

2018.4.23 RCS研究会招待講演



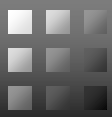
車車間通信における中継アシスト技術の研究

～ブロードキャスト通信信頼度の向上と
配信遅延の低減をめざして～

電気通信大学

先端ワイヤレス・コミュニケーション研究センター

山尾 泰



目次

1. 車車間通信
2. 自律分散環境と隠れ端末問題
3. 中継アシスト自律分散通信の効果と課題
4. 中継アシスト車車間通信の課題の解決法
 - A) 中継局でのセクタ化受信
 - B) 中継時のペイロード合成送信
 - C) 複数交差点環境での棲分け中継
 - D) ネットワーク符号化中継
5. 中継アシストによる低遅延化の効果

1. 車車間通信



ADVANCED SAFETY VEHICLE
(先進安全自動車)

の実現による
交通事故の削減



Source: <http://www.mlit.go.jp/jidosha/anzen/01asv/resource/data/asv5pamphlet.pdf>

第6期ASV推進計画(2016～2010年度)

～自動運転の実現に向けたASVの推進～

- 自動運転を念頭においた先進安全技術のあり方の整理
- 開発・実用化の指針を定めることを念頭においた具体的技術の検討
- 実現されたASV技術を含む自動運転技術の普及

ASV6パンフレット

[http://www.mlit.go.jp/jidosha/anzen/01asv/
japanese/planning6.html](http://www.mlit.go.jp/jidosha/anzen/01asv/japanese/planning6.html)



● 自律型自動走行(ロボット移動体)

代表例: 自動運転／操縦システム(オートパイロット)、ドローン

実現手段: レーダ、周囲画像認識、MAPマッチング、GPS

課題: 認識の信頼度、複数の認識結果のコンフリクト

● 従属型自動走行

代表例: 自動運転列車(ゆりかもめ等)

実現手段: ATC, ATS, 列車無線、ACC(自動追従走行)

課題: 軌道がない場合の走行制御(レーン制御)

● 協調型自動走行(交通流を意識)

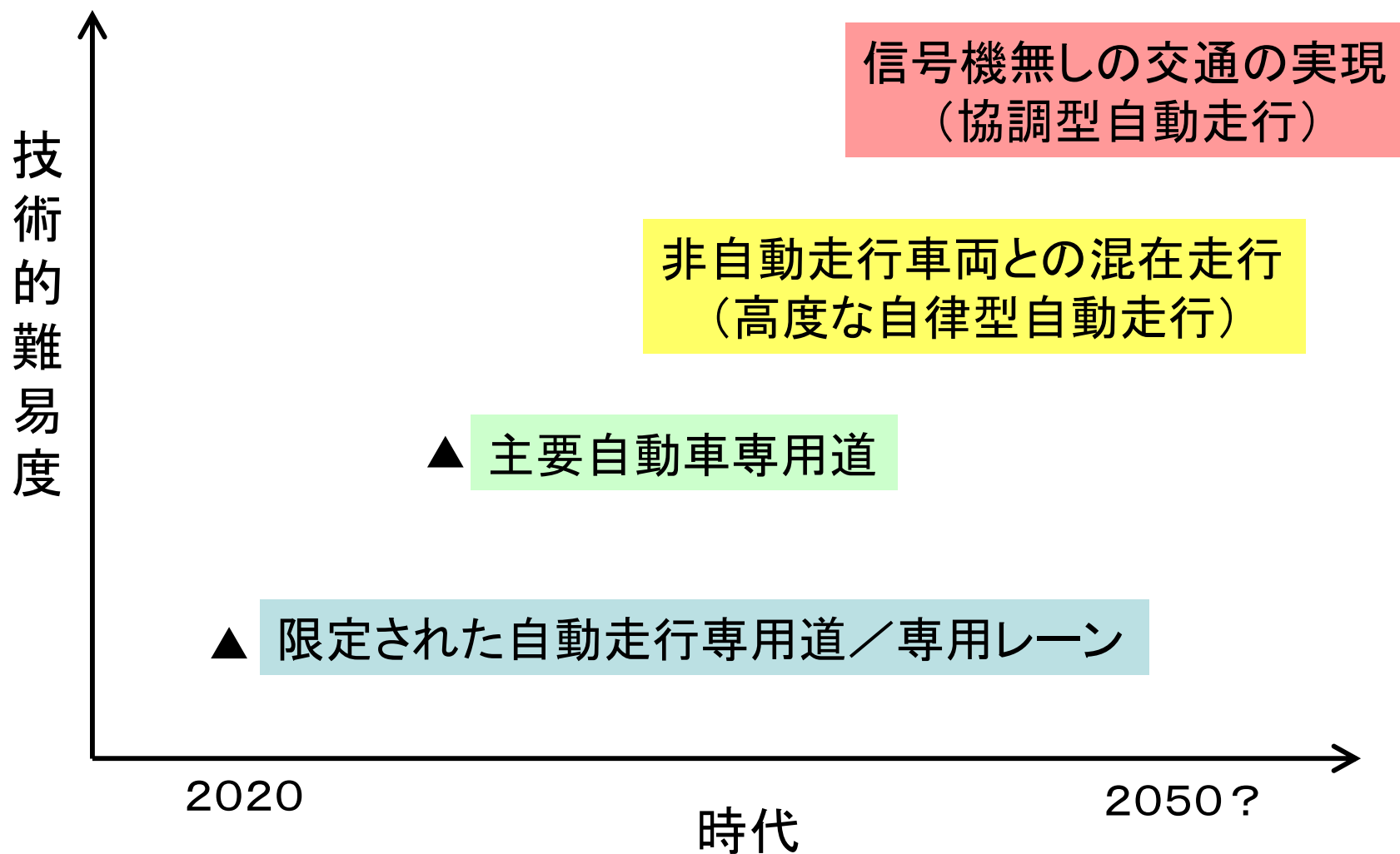
代表例: ITS自動走行(将来)

実現手段: 自律型自動走行のための手段＋車車／路車／歩車間通信

課題: 通信の信頼度と遅延時間



究極の自動走行へのロードマップ



センサー



制御

車両

車外

- ・ 周囲環境センサー
(カメラ、レーダー、ライダー)
- ・ 道路情報取得
(VICS、ダイナミックMAP等)
- ・ 車両間の情報共有・中継
(車車間通信)

車内

- ・ 車両走行状態センサー
(位置、速度、加速度等)
- ・ ドライバ状態センサー
(よそ見、居眠り、発作等)
- ・ 室内環境センサー

- ・ 加速／減速制御
- ・ 操舵制御
- ・ 灯火制御
- ・ 室内環境制御

道路

- ・ 車両感知センサー
トラヒック測定、信号警告用
- ・ 歩行者感知センサー
(横断歩道等)
- ・ 道路状態センサー
(雪、凍結、落下物)

- ・ 信号／標識
- ・ 車線・道路規制
- ・ 救急車両
- ・ 警察



車車間通信への要求項目

目的 車車間での情報共有
と
車両制御への利用

1. 車両走行情報(位置、速度、加減速)
2. 車両情報、ドライバ非正常情報
3. 車載センサー情報の共有
4. インフラ情報の中継・共有

要求項目

1. ブロードキャスト

～ 数百台 Max.

2. 到達範囲(距離)

～ 250 m程度(ワンホップ)

3. 通信信頼度

> 95 %

4. 情報配信遅延

< 20 ms ?

