

リクエストに応じた交差点映像配信を目的とした 車車間通信プロトコルの提案と評価

小谷和也^{†1} 孫為華^{†1} 木谷友哉^{†2}
柴田直樹^{†3} 安本慶一^{†1} 伊藤実^{†1}

近年多発している交差点内における事故を防止するためには、ドライバが死角に存在する車両の位置を把握できることが有用である。本研究では、ドライバに交差点の状況を効果的に把握させるために、交差点内の車両が撮影した映像を車車間通信で交換し、それぞれの車両で交差点鳥瞰映像を合成してリアルタイムで提示することを考える。本稿では、交差点の複数車両の中から合成元となる映像を送信する車両を選定する手法を提案する。提案手法では、予め交換した車両の情報を基に、各車両の映像を送信する優先度を計算し、送信車両を選定する。提案手法の評価を行うため、ネットワークシミュレータ QualNet にて実際の交差点環境を再現し、シミュレーション実験を行った。実験結果から、提案手法は車間距離が 10 [m] 以内であるような比較的高い車両密度で、通信機器を 60% 以上の車両が搭載している環境で、要求に応じた高品質な映像を送信できていることを確認した。

Inter-Vehicle Protocol for On-Demand Intersection Video Delivery

KAZUYA KOTANI,^{†1} WEIHUA SUN,^{†1} TOMOYA KITANI,^{†2}
NAOKI SHIBATA,^{†3} KEIICHI YASUMOTO^{†1}
and MINORU ITO ^{†1}

For accident prevention in intersections which are occurring frequently in recent years, it is useful for drivers to grasp the position of vehicles in blind spots. In our research, in order to allow a driver to grasp the situation of an intersection intuitively, we assume that, each vehicle in an intersection exchanges captured video with each other through inter-vehicle communication and these vehicles generate and display live bird's eye view video of the intersection. In this paper, we propose a method to select particular vehicles among all vehicles in intersection which send a video. In our method, based on the exchanged information, each vehicle calculates priority of each vehicle which sends a video, and selects vehicles with high priority. For evaluation of the proposed method, we conducted simulation experiments by imitating an actual intersection with QualNet simulator. As simulation results, we confirmed that vehicles selected by our method can send high quality video capturing request areas in high density (the distance between vehicles is 10[m] or less) environment with 60% or more carrying rate.

1. はじめに

近年、交通事故の発生場所の多くが交差点付近であり、警察庁¹⁾の調べによると全体の約4割を占めている。また、事故状況としては出会い頭衝突が多い。出会い頭衝突が起こる原因として、ドライバからは直接視認できない死角領域にいる自動車、二輪車、歩行者など(以降、死角車両)の存在が挙げられる。このような死角車両の位置をドライバにリアルタイムに提示することは、事故防止のために大きな効果があると考えられる。

本研究では、交差点での事故防止のために、ドライバに死角車両の位置を直観的に把握させることを考える。ここで、事故防止のアプローチとして、交差点付近にいる複数の車両が車載カメラで撮影した交差点の映像を、リアルタイムに車車間通信で交換し、受信した映像をもとに、各車両で鳥瞰映像を作成しドライバに提示するというアプリケーションを想定する。他車両からの映像を取得することで、自車両からは死角となる車両を把握できる可能性が高くなる。しかし、交差点という狭い区域内で、多数の車両が映像データを同時に送信すると、通信帯域を多く使用することにより、輻輳が生じ、映像を必要としている車両が映像データを受信できない可能性がある。

本稿では、通信帯域を効率良く使用し、リクエストに応えられる高品質な映像を送信できる車両を優先的に映像送信車両として選定する手法を提案する。提案手法では、交差点を格子領域に分割し、各車両は撮影している格子領域や進行方向、車両速度、映像品質などの自車両に関する情報を、車車間通信を用いてあらかじめ近隣の車両間で交換する。そして、死角部分の映像を必要とする車両(以降、要求車両)が、必要な格子領域を交差点付近の各車両に知らせる。各車両は受信した情報に基づき、前記の情報交換により把握している近隣の各車両について、映像を送信する優先度を計算する。要求された格子を多く撮影し、品質の高い映像を送信できる車両には高い優先度を与える。各車両は自身で計算した各近隣車両の優先度にもとづいて自律分散的に送信車両の選定を行う。各車両は輻輳が起こらないように、進行方向ごとに優先度が高い車両から、映像の送信車両を選定する。その結果、自車両が送信車両として選ばれている場合には、以降自身の撮影したデータを送信し、そうでなければ送信しない。状況の変化に応じた車両が選定されるよう、この選択は周期的に何度も行う。

本研究では、各車両の優先度を計算する関数を決定するための予備実験、現実に近い環境で

^{†1} 奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科
Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology

^{†2} 静岡大学 若手グローバル研究リーダー育成拠点
Division of Global Research Leaders, Shizuoka University

^{†3} 滋賀大学 経済学部 情報管理学科
Department of Information Processing and Management, Shiga University

提案手法の性能を評価するための評価実験を、それぞれネットワークシミュレータ QualNet⁴⁾を用いて行った。実験では地形データや無線通信規格、車両の速度、車両の台数などについて、実際の交差点を模した環境を用意し、映像フレームの到達率や、要求車両が受信した映像フレーム数、映像フレーム毎の映像品質の分布、などの評価項目を用いた。予備実験では、撮影可能な格子の数、映像の品質に対して、重みを高く設定した優先度関数を決定した。評価実験では、現実的な環境での提案手法の性能を評価するために、車両密度、通信機器の搭載率が、それぞれ3種類の場合について、評価項目の値を計測した。使用する車両の選定手法として (i) 提案手法 (ii) 交差点付近の全車両 (iii) 撮影方向毎に交差点中央に最も近い車両、を用いた。実験結果から、車間距離が 10 [m] 以内と車両密度が比較的高く、通信機器の搭載率が全車両の 60%以上の環境では、提案手法は要求されている格子を含んでいる映像データを、特に高い品質で送信できていることを確認した。また、提案手法は、どのような車両密度、通信機器の搭載率においても他の手法より良い結果を示した。

