットの逆方向帯域占有を考慮した横断的比較がない

本研究の目的

- 統一的な評価フレームワークの構築
- CCN, 色タグ (IP+V2V) , IP の3パラダイムを同一トポロジー上で公正に比較
- パラメータ変化に対する分析により, 各方式の優位条件と限界を定量化

評価システムモデル

ネットワークトポロジー

- 市街地一般道環境（3 km、対面4車線、車両车速: 22--50 km/h）
- 基地局（BS）1基、路側機（RSU）300 m間隔で7基配置
- BS, RSU, Origin間是有線ネットワーク（10 Gbps）で接続

キャッシュ配置ポリシー

- TEA: 近隣車両・RSUでのコンテンツ重複を排除する色タグ協調配置
- LCP: 経路上の中継ノードに一定確率で格納する確率的オンパス配置

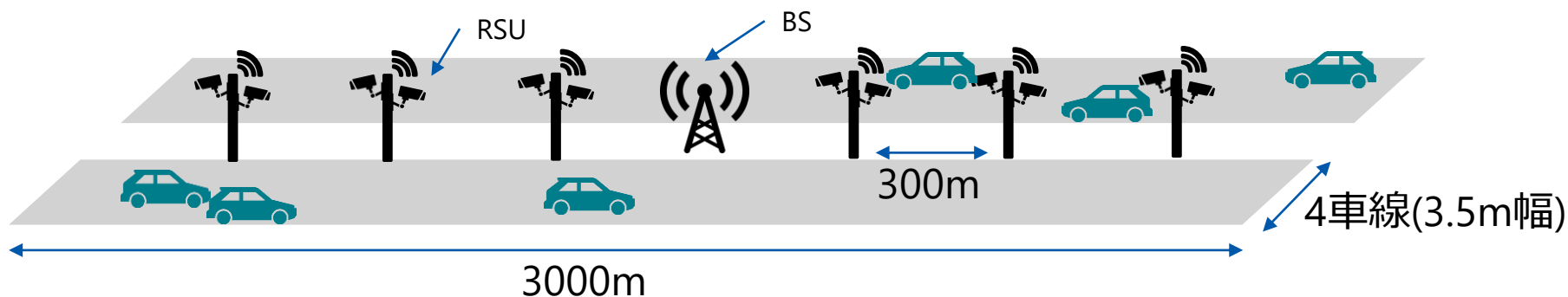


図4 ネットワークモデルの概観

評価システムモデル

Hybrid ABR配信（Adaptive Bitrate Streaming）モデル:

- 動画を画質、時間ごとに分割して単位（セグメント）化
 - 1セグメントあたり1.0秒分の動画
 - 4画質表現（0.5 / 1.0 / 2.0 / 5.0 Mbps）
- 推定スループットと再生バッファ残量（最大30.0秒）を元に動的に画質を制御
 - バッファ危険域（残り2.0秒未満）では最低画質にフォールバック