2. 自律分散環境と隠れ端末問題



車車間通信でのシャドウイングと隠れ端末問題

直線道路



交差点

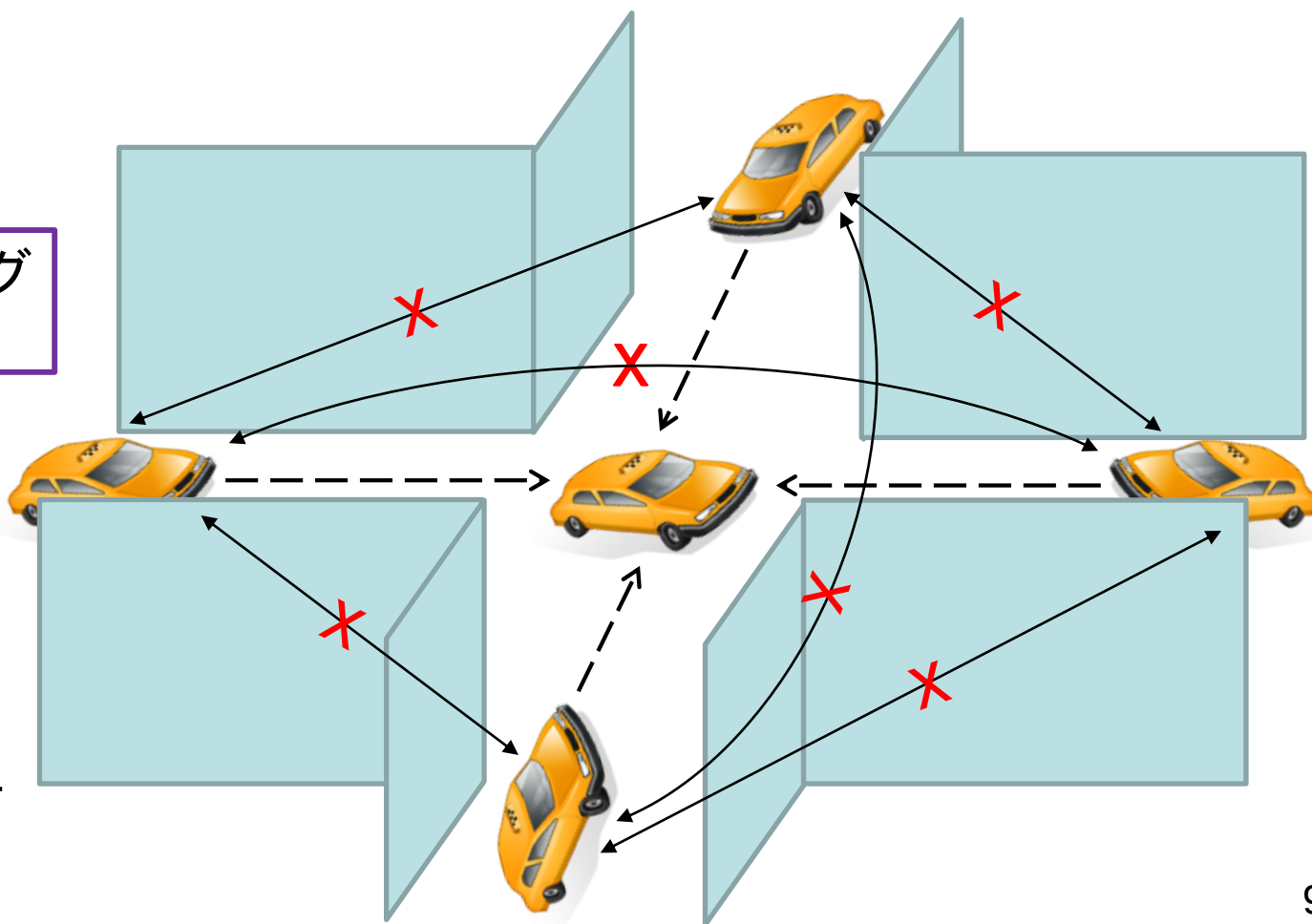
建物のシャドウイング
で伝搬損失が大

+

隠れ端末
の期待値
3倍



通信信頼度が低下





- ブロードキャスト通信のため、**自動再送は不可**

- 送信間隔100msで**周期的に車車間パケットを送信し**,
受信側では**複数パケットを用いて受信情報を更新**

車の移動距離は、時速72kmで 0.2 mなので、送信される
情報(位置, 速度)には強い相関があるため可能.

- しかしながら、受信に失敗した場合は次の送信まで待つ必要があり、
100ms の整数倍の遅延が発生

- 隠れ端末車両も同じ送信間隔で周期的に送信するので、
次の送信でも再び隠れ端末問題が発生する可能性が大



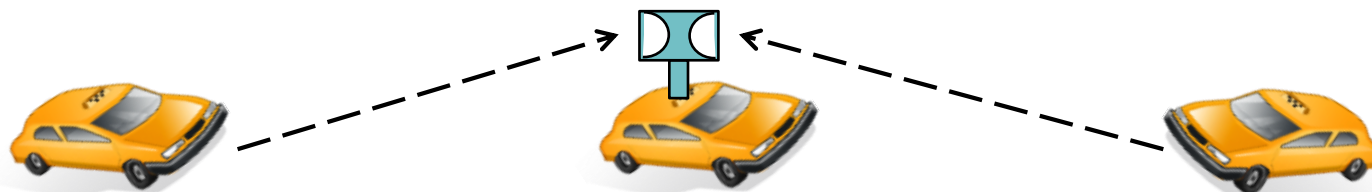
さらなる改善策の併用が必要



さらなる改善策(隠れ端末対策)

案1: 車載器をセクタアンテナ受信化

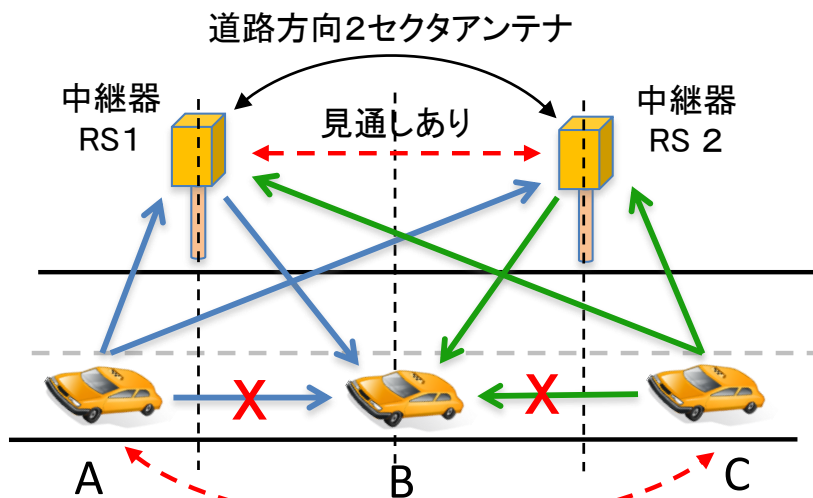
× 760 MHz帯セクタアンテナは大
△ シャドウイングに対する効果なし



交差点では4セクタ必要

案2: 路側中継器を併用

- 車載器は変更なし
- 路側器は車両に対して見通しの
ためシャドウイングに対する効果あり
- △ 路側器に中継機能追加
(事故の多い交差点から設置)



互いに隠れ端末のためパケットが衝突

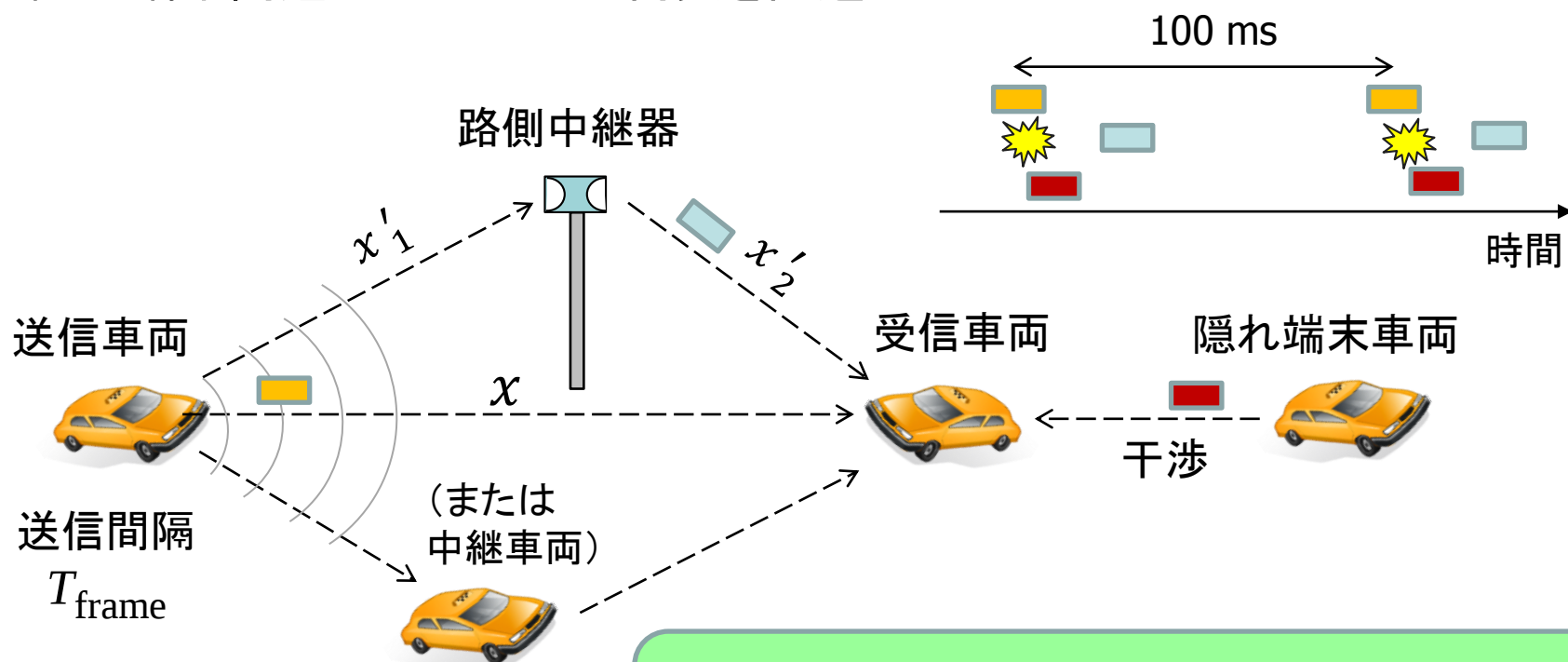
中継アシスト自律分散通信

3. 中継アシスト自律分散通信の 効果と課題



中継アシスト自律分散通信

- 再生中継 (DF) とし、車載器と同様に中継器はCSMA/CAでブロードキャスト
- 直接車車間通信の直後に中継送信することで、遅延の増加を抑えながら隠れ端末問題によるパケット衝突を回避



