

# 無線チャネル使用率を用いた 歩車間通信方式の動的送信頻度制御

伊藤舜<sup>†1</sup> 小花貞夫<sup>†1</sup> 湯素華<sup>†1</sup>

**概要:** 近年、歩行者事故削減のため歩行者情報を車両にブロードキャストする歩車間通信が注目されている。しかし歩車間通信は歩行者密度が高くなると、輻輳が発生し、危険歩行者のパケットが車両に到達しない可能性が高くなるという課題がある。筆者らは歩行者や車両、周囲状況といった情報（コンテキストと呼ぶ）に基づいて歩行者の危険度を判定し、歩行者に優先度を割り当て、優先度毎に送信頻度を割り当てる方式を先に提案し、さらにチャネル使用率を制御の基準とし、フィードバック制御を行う機能を検討した。しかし応答性を重視したため、外れ値にも過剰に制御してしまうという欠点があった。本稿では既存方式に加えて、状況に応じて安定した制御をするため、チャネル使用率に平滑化を行い、制御のパラメータであるゲインを動的にチューニングする方式を検討する。またシミュレーション評価を行い、既存方式と比較して検討方式では最高優先度の累積パケット到達率が最大 5.3% 向上、既存方式よりもチャネル使用率を目標値付近の値に安定させられることを確認した。

## Dynamic control of transmission interval in pedestrian-to-vehicle communication using channel utilization rate

SHUN ITO<sup>†1</sup> SADAO OBANA<sup>†1</sup> SUHUA TANG<sup>†1</sup>

### 1. はじめに

現在、自動車対歩行者での交通事故死亡率の高さが問題視されている[1]。歩行者事故削減のため、カメラやレーダーを用いた自律型の安全運転支援システムが搭載された車両が市場に登場したが、見通し外の歩行者を検知できないという欠点がある。近年、歩行者の位置や速度等の情報を無線通信で周囲の車両に通知する歩車間通信が注目されている。しかし歩車間通信は歩行者密度が高くなると、輻輳が発生し、危険歩行者のパケットが車両に到達しない可能性が高くなるという課題がある[2]。

そこで筆者らは歩行者や周囲の車両の位置情報や速度、周囲環境等をまとめたコンテキストに基づいて歩行者の危険度を判定し、送信の優先度へと割り当て、優先度毎に送信頻度を制御する方式を先に提案し[3]、加えて帯域の混み具合であり、輻輳に直接影響する要素である無線チャネル使用率を制御の基準とし、混み具合に応じたフィードバック制御を行う機能の追加を検討した[4]。しかし応答性を重視するあまり、外れ値に対しても過剰に制御してしまい、制御が安定しないという欠点があった。

本稿では先に筆者らが提案した既存方式を拡張し、1) 時系列データのチャネル使用率に対して平滑化を行う、2) フィードバック制御において制御を特徴づけるパラメータであるゲインを状況に応じて動的に制御する、といった機能を検討する。またシミュレーション評価を行い、検討方式の有効性を検証する。

### 2. 関連研究

#### 2.1. 車車間通信技術

車車間通信とは、路側機等のインフラ整備を必要としない、車両間の直接通信を指す。高度道路交通システムでは 700MHz 帯の車車間通信により、車両の位置や速度のほか急ブレーキ情報や緊急車両情報といった情報を相互に通信し、安全性を高める取り組みが為されている。今後は安全性だけでなく、燃費向上やコンテンツの提供など更なる機能を提供することが期待されている。

#### 2.2. 歩車間通信技術

歩車間通信とは一般的に歩行者と車両間の直接通信を指す。平成 29 年度の交通事故死者数を状態別に見ると、「歩行中」の割合が 36.5% と最も大きな割合を占めている[1]。近年、交通事故低減のため、カメラ[5]やレーダー[6]を用いて歩行者を検知し、運転者に対して危険の通知や、自動ブレーキを行うシステムが存在するが、これらは見通し外の歩行者の検知が出来ないため、見通し外への回り込みが可能な歩車間通信との併用が望まれる。

また歩車間通信では歩行者と車両との直接の通信だけでなく、セルラ網を介した方式[7][8]も検討されているが、本稿では歩車間の直接通信を対象とする。

#### 2.3. 歩車間通信とその課題

歩車間通信は歩行者密度が高い状況で多数の歩行者が同時に送信を行うと、パケットの衝突が頻発し、危険歩行者のパケットが迅速に車両に届かないという課題がある。

<sup>†1</sup> 電気通信大学 大学院情報理工学研究科  
Graduate School of Informatics and Engineering,  
The University of Electro-Communications

### 3. ベースとなる既存の歩車間通信方式[3][4]

図 1 に既存方式の概要図を示す。車両は車車間通信を行っており、車車間通信メッセージを受信した歩行者はコンテキストから危険度の判定を行う。危険度を閾値で分割することで歩行者を送信の優先度へと割り当てる。優先度が高い（つまり危険度が高い）歩行者ほど歩行者から車両への歩車間通信の送信頻度を上げることで優先的な送信を可能とする。チャンネル使用率が許容範囲から外れた場合、閾値が調整される。その結果、各優先度の人数が調整され、帯域に余裕が出来ることでより危険度の高い歩行者の packets を優先的に送信することができる。

