

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

小谷和也¹ 孫安本¹ 柴田直樹³ 為華¹ 伊藤友哉² 木谷友藤¹ 柴田直樹³ 伊藤友哉² 木谷友藤¹

交差点内における事故を防止するためには、ドライバー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。交差点周辺の複数車両が撮影した交差点内の映像を車車間通信で交換することができれば、インフラなしに目車両から死角となる交差点内の状況把握が可能となる。しかし、映像のような大きなデータを複数の車両が車車間通信で送信する場合には、輻輳制御が重要な課題となる。本稿では、ドライバーに交差点の状況を効果的に把握させるために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、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ための手法を提案する。提案手法では、まず、交差点内に関する情報を車車間の撮影している交差点の領域、映像品質、各車両の速度や向きに関する情報を車車間通信で交換することによって共有する。各車両はそれらの情報から自車が映像を送信するかどうかを自律的に判断する。提案手法を評価するために、ネットワークシミュレータ QualNet 上に交差点状況を再現し実験を行った。その結果、映像データの到達率や映像品質が実用可能なレベルに達していることを確認した。

Inter-Vehicle Protocol for Cooperatively Capturing and Sharing Intersection Video

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

For the accident prevention in intersections, it is useful for drivers to grasp the position of vehicles in blind spots. This can be achieved without infrastructure if some vehicles passing near the intersection capture and share live video of the intersection through inter-vehicle communications. However, such video streaming needs a congestion control mechanism. In this paper, aiming to let a driver grasp the situation of an intersection, we propose a method to select vehicles which send a video in order to generate a live bird's eye view video of the intersection. In our method, each vehicle in an intersection exchanges information with each other, such as the sub-areas of the intersection which it captures, the quality of its video, and its position and speed. Based on the exchanged information, each vehicle autonomously judges whether it should send its video or not. Through simulation with QualNet simulator, we have confirmed that our method achieves good video arrival rate and good video quality sufficient for practical use.

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、全体の約4割を占めている。事故状況としては出会い頭衝突が多い¹⁾。出会い頭衝突が起きる原因として、ドライバー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（以後、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ー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。

死角車両を検知するなどの事故防止技術として、高度交通システム (ITS : Intelligent Transport Systems)²⁾ 技術が研究開発されている。日本では1991年から先進安全自動車 (ASV) の開発が行われてきた³⁾。ASVとは先進技術を利用して、ドライバーの安全運転を支援するシステムを搭載した自動車である。ASVは車車間通信によって他車両の位置や速度などの情報を取得することができる。各車両は車載機が取得した自車両位置などの情報を基に周辺の車両を認識し、事故防止のための警告を発するようシステムを搭載する。

本研究では、交差点での事故防止のために、ドライバーに死角車両の位置を直感的に把握させることを考える。ここで、そのため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させ、受信した映像を基に、各車両で鳥瞰映像を作成するというアプリケーションを想定する。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送信するときには、通信帯域を多く使用し、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。この問題を解決するため、帯域を効率良く使用し、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に選定する手法を提案する。選定手法として、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撮影方向、車両位置、車両速度、映像品質という自車両の情報を、予め車両間で交換する。各車両は受信した情報に基づき、各車両に映像を送信する優先度を割り当てる。優先度は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高得点が与えられる。そして、各車両が使用する通信帯域が利用可能な通信帯域内に収まるよう、各撮影方向ごとに優先度が最も高い車両から、映像の送信車両を選定する。

提案手法を評価するためにシミュレーション実験を行った。実験では、無線通信規格や車両の速度、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、ネットワークシミュレータ QualNet⁴⁾を用いた。そして、要求車両が受信した映像データに含まれる要求された格子領域数の平均や、映像品質の平均、などの評価項目について測定した。車両の選定手法として、(i) 交差点付近の全車両、(ii) 撮影方向毎に交差点中央に最も近い車両、(iii)

†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

提案手法を評価した。実験結果から、提案手法により選定した車両は、他の2手法により選定した車両に比べて、通信帯域を効率的に使用し、要求された格子を撮影した高品質な映像データを配信できていたことが確認できた。