経路と時間の複合ダイバーシチ効果
⇒ パケット伝送成功率の向上

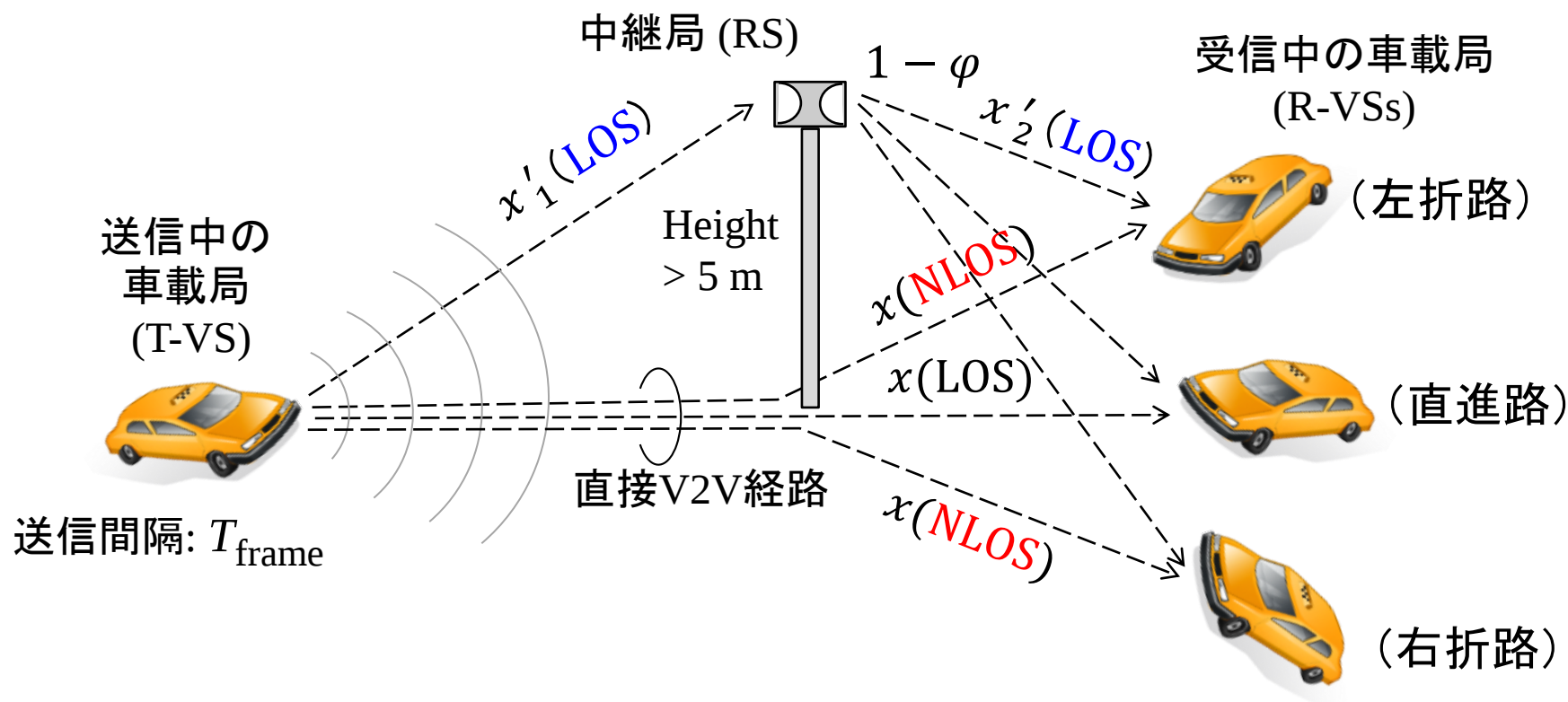


中継アシストによるPDR改善効果

パケット伝送成功率(PDR)

$$PDR = x + \frac{(1-x)x'_1(1-\varphi)x'_2}{\text{改善効果}}$$

φ ; 中継器での輻輳による
パケット破棄率



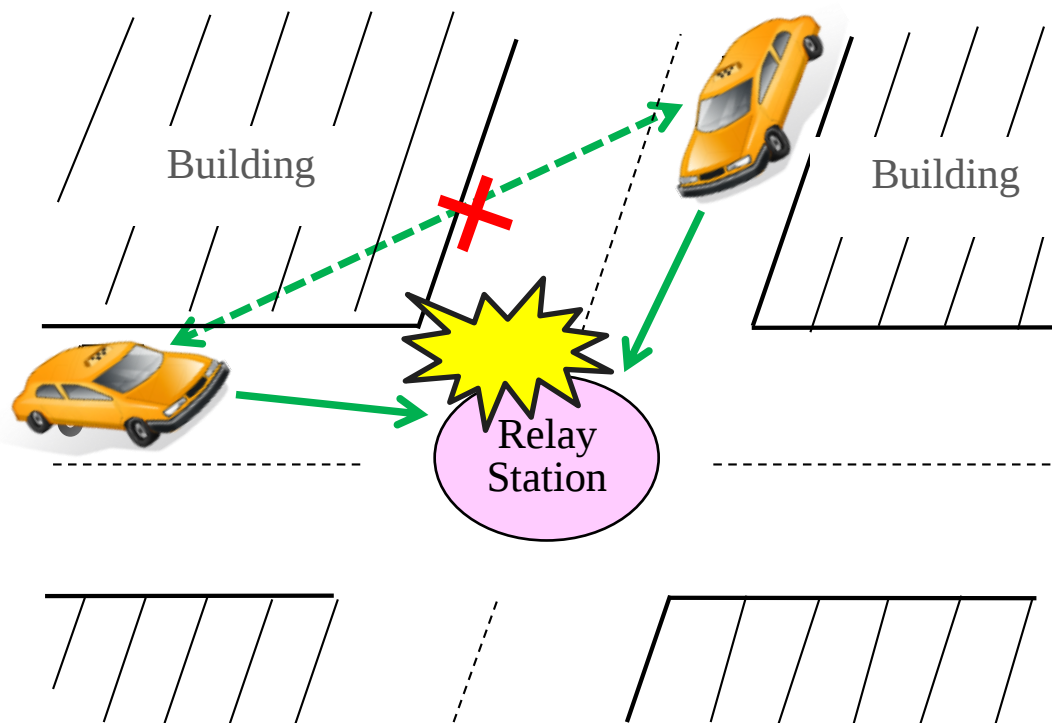
- VS-RS-VS間は見通しのため、中継経路はシャドウイング損失が無い



- 隠れ端末問題のため車載局からのパケットを中継局が受信できない

$$PDR = x + (1 - x)x'_1(1 - \varphi)x'_2$$

低下 ➡ 中継効果が失われる

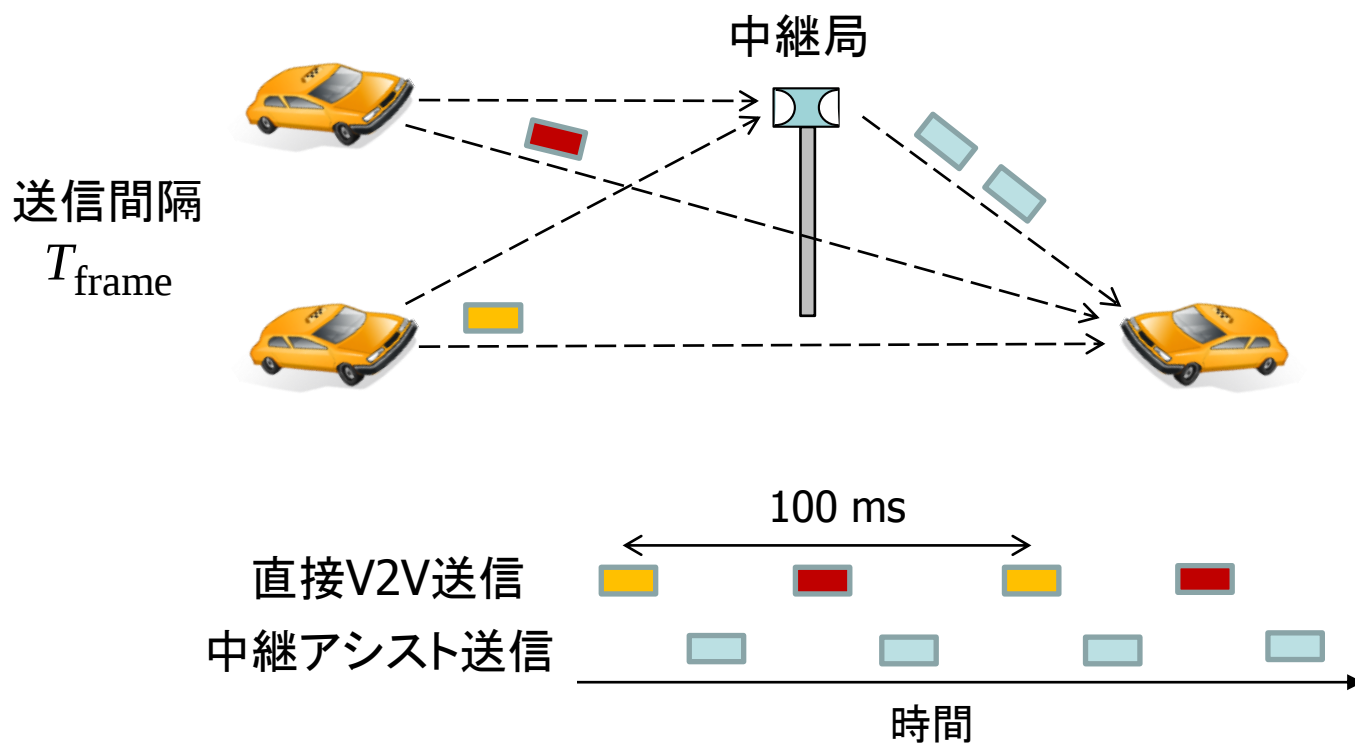




中継アシスト自律分散通信の課題(2)

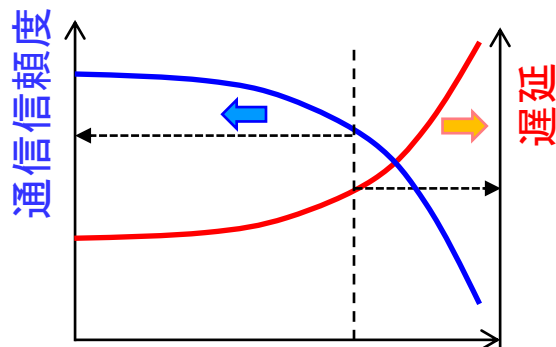
● 中継されたパケットによりエアトラヒックが増加(単純中継では2倍)

➡ エリアあたりの容量(収容可能台数)が低下



キャパシティ(収容台数)