2. 関連研究

日本では ITS 技術に関する研究開発が活発に行われており、各自動車メーカーが様々な安全支援への取り組みを行っている。本田技研株式会社 (以降、ホンダ) は ASV の研究開発を 1991 年以来進めており、現在は第 4 期となっている⁵⁾。このプロジェクトでホンダは車車間通信、路車間通信を用いたドライバ安全運転支援システム (DSSS: Driving Safety Support Systems) を装備した車両の公道実証実験を行い、対向車両や死角に存在する二輪車などの警告をドライバに行った。しかし、この実験では二輪車が自身の存在を知らせる通信機器を携帯し、路側機が交差点毎に設置されていることを前提としており、使用できる場面が限られるという課題が存在する。

信号機に設置された複数のカメラ映像を合成し、交差点の鳥瞰映像を作成する手法⁶⁾が提案されている。この手法では、信号機に設置した道路監視カメラより 4 方向から交差点を撮影し、上空から撮影したかのように幾何変換を行い、それぞれの映像を合成している。このような鳥瞰映像をドライバに提示することは死角車両の位置を直感的に把握する上で有用である。しかし、予め信号機にカメラを設置しておく必要がある。

文献 7) では、複数台の車両が様々な方向から交差点に進入するとき、各車両に搭載されるカメラからの画像を車両間で交換し、それらを合成することで仮想的に鳥瞰図を作成する手法を提案している。この手法では文献 6) とは違い、各車両に搭載されているカメラを利用し、インフラカメラを必要としない。また、CG シミュレーション画像を用いた実験と、屋内実画像を用いた実験を行っている。しかし、文献 6), 7) では、合成した映像の車両への送信方法は考慮されていない。

文献 8) では、ビデオ受信車両が遠隔地のライブ映像を要求した際に、車車間通信を用いてストリーミングする手法が提案されている。この手法では、映像を車車間通信で交換する

際に通信帯域を効率的に使用するため、映像を転送する車両を、その車両が集めた他車両の行き先や、移動特性などの情報を基に選定している。これらの方法により車車間通信の際にかかるオーバーヘッドを削減し、ビデオストリーミングにかかる遅延を減少させている。しかし、この研究は本研究とは違い、高速道路でのライブ映像配信を対象としており、交差点での安全支援に必要な配信のリアルタイム性を保証していない。

本稿で提案する手法は、文献 6), 7) で提案されている鳥瞰映像作成の技術を利用する。そして、文献 6), 7), 8) ではまだ解決されていない、交差点のような狭い区域内でのリアルタイムストリーミング配信を実現するため、映像を送信する車両を効果的に選択する手法を提案する。

3. 提案手法

本章では交通安全支援のための、交差点映像の協調撮影と共有を目的とした車車間通信プロトコルの提案について、概要を述べた後、前提条件、問題設定、送信車両選定手法について述べる。

3.1 概要

本研究では交差点に進入してきた右折を行おうとしている車両のドライバに対して、図 1 のような交差点内の鳥瞰映像を提示し、死角車両を直感的に把握させ、事故防止を行うことを目的として、ドライバのリクエストに応じ、通信帯域を有効に利用する映像送信車両の選定手法を提案する。提案手法の使用場面として、交通量の多い信号のある 4 差路の交差点において、右折待ち車両が右折する場合を想定する。

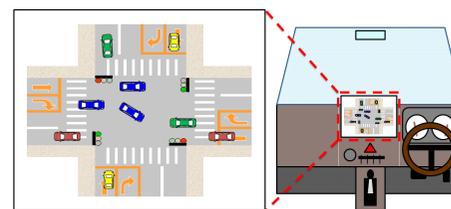


図 1 ドライバへの鳥瞰映像の提示例

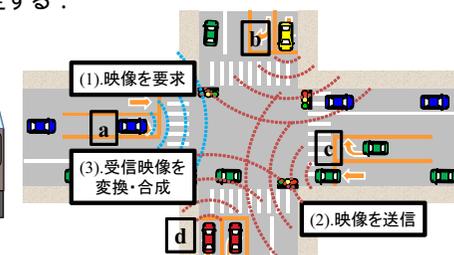


図 2 提案手法の動作手順

図 2 に示すように、車車間通信を用いて撮影映像を交換する最も単純な手順は以下のようになると考えられる。

- (1) 交差点内に死角があるとき、車両 a が交差点鳥瞰映像作成のリクエストを送信
 - (2) 車両 b, c, d などの交差点付近で映像を撮影している全車両がそれぞれ撮影している映像をブロードキャストして交換
 - (3) 各車両が全車両の撮影した映像を取得し、必要な映像を選択し鳥瞰映像を作成
- しかし、この手法では、データの交換時にパケットの衝突が多発し、各車両が安全運転に役

立つ品質の映像を取得できない可能性が高い。

この手法を評価するため、実際の交差点環境を再現し、QualNet を用いて簡単な実験を行った。この手法を用いて、各車両が 200 [kbps] の通信量を実現する映像フレームに模したパケットを送信し、送信車両台数を变化させた際のパケット到達率を計測した。実験で使った無線通信規格は IEEE802.11b である。結果を図 3 に示す。