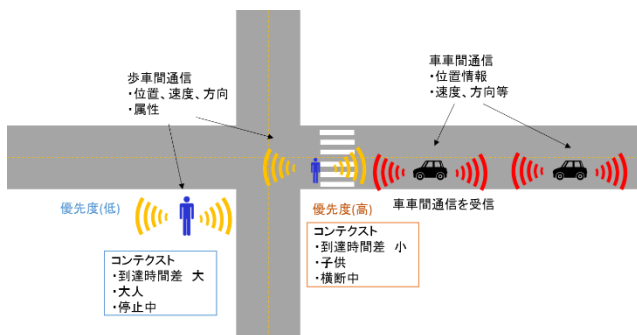


図 1 既存方式の概要図

#### 3.1. 前提条件

既存方式では車両は安全運転支援システムに基づく車車間通信を一般的に行っているものとする[9]。安全運転支援システムは既に一部の車両に実用化されており、今後さらに多くの車両に搭載されていくことが予想される。

また今後のインフラ設備の整備や位置測位精度向上の研究[10][11]が為されていることから、歩行者端末の位置は正確なものであるとする。さらに歩行者端末の演算能力やバッテリー容量は十分にあるものとする。

#### 3.2. コンテキストに基づく危険度判定

既存方式は歩行者混雑時に電波の輻輳により危険度の高い歩行者の packets が車両に到達しない課題を解決するため、歩行者や車両、周囲状況といった情報（コンテキストと呼ぶ）に基づいて、危険度の高い歩行者の packets をより優先的に送信する。表 1 にコンテキスト情報の例を示す。

表 1 コンテキスト情報の例

分類	コンテキスト情報の項目
車両	車両の位置、速度、方向
歩行者	歩行者の位置、速度、方向、乗り物に乗っているか、建物の中にいるか、年齢、健常者であるか
周囲状況	天候、時間帯、過去の事故状況

3.1 節で述べたように車両は定期的に車車間通信を行っている。歩行者はその車車間通信を傍受することで周辺車両の位置や速度といった車両に関するコンテキスト情報を取得する。また歩行者端末に搭載されている GPS センサや加速度センサによって歩行者の位置や速度、方向といったコンテキストを得る。年齢、健常者であるか、といった情報はあらかじめ歩行者端末に登録されてあるものとする。周囲環境に関するコンテキストは位置情報をもとに基地局との通信によって得られるものとする。

これらのコンテキスト情報から、1) 歩行者と車両との衝突予想地点までの到達時間差による危険度  $C_t$ 、2) 歩行者属性による危険度  $C_p$ 、3) 周囲環境による危険度  $C_a$ 、の 3 種類の危険度をそれぞれ求める。歩行者と車両それぞれの位置、速度、方向から衝突が予想される地点に到達するまでにかかる時間を計算する。それぞれの到達時間の差から実際に衝突が発生する可能性の高さを 0 から 5 の範囲で表し、(1)式に基づいて  $C_t$  を計算する。  $t_v$  は車両の衝突予想地点までの到達時間、  $t_p$  は歩行者の衝突予想地点までの到達時間を表す。

$$C_t = \frac{5}{1 + |t_v - t_p|} \quad (1)$$

$C_p$  は事故統計情報に基づいて年齢、健常者であるか、といった歩行者属性による事故の危険性を 0 から 1 の範囲で表す。  $C_a$  は  $C_p$  同様事故統計情報に基づいて周囲環境による事故の危険性を 0 から 1 の範囲で表す。これら 3 つの危険度から(2)式に基づいて総合的な危険度  $C_s$  を導出する。

$$C_s = C_t \times (C_p + C_a) \quad (2)$$

#### 3.3. 優先度・送信頻度制御

総合的な危険度  $C_s$  を閾値で分割することにより 5 段階の優先度へと割り当て、それぞれに送信頻度を設定する。それぞれの閾値、優先度、送信頻度の関係を表 2 に示す。例えば優先度 4 の閾値は 1 となる。

表 2 優先度と閾値、送信頻度の関係

閾値	優先度	送信頻度
$C_s \geq 1$	4 (最高優先度)	100ms
$1 > C_s \geq 0.6$	3	200ms
$0.6 > C_s \geq 0.3$	2	500ms
$0.3 > C_s$	1	1000ms
歩行者停止状態 乗り物に乗っている 建物の中にいる	0 (最低優先度)	送信無し

### 3.4. チャンネル使用率に基づく制御

歩行者密度が高くなると、パケットの衝突が頻発し、危険歩行者のパケットが車両に到達しない可能性が高くなるという課題がある。既存方式では帯域の混み具合を表す無線チャンネル使用率を基準とする。「無線チャンネル使用率」とは、ある一定の時間（本稿では 100ms 間隔）において帯域がビジーである時間と自身が送信している時間の和が占める割合とする。

歩行者端末が取得したチャンネル使用率が許容範囲を超えていた場合、閾値を制御する。チャンネル使用率が許容範囲内であれば、閾値が適正であるとし、何も制御を行わず監視を続ける。チャンネル使用率の許容範囲を一般的に輻輳が多く発生する指標とされる 80% を上限とする。また帯域に余裕がある時はパケット到達率を向上させるために、チャンネル使用率の下限を 75% とし、下限を下回った場合、閾値を下げることで全体の送信頻度を上げる。同じパケットを N 回送信したら、危険の通知が終了したとし、危険度、優先度をリセットする。また既存方式は閾値を制御した後の変動したチャンネル使用率というフィードバックをさらに次の制御に活用することで、混み具合に応じた閾値制御を可能とした。

