「マルチメディア，分散，協調とモバイル
(DICOMO2018)シンポジウム」 平成30年7月

# 歩車間通信における無線チャネル使用率に基づく動的送信頻度制御

伊藤舜　小花貞夫　湯素華

**概要：** 近年，歩行者事故削減のため歩行者の情報を無線で周囲の車両に通知する歩車間通信が注目されている．歩車間通信では歩行者密度が高い状況だと無線の輻輳が発生し，パケット到達率が低下するという問題があった．筆者らは歩行者や車両の属性や，周囲状況等の情報（コンテクストと呼ぶ）に基づいて，歩行者ごとに危険度を判定し，それを送信の優先度に対応付けて，優先度毎に送信頻度を制御する方式を先に提案した．しかし，制御の基準が極めて限定的なものであったため，連続的に変化する状況には対応できないという欠点があった．本稿では，この既存方式に加えて，帯域の混み具合であるチャネル使用率を制御の基準とする方式を提案する．またシミュレーションを行い，検討方式の累積パケット到達率が既存方式と比較して平均で 11%ほど向上することを確認した．

# Dynamic transmission interval control based on wireless channel utilization rate in pedestrian-to-vehicle communication

SHUN ITO　SADAO OBANA　SUHUA TANG

## 1. はじめに

自動車は現代社会に必要不可欠なものとなっているが，歩行者の交通事故死亡率の高さが問題視されている[1]．近年，歩行者事故削減のため，歩行者の位置や速度等の情報を無線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，この歩車間通信は歩行者密度が高い状況で多くの歩行者が同時に送信すると，電波の輻輳が発生し，車両との衝突の危険が高い歩行者のパケットが車両に到達しない可能性がある[2]．そこで筆者らは歩行者や車両の属性や，周囲状況等をまとめたコンテクストに基づいて危険度を判定し，その危険度に対応して端末からの送信頻度を制御する方式を先に提案した[3]．しかしこの方式は最高優先度の人数が一定になるように制御が行われるため，歩行者の人数や各優先度への分布が連続的に変化する実環境に柔軟にきめ細かく対応できないという問題があった．本稿では，先に筆者らが提案した方式（以下，既存方式と呼ぶ）を拡張して，1) 最高優先度の人数の代わりに無線通信帯域の混み具合(無線チャネル使用率)に基づく送信頻度制御，ならびに 2) 全ての優先度の閾値を制御，3) 制御後のチャネル使用率のフィードバックを行う方式を検討する．またシミュレーションを行い，検討方式の有効性を評価する．

以降，第 2 章では関連技術を述べる．第 3 章では本検討方式のベースとなる既存の歩車間通信方式を述べる．第 4 章では検討方式を述べ，第 5 章では検討方式に必要なパラメータを決定するための予備実験について述べる．第 6 章ではシミュレーション評価の結果を述べ，第 7 章で結論と今後の課題を述べる．

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

## 2. 関連研究

### 2.1 歩車間通信技術

歩車間通信は歩行者と車両間の通信を指す．平成 27 年度の交通事故死亡者数のうち，歩行者事故が 37.3%と最も大きな割合を占めている[1]．歩車間通信は歩行者の死亡事故低減につながると期待されている．近年では，カメラ[4][5]やセンサー[6]を用いて歩行者を検知し危険通知を行うシステムがあるが，これらは見通し外の歩行者の検知ができないため，歩車間通信による情報伝達との併用が望まれる．

また歩車間通信では歩行者と車両の間の直接通信だけでなく，セルラ網を介した通信も提案されている[7][8][9]．[7]では 3G または LTE を通して歩行者，車両共にサーバーに接続され，サーバーが歩行者，車両それぞれの情報から危険度を判定する．[7]では 3G や LTE を介した通信の遅延が大きく，歩行者事故のような高速性を求められる通信には適していないと考えられる．

### 2.2 歩車間通信の課題

歩車間通信は使用する電波によっては見通し外の歩行者と通信することも可能だが，歩行者密度が高い状況で歩行者が同時に送信を行うと，輻輳が発生し，危険度の高い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欠点がある[2]．

ⓒ2018 Information Processing Society of Japan

## 3. ベースとなる既存の歩車間通信方式

既存方式では，車両は安全運転支援システム[10]による車車間通信を行っていることを前提とする．安全運転支援システムはすでに一部の車種の車両で実用化されており，今後さらに多くの車両に普及することが予想される．車車間通信メッセージを傍受した歩行者はコンテクストから危険度の判定を行う．危険度を閾値でいくつかの段階に分け，それぞれを送信の優先度に割り当てる．優先度が高い（つまり危険度の高い）歩行者ほど送信頻度を上げることで優先的な送信を可能とする．既存方式の概要図を図 1 に示す．