2. 関連研究

これまで、ドライバに対して映像による視覚支援の手法がいくつか提案されている。それは、日産自動車株式会社の製品であるアラウンドビューモニター⁵⁾に代表されるように、1台の車両に搭載された複数のカメラが撮影した映像を合成することにより、自車両周辺の映像を作成し提示するものが多い。また、信号機に設置された複数のカメラ映像をドライバに交差点の鳥瞰映像を作成する手法⁶⁾も提案されている。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、インフラカメラの設置コストを軽減している。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。

車車間通信を用いたビデオストリーミングの研究も行われている⁸⁾。この文献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。本目的に対し、本稿では文献⁹⁾で提案した手法を改良し、新たに各車両が撮影可能な交差点の領域と映像の品質に基づいて選定する車両の優先度を定める方法を提案するとともに、詳細なシミュレーション実験を通して、提案手法が通信帯域を効率的に使用し、要求された格子を撮影した高品質な映像データを送信する車両を選定できていることを示す。

3. 提案手法

本章では提案手法の概要を述べた後、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、死角車両を直観的に把握させ、事故防止を行うことを目的とする。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。動作手順は以下の通りである(図2参照)。

- (1) 右折を予定している車両1が、交差点付近にいる他の車両に対して交差点内の死角となるエリアの映像を要求
- (2) 要求を受けた車両2、3、4は撮影映像を、各車両の無線通信範囲内でのブロードキャストを用いて交換
- (3) 車両1は、取得した映像を変換、合成することにより鳥瞰映像を作成

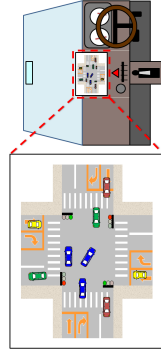


図1 鳥瞰映像の提示

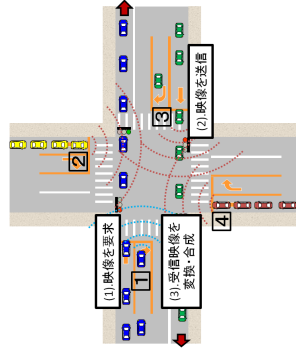


図2 交差点

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なようになると思われる。

- (1) 交差点内に死角があるとき、車両が交差点鳥瞰映像作成のリクエストを出す
- (2) 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し合う
- (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する
しかし、この方法では、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。この手法を用いて映像データに模したパケットを送信し、車両台数を変化させたときのパケット到達率を計測した。結果を図3に示す。

図3に示されるように、パケット到達率は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データ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
車両速度が小さい

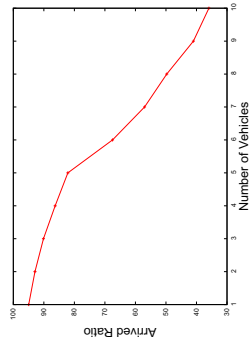


図 3 データパケット到達率

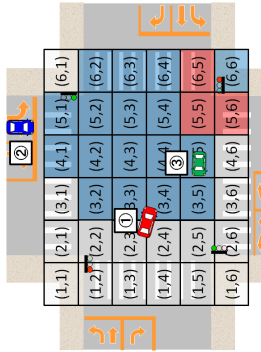


図 4 格子領域

そして、提案手法では、撮影方向毎に優先度が最も高い車両を映像を送信する車両として選定する。

3.2 前提条件

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。本節では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 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 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。

3.2.2 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 $25 \sim 45$ [km/h] の速度で進行しており、カーナビゲーションシステムの地図情報により、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、指示機操作やカーナビゲーションに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。また、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。また、映像をリクエストする車両 $v_{req} (\in Vehicle)$ は交差点の映像が欲しい格子領域集合 $Req \subseteq Grid$ を把握しているとする。

図4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 $g_{5,5}, g_{5,6}, g_{6,5}$ (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の位置情報により、死角と判断され撮影可能格とはならないことに注意する。

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、映像を表示できるカーナビゲーションシステム

IEEE802.11b 規格の無線 LAN 装置

十分な容量の HDD を搭載した車載計算機

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。これは試聴に十分耐えうる品質であり、交差点の監視に十分であると考える。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¹⁰⁾。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 問題設定

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 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る。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 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5つの属性を持つ