### 3.5. 閾値制御方法

具体的な閾値制御方法について述べる。閾値は「デフォルトの閾値」と「調整値」の和とする。デフォルトの閾値は表 2 に従う。例えば、優先度 4 のデフォルトの閾値は 1 となる。閾値制御は目標値からの誤差を小さくするための比例制御、過制御による振動や行きすぎを防ぐための微分制御を用いる。閾値を上げる際の調整値の式を(3)式に示す。

$$\begin{aligned} & \text{変更前調整値} = \text{変更後調整値} \\ & + \frac{\{K_p * \text{error} - K_d * |\text{error} - \text{prev\_error}|\} * \text{優先度}}{C_s} \end{aligned} \quad (3)$$

ここで、 $K_p$  を比例制御の係数となる比例ゲイン、 $\text{error}$  をチャンネル使用率の上限値と検出されたチャンネル使用率の差、 $K_d$  を微分制御の係数となる微分ゲイン、 $\text{prev\_error}$  を  $\text{error}$  の前回値、とそれぞれ定義する。まずこの式では比例制御を用いることにより、上限値から大きく外れた場合は大きく制御を行う、といったようにチャンネルの混み具合に応じて制御の変化量が変化する。さらに安定性を向上させるため、微分制御を用いる。検出されたチャンネル使用率と前回のチャンネル使用率との差を比例制御から引くことで、過制御を抑え、オーバーシュートや振動を防ぐ。また分母に歩行者の総合的な危険度  $C_s$  を配置することで危険度の低い歩行者ほど制御量が大きくなり、優先度が下がりやすくなる。その結果、帯域の余裕に繋がり、より危険度の高い歩行者のパケット到達率向上を図る。

### 3.6. 既存方式の課題

既存方式の課題として外れ値に弱いということが考えられる。送信タイミングが偶然に集中または分散することでチャンネル使用率が急激に変化し外れ値のようになる場合がある。こういった場合はそれほど大きく閾値を変化させる必要はないが、既存方式は比例制御に重きを置いたゲイン設定となっているため、過剰な制御を行っている。

## 4. 検討方式

検討方式では既存方式の課題を解決するため、1) 取得した無線チャンネル使用率を直接使用するのではなく連続時系列データを平滑化して得られるチャンネル使用率を使用する、2) フィードバック制御で使用する比例ゲイン  $K_p$ 、微分ゲイン  $K_d$  を状況（目標値からの差、振動の度合い）に応じて動的にチューニングする、といった機能を検討する。検討方式の概要図を図 2 に示す。

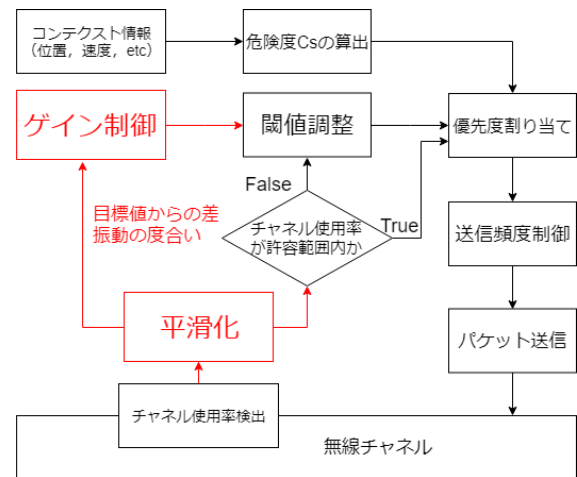


図 2 検討方式の概要図

### 4.1. チャンネル使用率の平滑化

既存方式では送信タイミングが重ならないようにするためパケットの送信前にランダムな待機時間を設けている。しかし複数歩行者の送信タイミングに偏りが生じた場合、チャンネル使用率が一時的に急激な増加や減少をすることがある。こういった場合は閾値を制御せずともチャンネル使用率は回復するが、既存方式ではリアルタイムなチャンネル使用率を制御に用いているため、過剰に制御してしまう課題があった。

検討方式は応答性と安定性を両立させるため、1s 分のチャンネル使用率による時系列データを平滑化して得られるチャンネル使用率を制御に使用する。平滑化の式  $f$  を(4)式、(5)式に示す。

$$f(x) = \sum_{t=1}^{10} x_t * w_t \quad (4)$$

$$w_t = \frac{2^{10-t}}{\sum_{k=0}^9 2^k} \quad (5)$$

$x$  は 1s 分のチャンネル使用率の時系列データ、 $x_t$  はある時間のチャンネル使用率を表している。本稿では 100ms 間隔でチャンネル使用率を取得しているため、例えば  $x_1$  はリアルタイムでのチャンネル使用率、 $x_{10}$  は 1s 前のチャンネル使用率となる。この式ではリアルタイムでのチャンネル使用率の重みを最も重くし、かつ 1s 分のチャンネル使用率も考慮することで、リアルタイムへの応答性と時系列データを扱うことによる安定性とを両立している。