なお，今後のインフラ設備の整備や精度向上の研究[11][12]が行われていることから端末の測位精度は正確であるとし，計算能力，バッテリー容量ともに十分にあるものとする．

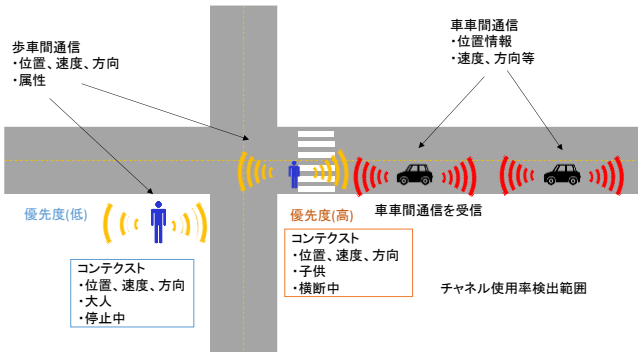



図 1　既存方式の概要図

### 3.1. コンテク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からのパケットが周辺車両に未到達となる問題を解決するため，歩行者や車両，周囲の属性や周囲状況等（これらをコンテクストと呼ぶ）に基づいて，交通事故の危険性が高い歩行者の送信頻度を上げることで優先的に送信しパケット到達率を向上させる．コンテクストの主な情報を表 1 に示す．

これらのコンテクストから 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 つの値を求める．$C_t$は歩行者と車両の位置と速度，進行方向から実際に歩行者と車両が交差点（横断歩道）で衝突するかどうかの可能性を表す．衝突予想地点までの到達時間差と$C_t$の対応を表 2 に示す．$C_p$は歩行者の年齢，および健常者であるか, の2点から4段階でその歩行者の危険性を表しており，年齢の重みを健常者かどうかよりも重くする．$C_a$はある場所がこれまで事故が多く起きている場所かどうか，事故が起きやすい天候かどうか，事故が起こりやすい時間帯かどうか, の3点から8段階でその場所の危険性を表しており，重みづけは，交通事故の多い場所かどうか，交通事故の発生しやすい時間帯であるかどうか，交通事故の発生しやすい天候かどうか，の順に重くする．これら 3 つの危険度から(1)式に基づいて最終的な危険度$C_s$を求める．

$$C_s = C_t \times (C_p + C_a) \tag{1}$$

表 1　コンテクストの主な情報

| 分類 | コンテクストの項目(例) |
|---|---|
| 車両 | 車両の位置・速度・方向 |
| 歩行者 | 歩行者の位置・速度・方向，乗り物乗車中か，大人（高齢者を除く）か，健常者か |
| 周囲状況 | 過去の事故状況，天候，時間帯 |

表 2　到達時間差による危険度

| 到達時間差 x[sec] | 危険度$C_t$ |
|---|---|
| $0 \leq x \leq 1$ | 4（最高危険度） |
| $1 < x \leq 2$ | 3 |
| $2 < x \leq 3$ | 2 |
| $3 < x \leq 4$ | 1（最低危険度） |

表 3　優先度と送信頻度，閾値の対応

| 閾値 | 優先度 | 送信頻度 |
|---|---|---|
| $C_s \geq 1$ | 4<br>（最高優先度） | 100ms |
| $1 > C_s \geq 0.4$ | 3 | 200ms |
| $0.4 > C_s \geq 0.25$ | 2 | 500ms |
| $0.25 > C_s$ | 1 | 1000ms |
| 歩行者停止状態 | 0<br>（最低優先度） | 送信無し |

### 3.2. 送信頻度・優先度制御

最終的な危険度$C_s$を閾値で 5 段階に分け，それぞれに送信の優先度を割り当てる．優先度と送信頻度，閾値の対応を表 3 に示す．例えば，優先度 4 の閾値は 1 となる．

単位時間当たりの送信可能時間には限界がある．既存方式では歩行者が多く混雑している場合，最高優先度の人数を基準として閾値増減の制御を行う．あらかじめ最高優先度で送信可能な人数をシミュレーションにより求め（例えば 80 人），最高優先度の人数がその上限人数を超えた場合，最高優先度の閾値を+0.05 する．これにより高優先度を割り当てる人数を減少させ，帯域に余裕を持たせる．ある優先度で N (N=10) 回パケットを送信したら送信は終了とし，危険度，優先度，閾値はリセットされる．N 回の送信の間に新たに車両からパケットを受信し，新たなパケットの優先度が高ければ，それまでの送信回数をリセットし，新たな優先度に基づいて送信を行う．

ⓒ2018 Information Processing Society of Japan

### 3.3. 既存方式の課題

既存方式では, 1) 最高優先度の上限人数を固定の値にしているためある一つの状況でしか有効に働かない, 2) 最高優先度以外の優先度の人数を考慮していない, 3) 閾値を制御した後，最高優先度の人数がどれだけ変化したのかの結果を考慮していない，このため，既存方式は交差点付近にいる歩行者全体の人数や各優先度への分布が細かく変化するような実環境では柔軟に閾値を変化させてパケット到達率を向上することが難しいものと考えられる．