- 走行速度 [m/s]: spd_i 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: $qual_i$ (0~1の定数 (1が最高品質))
- 要求送信レート [Mbps]: BR_i 0
- 上記の属性を基に、各車両に割り当て、映像を送信する優先度を計算する評価関数: $Priority(v_i)$ 0
- 要求車両 $v_i \in Vehicle$ と要求する交差点の格子領域集合 $Req_i \subseteq Grid$
- 使用可能な無線通信帯域幅 [Mbps]: W 0

3.3.3 出力

交差点鳥瞰画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

交差点鳥瞰画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が必要とする格子領域（言い換えれば要求車両が撮影しない格子領域）を撮影してなければならず、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。

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

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

$$\forall v_i \in V_{send}, \forall v_j \in Vehicle \setminus V_{send}, Priority(v_j) \geq Priority(v_i) \quad (3)$$

3.3.5 目的関数

V_{send} に選定される車両の優先度の和を最大化する。

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

3.4 送信車両選定手法

本節では前章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。提案手法では要求車両によってリクエストされた格子領域を撮影し、高品質な映像を送信できる車両を撮影方向毎に選定する。選定手法は以下の2つのフェーズに分かれている。

車両情報交換フェーズ

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、交差点付近の車両群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。交差点付近での車両速度を約 10 [m/s]、車間距離を約 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] 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。

$(i, spd_i, pos_i, Cap_i, dir_i, qual_i)$

i は車両 ID 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 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、送信車両選定フェーズに移行する。受信した Share メッセージの送信元の車両集合を $V_{share} (\subseteq Vehicle)$ とする。各車両は受信した Request メッセージの内容と、 V_{share} の情報を基に、各車両 $v_i (\in V_{share})$ の優先度を計算する。また、文献 7) により鳥瞰映像作成のためには各撮影方向 (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。

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：

- (a) 映像が要求車両の要求する領域を撮影していること
 - (b) 車両が交差点中心部に近く他車両への通信が確実に行えること
 - (c) 録画品質の設定が高いこと
 - (d) その車両の速度が低く映像のブレが少なかったり通信の確実性が高いこと
- そこで、車両 v_i の優先度を計算する式 $Priority(v_i)$ を式 5 のように定義する。

$$Priority(v_i) = k_1 \cdot f_{cap}(v_i) + k_2 \cdot f_{pos}(v_i) + k_3 \cdot f_{quat}(v_i) + k_4 \cdot f_{spd}(v_i) \quad (5)$$

ここで、 f_{cap} , f_{pos} , f_{quat} , f_{spd} 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、車両速度に関して、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 , k_4 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と値が高くなり、また Req_j を撮影している車両さらに優先される。従って、 $f_{cap}(v_i)$ を以下のように定義する。

$$f_{cap}(v_i) = \frac{|Cap_i \cap Sub_j| + 2}{|Sub_j| + 2} \cdot \frac{|Cap_i \cap Req_j|}{|Req_j|} \cdot 10 \quad (6)$$

f_{pos} :

交差点の中央に近い車両は送信者同候補の他車両との距離が近くなり、映像データを短時間で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を求め、その距離が 0~10 [m]、11~20 [m]、21~30 [m]、31~40 [m]、41~50 [m] の時、 $f_{pos}(v_i)$ をそれぞれ 10 点、9 点、8 点、7 点とし、100 [m] 以上の時は 0 点とした。

f_{quat} :

映像品質が高い車両は値が高くなる。映像品質は高、中、低で与えられ、それぞれ 10 点、5 点、0 点とする。

f_{spd} :

表 1 実験パラメータ

車両台数	60 [台]
撮影格子領域	自車両の位置、撮影方向、他車両の位置により動的に設定
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 2 パケット

パケットサイズ	送信間隔
Share メッセージ	300 [byte]
Request メッセージ	300 [byte]
映像データパケット	1500 [byte]
	0.02 [s]

車両速度が小さい車両ほど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。 $f_{spd}(v_i)$ を、車両速度が $0 \sim 25$ [km/h]、 $25 \sim 26$ [km/h]、 $33 \sim 34$ [km/h] の時、それぞれ 10 点、9 点、1 点とし、34 [km/h] 以上の時は 0 点とする。