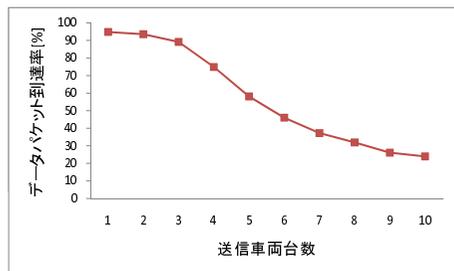


図 3 車両台数によるパケット到達率の変化

図 3 に示されるように、パケット到達率は送信車両台数の増加に伴い急激に減少している。そこで、通信帯域を効率良く使用して映像フレームを確実に要求車両に届けるための手法を提案する。提案手法では映像を撮影している各車両に対して映像を送信する優先度を割り当てる。優先度は要求車両のリクエスト（死角となるエリアの映像を要求）や各車両の撮影エリアなどの情報から決定するものであり、以下のような車両を優先する。

- 要求されているエリアを撮影している
- 交差点中央に近い
- 撮影している映像品質が高い

そして、提案手法では、進行方向毎に優先度が高い車両から映像送信車両として選定していき、自車両が映像送信車両であると判断すると映像を送信する。

3.2 前提条件

本節では鳥瞰映像の作成に関する仮定、交差点に関する仮定、車両に関する仮定について述べる。

3.2.1 鳥瞰映像の作成

本稿では、文献 6), 7) で提案されている技術を用いて、複数の方向からの撮影映像が与えられれば、鳥瞰映像の合成が各車両で行えると仮定する。

鳥瞰映像の作成が実現可能であることを確認するため、実際に、鳥瞰映像提示システムの構築を行った⁹⁾。本システムにより、図 4 のように、複数方向から取得した映像フレームを透視投影変換、合成することで一般的な機器でリアルタイムに鳥瞰映像を作成・表示できることが確認できた。

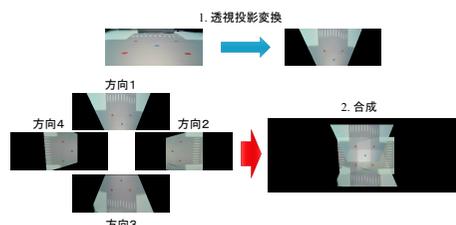


図 4 鳥瞰映像の作成結果

3.2.2 交差点に関する仮定

交差点付近（交差点外も含む）は交差点の大きさに合わせ $m \times m$ 個の格子領域の集合 $Grid = \{g_{1,1}, \dots, g_{m,m}\}$ に分割されているとする。

3.2.3 車両に関する仮定

交差点付近に存在する車両の集合を $Vehicle = \{v_1, \dots, v_n\}$ と表す。各車両 v_i は交差点を進行（速度 25 ~ 45 [km/h]）しているか、停止しており、地図情報により、交差点付近の格子領域の境界情報を取得できるとする。また各車両 v_i は自車両の交差点でのアクション（直進、右左折など）を、指示機操作や設定された移動予定経路などから、交差点に進入するまでに予測できるとする。なお、車両 v_i が車載カメラで撮影可能な格子領域集合 $Cap_i (\subseteq Grid)$ はカメラの視野角、GPS から得られる自車両の位置、進行方向、他車両の位置から計算できる。他車両の位置は、文献 10) の手法を利用し、自車両が撮影している映像に含まれている車両の位置として把握しているとする。また、映像を要求する車両 v_j が欲しい格子領域集合 $Req_j (\subseteq Grid)$ は、自車両からは死角となる交差点のエリアとして、一意に決定されるとする。

図 5 に 6×6 の格子領域に分割した交差点の例を示す。右折を予定している要求車両 1 は赤色の格子領域 $g_{4,5}, g_{5,5}, g_{5,6}$ （要求車両 1 の死角領域）を含んでいる映像を要求している。赤信号で停止している車両 2 は保持している自車両、他車両の情報を基に青色の格子領域 $g_{3,2} \sim g_{3,5}, g_{4,1} \sim g_{4,5}, g_{5,1} \sim g_{5,6}, g_{6,2} \sim g_{6,6}$ が撮影可能格子と判断する。ここで、格子領域 $g_{3,6}, g_{4,6}$ については車両 3 により、死角と判断され撮影可能な格子とはならない。

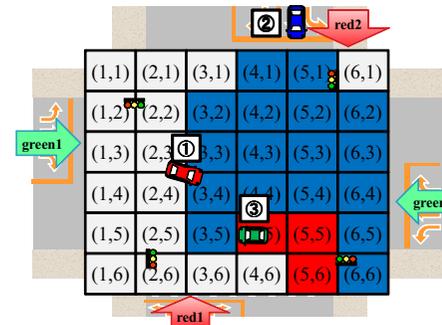


図 5 交差点の格子領域

車両の標準装備として以下を仮定する。

- 15 [fps], QVGA サイズ (320 × 240 [pix]), 5 [KB/frame] 程度の動画を撮影できる車載カメラ
- GPS, 地図情報を搭載し、映像を表示できる車載コンピュータ
- IEEE802.11b 規格の無線 LAN 装置

● 十分な容量のストレージ

動画の品質は、ワンセグ放送の解像度を基にし、 320×240 [pix]、フレームレートが 15 [fps] とする。これは試聴に耐えうる品質であり、交差点の監視に十分であると考えられる。また、現在のカーナビでよく用いられる自律型 GPS の誤差は 10 [m] 程度であるが、DGPS では数十 [cm] 程度、RTK(Real Time Kinematic) 測位で数 [cm] 程度の精度が実現されている¹¹⁾。今後このような高精度な位置測位がカーナビゲーションシステムにも導入される可能性も考えられる。本手法では、交差点をいくつかの格子領域に分割するが、その格子領域の大きさは数 [m] 程度になり、それに対して、GPS 機器による誤差は十分小さいと考えられるので、本研究では GPS 機器による誤差は 0 [m] であると仮定する。

