

機関番号：13801  
 研究種目：若手研究（B）  
 研究期間：2008～2010  
 課題番号：20700063  
 研究課題名（和文）車車間通信を用いた危険検出・通知手法と評価用実機テストベッドに関する研究  
 研究課題名（英文）Study on a method for traffic risk detection and notification with inter-vehicle communication and designing its testbed for evaluation  
 研究代表者  
 木谷 友哉（KITANI TOMOYA）  
 静岡大学・若手グローバル研究リーダー育成拠点・特任助教（テニュアトラック）  
 研究者番号：40418786

## 研究成果の概要（和文）：

車車間通信を用いて、交通安全支援を行うシステムの設計と評価を行った。まず各車両が指向性アンテナを用いて推定した歩行者の位置情報を車車間通信で交換することで、位置推定精度をより向上させられるとわかった。次に、カーナビなどに設定された移動予定経路情報を用いるメッセージ伝達プロトコルを提案し、車車間通信アドホックネットワーク内のメッセージ伝達率を向上させられることを確認した。最後に、交差点内の複数車両が撮影した各方向の映像を車車間通信で交換することで交差点鳥瞰映像を作成するシステムを開発した。

## 研究成果の概要（英文）：

In this study, we have designed and evaluated systems for traffic safety. First, we have proposed a method for localization of pedestrians with directional antennas and inter-vehicle communication, and we have confirmed that the localization with multiple vehicles achieves higher accuracy than that with one vehicle. Next, we have proposed a message routing protocol in a vehicular ad hoc network using the planned route of each vehicle, and we have confirmed that the protocol can widely improve the message delivery ratio and reduce message overhead. Finally, we have developed an intersection-bird-view composite system using the on-board camera of each vehicle and inter-vehicle communication and a testbed for evaluating the system.

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2009年度	900,000	270,000	1,170,000
2010年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	2,800,000	840,000	3,640,000

研究代表者の専門分野：情報科学

科研費の分科・細目：情報学・計算機システム・ネットワーク

キーワード：モバイルネットワーク技術、車車間通信

## 1. 研究開始当初の背景

(1) 近年、各自動車メーカーにおいて、車両に搭載されたセンサを利用し、交通安全を支援するシステムの開発が盛んに行われている。また、自動車に搭載されるカーナビゲーションシステムや無線通信技術の発展にともな

い、各車両が車車間通信によって情報を交換する研究が行われている。

現在考えられている歩行者等の位置を検出するシステムでは、各車両が個別に車載センサを用いて検出している。しかし、赤外線センサを用いる場合は死角が大きく、指向性

無線アンテナで歩行者が持つ携帯の電波などを感知する場合は検知角度の誤差が大きい。

車車間通信を用いて複数の車両間で検知した歩行者等の位置データを交換・共有することができれば、より広範囲で、車両のみならず歩行者、自転車、自動二輪車の動きも検知することができるようになる。

しかし、現在の車載GPSの精度が10m程度、指向性無線アンテナの誤差が15度程度であるため、歩行者が歩道内を歩いているのか、歩道から飛び出してくるのかということを判断するためには、位置推定精度を向上させる必要がある。

(2) また、これまでの車車間通信の Protokol 開発に関する研究では、計算機シミュレーションを使った評価が行われてきていた。計算機シミュレータを用いた評価では、理想的な環境下での提案された手法の有効性を示すことができる。しかし、本応募課題のように、ある交差点付近で複数の車両が通信するような状況では、電波の干渉や反射などが発生する。これら物理現象を計算機内でシミュレートすることは難しい。しかし、実際の車両を用いて実験するためには非常にコストがかかる。

## 2. 研究の目的

(1) 複数の車両が検知した歩行者の推定位置の時間的な変化から、歩行者の位置を平均誤差1m程度で推定することを目標とする。そして、危険な状態にある歩行者または他車両を検出し、運転者に知らせるシステムの開発を目指す。

(2) 計算機シミュレーションと実車でのシミュレーションのギャップを埋めるために、ミニチュアの実機テストベッドを設計し、提案手法の評価を行うことを考える。車車間通信Protokolを評価するミニチュア実機テストベッドに関する研究は、まだ少ない。