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. $V_{send} = 0$ で初期化する。

Step2. V_{share} の各車両に対し、 $Priority$ を計算する。

Step3. 各撮影方向の $Priority$ が最も高い車両を、映像のビットレートの合計が W を超えない範囲で V_{send} に加えていく。

Step4. 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。

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るので、状況に合った車両が映像データ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

提案手法により選定された送信車両が、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、提案手法をQualNet シミュレータ上に実装し、評価実験を行った。

4.1 実験の設定

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、南北方向の道路の信号を赤とした。提案手法の使用場面として、車両密度が高い状態 (車両間隔が $0 \sim 10$ [m]) を想定し、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。初期状態では図 2 のように、右折を予定している車両 1 が、複数台車両が存在している交差点に進入し、シミュレーションを開始する。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シミュレーションが終了する。また、映像データとして、15 [fps]、5 [KB/frame] の通信量を想定し、15 [fps] 5 [KB] 8 = 600 [Kbps] を模した映像データ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 1、2 に示す。

4.2 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) 映像データパケットの到達率

通信帯域が有効に使用されているかを評価するため、選定された車両群 V_{send} の送信

した映像データパケットが、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に撮影されている要求格子領域数の平均

要求している映像が受信できているかを評価するため、要求車両が、車両 1 台から受信した映像データパケットに含まれている要求格子領域数の平均を測定した。

(3) 要求車両が受信した映像品質の平均

本研究ではネットワークシミュレータを用いた実験を行ったため、実際に撮影、送信、受信をした映像の品質を評価することができない。従って、シミュレーション上での受信した映像品質を評価するため、映像品質を各車両の車載カメラの性能差と考えると、平均が 5 点となるよう性能を 10 点、5 点、0 点の 3 段階でそれぞれランダムに 15 台、30 台、15 台と割り振った。そして、要求車両が受信した映像データパケットの映像品質の平均を測定した。

(4) V_{send} の車両群の優先度平均

実際に映像を送るべき車両が送れているかを評価するため、映像データパケットを送信した車両の優先度の平均を測定した。

4.3 評価手法

最初に予備実験として、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、速度という優先度を計算するための優先項目に対して、各優先項目の必要性や適切な重みを把握するため、各項目の重みを変化させ評価項目について評価を行った。次に、決定された優先項目に対する重みを用いて、評価項目に対して提案手法を含めた以下の車両選定手法で比較実験を行った。

(i) 交差点付近に存在する全車両

(ii) 各撮影方向の車両集合から、交差点中央に最も近い車両

(iii) 提案手法

4.4 実験結果

本研究で行った実験の結果をそれぞれ以下に示す。

4.4.1 予備実験

$k_1 \sim k_4$ はそれぞれ、優先度を求めるための優先項目である。要求に合致する撮影格子領域数、位置、撮影映像品質、速度に対する重みである。重み k_2 、 k_4 に対する項目は、映像データ到達率の向上を期待し、優先項目としたが、予備実験の結果より、向上は見られなかった。そして、要求に応じた映像を送信でき、より高い映像品質で撮影できている車両を選定するため、重みを $k_1 = 1$ 、 $k_2 = 0$ 、 $k_3 = 2$ 、 $k_4 = 0$ とした。

4.4.2 比較結果

前節で決定した $k_1 \sim k_4$ の重みを用いた提案手法と、他の 2 手法との比較結果を表 3 に示す。

評価項目 (1) 映像データパケット到達率

手法 (i) が約 9.9 % であるのに対して手法 (ii) が約 88.4 %、手法 (iii) が約 89.0 % となり、車両数を限定することにより、パケットの衝突が少なくなり、高確率で映像データパ

表 3. 比較結果

	(i) 全車両	(ii) 交差点中央	(iii) 提案手法
(1) 映像データバケット到達率 [%]	9.9	88.4	89.0
(2) 平均受信要求格子数 [個]	0.59	1.57	1.63
(3) 平均映像品質 [点]	5.0	3.8	6.5
(4) 優先度平均 [点]	4.5	5.2	13.0