## 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) 最高優先度の人数ではなくチャネル使用率を制御の基準とする，2) 最高優先度のみならず全ての優先度の閾値を制御の対象とする, 3) 閾値を制御した後の変動したチャネル使用率からフィードバックを，次の制御へ反映させる，機能を既存方式に拡張することとする．

またチャネル使用率は，単位時間内のチャネルがビジーである時間と自身がパケットを送信している時間の和とする．今回の検討では 100ms 間隔でチャネル使用率を検出する．

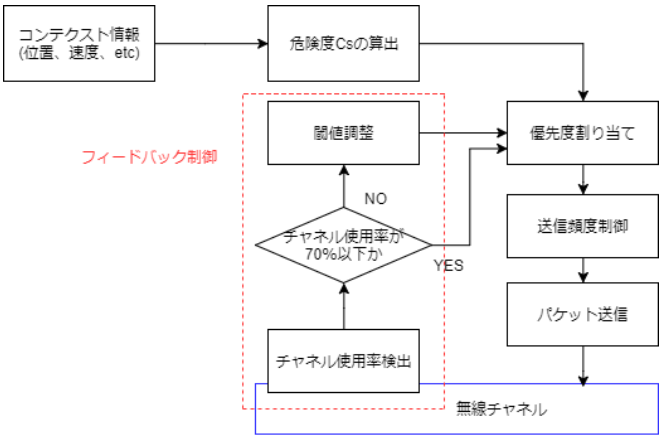



図 2 検討方式の概要図

### 4.1. チャネル使用率に基づく制御

検討方式では危険度の閾値制御の基準に最高優先度の人数ではなく，無線チャネル使用率を使用する．検討方式の概要を図 2 に示す．

既存方式では全体の歩行者数が 830 人として最高優先度の上限人数を 80 人と設定していた．既存方式のように限られた環境で求められた固定の人数で制御を行うのでは全体の人数が変わった時に上限人数も変更する制御の必要があるが，そのような制御は考慮されていなかった．検討方式では固定の人数ではなく，パケット到達率に直接影響する，帯域がどれだけ混んでいるかという無線チャネル使用率を制御の基準とする．これにより検討方式では歩行者それぞれがある一定間隔でチャネル使用率を計測し，そのチャネル使用率が設定した値（例えば 70%）を超えたら閾値調整を行う，チャネル使用率が設定した値を超えない，または次節で述べる調整値が正の値でなければ何もせず監視を続け，同じパケットを N 回送信したら危険度，優先度をリセットする，といったアルゴリズムとした．また検討方式では閾値を制御し，変動した後のチャネル使用率からフィードバックを得ることで，閾値制御を行うチャネル使用率から大きく外れた場合はその分大きく制御を行う，閾値をチャネル使用率のボーダーよりも下げすぎたら再度上げる，というようにチャネルの混み具合に応じて閾値の制御量を変化させることを可能とした．

### 4.2. 閾値決定方法

具体的な閾値制御について述べる．閾値は（デフォルトの閾値）＋（調整値）とする．デフォルトの閾値は表 3 に示した通りとなっている．次に調整値を求める式を(2)に示す．

$$\text{変更後調整値} = \text{変更前調整値} + \frac{\mathrm{X}}{C_s \times \text{優先度}} \qquad (2)$$

$$\mathrm{X}=K_p \times error$$

ここで，*error* はチャネル使用率のボーダーからの誤差，$K_p$ は比例ゲインを示す．

式(2)では，周辺端末の間では X は近い値を取るが，分母に$C_s$と優先度の積を置くことで危険度が高い歩行者や高い優先度の閾値ほど閾値が上がりにくく，危険度を高いままに保つようにした．また式(2)の調整値の分子部分 X より，チャネル使用率がボーダーから大きく外れた場合はその分大きく制御を行うことで閾値制御を行うチャネル使用率付近の値に素早く戻せるようにした．

また，既存方式では最高優先度の人数のみが閾値制御を行うかの基準になっており，他の優先度の人数は考慮していなかった．一方，検討方式ではチャネル使用率を制御の基準とするため，各優先度への分布人数に関わらず歩行者全体を考慮に入れることになる．よって検討方式では最高優先度だけでなく全ての優先度の閾値を調整する．それにより，例えば，帯域に十分な余裕があるときは多くの歩行者を比較的高優先度で送信し，逆に帯域が混みあっているときは真に危険度の高い歩行者のみを優先する，といった柔軟な対応が可能になる．