3.3 映像送信車両集合の選定問題の定式化

本研究が扱う問題、入力、出力、制約条件、目的関数を以下に示す。

3.3.1 問題の概要

本問題は、ある車両から交差点鳥瞰映像の作成要求を受けた際に、その交差点付近を撮影している車両群から鳥瞰映像を作成するための映像をブロードキャストする車両群を選定する問題である。各車両は撮影可能な交差点内の格子領域集合や進行方向などから優先度を計算することができ、本問題では、通信帯域の制限内で各車両に割り当てられた優先度の和が最大となる送信車両集合を求める。

3.3.2 入力

- *Grid*: 交差点内を $m \times m$ に分割した格子領域
- *Vehicle* = $\{v_1, \dots, v_n\}$: 車両の集合
各車両 $v_i \in Vehicle$ は以下の属性を持つ
 - 走行速度 [m/s]: $spd_i \geq 0$
 - 車両位置: $pos_i = (x_i, y_i)$ (x_i, y_i はそれぞれ実数)
 - 撮影可能な格子領域集合及びその撮影方向: Cap_i, dir_i ($Cap_i \subseteq Grid, dir_i$ は 4 方向から与えられる)
 - 撮影映像品質: $qual_i$ (0~10 の定数 (10 が最高品質))
 - 各車両が使用する無線通信帯域 [Mbps]: $BR_i \geq 0$
 - 要求車両 $v_j \in Vehicle$ が要求する交差点の格子領域集合 $Req_j \subseteq Grid$
- 車両 v_i の映像を送信する優先度を計算する評価関数: $Priority(v_i)$
- 使用可能な無線通信帯域幅 [Mbps]: $W \geq 0$

3.3.3 出力

交差点鳥瞰映像を生成するための映像を送信する車両の集合 $V_{send} \subseteq Vehicle$

3.3.4 制約条件

交差点鳥瞰映像を要求車両で生成するためには、 V_{send} に選定された車両は要求車両 v_j が必要とする格子領域 (言い換えれば要求車両が撮影していない格子領域) を撮影していなけ

ればならず、また各車両が使用する通信帯域の合計は W 以内でなければならない。そして、 V_{send} に選定された車両は他の車両より優先度が高くなければならない。よって、 $v_i \in V_{send}$ に対して、以下の条件 (1) – (3) が成り立つ。

$$Req_j \cap Cap_i \neq \emptyset \quad (1)$$

$$\sum_{v_i \in V_{send}} BR_i \leq W \quad (2)$$

$$\forall v_i \in V_{send}, \forall v_k \in Vehicle \setminus V_{send}, 0 \leq Priority(v_k) \leq Priority(v_i) \quad (3)$$

3.3.5 目的関数

優先度の高い送信車両を選定することで、高品質な要求車両が必要としている格子領域を含んだ映像を保証することができると考えられる。結果的に、これらの映像をもとに作られる交差点鳥瞰映像の品質も高くなる。よって、 V_{send} に選定される車両の優先度の和を最大化する (式 4)。

$$\text{maximize } \sum_{v_i \in V_{send}} Priority(v_i) \quad (4)$$

3.4 送信車両選定手法

本節では 3.3 節で定義した問題を解く車両選定アルゴリズムを提案する。提案手法では通信帯域を有効に利用するため、映像を送信する車両を選定しなければならない。車両を選定する際に、要求車両のリクエストに応じた映像を送信可能な車両を選定する必要があるため、各車両に映像を送信する優先度を与える。また、優先度を決定するためには、他車両の情報を集めなければならない。よって、提案手法を以下のフェーズに分ける。

- 車両情報交換フェーズ
- 優先度決定フェーズ
- 送信車両選定フェーズ

3.4.1 車両情報交換フェーズ

このフェーズでは、交差点付近の他車両の情報を取得するため、各車両が必要な情報を交換する。各車両は互いの車両情報を共有するため、定期的に Share メッセージを交換し、他車両の情報を保持し続ける。提案手法が有用だと考えられる車両密度が高い交差点付近では、車両速度が約 10 [m/s]、車間距離が約 5 [m] だと想定しているため、各車両は約 0.5 [s] で前方車両のいた位置に到達する。従って、車両情報を更新する Share メッセージの送信間隔は 0.5 [s] 以下が妥当であると考えられる。Share メッセージは以下の内容を含んでいる。

- $(i, spd_i, pos_i, Cap_i, dir_i, qual_i, NSF_i)$
 i は車両 ID, NSF_i は自車両が既に送信した映像フレーム数 (Number of Sent Frames) を示す。

要求車両 v_i は自車両が必要とする格子領域を撮影車両に通知するため、交差点から 100

[m] の地点に近づくと Request メッセージを自車両の通信範囲内にブロードキャストする． v_i が送信する Request メッセージは Share メッセージの項目に加え以下の内容を含んでいるとする．

- 映像を要求する交差点の格子領域の集合 $Req_i \subseteq Grid$

3.4.2 優先度決定フェーズ

提案手法は通信帯域を有効に利用し，要求を満たした映像を撮影している車両を選定するため，交換した車両情報に基づいて各車両に映像を送信する優先度を割り当てる．各車両は以下の条件を満たすとき，鳥瞰映像を作成する映像を送信する車両に適していると考えられる：

- 要求車両が要求する領域を撮影していること
- 車両が交差点中心部に近く他車両への通信が確実にできること
- 撮影する映像の品質が高いこと

そこで，車両 v_i の優先度を計算する関数 $Priority(v_i)$ を式 (5) のように定義する．

$$Priority(v_i) = k_1 \times f_{cap}(v_i) + k_2 \times f_{pos}(v_i) + k_3 \times f_{qual}(v_i) \quad (5)$$