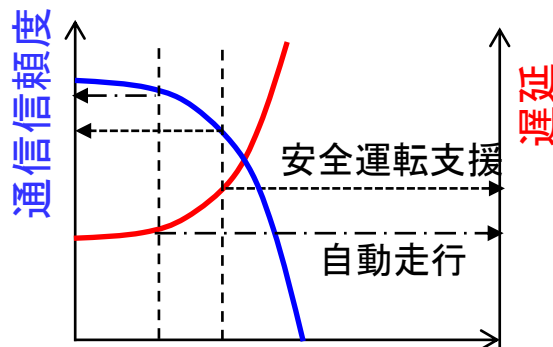
- ◆ エアトラヒックは、送信車両台数と送信頻度の積に比例
- ◆ 送信周期を短くすると、収容台数が減少



～300台

エリアあたり車両台数(密度)

<安全運転支援のみ(100byte, 100ms)の場合、現行システム>

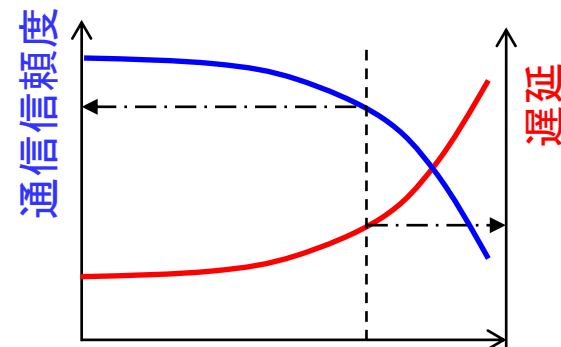


<<300台

エリアあたり車両台数(密度)

<安全運転支援＋自動走行、現行システム>

自動走行車両が多くなった場合、自動走行車両のみならず、安全運転支援車両にも影響



～300台

エリアあたり車両台数(密度)

<安全運転支援＋自動走行、分散協調車車間NWシステム>

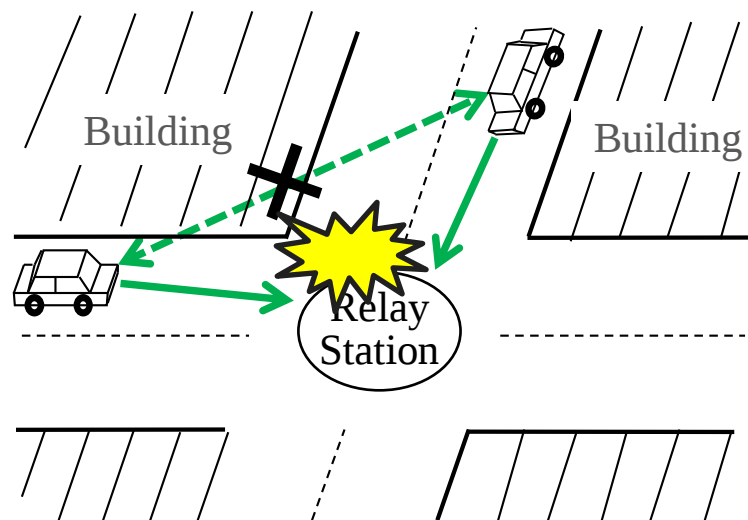
自動走行で要求される信頼度と低遅延を新しい技術で達成できるか？

4. 中継アシスト車車間通信の課題の解決法

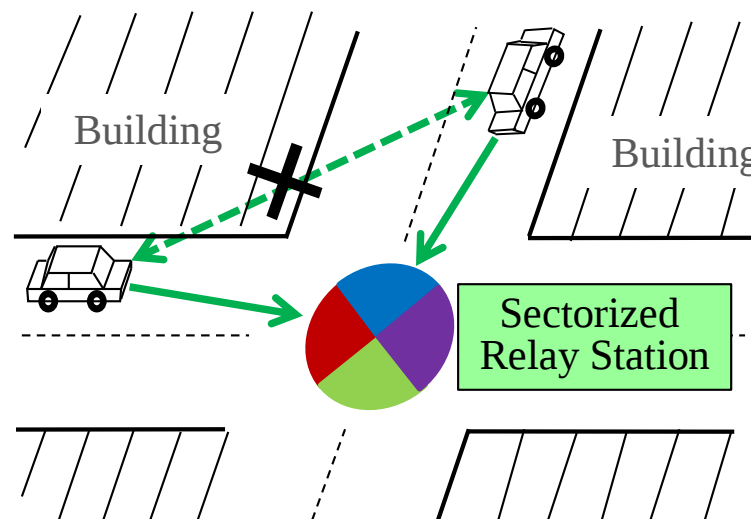
- A) 中継局でのセクタ化受信
- B) 中継時のペイロード合成送信
- C) 複数交差点環境での棲分け中継
- D) ネットワーク符号化中継

A) 中継局でのセクタ化受信

目的 隠れ端末問題の影響を軽減し、中継局の受信成功率を向上



無指向性受信



セクタ化受信

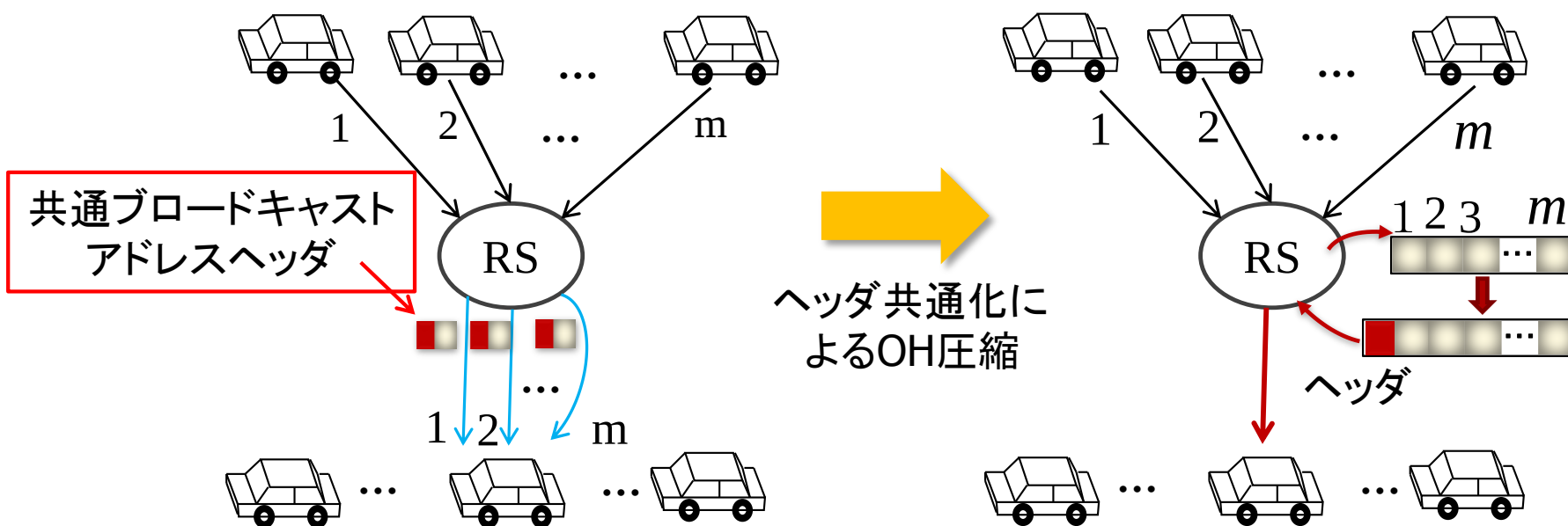
効果

- 道路の枝数に応じたセクタ化により、隠れ端末からの干渉を空間分離
特に交差する道路間での隠れ端末問題に効果大
- セクタアンテナ素子のF/B、F/Sは14dB~20dB程度で十分な効果あり

B) 中継時のペイロード合成送信

目的

ブロードキャスト中継での**エアトラヒック(エアタイム)増加**を抑制し、**システム容量を確保**



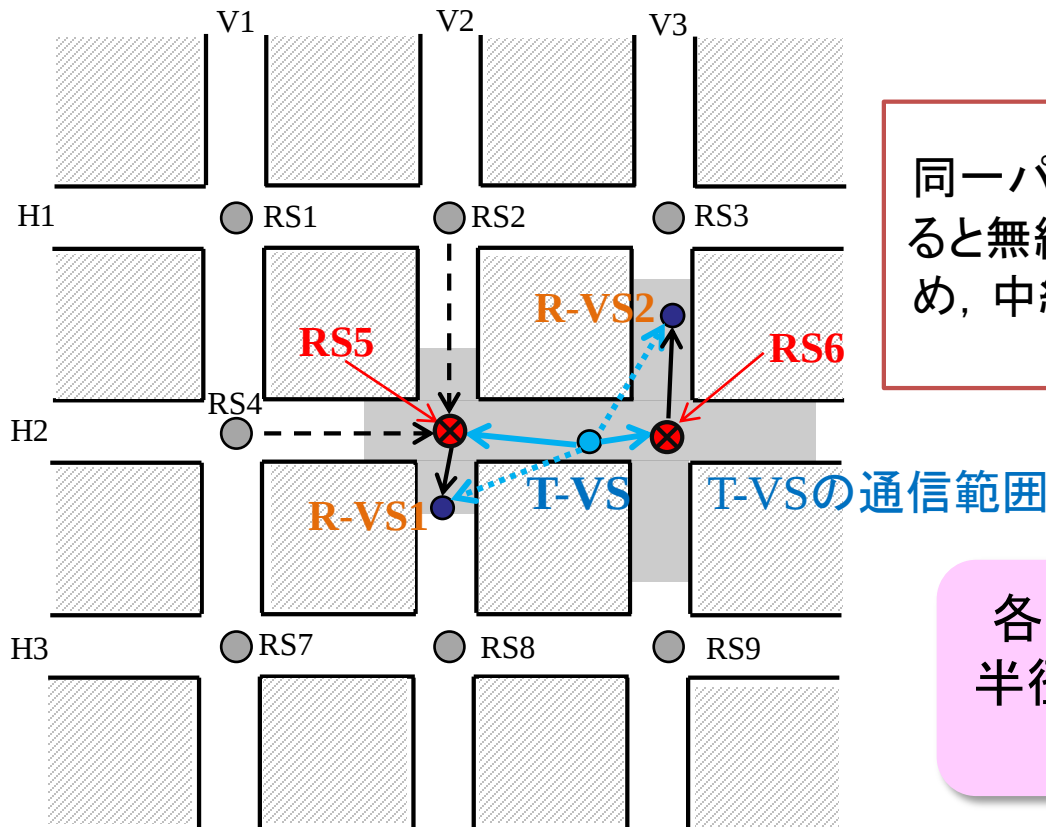
効果

- 10ms以内に受信したパケットあたり100 byteのペイロードを最大14個合成することで、中継エアトラヒックを1/2近くまで圧縮可能
- 中継送信パケット数が減ることで、競合による無駄時間を低減