### 4.3. 歩行者の送信手順

図 3 に実際の送信手順を示す．まず，歩行者はコンテクストを得る．車両に関するコンテクストは車車間通信を傍受することで，また歩行者に関するコンテクストは自端末に予め登録することで，周囲環境に関するコンテクストは

ⓒ2018 Information Processing Society of Japan

端末のセンサーやセルラ網を通じてサーバーから，それぞれ取得する．これらの取得したコンテクストから 3 つの危険度（①歩行者と車両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$C_a$）を求め，最終的な危険度$C_s$を導出する．また一定間隔（今回は 100ms 間隔）でチャネル使用率がボーダーを超えていないか，調整値は正の値か，の確認を行い，超えた場合は閾値の調整を行う．次に求めた閾値と$C_s$から送信の優先度を割り当て，対応する送信頻度でパケットを送信する．同一パケットの送信が N（N=10）回行われたら送信完了とする．その間に新たに別の車両からパケットを受け取りより危険度が高いと判断された場合は，それまでの送信回数をリセットし，新たな危険度に基づいて優先度を割り当てる．

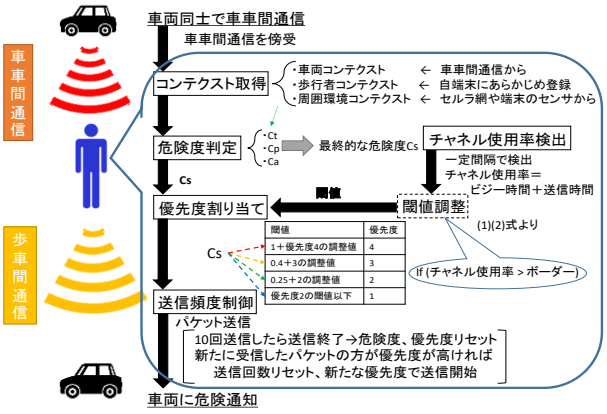



図 3　歩行者の送信手順

### 4.4. パケット構造

今回の検討では歩車間通信でコンテクスト等を共有する必要がある．この通信でやり取りされるパケットに含まれる情報を表 4 に示す．

表 4　パケットに含まれる情報

| 項目 | 説明 |
|---|---|
| sendTime | パケットの送信時間 |
| 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 |

## 5.　予備実験

以下，予備実験①では，何%で閾値調整を行う必要があるかというチャネル使用率のボーダーを，また予備実験②では，閾値決定の際に必要になる比例ゲイン$K_p$をシミュレーションにより求める．

### 5.1　予備実験①

閾値制御を行うチャネル使用率のボーダーを決定するため，チャネル使用率と累積パケット到達率の関係を調査する．累積パケット到達率とは再送を含むパケット到達率のことで，再送で受け取った場合はその分遅延時間が生じる．必要とされる通信品質については総務省が定めた車車間通信における通信品質[13]を参考に「車両が 5m 走行する際の累積パケット到達率が 95%以上」とする．

#### 5.1.1. シミュレーション条件

主なシミュレーション条件を表 5 に，シミュレーションシナリオを図 4 に示す．

40 台の車両ノードを交差点に進入するまでの 0.1 秒ごとの位置に配置することで車両が交差点に進入する動作を模擬する．40Km/h は約 11m/s であるため 5m の走行にかかる時間は約 500ms とする．全ての歩行者は交差点の周囲 100m 以内の道路上に配置し，加えてデータを取得する危険歩行者を 30 人配置する．歩行者，危険歩行者のノードが送信間隔 100ms で常に送信を行っている．歩行者数を 800 人から 50 人ずつ減らした時の平均チャネル使用率と遅延時間 500ms 時の累積パケット到達率の関係を調査する．

表 5　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<br>フェージングあり(Rayleigh) |
| 伝送速度 | 固定 3Mbps |
| 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 固定<br>（優先度 4 に相当） |
| シミュレーション時間 | 60s |
| 試行回数 | 5 回 |