ここで， f_{cap} ， f_{pos} ， f_{qual} は，それぞれ，要求に合致する撮影格子領域数，交差点中央との距離，撮影映像品質がどの程度良いかを 10 点満点での数値で返す関数である．また， k_1 ， k_2 ， k_3 は各関数に対する重みである．車両 v_i に対して，各関数の詳細を以下に示す．

- f_{cap} :

車両 v_j の要求する格子領域集合 Req_j の周囲八方の格子領域集合をサブ格子領域 $Sub_j (\subseteq Grid)$ とする． Sub_j を多く撮影している車両は要求に応じた映像を配信することができるので値が高くなり，また Req_j を撮影している車両はさらに優先される．提案手法では，要求格子領域 $g_{x,y} (\in Req_j)$ の周囲にある 8 個の格子領域の中から，半分より多くの格子 (5 個) を撮影できていれば，要求格子領域 1 個分の評価をする．従って， $f_{cap}(v_i)$ を以下のように定義する．

$$f_{cap}(v_i) = \frac{(|Cap_i \cap Sub_j| + 5 \times |Cap_i \cap Req_j|)}{|Sub_j| + 5 \times |Req_j|} \times 10 \quad (6)$$

- f_{pos} :

交差点の中央に近い車両は他車両との距離が近くなり，映像データを確実に配信することができると考え，値を高くする．車両位置 (x_i, y_i) と交差点の中央 (x_c, y_c) 間のユークリッド距離 $dist_i$ を求め， $dist_i$ が 0~10 [m]，11~20 [m]， \dots ，91~100 [m] の時， $f_{pos}(v_i)$ をそれぞれ 10 点，9 点， \dots ，1 点とし，100 [m] 以上の時は 0 点とした．

- f_{qual} :

撮影映像の品質は様々な要素によって決まると考えられる．本研究では映像品質 $f_{qual}(v_i)$ は，車両速度を評価する関数 $f_{spd}(v_i)$ ，車高を表す関数 $f_{height}(v_i)$ によって決まると

し，10 点満点で評価する．車両速度が 0~25 [km/h]，25~30 [km/h]， \dots ，33~34 [km/h] の時，それぞれ $f_{spd}(v_i)$ を 10 点，9 点， \dots ，1 点とし，34 [km/h] 以上の時は 0 点とする．また，車両の高さ $f_{height}(v_i)$ を高，中，低の 3 段階で設定し，それぞれ 10 点，5 点，0 点とする． $f_{qual}(v_i)$ を以下のように定義する．

$$f_{qual}(v_i) = \frac{f_{spd}(v_i) + f_{height}(v_i)}{20} \times 10 \quad (7)$$

各車両は自車両が映像フレームを送信すべきかどうかを判断するために，Request メッセージを受信すると Share メッセージの送信元の車両集合 $V_{share} (\subseteq Vehicle)$ の各車両について優先度を計算する．優先度は受信した Request メッセージの内容と V_{share} の各車両が送信した Share メッセージの内容を基に，式 (5) によって各車両が独自に計算する．

3.4.3 送信車両選定フェーズ

各車両は，Request メッセージを受信すると， V_{share} に属する各車両の優先度を計算し，送信車両選定フェーズに移行する．提案手法では通信帯域を有効に利用するため，通信帯域の範囲内において，できるだけ多くの車両が映像を送信する．そのため，各車両は通信帯域の使用状況を把握する必要がある．ここで提案手法では，各車両における通信帯域の使用状況の把握方法として，映像フレームパケットの配送成功率を利用する．各車両は，送信された映像フレーム数と実際に受信した映像フレーム数から，パケット配送成功率 $PDSR_i$ (Packet Delivery Success Ratio) を把握する．車両 $v_i (\in V_{share})$ は他車両 $v_j (\in V_{send})$ が送信し，自車両が受信した映像フレーム数 NRF_j (Number of Received Frames) を把握しているとする．そして， V_{send} の全車両の映像フレーム到達率の平均として， $PDSR_i$ を式 (8) のように定義する．

$$PDSR_i = \frac{1}{|V_{send}|} \times \sum_{v_j \in V_{send}} \frac{NRF_j}{NSF_j} \quad (8)$$

各車両 v_i は $PDSR_i$ により，映像フレームパケットの配送成功率を把握し， $PDSR_i$ の値が高いと通信帯域に余裕があると判断する．

文献 7) により鳥瞰映像作成のためには各進行方向 (4 方向) からの映像が必要であることがわかっている．提案手法では，Share メッセージを受け取るたび各車両の優先度のリストを更新し，各撮影方向で最も優先度が高い 1 台を選定し，送信車両集合 V_{send} に加える．そして，把握しているパケット配送成功率 $PDSR$ に応じて， V_{share} の優先度が高い車両から順に送信車両 V_{send} に加える．

V_{send} の選定は以下のアルゴリズムを用いて V_{share} の各車両が実行し，自車両が V_{send} に含まれるか自律的に判断する．

Step1. $V_{send} = \emptyset$ で初期化する．

Step2. V_{share} の各車両に対し，優先度を計算する．

Step3. 各撮影方向の優先度が最も高い車両を V_{send} に加えていく．

Step4. 通信帯域に余裕がある限り，優先度が高い順に車両を V_{send} に加えていく．

Step5. 自車両が V_{send} の要素であり、交差点付近に存在する場合、映像を送信する。そうでない場合は何もしない。

Step6. Share メッセージを受信すると Step1 に戻る。

このようにして選定した V_{send} は車両の移動とともに変化するので、状況に合った車両が映像フレームをブロードキャストすることができ、通信帯域を有効に使用することができる。