#### 4.2. ゲイン制御

チャンネル使用率に基づくフィードバック制御においてゲインのチューニングが非常に重要になる。目標値からの誤差を小さくするための比例制御の場合、比例ゲインを大きくすればするほど応答性が向上するが、目標値に近づいた際に過制御や振動が発生しやすくなる。過制御を抑えるための微分制御では、微分ゲインを大きくすれば安定性が向上するが、目標値までの収束に時間がかかる。このようにゲインの設定が制御の特徴を決定することになり、それぞれはトレードオフの関係となる。検討方式では状況に応じて適切なゲインを使用するため動的にチューニングを行う。比例ゲインは目標値からの誤差に関するため *error* を使用する。微分ゲインは振動に関するが、振動は具体的な数値で表現することが難しいため、曖昧な値として扱うことが出来るファジィ制御を取り入れる。目標値からの誤差の大きさを表す値として *Deviation*、振動の度合いを表す曖昧な値として *Vibration* と定義し、*Deviation* を比例ゲイン  $K_p$  の制御に、*Vibration* を微分ゲイン  $K_d$  の制御に、それぞれ活用する。

##### 4.2.1 比例ゲイン

始めに誤差の大きさに関する *Deviation* の導出方法について述べる。*Deviation* は 1s 分のチャンネル使用率の *error* の和とし、比例ゲインは *Deviation* に比例させる。このようにすることで例えばチャンネル使用率が目標値から大きく外れている場合、1s 分の *error* の和が大きくなり、*Deviation* は大きい値となる。つまり比例ゲインの制御量が大きくなり、目標値に素早く収束させるための制御を行うことが出来る。逆にチャンネル使用率が目標値付近の値を取っていた場合、*Deviation* は小さい値を取るため、比例ゲインの制御量は小さくなり、目標値付近での微調整に適した制御を行うことが可能になる。チャンネル使用率が許容範囲内の時、比例ゲインを半減させ、許容範囲から外れた時、(6)式に従って比例ゲインを設定する

$$K_p = Deviation/100 \quad (6)$$

##### 4.2.2 ファジィ集合におけるメンバーシップ関数

チャンネル使用率の高さを 0 から 1 で表す「高い」「ちょうど良い」「低い」「非常に低い」という 4 つのメンバーシップ関数を定義し、それぞれのファジィ値  $y_h, y_a, y_l, y_v$  を以下に定義する。また例えば「高い」というメンバーシップ関数を表す際、(チャンネル使用率, 高い) と表記する。

$$\begin{cases} y_h = 1 & (x > 90) \\ y_h = 0.05 * x - 3.5 & (90 > x > 70) \end{cases} \quad (7)$$

$$\begin{cases} y_a = -0.05 * x + 4.5 & (90 > x > 70) \\ y_a = 0.05 * x - 2.5 & (70 > x > 50) \end{cases} \quad (8)$$

$$\begin{cases} y_l = -0.05 * x + 3.5 & (70 > x > 50) \\ y_l = 0.05 * x - 3.5 & (50 > x > 30) \end{cases} \quad (9)$$

$$\begin{cases} y_v = -0.05 * x + 2.5 & (50 > x > 30) \\ y_v = 1 & (x < 30) \end{cases} \quad (10)$$

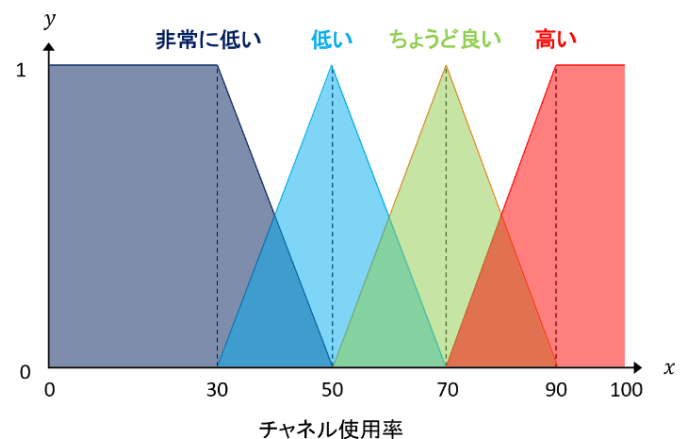


図 3 チャンネル使用率の高さを表すメンバーシップ関数

それぞれのチャンネル使用率の高さを表すメンバーシップ関数の最大値はチャンネル使用率を代入した場合の解とする。例えばチャンネル使用率が 85% の場合、 $y_h$  の最大値は 0.75、 $y_a$  の最大値は 0.25、 $y_l$  と  $y_v$  の最大値は 0、となる。この場合のメンバーシップ関数を図 4 に示す。