ⓒ2018 Information Processing Society of Japan

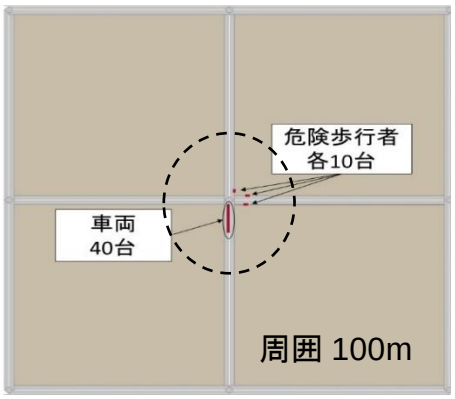


図 4　シミュレーションシナリオ

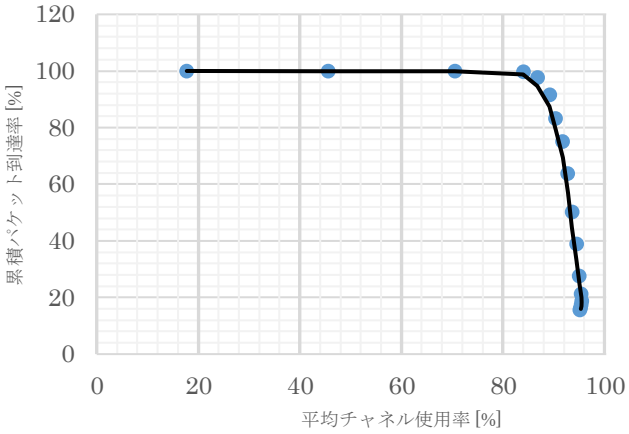


図 6　平均チャネル使用率と累積パケット到達率の関係

### 5.1.2.予備実験①評価

歩行者数を 50 人ずつ変化させたときの累積パケット到達率の結果を図 5 に示す．歩行者数が少ないほど，累積パケット到達率は高くなっている．このグラフで遅延時間 500ms 時の累積パケット到達率が 95%を超えていれば，必要とされる通信品質を満たしているとする．

このグラフでの遅延時間 500ms 時の累積パケット到達率とそれぞれのシミュレーションでの平均チャネル使用率の関係を図 6 に示す．図 6 のグラフを見ると平均チャネル使用率が 80%を超えたあたりから急激に累積パケット到達率が低下しており，平均チャネル使用率 85%あたりで累積パケット到達率が 95%を下回っていることが分かる．よって，今回の検討では 80%を，閾値制御を行うボーダーとして設定する．

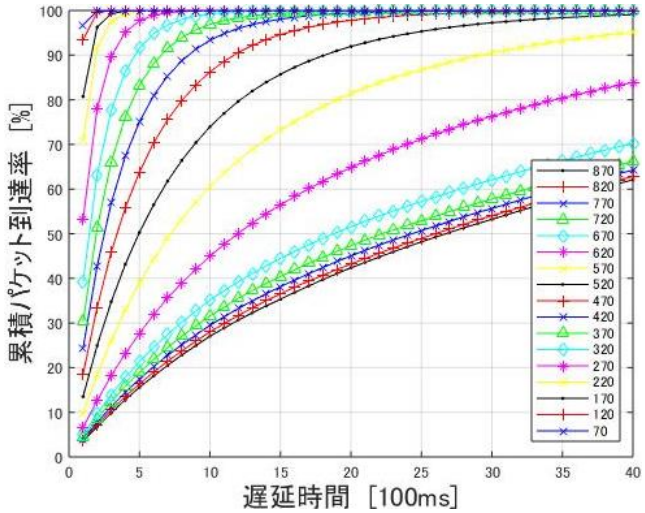


図 5　累積パケット到達率

## 5.2　予備実験②

予備実験②では比例ゲイン$K_p$を決定する．

### 5.2.1 シミュレーション条件

車両の動きに関しては予備実験①と同様で，800 人の歩行者を交差点の周囲 100m 以内に配置し，加えてデータを取得する危険歩行者を 30 人配置する．比例ゲインを変化させた時の最高優先度である優先度 4 の累積パケット到達率を調査する．車両は送信を行わず，歩行者にあらかじめ車両の情報を与えておく．予備実験①と異なる予備実験条件を表 6 に，歩行者の配置を図 7 に，危険歩行者と車両の配置を図 8 に示す．

表 6　歩行者の実験条件

| 項目 | 値 |
|---|---|
| 健常者のフラグを持つ確率 | 75% |
| 大人（高齢者を除く）であるフラグを持つ確率 | 75% |
| 歩行者パケット送信周期 | 100ms, 200ms, 500ms, 1000ms |

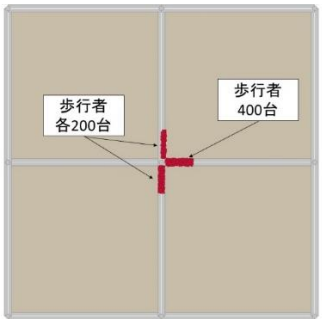


図 7　シナリオ図(歩行者)

ⓒ2018 Information Processing Society of Japan




図 8　シナリオ図(危険歩行者と車両)

#### 5.2.2 予備実験②の評価

まず，比例ゲイン$K_p$を 0.01，0.1，1，10，50，100 と変化させたときの最高優先度の累積パケット到達率を図 9 に示す．　図 9 では$K_p$が 10 を超えてから累積パケット到達率に大きな差はない．今回のように混雑したシナリオだとゲインが大きくなるほど結果が良くなっているが，$K_p$が大きすぎる場合システムが不安定になるため，様々なシナリオに対応させるように$K_p$はあまり大きくしない方が良いと考えられる．そこで$K_p$は 10 とすることとする．