Interestパケット帯域占有

- コンテンツ要求パケット: 300 Byte
- 逆方向の無線リンク帯域消費

評価結果

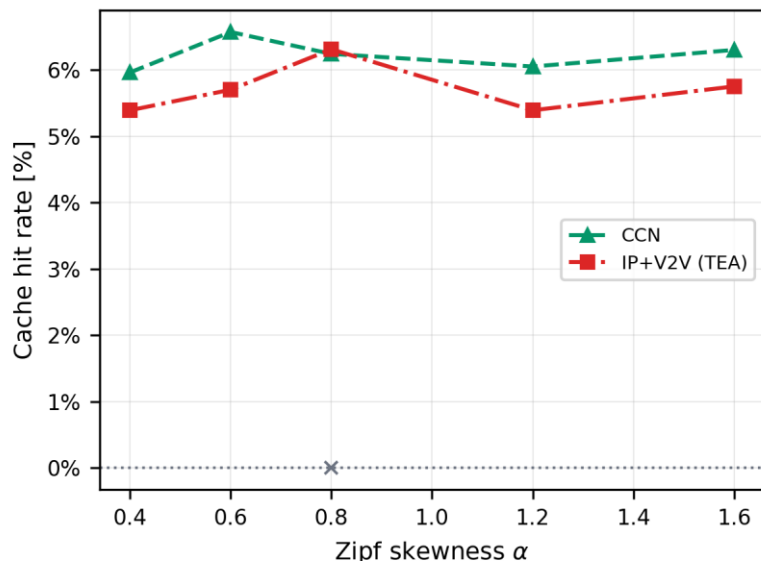


図5 Zipf則定数 対 キャッシュヒット率

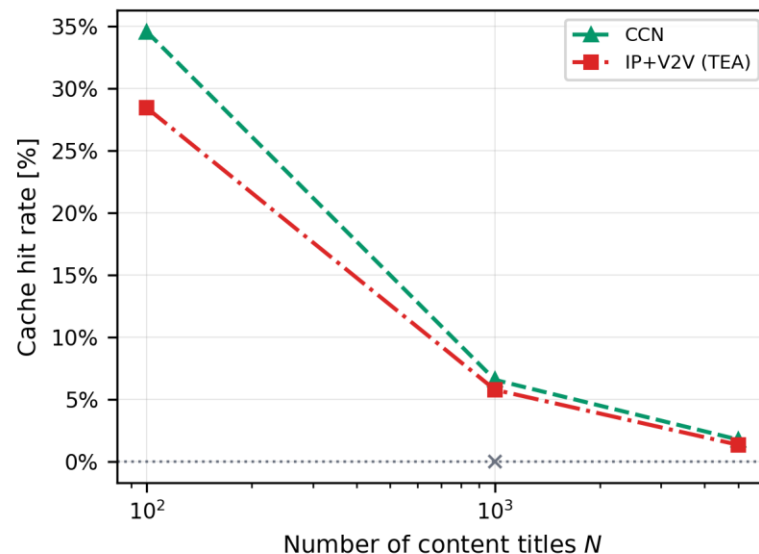


図6 コンテンツ総数 対 キャッシュヒット率

コンテンツに関わるパラメータによる評価

- Zip則の偏り（コンテンツ人気の偏り）の影響少
- コンテンツ総数が少ない場合、キャッシュヒット率高
- コンテンツ総数1000の時、車両がキャッシュ可能なデータは全体の8%
- コンテンツ総数に対するキャッシュ可能な割合によってキャッシュヒット率が抑えられる可能性