従来のモバイルアドホックネットワークを対象としたテストベッドを用いて車車間通信Protokolの評価を行うためには、実験できる場所の制約やロボットの動作自由度に関する制約、テストベッドの構築コストなどの面で問題がある。本研究課題では市販のロボットと超軽量マイクロPCを組合せ、安価で、かつ、動作の自由度が高いテストベッドの開発を行う。

## 3. 研究の方法

(1) 危険通知システムについて、各車両に搭載されたセンサから歩行者等の位置をどのようにして推定するのかという問題に取り組む。1つのセンサでは、歩行者等の存在する方向を検知することはできるが、距離を測定することは難しい。

提案する手法では、各車両のセンサ数が少なくても、複数台の車両が車車間通信によって、センサから得たデータを集めて共有し、それらのデータから歩行者等の位置を推定する。このように、複数の車両からデータを集めることで、死角を小さくし、広い範囲の歩行者を検知できるようになる。また、歩行者の多くは携帯電話を持っていると想定できるため、センサとして指向性の無線アンテナ（国際電気通信基礎技術研究所のエスパーアンテナなど）を用いることも考える。電波であるため、死角にいる歩行者の検知も可能となる。

しかし、このアンテナには検知誤差（角度誤差）があり、また、複数の車両からデータを収集した場合、GPSの精度によって各車両の位置にも誤差が生じる。現在の車載GPSの精度は10m程度、エスパーアンテナの検知精度は角度15度以内であるが、車道と歩道を区別することや、車両の左右どちらにいないかを区別するためには歩行者の位置の誤差を1m以下にする必要がある。

そこで、GPSの精度や各センサの検知範囲誤差を考慮し、複数の車両が推定した歩行者の地図上での存在確率を重ね合わせたり、存在確率の時間的な移動軌跡を考慮したりするなどして、精度を向上させた位置推定手法を考案する。

提案した手法を計算機シミュレーションにて評価し、提案した手法の改善、および、その際に必要とされる各センサの精度や、車両当たりのセンサの数、情報交換が必要な車両数などについても考察を行う。また、車両数2台程度の小さな規模で実際のセンサを使った実験を行い、計算機シミュレーションとの比較を行い、テストベッド構築の参考にする。

(2) テストベッドの開発では、車車間通信を用いたシステムを評価するためにテスト用ロボットが備えるべきハードウェアを選定し、ロボットの仕様を固める。

また、実際の車両と比較して、スケールが十分の一程度になるため、電波強度も十分の一程度に減衰させることが必要である。これには、電波を遮断するフィルムを使って物理的に減衰させることや、無線送信機のデバイスドライバを操作して、ソフトウェア的に減衰させることで対応させる。

## 4. 研究成果

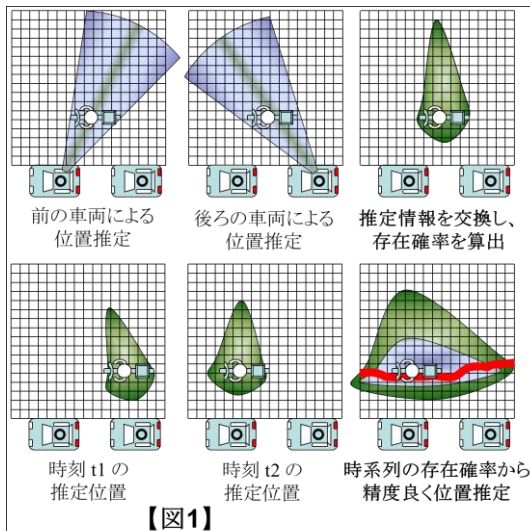
(1) まず、歩行者の位置を高い精度で特定し運転者に提示することで歩行者の交通安全支援を行うことを目的とした、指向性アンテナを搭載した複数車両の協調による歩行者位置追跡方式を提案した。

提案手法では、歩行者が定期的に発する固

有の ID を持つビーコンを、車両にて指向性アンテナを用いて受信し、到達方向および距離を計測する。その際の測定誤差が正規分布に従うと仮定し、歩行者の存在範囲および範囲内の各地点における歩行者の存在確率をベイズ推定を用いて推定する。