C) 複数交差点環境での棲分け中継

目的

複数中継器の中継を制御することで最大の中継効果を得る



課題

同一パケットを複数のRSで中継すると無線リソースを多く使用するため、中継器での輻輳を引き起こす可能性がある。



各中継器が受持つ中継半径を制御する棲分け型協調中継アシスト

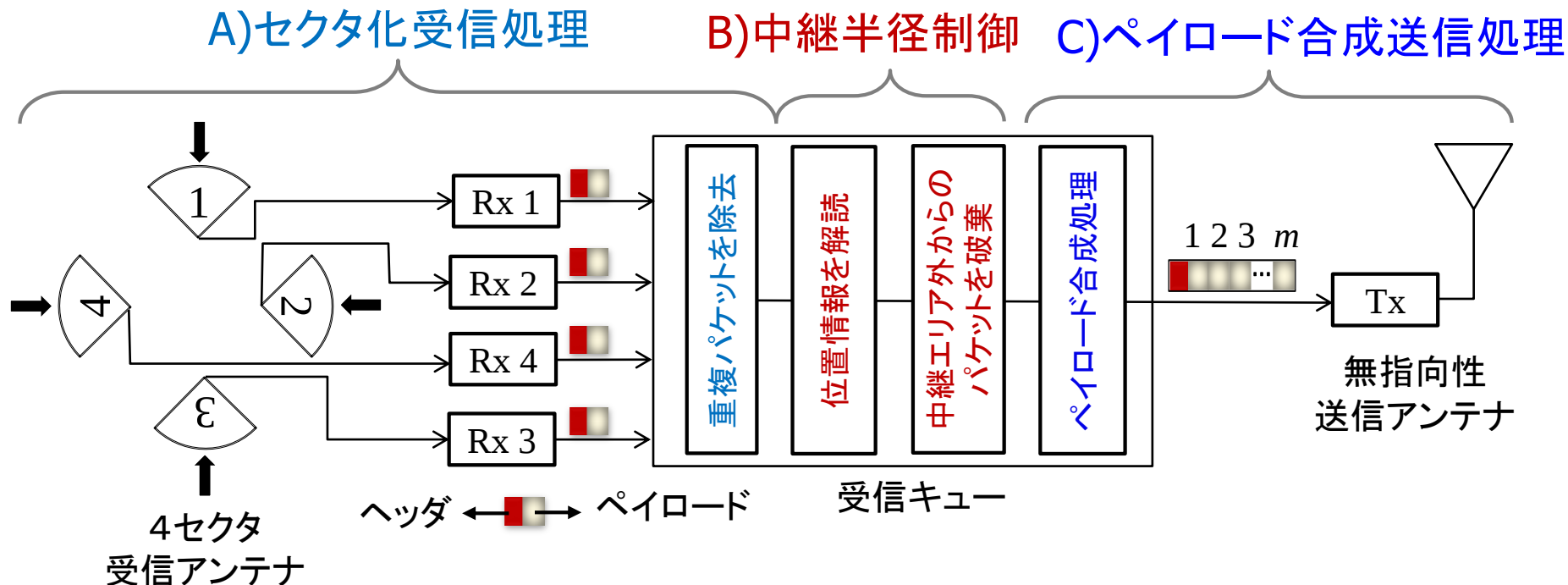
効果

- T-VSからのブロードキャストパケットを複数の中継局で中継
単独中継の経路ダイバーシティに加えて、RSダイバーシティ効果を得る
- 送信位置に応じて中継局が中継すべきかどうか判定し無駄な中継を防止



中継器の構成

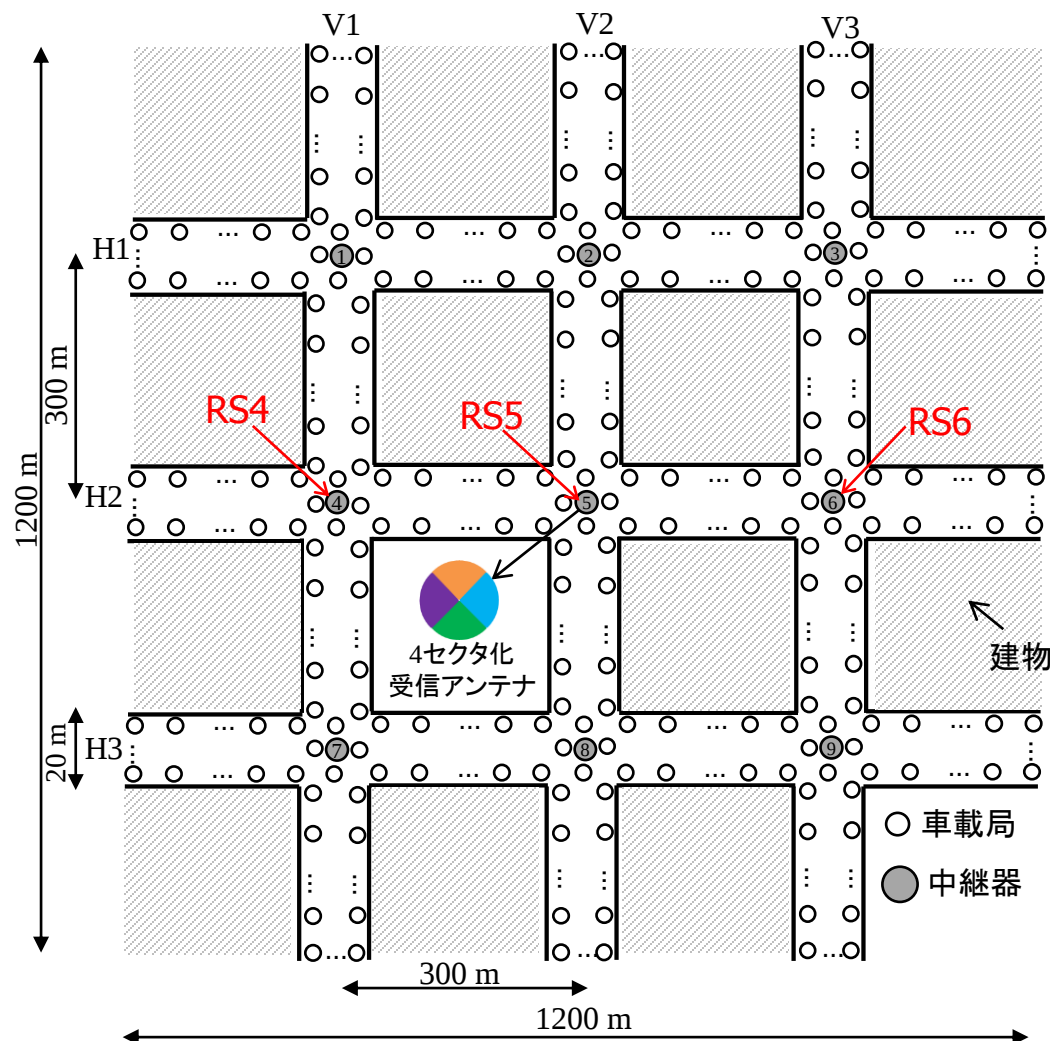
- A), B), C) の3機能の中継器のレイヤ2,3機能として実現



- 各中継局は自律分散で動作でき、互いに同期する必要はない



◆ 9交差点からなる市街地環境モデル



道路／車両レイアウト

- 各交差点に中継器1台を設置
- 交差点間隔: 300m
- 車線数: 4
- 車両密度: 40台/km・lane
(合計1176 台)