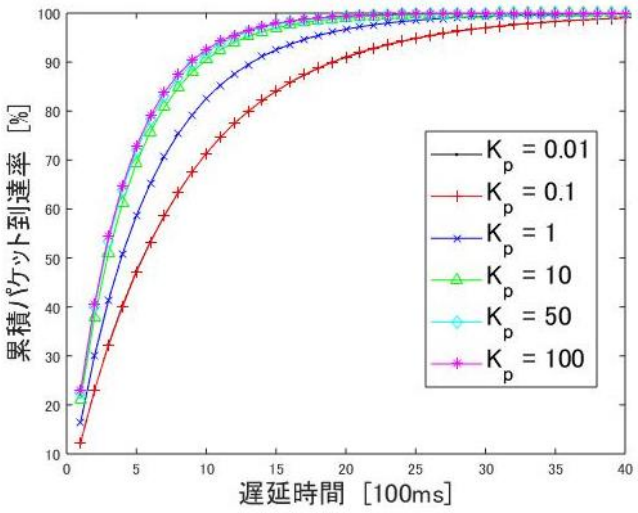



図 9　最高優先度の累積パケット到達率

## 6.　シミュレーション評価

シミュレーションでは

- 累積パケット到達率
- チャネル使用率

について評価を行う．

### 6.1. シミュレーション条件

車両の動きに関しては予備実験②と同様とする．歩行者 800 人を交差点の周囲 100m 以内の道路上に配置し，データを取得する危険歩行者を 30 人配置する．あえて歩行者を増やし最悪に近いシナリオとすることで，検討方式の有効性を検証する．また事故が多い場所である，事故が多い天候である，事故が多い時間帯であるとし，あらかじめ周囲環境による危険度 Ca は最高であるとした．主なシミュレーション条件，シナリオ図は予備実験②と同様である．

### 6.2. シミュレーション結果

最高優先度である優先度 4 の累積パケット到達率を図 10 に示す. 検討方式は既存方式と比較すると, 平均で 11%, 最大 30%ほど到達率が向上している．遅延時間 500ms 時の累積パケット到達率を見ると，検討方式が 80%程度，既存方式が 50%程度となり，検討方式でも 95%へと達することはできなかった．今回のシナリオは最悪に近いものだったため，95%に達することは非常に難しいものだと考えられるが，ゆくゆくはこのようなシナリオでも必要な通信品質を満たせるようにする必要がある．

次にシミュレーションでの既存方式，検討方式それぞれのチャネル使用率を図 11 に示す．検討方式は既存方式と比較すると，全体的にチャネル使用率が低く抑えられていることが分かる．既存方式の平均チャネル使用率は 84%，検討方式は 80%となった．