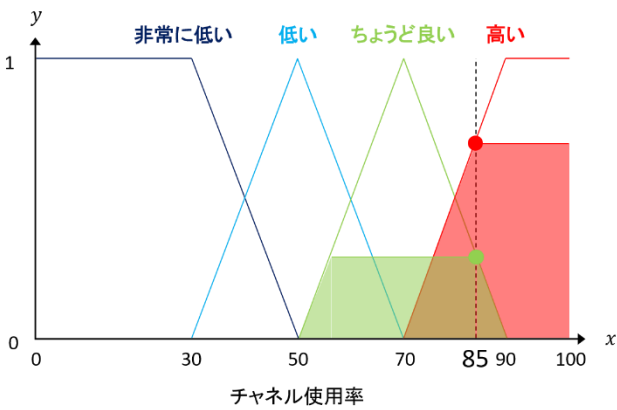


図 4 チャンネル使用率 85% の場合のメンバーシップ関数

#### 4.2.3 微分ゲイン

次に振動に関する *Vibration* の導出方法について述べる。*Vibration* の値は 1s 分のチャンネル使用率についてチャンネル使用率に関するメンバーシップ関数を求め、それらを積分して得られる図形を全て重ね合わせた図形の面積とする。例えば 1s 分のチャンネル使用率に 85% と 45% が含まれる場合において得られる図形を図 5 に示す。斜線により示された図形の面積が *Vibration* となる。このようにすることで振動している場合、1s のうちに (チャンネル使用率、低い) や (チャンネル使用率、非常に低い) が多くの面積を占める場合と (チャンネル使用率、高い) が多くの面積を占める場合が含まれ、それらを重ね合わせた図形面積は振動していない場合に比べて大きい値になる、つまり微分ゲインの制御量が大きくなり、安定性を重視した制御に繋がる。

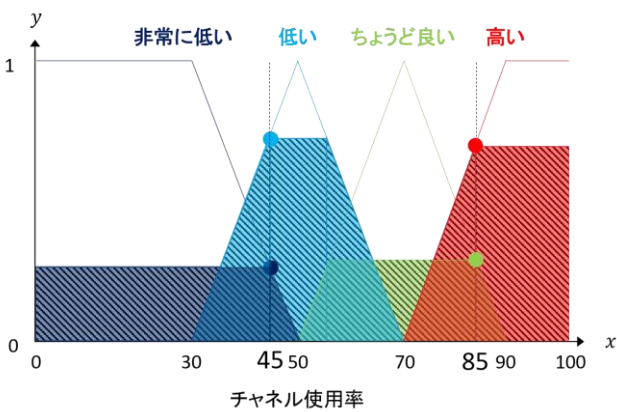


図 5 *Vibration* の定義

微分ゲインも比例ゲイン同様、許容範囲内の場合は半減させ、許容範囲から外れた場合、(11)式に従って設定する。

$$K_d = \text{Vibration}/100 \quad (11)$$

#### 4.3. パケット構造

本検討では車車間通信、歩車間通信でコンテキストや危険度等を共有する必要がある。これらの通信でやり取りされるパケットに含まれる情報を表 3 に示す。

表 3 パケット構造

項目	説明
sendTime	パケットの送信時間
isCar	送信端末が車両かどうか
velocity	送信端末の速度
direction	送信端末の進行方向
pointX	送信端末の X 座標
pointY	送信端末の Y 座標
risk	送信端末の優先度
risk_score	送信端末の危険度

#### 5. シミュレーション評価

シミュレーション評価では特に危険な歩行者のパケットである優先度 4 の累積パケット到達率について評価する。累積パケット到達率とは再送によって遅延が発生してパケットが到達した場合も含めたパケット到達率となる。固定ゲイン ( $K_p = 10, K_d = 1$ ) を使用する既存方式[4]と検討方式について比較評価を行い、検討手法の有効性を検証する。

##### 5.1 シミュレーション条件

主なシミュレーション条件を表 4 に示す。シミュレーションはネットワークシミュレータ Scenargie を使用する。シナリオ図を図 6 に示す。データを取得する危険歩行者を 30 人、その他歩行者を 800 人、交差点の周囲 100m 以内に配置する。また 40 台の車両が 5 秒ごとに交差点の 100m 後方から 70km/h で接近、10m 後方からは 40km/h で交差点に進入する。ランダムな送信タイミングを意図的に重複させることは困難なため、車両の進入を繰り返すことで急激なチャンネル使用率の変化を発生させる。

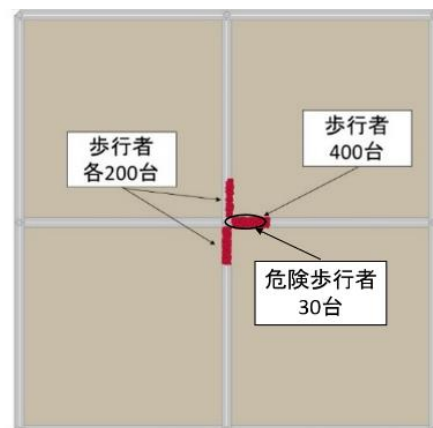


図 6 シナリオ図 (歩行者)

表 4 主なシミュレーション条件

項目	値
使用シミュレータ	Scenargie
通信方式	IEEE 802.11p
周波数	5.9GHz 帯
帯域幅	10MHz
送信出力	20dBm
電波伝搬モデル	ITU-R.P 1411 フェージングあり(Rayleigh)
パケットサイズ	128byte
マップサイズ	1km×1km
道路数	片道二車線
道路幅	6m
車両数	40 台
パケット送信周期	100ms, 200ms, 500ms, 1000ms
シミュレーション時間	210s
試行回数	10 回