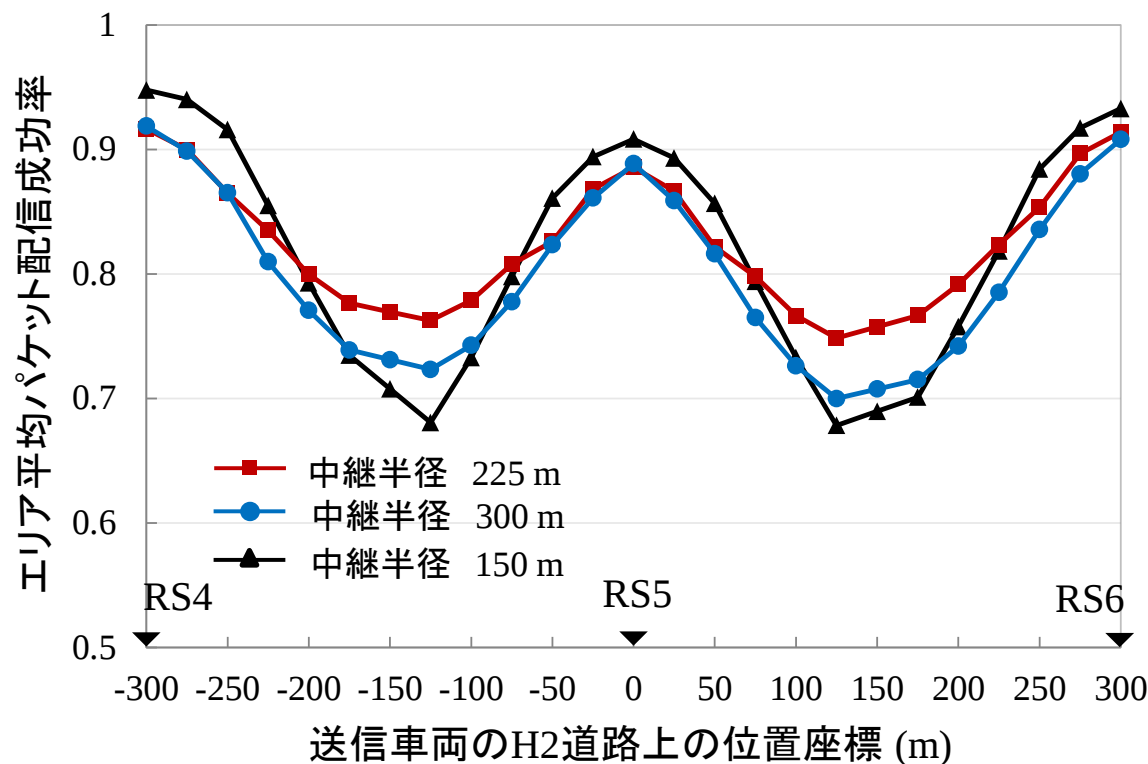
シミュレーション諸元

- Scenargie NWシミュレータ
- 760 MHz帯(10MHzチャンネル)
- 伝搬損失モデル; ITU-R P.1411
(LOSS/NLOS別モデル)
- IEEE802.11p/ CS感度 -82dBm
- 車載送信; 6Mbps/QPSK, ht=1.5m
中継送信; 12Mbps/16QAM, ht=6m



中継半径の影響

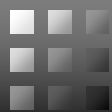
- T-VSの通信エリア; E_{TVS} はT-VSから道程で250m以内とする



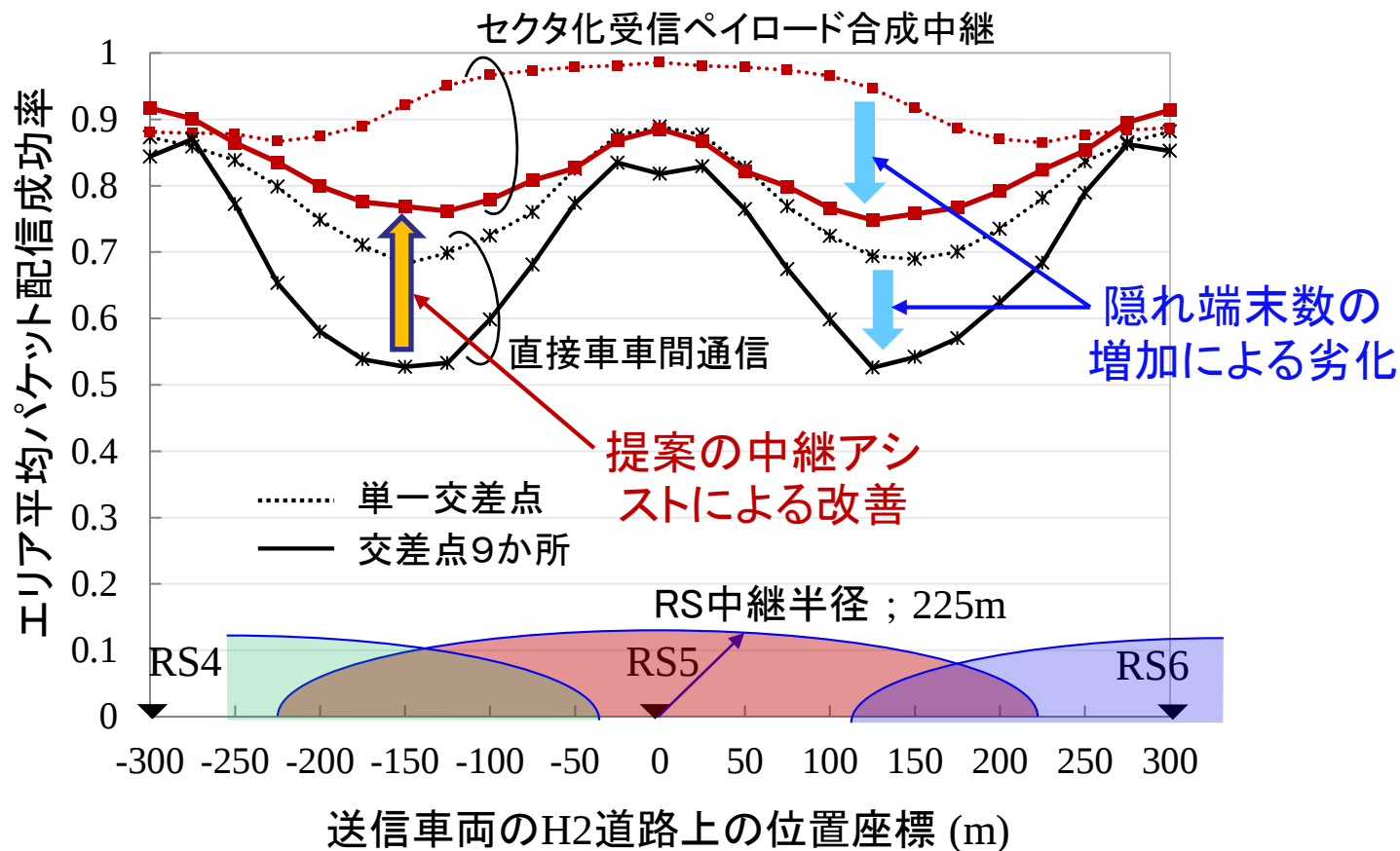
- ◆ 中継エリアが50%オーバーラップする中継半径225mが最も良好



中継器受の持ちエリアが適度にオーバーラップすることが望ましい



単一交差点との比較

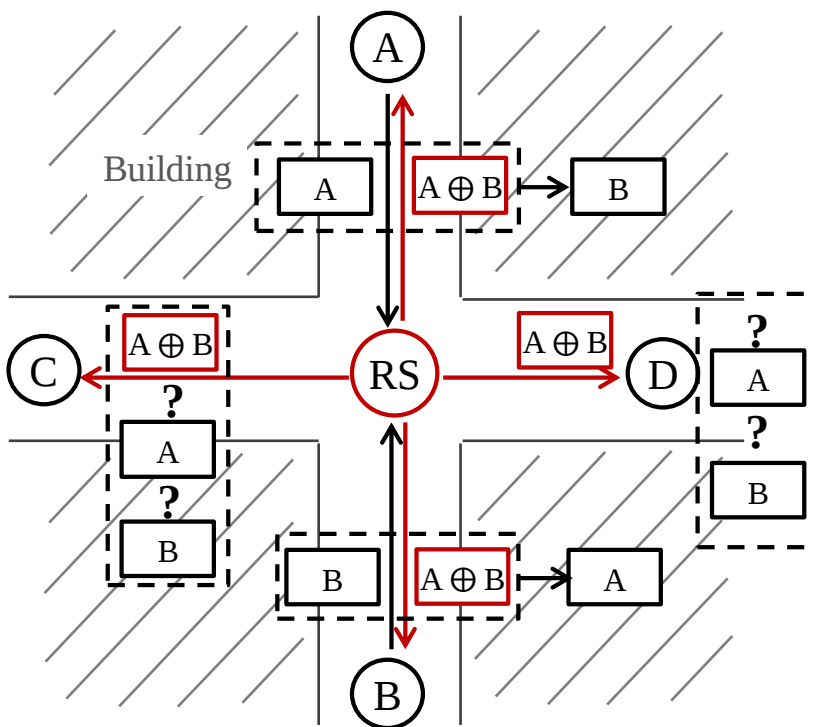


- ◆ 中継半径制御セクタ化受信ペイロード合成中継アシスト法は
T-VSが中継器間の中間点にある場合, エリア平均PDRが25% 改善.
- ◆ 9交差点市街地環境では, エリア平均PDRが単一交差点環境に比べて劣化.
➡ さらにエアトラヒックの圧縮が必要 (V2Vの16QAM化、NC)