評価結果

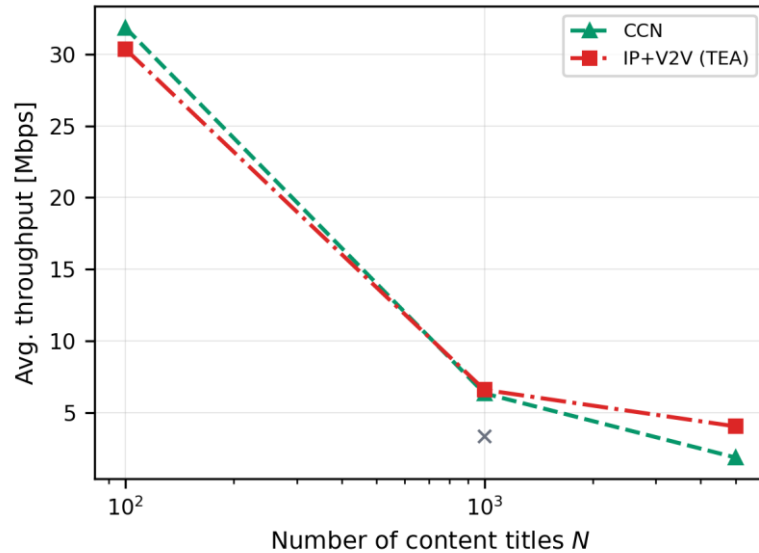


図7 コンテンツ総数 対 平均スループット

コンテンツ総数による評価

- コンテンツ数が極端に大きい場合、CCNはスループット低下

評価結果

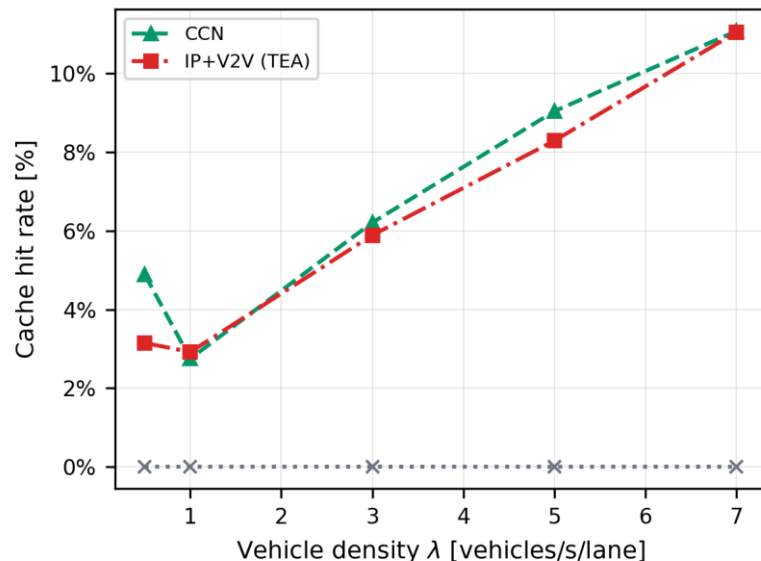


図8 車両密度 対 キャッシュヒット率

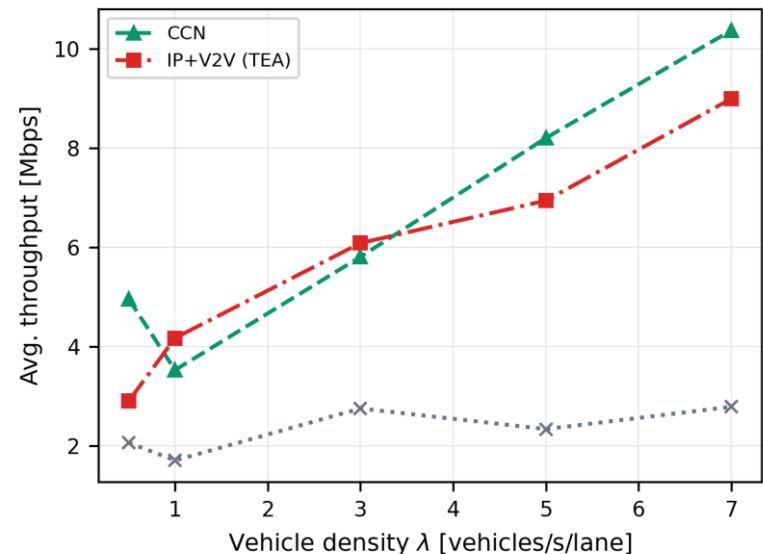


図9 車両密度 対 平均スループット

車両密度による評価

- 車両密度の増加に伴い、近傍探索車両が増加し、ヒット率は単調増加
- マルチホップ探索を行うCCNが中密度でIP+V2Vを上回る

まとめ

- CCN, IP+V2V, IP をABRバッファやInterest占有を考慮して比較する評価フレームワークを構築
- 市街地環境下で, エッジ協調により最大 8% (人気集中時 34.6%) のオフロードを達成
- CCN が IP+V2V および IP に対して優位性を持つことを定量的に確認

今後の展望

- 車両のキャッシュ可能な容量 対 コンテンツ総量比 がネットワーク評価指標に与える影響の調査
- 車両の移動トポロジー変化や局所的混雑への対応可能なキャッシングポリシーの作成
- 車両間のリアルタイム近傍交渉や、
時空間移動予測に基づくキャッシュ調整アルゴリズムの設計・評価