## 5.2 シミュレーション結果

まず、優先度 4 の累積パケット到達率の結果を図 7 に示す。検討方式は既存方式と比較して最大 5.3% 向上した。

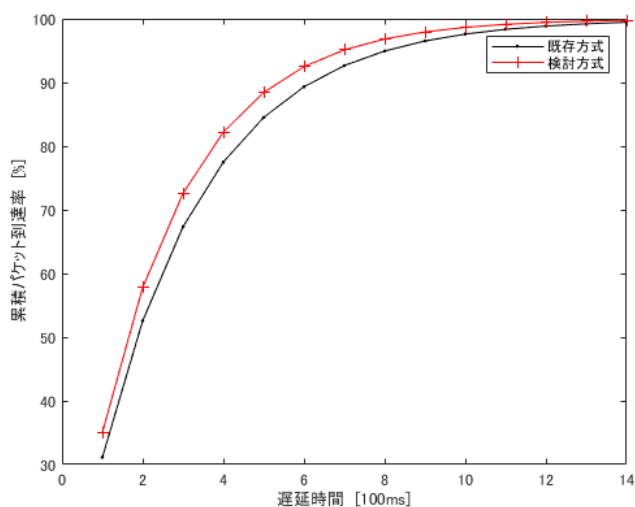


図 7 優先度 4 の累積パケット到達率

次に、シミュレーション時間 100s から 150s における既存方式、検討方式のチャンネル使用率を図 8 に示す。

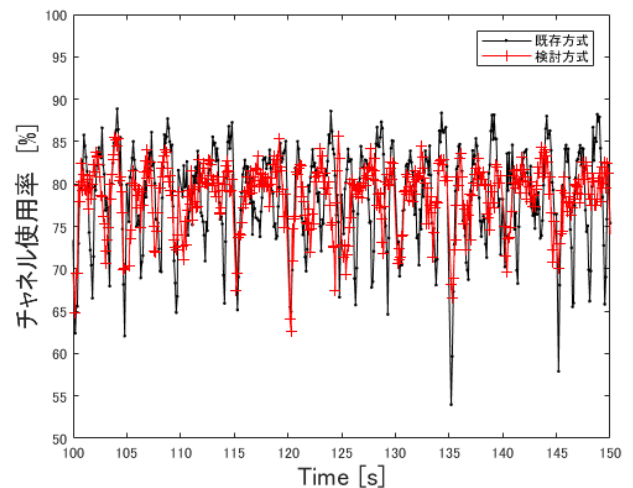


図 8 チャンネル使用率

## 5.3 考察

検討方式が既存方式と比較して累積パケット到達率を向上させることが出来た要因について考察する。パケット到達率に直接影響する要素として考えられるものは帯域の混み具合であるチャンネル使用率がある。しかしそれぞれのシミュレーション全体での平均チャンネル使用率はどちらも 78.6% と等しい値となった。

等しい平均チャンネル使用率となったにも関わらず、検討方式の累積パケット到達率が向上した理由は振動が減少したからだと考えられる。図 8 を見ると、車両が進入を繰り返すというシナリオ上、既存方式、検討方式ともに振動は発生しているが、振幅の大きさは検討方式の方が小さくなっている。既存方式は過剰な制御を繰り返す結果、振動が大きい不安定な制御となっているが、検討方式は無駄に大きな制御を行わない安定を重視した制御となっていることが分かる。

次に既存方式の各優先度への分布人数を図 9 に、検討方式の各優先度への分布人数を図 10 にそれぞれ示す。図 9 を見ると特に優先度 4 と 1 の人数が大きく振動している。このことから比例ゲインの値が大きすぎるため、制御が安定していない状態であることが分かる。対して検討方式は図 10 を見ると、こちらも車両が進入を繰り返すというシナリオ上振動は起こっているが、ゲイン固定方式よりも若干振幅が小さく安定している。