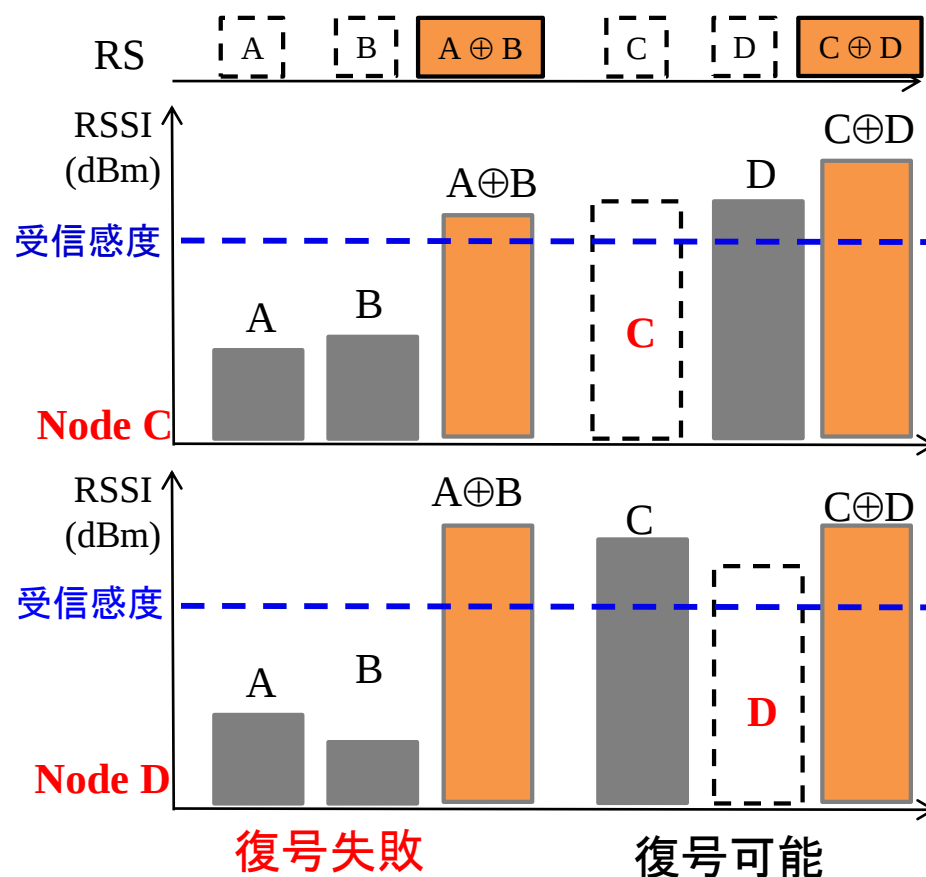
D) ネットワーク符号化中継アシスト

目的 ブroadcastキャスト中継での**エアトラヒック(エアタイム)増加**を抑制し、**システム容量を確保**

● 通常のネットワーク符号化では交差点環境で良い結果は得られず

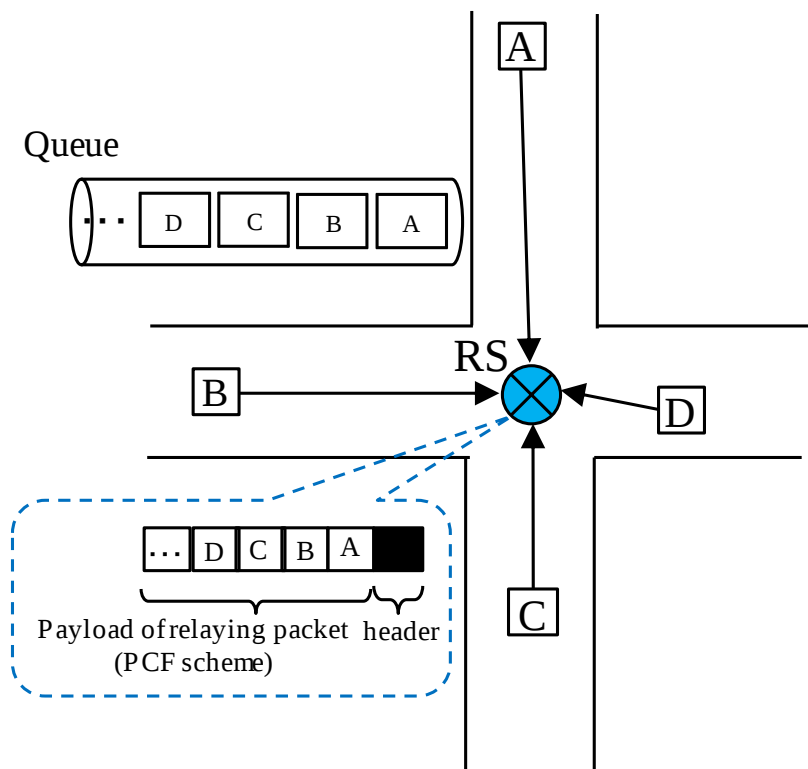


さらに、ペイロード合成送信との併用が必要

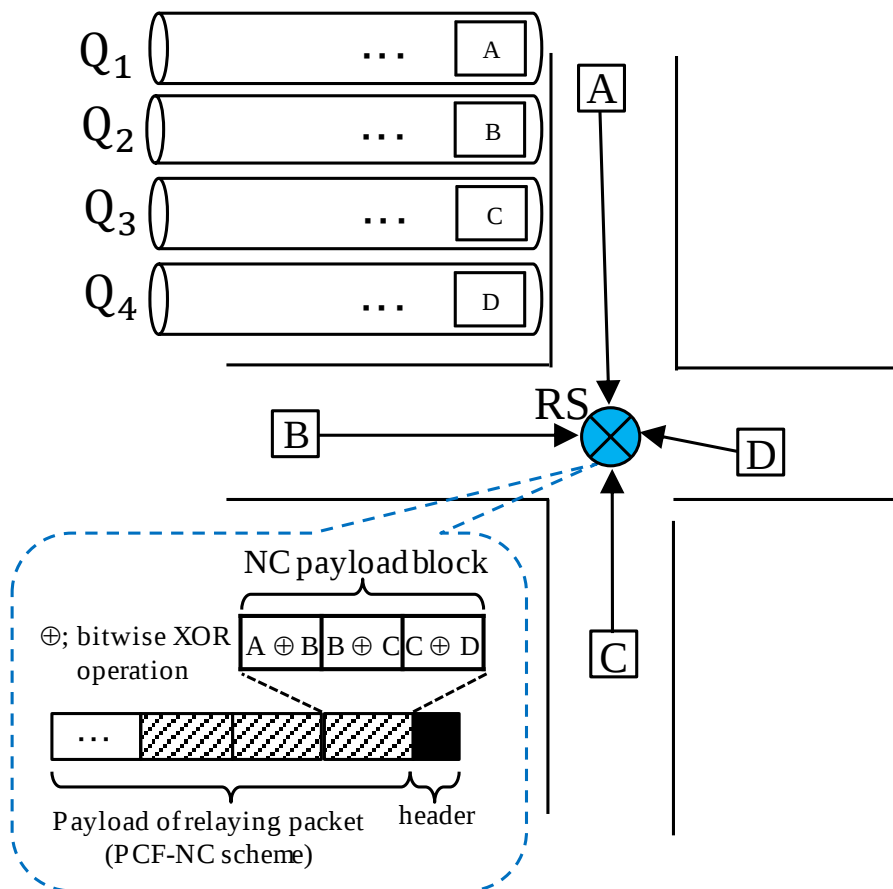




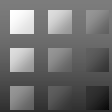
- 中継局受信パケットを**送信位置**により**グルーピング**して**ペアリング・符号化**(4ペイロード→3パケット)し、その後**3符号語単位**でペイロード合成