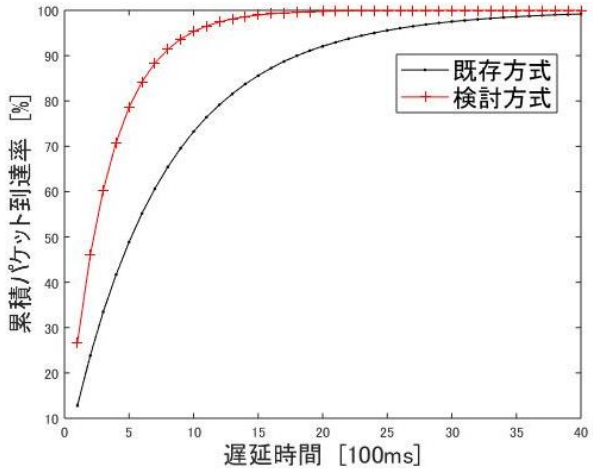



図 10　最高優先度の累積パケット到達率

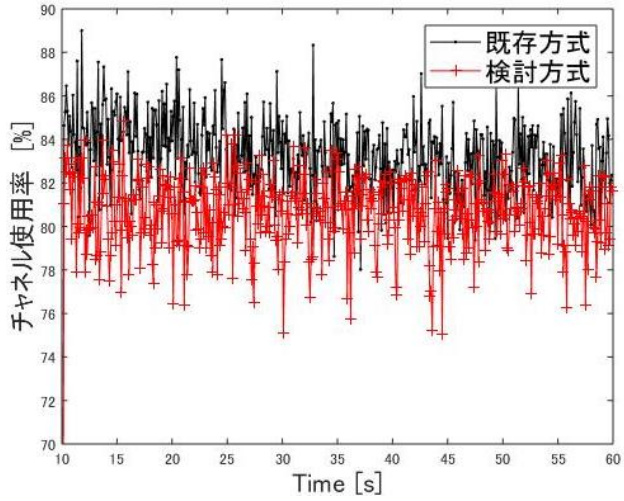



図 11　チャネル使用率

ⓒ2018 Information Processing Society of Japan

### 6.3. 考察

検討方式の累積パケット到達率が向上した原因として 3 点考えられる．1 点目の要因は検討方式が全ての優先度の閾値を調整したことで歩行者が各優先度へ分散したことによると考えられる．シミュレーションを行った際の既存方式の各優先度への分布人数を図 12 に示す. 図 12 を見ると，既存方式は最高優先度の閾値のみを制御するため，優先度 4 の人数が減少して 80 人に近づく一方，そのぶん優先度 3 の人数が増加している．また今回のように周囲環境による危険度を最高にした場合，既存方式では優先度 2，3 の閾値はデフォルトの値で固定となるため，無線チャネルへの負荷が大きい優先度 2，3 の人数が多くなっている．よって帯域が圧迫され，パケットの衝突が増加，累積パケット到達率の低下に繋がったと考えられる．

次に検討方式の各優先度への分布人数を図 13 に示す．検討方式は全ての閾値を調整するため，最もチャネルへの負荷が小さい優先度 1 の人数が多く，真に危険度の高い歩行者のみが優先度 4 として送信されていることが分かる．結果として，帯域に余裕ができ，累積パケット到達率の向上に繋がったと考えられる．

2 点目はチャネル使用率が下がったことである. 図 11 で示したように検討方式は既存方式よりもチャネル使用率を低く抑えることが出来ている．帯域の混み具合であるチャネル使用率は輻輳の発生に直結する要因である．既存方式は最高優先度の人数のみを制御の基準としていたため，今回のように危険な歩行者が多いシナリオでは優先度 2, 3 の人数が多くなり，閾値を制御しない時がある．検討方式は無線の混み具合であるチャネル使用率を制御の基準とするため，人数に囚われず制御を行うことが出来ている．

3 点目はフィードバック制御を取り入れたことである．既存方式は最高優先度の人数のみを考慮しており，また閾値の制御も最高優先度の閾値を+0.05 するだけというきわめてシンプルなものであった．また閾値を上げた後，変化した最高優先度の人数に応じて閾値を調整することをせず，10 回送信したらリセットをする極端な調整をしていた．

検討方式では全ての優先度の閾値を調整する．検討方式では閾値を完全にリセットするのではなく，チャネル使用率をボーダー（今回のシミュレーションでは 80%）に近づけるように閾値を制御するため，閾値を上げるだけでなく下げる動作も行っている．無線チャネル使用率のボーダー（今回は 80%）からの差を使用し，混み具合や歩行者の危険度に応じて，調整値を変化させた．

必要とされる通信品質を満たすことが出来なかった理由は歩行者の危険度が偏り，少量の調整で多数の歩行者の優先度割り当てが変更するためだと考えられる．図 13 を見ると， 優先度 3，2，1 の人数が瞬間的に増減していることが分かる．これは 1 回の閾値調整で多数の歩行者の優先度が変化しているためであり，狭い危険度の範囲に多くの歩行者が集中していることを意味する．最終的な危険度は 3 つの危険度によって求められるが，そのうち$C_a$はシミュレーションでは固定となっており，$C_t$，$C_p$はそれぞれ 4 段階となっている．よって危険度の値は 16 段階となりこの中に 830 人の歩行者が密集していたため，少量の調整によって多くの歩行者の優先度が変わり，細かい調整が出来ていなかった．(1)式を再検討し，歩行者の危険度を分散させることでより細かい調整ができるようになると考えられる．