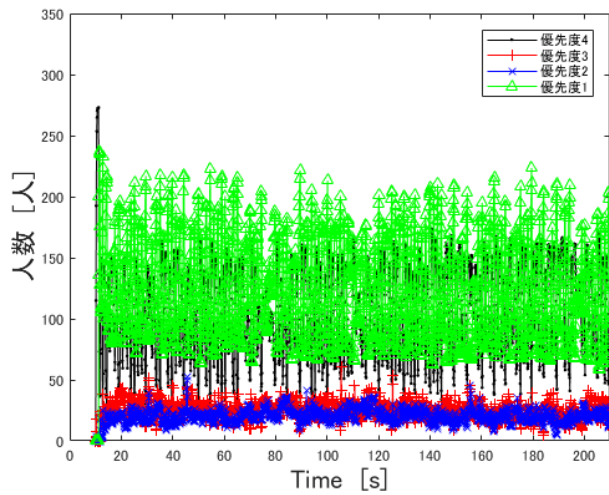


図 9 既存方式の各優先度への分布人数

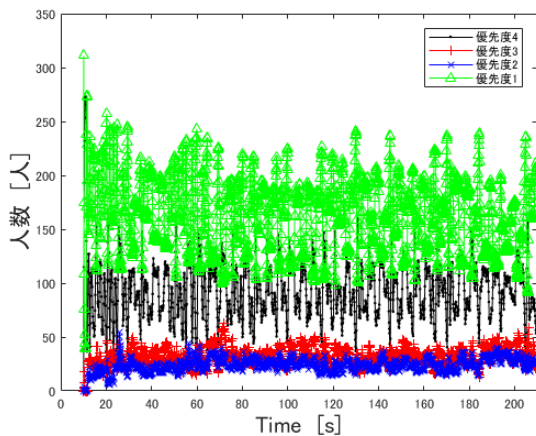


図 10 検討方式の各優先度への分布人数

次にあるシミュレーション全体での既存方式，検討方式それぞれのチャンネル使用率に関する標準偏差を表 5 に，また分散を図 11 に示す．標準偏差について，検討方式は既存方式と比較して 1.6% 減少した．図 11 を見ると全体的に既存方式は検討方式よりも分散が大きい値となったことが分かるが，検討方式も完全に振動を打ち消すことはできなかった．これは先述したように車両の移動シナリオが原因だと考えられる．今回のシナリオでは車両が交差点に進入する時が多く歩行者にとって危険な状況となるため，歩行者の送信頻度が上がり，最もチャンネル使用率が高まる時間となる．しかし車両が交差点を通過し次の車両が交差点の手前 100m から進入を開始すると，危険度に対して大きい影響を持つ到達時間差による危険度  $C_t$  が急激に減少し歩行者の危険度，優先度，送信頻度が低下，それに伴いチャンネル使用率が急激に減少する．これは制御の手法による変化ではなく，実際に多くの歩行者の危険度が下がっているため，どちらの方式でも振動が起ってしまったと考えられる．

表 5 チャンネル使用率に関する標準偏差

既存方式	±5.7%
検討方式	±4.1%

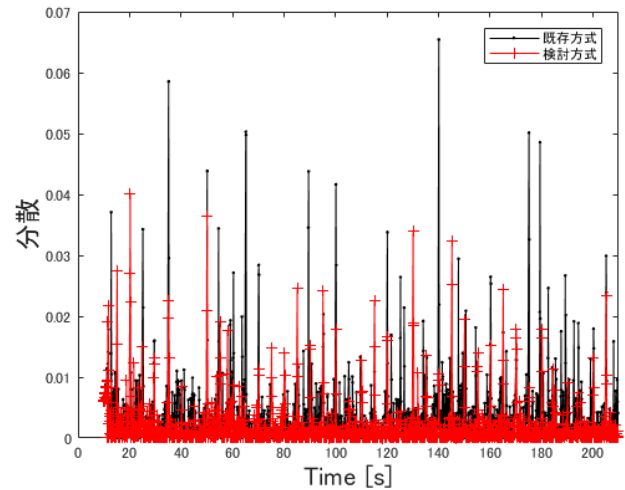


図 11 既存方式と検討方式の分散

このシミュレーションにおける検討方式の比例ゲインの変化を図 12 に，微分ゲインの変化を図 13 に示す．図を見ると，シミュレーション開始時はチャンネル使用率目標値との誤差が大きい状態から急激にチャンネル使用率が変化するため， $K_p$ ， $K_d$  共に大きい値に調整されているが，それ以降は既存方式で使用したゲインの値よりも小さい値となっている．つまりシミュレーション初期はチャンネル使用率を目標値に素早く収束させるためにゲインを大きくすることで大きく閾値を制御し，それ以降は大きく閾値を調整する必要がないため，微調整が出来るよう小さなゲインへと自動でチューニングされた，と考えられる．

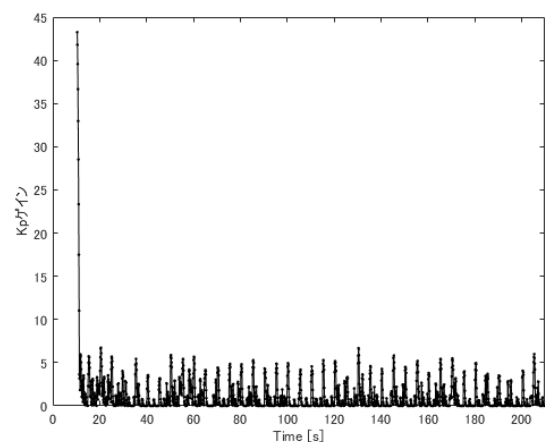


図 12 比例ゲイン  $K_p$

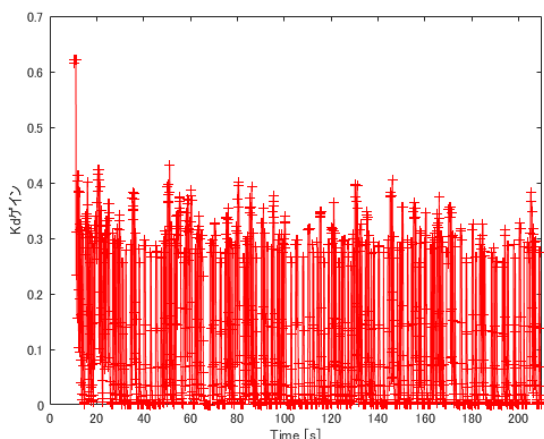


図 13 微分ゲイン $K_d$

これらの結果から検討方式は既存方式と比較して、より目標値付近での効率的かつ安定した制御を行うことが出来たと言える。既存方式は車両移動による歩行者の危険度急変や送信タイミングの偏りに伴う一時的なチャンネル使用率変化に対して応答性を重視するあまり過剰な制御を行っていた。このシミュレーションは歩行者数が多く混雑したシナリオだったため、振動のうち特に混雑時のパケット到達率低下に強い影響があったと考えられる。今回、検討方式では 1) チャンネル使用率の平滑化、2) ゲインの動的制御、これら 2 点の機能を拡張した。これらの機能により検討方式は素早く変化する状況において、チャンネル使用率を目標値付近に安定させることが出来たと考えられる。