(a) NC無しのペイロード合成中継

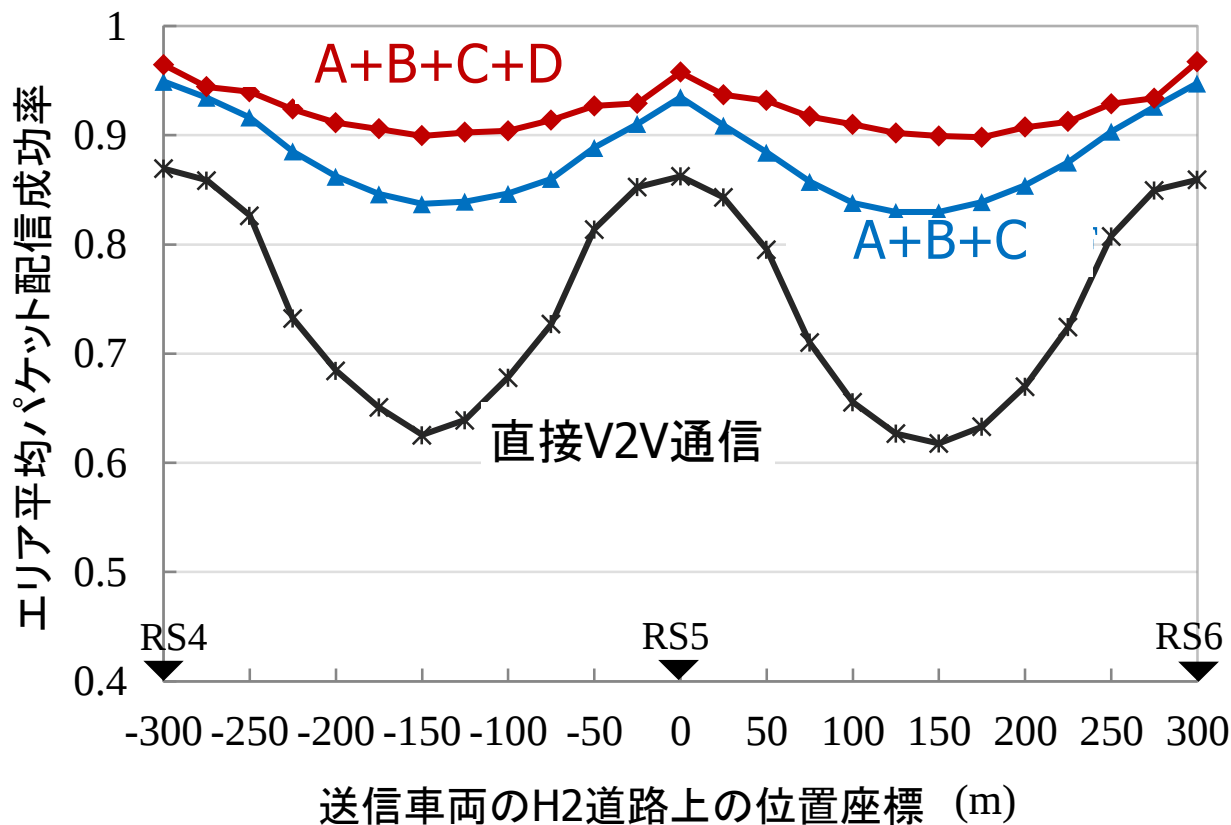


(b) 送信位置別グループ制御NC
ペイロード合成中継



送信位置制御NW符号化の効果

- 中継送信の**パケットペイロードを3/4に圧縮し**、エアトラヒックの増加をさらに抑圧することで、特性の劣化を抑えられる

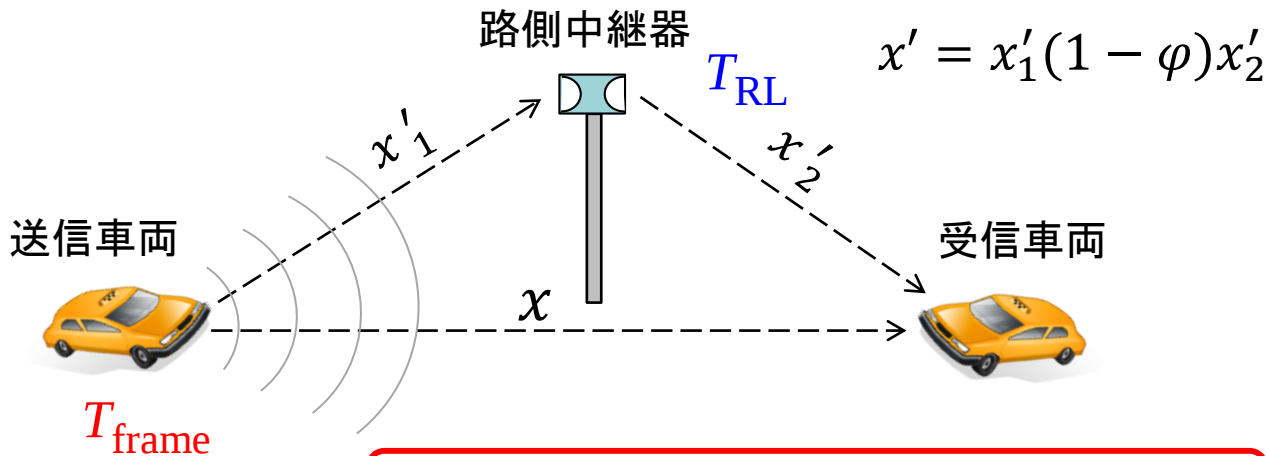


- 車載送信についても 12Mbps/16QAMとしてエアトラヒックを圧縮することで特性を改善できる

5. 中継アシストによる低遅延化の効果

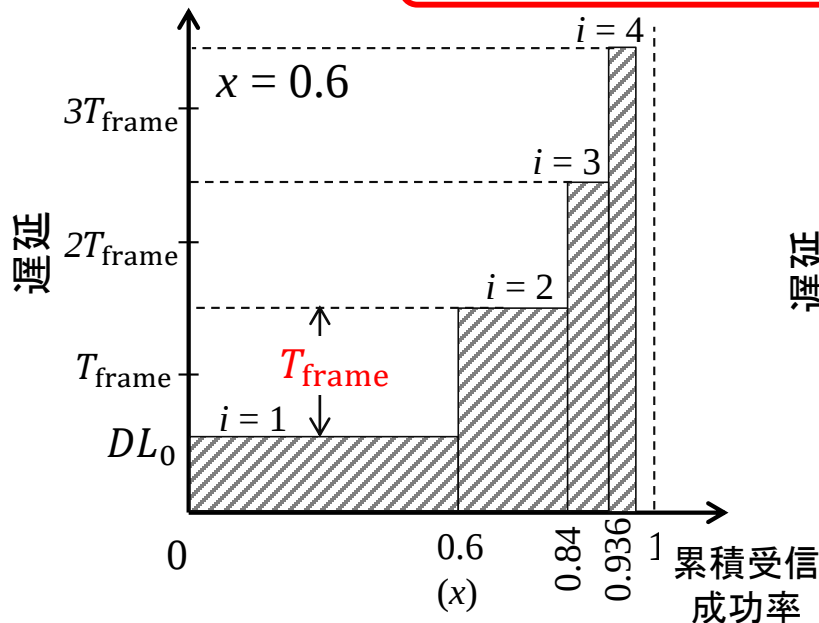
（詳細は明日午前の発表をご参照ください。）

複数回送信時の情報配信遅延

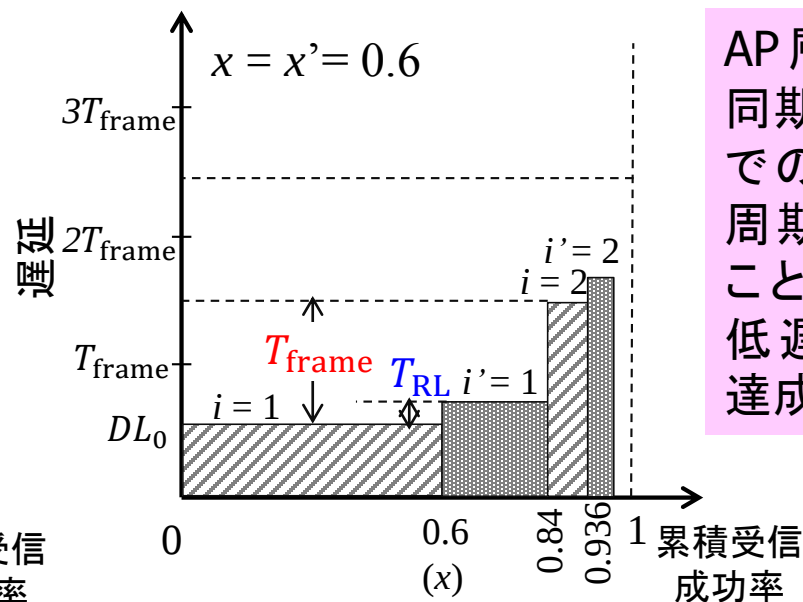


T_{frame} ; 送信フレーム周期
($\sim 100\text{ms}$)
 T_{RL} ; 中継送信による遅延
($\sim 10\text{ms}$)
 DL_0 ; AP層とMAC層の同期
遅延
 i ; 車車間通信の送信回数
 i' ; 中継通信の送信回数

斜線部の面積が平均配信遅延を表す



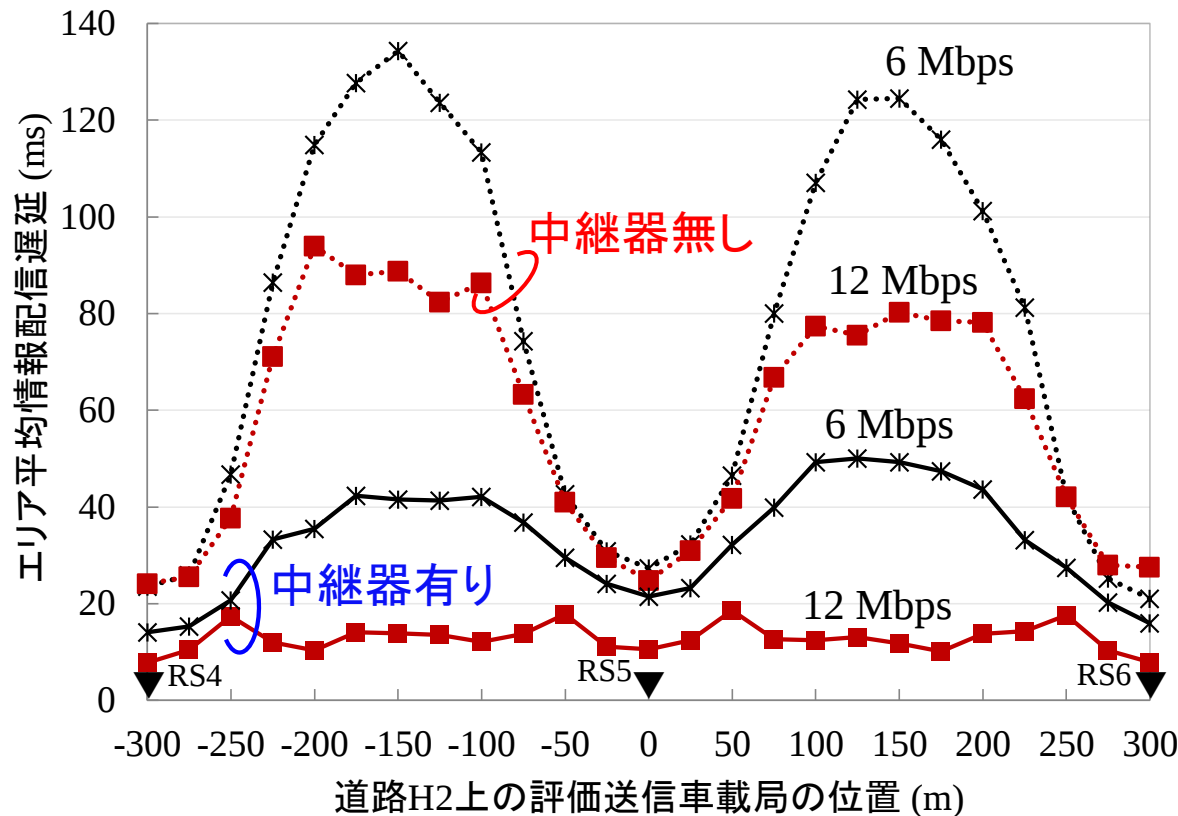
(a) 直接車車間通信



(b) 中継アシスト車車間通信

AP層とMAC層を同期させ、中継器での遅延を送信周期より短くすることで、高信頼・低遅延を同時に達成

- 平均PDRの改善と、中継器での遅延を送信周期より短くすることで、高信頼・低遅延を同時に達成



伝送速度は
V2V通信

中継アシストにより情報配信成功率を向上する(>90%)によって
平均情報配信遅延を20ms以下にできる

むすび

- ◆ 車車間通信がおかれた自律分散環境での課題を説明
- ◆ 中継アシスト自律分散通信の効果と課題
- ◆ 中継アシスト車車間通信の課題の解決法を説明
 - A) 中継局でのセクタ化受信
 - B) 中継時のペイロード合成送信
 - C) 複数交差点環境での棲分け中継
 - D) ネットワーク符号化中継
- ◆ 中継アシストによる低遅延化の効果

謝辞

本研究は電気通信大学AWCC 山尾研究室の博士後期課程学生であった成 慧婷(Huiting Cheng)博士、LE TIEN TRIEN 博士、および多数の山尾研究室卒業学生の協力により行われたものであり、ここに感謝の意を表します。



ご静聴
ありがとうございました