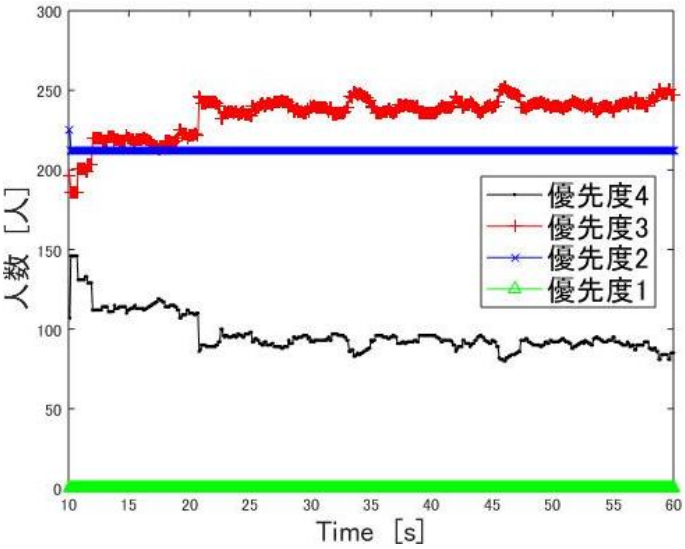



図 12　既存方式の各優先度への分布人数

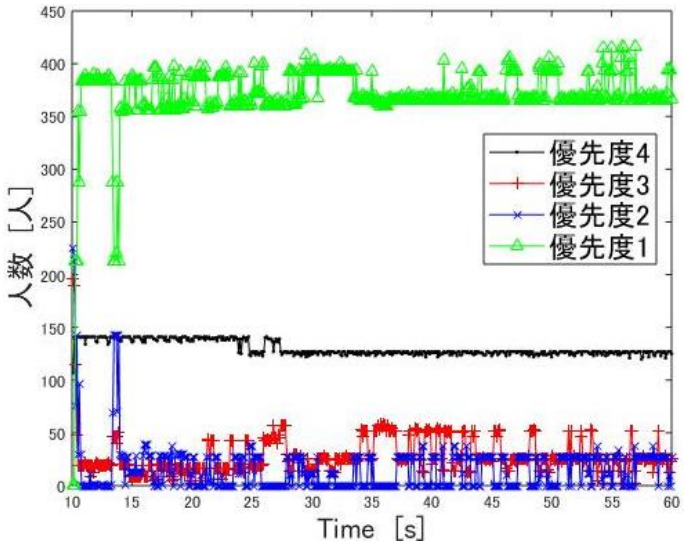



図 13　検討方式の各優先度への分布人数

ⓒ2018 Information Processing Society of Japan

## 7. おわりに

### 7.1. まとめ

歩車間通信では歩行者密度が高くなると，輻輳が発生し，パケットの衝突が起こりやすくなり，真に危険な歩行者の情報が周辺車両に伝わらないという問題がある．筆者らは歩行者や車両の属性や周囲状況等の情報（コンテクストと呼ぶ）に基づいて危険度を判定し，送信の優先度を割り当て，優先度によって送信頻度を制御する方式を先に提案した．しかし既存の方式は制御の基準を固定の人数とするきわめて限定的なものだという課題があった．

本稿では，この課題を解決するため，既存方式をベースに，1) 制御の基準にチャネル使用率を使用， 2) 全ての優先度の閾値調整， 3)フィードバック制御，の機能を拡張する方式を検討した．検討方式の有効性を検証するため，既存方式と比較するシミュレーション評価を行った．検討方式は，最高優先度の累積パケット到達率を平均で 11%，最大で 30%改善できることを確認した．それは拡張した 3 つの機能により，平均チャネル使用率が既存方式に比べて 4%ほど減少し，チャネルに余裕ができたためだと分かった．

### 7.2. 今後の課題

今回のシミュレーション評価では，遅延時間 500ms 時の累積パケット到達率が 80%程度となり，事前に設定した目標値である「遅延時間 500ms 時の累積パケット到達率が 95%以上」を達成することが出来なかった．この目標を達成するためには今後さらに閾値調整の方式，危険度判定，調整値の式の検討をし，累積パケット到達率の向上をさせる必要がある．

## 参考文献


[1] 交通事故総合分析センター，交通統計 平成 27 年度版，2017 年 7 月

[2] 永井 真琴，樋口 啓介，中岡 謙，土居 義晴，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,” *Proceedings of the 2015 IEEE International Conference on Vehicular Electronics and Safety*, pp.41-47, 2015.

[4] Jae Kyu Suhr and Ho Gi Jung, “Rearview Camera-Based Backover Warning System Exploiting a Combination of Pose-Specific Pedestrian Recognitions,” *IEEE Transactions on Intelligent Transportation System*, vol. 19, no. 4, pp.1122-1129, 2017.

[5] Jin Kyu Kang, Hyung Gil Hong, and Ryoung Park, “Pedestrian Detection Based on Adaptive Selection of Visible Light or Far-Infrared Light Camera Image by Fuzzy Inference System and Convolutional Neural Network-Based Verification,” *Sensors*, vol.17, no.7, 1598 , 2017.

[6] Tzu Sung Wu, “Pedestrian and Vehicle Recognition Based on Radar for Autonomous Emergency Braking,” *SAE World Congress Experience*, 2017.

[7] 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.

[8] Xuyu Wang, Shiwen Mao, and Michelle X. Gong, “An Overview of 3GPP Cellular Vehicle-to-Everything Standards,” *GetMobile : Mobile Computing and Communications*, vol. 21, no.3, pp.19-25, 2017.

[9] Hanbyul Seo, Ki-Dong Lee, Shinpei Yasukawa, Ying Peng, and Philippe Sartori, “LTE Evolution for Vehicle-to-Everything Services,” *IEEE Communications Magazine*, vol.54, no.6, pp.22-28, 2016.

[10] トヨタ自動車株式会社， The Future of Mobility ，www.toyota.co.jp/pages/contents/jpn/tech/its/images/The_Future_of_Mobility_2014.pdf，2014 年 8 月

[11] 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.

[12] 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.

[13] 総務省，“ITS 無線システムの高度化に関する研究会報告書（案）”，2009


ⓒ2018 Information Processing Society of Japan