4. シミュレーション実験

提案手法で用いる、車両 v_i の優先度を算出する関数 $Priority(v_i)$ の各優先項目に対する重みを決定するために、提案手法を QualNet シミュレータ上に実装し予備実験を行った。その結果、提案手法の関数 $Priority(v_i)$ を決定した。そして、提案手法により選定された送信車両集合 V_{send} が、通信帯域を効率的に使用し、要求車両のリクエストに応じ、高品質な映像を要求車両に配信できているかを評価するために、評価実験を行った。

4.1 評価項目

本研究において行った実験の評価項目を以下に示す。

- (1) 映像フレームの到達率
提案手法が通信帯域を有効に使用しているかを評価するために、選定された車両群 V_{send} の送信した映像フレームが要求車両に到達した割合を測定した。
- (2) 要求車両が受信した映像フレーム数
前記の映像フレームの到達率だけでは、死角車両を把握するのに十分な量の映像フレームが到達しているか評価できないため、以下の項目別に要求車両が受信した映像フレーム数を測定した。
 - 要求格子領域別に受信した映像フレーム数
要求車両が受信した映像フレーム数を要求格子領域別に測定した。
 - 進行方向別に要求格子領域を含んでいる映像フレーム数
要求車両が受信した映像フレームの中で、要求格子領域を含んでいるフレーム数を進行方向別に測定した。
- (3) 要求車両が受信した映像の品質
本実験では、要求格子領域を含み f_{qual} の値が高い映像を用いると、合成後の鳥瞰映像の品質が高いと考える。上記の映像品質は各映像フレームの優先度で評価できるため、受信した映像フレームの優先度の値の分布を測定した。

4.2 必要フレーム数

要求車両が受信した映像フレーム数が死角車両を把握するために十分な量かどうかを評価するため、必要フレーム数 RNF (Required Number of Frames) を定義する。3章で述べた鳥瞰映像提示システムを用いた実験より、フレームレートが 10 [fps] 以上の映像なら死角車両の把握に有用であることが確認できた(主観評価)。よって、本実験では、平均

表 1 車両密度と RNF

車両密度	Dense	Middle	Sparse
車両距離	5 ~ 10 [m]	10 ~ 20 [m]	20 [m] 以上
シミュレーション時間	35 [s]	58 [s]	88 [s]
RNF (各進行方向)	350	580	880
RNF (各要求格子領域)	1400	2320	3520

10 [fps] を満たす映像フレーム数である RNF を上回る映像フレーム数を受信することができれば、十分な量の映像フレームを受信できているとし、式(9)(10)のように RNF を定義した。 RT は要求車両が映像を受信した時間 (*ReceivingTime*) である。

- 各進行方向

$$RNF = 10[fps] \times RT \quad (9)$$

- 各要求格子領域

$$RNF = 10[fps] \times RT \times 4 \quad (10)$$

4.3 実験の設定

本節では、実験の環境、パラメータ、車載機器の搭載率、車両密度について述べる。

4.3.1 実験の環境

本実験では、QualNet 上に京都・四条河原町の交差点付近を模した 142 [m] × 142 [m] の地形データを作成し、東西方向の道路の信号を青 (green1, green2)、南北方向の道路の信号を赤 (red1, red2) とした。赤信号方向にはそれぞれ車両が 4 台ずつ停止しており、青信号方向には車両が連続して走行しているとした。初期状態では右折を予定している車両が、複数台車両が存在している交差点に進入し、シミュレーションが開始する。交差点に進入した要求車両は、 $g_{4,5}$, $g_{5,5}$, $g_{5,6}$ を要求格子領域としてリクエストするとした(図 5 参照)。そして、対向車線の直進車両がいなくなり、右折可能な状態になるとシミュレーションが終了する。

車載通信機器が 100% 搭載されているという環境は現実的ではないと考えられるため、本研究では車載通信機器と車載カメラを搭載している車両の割合(搭載率)を変化させ実験を行った。また、交差点や時間帯によって、車両密度は変化するものだと考えられるため、本実験では 3 つの車両密度を用いて実験を行った。各車両密度の車両距離、シミュレーション時間、それぞれの車両密度での必要フレーム数 RNF の値を表 1 に示す。

4.3.2 実験パラメータ

映像フレームとして、各車両は文献 12) の手法により映像フレームから道路部分(全体の $\frac{1}{3}$)を認識し、切り出して送信とする。従って、 $15[fps] \times \frac{5}{3}[KB] \times 8 = 200[Kbps]$ の通信量を模した映像フレームパケットを送信した。本実験のパラメータ、パケットに関する設定を表 2, 3 に示す。

4.4 優先度関数を決定するための予備実験

提案手法において、各車両の要求に合致する撮影格子領域数、位置、撮影映像品質という

情報処理学会研究報告
IP SJ SIG Technical Report

表 2 実験パラメータ

車両台数	60 [台]
要求車両	1 [台]
要求格子領域	3 か所
サブ格子領域	12 か所
無線通信規格	IEEE802.11b
優先度リスト更新間隔	0.5 [s]

表 3 バケット

	バケットサイズ	送信間隔
Share メッセージ	300 [byte]	0.5 [s]
Request メッセージ	300 [byte]	0.5 [s]
映像データバケット	1666 [byte]	0.067 [s]

表 4 重み割り当てと実験結果 (到達率)

k_1, k_2, k_3	映像フレーム到達率 [%]
1, 0, 0	67.9
0, 1, 0	66.5
0, 0, 1	72.4

表 5 重み割り当てと実験結果 (映像フレーム数, 平均映像品質)

k_1, k_2, k_3	映像フレーム数	平均映像品質 (f_{qual}) [点]
1, 0, 1	6974	5.07
2, 0, 1	6985	5.17
1, 0, 2	5967	6.06