ケットを要求車両に届けることができることが分かる。また、手法 (ii)、(iii) を比較すると、到達率の違いはほとんどなく、今回の実験のような車両密度が高く車両速度が小さいような環境では、車両位置はバケットの到達率にはほとんど影響しないことがわかった。

評価項目 (2) 平均受信要求格子数

手法 (i) では約 0.59 個、手法 (ii) は約 1.57 個、そして手法 (iii) では約 1.63 個となった。この結果より、提案手法が他の手法より、多くの要求格子領域を撮影している車両を選定できたことがわかった。また、評価項目 (1) と同様に、手法 (ii) と手法 (iii) の結果に差がほとんどないことがわかった。これは、今回の実験では車両密度が高い状況を想定しており、各車両の撮影可能な格子領域数が他の車両に遮られることで、少なくなってしまうからであると考えられる。

評価項目 (3) 平均映像品質

手法 (i) は約 5.0 点、(ii) は約 3.8 点、手法 (iii) は約 6.5 点となった。この結果より、提案手法は他の 2 手法と比べ高品質な映像を送信できる車両を選定できたことがわかった。これは提案手法が、映像品質が良い車両を優先的に選出しているからである。また、手法 (i) は全車両の平均の映像品質が結果として現れたものであり、その結果に対して手法 (ii) の値が低いのは、車両位置のみを優先して選定し、選定した車両が偏ってしまっただけであると考えられる。

評価項目 (4) 優先度平均

今回の実験での車両 1 台あたりの優先度の最高値は、前節で決定した優先度の重み $k_1 \sim k_4$ 、3.4 節で述べた優先度の計算方法より、30 点となっている。手法 (i) の優先度平均は約 4.5 点、手法 (ii) では約 5.2 点、手法 (iii) では約 13.0 点という結果となった。他の手法よりも優先度の高い車両が選定されていることが確認できた。また、手法 (ii) に対して提案手法が約 2.5 倍上回っているのは、提案手法が車両の位置だけでなく、撮影格子領域や映像品質なども考慮し、要求に応じた車両を選定した結果であると考えられる。

以上の評価項目の結果より、提案手法では要求車両からの要求に応じた格子領域を、高品質な映像で送信できる車両を選定していることがわかる。

5. まとめ

本研究では、交差点における安全支援のアプリケーションとして、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。提案手法では、通信帯域を効率良く使用し、ドライバにリアルタイムで高品質な映像を配信を行うための送信車両選定手法を提案した。選定手法では、各車両の情報を予め交換し、その情報を元に優先度を割り当て、

優先度を用いて映像のリクエストに応じて、高品質な映像を配信できる映像送信車両を選定する手法を提案した。提案手法を評価するために、実際の交差点付近の環境を模した地形データをを用いて、QualNet によるシミュレーション実験を行った結果、提案手法では各評価項目により、要求車両からのリクエストに応じ、高品質な映像データが高確率で到達できていることが確認できた。

今後の課題として、実際に映像を無線通信で交換し、受信した際にどのような精度の鳥瞰映像が作成できるのかを検証したい。

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-htm/>.
- 3) 国土交通省: “ASV (先進安全自動車)”, <http://www.mlit.go.jp/jidosha/enzen/01asv/index.html>.
- 4) Scalable Network Technologies, Inc.: “QualNet”, <http://www.scalable-networks.com/>.
- 5) 日産自動車株式会社: “安全の取り組み”, <http://www.nissan-global.com/JP/SAFETY/INTRODUCTION/COMFORTABLE/>.
- 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., Shintaro, O., Ikeuchi, K.: “Visual Reconstruction of an Intersection by Integrating Cameras on Multiple Vehicles,” *Conf. on Machine Vision Applications (MVA2007)*, pp.335-338(2007).
- 8) Meng, G., Mostafa, H.A., Ellen, W.Z.: “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、孫為華、木谷友哉、柴田直樹、安本慶一、伊藤実: “車車間通信による交差点鳥瞰映像ストリーミング手法の提案”, 高度交通システム研究会発表会, 情報処理学会研究報告, vol. 2009, no. 24, pp. 39-45 (2009).
- 10) 柳原徳久、初本鉄太郎: “RTK-GPS”, 情報処理学会誌, vol. 43, no. 8, pp. 831-835 (2002).