## 6. おわりに

### 6.1. まとめ

歩車間通信では歩行者数が増えると、輻輳が発生し、危険歩行者のパケットが車両に到達せず、車両に危険を通知できる可能性が低下するという課題がある。筆者らは歩行者や車両、周囲状況等の情報をまとめたコンテキストに基づいて、歩行者が危険度を判定し、送信の優先度へと割り当て、優先度毎に送信頻度を制御する方式[3]、チャンネル使用率に基づいて混み具合に応じたフィードバック制御を行う方式[4]を先に提案した。しかし、応答性を重視した制御だったため、外れ値に対して過剰な制御をしてしまうという欠点があった。

本稿ではこの課題を解決するため、1)1s 分の時系列データとしてチャンネル使用率を扱い、平滑化したチャンネル使用率を制御に使用する、2)フィードバック制御のゲインを状況に応じて動的に制御する、機能を追加する方式を検討した。また検討方式の有効性を検証するため、シミュレーションを行い既存方式と比較評価を行った。検討方式は最高優先度の累積パケット到達率が最大 5.3%向上することを

確認した。これは今回追加した機能により、平均チャンネル使用率の標準偏差が既存方式と比較して 1.6%ほど減少したため、より安定した制御が可能になり、混雑時のパケット到達率低下を抑えられたことが要因だと考えられる。

### 6.2. 今後の課題

今回のシミュレーション評価では短時間で状況が変化するシナリオだったが、さらに長い時間をかけて車両の位置だけでなく他の条件が変化するシナリオでも評価を行う。また閾値調整の方式、コンテキストと危険度判定、調整値の式について検討を行い、特に混雑時において更なるパケット到達率向上を図る。

## 参考文献

- [1] 公益財団法人交通事故総合分析センター, 交通統計 平成 29 年版, 2019 年 7 月
- [2] 永井 真琴, 樋口 啓介, 中岡 謙, 土井 義春: 700MHz 帯歩車間通信方式の検討及びフィールド試験結果, 電子情報通信学会 ITS 研究会, vol.112, no.202, ITS2012-16, pp.19-24, 2012
- [3] Suhua Tang, Kiyoshi Saito, and Sadao Obana, "Transmission Control for Reliable Pedestrian-to-Vehicle Communication by Using Context of Pedestrians," *Proceeding of the 2015 IEEE international Conference on Vehicular Electronics and Safety*, pp.41-47, 2015.
- [4] 伊藤 舜, 小花 貞夫, 湯 素華: 歩車間通信における無線チャンネル使用率に基づく動的送信頻度制御, マルチメディア, 分散協調とモバイルシンポジウム 2018 論文集, pp.487-494, 2018
- [5] Alejandro González, Zhijie Fang, Yainuvis Socarras, Joan Serrat, David Vázquez, Jiaolong Xu, and Antonio M. López, "Pedestrian Detection at Day/Night Time with Visible and FIR Cameras: A Comparison," *Sensors(Basel)*, 16(6):820, 2016.
- [6] Sujeet Milind Patole, Murat Torlak, Dan Wang, and Murtaza Ali, "Automotive radars: A review of signal processing techniques," *IEEE Signal Processing Magazine*, vol.34, issue.2, pp.22-35, March 2017,.
- [7] Xuyu Wang, Shiwen Mao, and Michelle X. Gong, "An Overview of 3GPP Cellular Vehicle-to-Everything Standards," *GetMobile : Mobile Computing and Communications*, vol. 21, issue.3, pp.19-25, 2017.
- [8] Mehrdad Bagheri, MattiSiekkinen, and Jukka K. Nurminen, "Cellular-based Vehicle to Pedestrian (V2P) Adaptive Communication for Collision Avoidance," *Proc. IEEE ICCVE*, pp. 450-456, 2014.
- [9] トヨタ自動車株式会社, ITS Connect, [www.toyota.co.jp/pages/contents/jpn/tech/its/images/The\\_Future\\_of\\_Mobility\\_2014.pdf](http://www.toyota.co.jp/pages/contents/jpn/tech/its/images/The_Future_of_Mobility_2014.pdf),
- [10] 山下 遼, 湯 素華, 小花 貞夫: 歩行者事故削減のための GPS と車両からの電波を用いた歩行者位置の高精度測位方式の提案と評価, 情報処理学会論文誌, 59(1), 113-123, 2018.
- [11] Suhua Tang and Sadao Obana, "Improving performance of pedestrian positioning by using vehicular communication signals," *IET Intelligent Transport Systems*, DOI: 10.1049/iet-its.2017.0134, 2018.