優先度を計算するための優先項目に対して, 必要性や適切な重みを把握するために予備実験を行った. 優先度を算出する式 (5) において, $k_1 \sim k_3$ は, それぞれは要求に合致する撮影格子領域数 (k_1), 車両の位置 (k_2), 撮影映像品質 (k_3) に対する重みである. $k_1 \sim k_3$ をそれぞれ変化させ, 車両密度が Dense, 通信機器の搭載率が 100% の環境で, 提案手法を用いて映像フレーム到達率, 要求格子領域を含んでいる映像フレーム数, 平均映像品質 (f_{qual}) の値を計測した. 結果を表 4, 5 に示す. 重み k_2 に対する項目は, 映像フレーム到達率の向上を期待し, 優先項目としたが, 表 4 の結果より向上は見られなかった. そして, 提案手法ではドライバに死角部分となる要求格子領域を多く撮影している車両を優先的に選定する必要があるため, 表 5 の結果より以降の実験での重みを $k_1 = 2, k_2 = 0, k_3 = 1$ とした.

4.5 提案手法の有用性を評価するための評価実験

提案手法により選定された V_{send} が, 通信帯域を効率的に使用し, 要求車両のリクエストに応じ, 高品質な映像を要求車両に配信できているかを評価し, 提案手法が有用な環境を把握するために評価実験を行った. 評価実験では, 前節で決定した $k_1 \sim k_3$ の重みを用いた提案手法と, 他の車両選定手法に対して, 車両密度, 搭載率を変化させ, 評価項目の値を測定した.

本実験で使用する車両選定手法は以下のものである. (ii) 全車両は最も単純な車両選定手法であり, (iii) 交差点中央車両は通信帯域を節約し, 良好な結果が得られると考えられる手法である.

- (i) 提案手法
- (ii) 全車両
交差点付近に存在する全車両
- (iii) 交差点中央車両
各撮影方向の車両集合から, 交差点中央に最も近い車両

本研究で行った実験の結果を図 6 ~ 11 に示す.

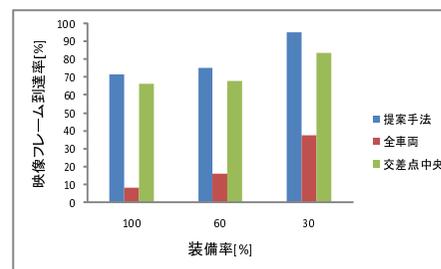


図 6 装備率による到達率の変化 (Dense)

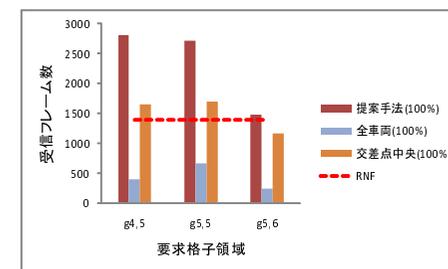


図 7 要求格子領域別フレーム数 (Dense 搭載率 100%)

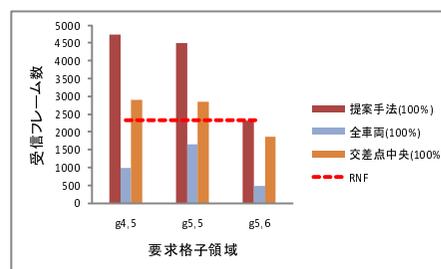


図 8 要求格子領域別フレーム数 (Middle 搭載率 100%)

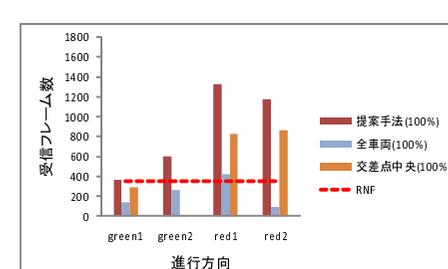


図 9 進行方向別フレーム数 (Dense 搭載率 100%)

映像フレームの到達率

図 6 が示すように, 車両密度が高い環境でも, 車載機器の搭載率に関わらず, 提案手法は 70% 以上の映像フレームを配信できており, 交差点中央手法は 60% 以上の映像フレームを配信できている. 一方, 全車両手法は多くの車両が映像を送信しているため, 通信帯域を圧迫し, 輻輳が発生し, 到達率が非常に低い値となっている. 提案手法が高確率で映像を配信できていることより, 通信帯域の使用状況によって V_{send} の台数を決定する手法が有用であることがわかる.

要求格子領域別に受信した映像フレーム数

図 7, 8 が示すように, 搭載率が 100% の環境では車両密度が減少しても, 提案手法は全ての要求格子領域に対して, 必要フレーム数 RNF を上回る量の映像フレームを送信できている. しかし, 交差点中央手法では RNF に達していない要求格子領域が存在し, 全車両手法では全ての要求格子領域が RNF に達しなかった. これらの結果より, 搭載率が高い環境では車両密度が減少しても, 提案手法は要求車両のリクエストに応じた鳥瞰映像を配信するのに, 十分な量の映像フレームを送信できていることがわかる.

進行方向別に要求格子領域を含んでいる映像フレーム数

図 9, 10 が示すように, 車両密度が高く, 搭載率が 100%, 60% の環境では, 提案手法は全ての進行方向から RNF を上回る量の映像フレームを送信できている. 一方, 全車両手

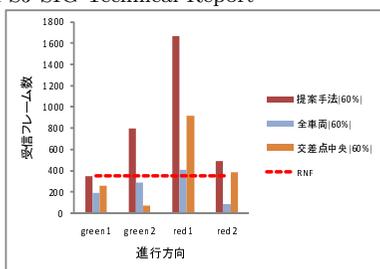


図 10 進行方向別フレーム数 (Dense 搭載率 60%)

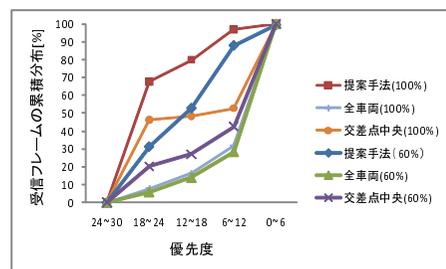


図 11 優先度 (Dense 搭載率 100, 60%)

法と交差点中央手法では RNF に達していない進行方向が存在している。これらの結果より、車両密度が高い環境では搭載率が減少しても、提案手法は交差点の全ての進行方向を満たした鳥瞰映像を配信するのに十分な量の映像フレームを送信できていることがわかる。

要求車両が受信した映像の品質

図 11 は、要求車両が受信した映像フレームの優先度の累積分布を表すグラフである。図 11 が示すように、車両密度が高く、どのような搭載率の環境であっても、提案手法は他の手法に比べ、高い優先度の映像フレームの割合が多くなった。これらの結果より、車両密度が高い環境では車載機器の搭載率に関わらず、提案手法は他の手法に比べ要求車両のリクエストに応じた、高品質な映像を送信できていることが確認できた。

以上の評価項目の測定結果より、車間距離が 10 [m] 以内であるような車両密度が比較的高く、車載機器の搭載率が 60% 以上の環境で、提案手法は要求車両のリクエストに応じた、高品質な映像を送信できていることがわかった。また、どのような環境においても、提案手法の性能が最も良いことを確認できた。

5. ま と め

本研究では、交差点における歩行者や二輪車、四輪車などの、死角車両が原因となる事故防止のために、交差点付近にいる複数の車両が、車載カメラで撮影した交差点の映像を、リアルタイムに車車間通信を用いて交換し、各車両で鳥瞰映像を作成する手法について提案した。本稿で提案した手法は、通信帯域を効率良く使用し、ドライバのリクエストに応じた高品質な映像を配信するため、各車両が協調し映像送信車両を選定する手法である。提案手法では、交差点を複数の格子領域に分割し、交差点付近の車両は自車両の位置や速度、撮影している格子領域、映像品質などの情報を互いに共有し、映像を要求する車両は映像が必要な格子領域の情報を全車両に知らせる。それらの情報を得た各車両は、交差点付近の全車両それぞれの映像を送信する優先度を算出する。そして、他の車両と自車両の優先度を比較し、各進行方向で優先度が高い車両から映像を送信する。このように、各車両が自律的に映像送信の判断を行う手法を提案した。本研究では、提案手法の有用性を検証するため、ネットワークシュミレータ QualNet を用いてシミュレーション実験を行った。その結

果、提案手法は車間距離が 10 [m] 以内であるような車両密度が比較的高く、車載機器の搭載率が 60% 以上の環境で、要求車両のリクエストに応じた、高品質な映像を送信できたことを確認した。また、車両密度や搭載率の比較的低い環境でも、ある程度の性能を発揮できたことを確認した。

今回提案した車両選定手法では、映像を要求する車両が 1 台である環境を想定した。しかし、現実の交差点では青信号である 2 方向の車両がそれぞれ映像を要求する状況も考えられる。そのような状況では、複数車両の要求を満たす車両選定手法を考慮しなければならない。

参 考 文 献

- 1) 警察庁: “平成 20 年度交通事故発生状況”, <http://www.npa.go.jp/toukei/index.htm>.
- 2) ITS: “国土交通省道路局 ITS ホームページ”, <http://www.mlit.go.jp/road/ITS/j-html/>.
- 3) 国土交通省: “ASV (先進安全自動車)”, <http://www.mlit.go.jp/jidosha/anzaen/01asv/index.html>.
- 4) Scalable Network Technologies, Inc.: “QualNet”, <http://www.scalable-networks.com/>.
- 5) 本田技研工業株式会社: “広報発表”, <http://www.honda.co.jp/news/2009/4090219.html>.
- 6) 大津寛之, 宮本徹, 北原格, 亀田能成, 大田友一: “複数の道路監視カメラを用いた交差点における俯瞰映像作成”, 第 5 回 ITS シンポジウム pp. 297-302(2006).
- 7) Ota, D., Ono, S., and Ikeuchi, K.: “Visual Reconstruction of an Intersection by Integrating Cameras on Multiple Vehicles,” *Proc. of Machine Vision Applications (MVA2007)*, pp.335-338(2007).
- 8) Guo, M., Ammar, H. M., and Zegura, W. E.: “V3: A vehicle-to-vehicle live video streaming architecture,” *Proc. of the 3rd IEEE Int'l Conf. on Pervasive Computing and Communications (PerCom 2005)*, pp.171-180(2005).
- 9) 小谷和也, 中村正人, 木谷友哉, 孫為華, 柴田直樹, 安本慶一, 伊藤実: “複数のカメラ映像の合成によるリアルタイム鳥瞰映像提示システム”, 第 17 回マルチメディア通信と分散処理ワークショップ論文集, pp.109-110(2009).
- 10) Challita, G., Mousset, S., Nashashibi, F., and Benschraier, A.: “An application of V2V communications: Cooperation of vehicles for a better car tracking using GPS and Vision systems,” *Proc. of the IEEE Vehicular Networking Conference 2009 (VNC2009)*, (CD-ROM)(2009).
- 11) 柳原徳久, 初本慎太郎: “RTK-GPS”, 情報処理学会誌, vol. 43, no. 8, pp. 831-835 (2002).
- 12) Tarel, J. P., and Bigorgne, E.: “Long-Range Road Detection for Off-line Scene Analysis,” *Proc. of IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV'09)*, pp.15-20(2004).