推定精度の向上を目的として、各車両において推定した歩行者の位置の情報を車車間通信により他の複数車両と交換し、歩行者の位置ごとの存在確率の重ね合わせを計算する。さらに、歩行者がどの方向に移動しているかを推定するために、各歩行者のビーコン時系列から得られる推定結果をもとに歩行者の移動軌跡を推定する。

本研究では、上記を実現するため、まず安全確保のために歩行者検知が必要となる対象場面を特定し、指向性アンテナを用いた各地点における歩行者の存在確率を求めるための確率モデル、存在確率の重ね合わせの方法および推定した情報を車車間通信を用いてリアルタイムに交換する方法を提案した(図1)。



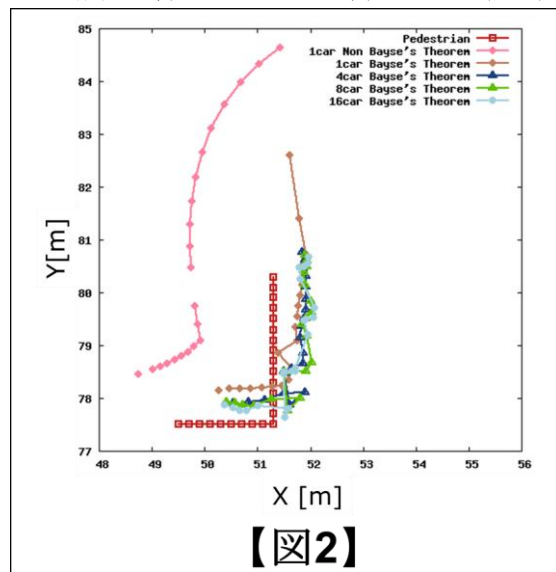
【図1】

次に、車車間通信を用いて各歩行者の移動軌跡の推定を行うプロトコルを提案した。

提案方式の有効性を評価するため、ネットワークシミュレータ QualNet にてシミュレーション実験を行った。設定として、無線到達範囲は 100m の IEEE802.11b を想定し、通信間隔は 0.2s、車両速度は 50km/h、ビーコンパケットサイズは 100bytes とした。その結果、車両が歩行者を検知してから実際に停止するまでの間に、同一歩行者のビーコン信号を 15 回以上受信可能であることが確認できた。

次に、GPS による測位誤差の分散を 5m、指向性アンテナの測定誤差の分散を 6 度として、受信ビーコン信号による測定結果を用いて歩行者位置を推定した結果、車両 1 台での測定誤差 10.68 メートルを、車車間通信を用いることで、1.49 メートルに改善できた。

また、歩行者の移動軌跡推定精度について、歩行者の移動方向を運転者が十分に把握できる精度が得られることを確認できた(図2)。



【図2】

次に、無線通信機器を搭載した車両間で自律的に構築される VANET (Vehicular Ad Hoc Network) におけるメッセージ配送に関する研究を行った。

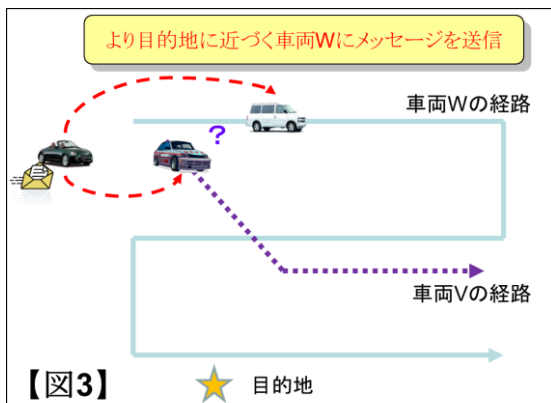
VANET の利用を想定したアプリケーションとして、車両が交通安全や交通事故、環境などに関する情報をセンシングし、それを車車間通信を用いて、ネットワーク内の特定の車両に届けたり、路側等に設置された情報収集装置に送信することで、大量の情報を収集するものなどが考案されている。

VANET における通信では、ネットワーク内の車両や路側端末など、地図上の任意の地点へ情報を届けることが必要とされる。また、VANET は、通信ノードとなる車両が非常に高い移動性を持つため、従来の MANET (Mobile Ad Hoc Network) の通信プロトコルでは効率良くメッセージを伝播させることが難しい。

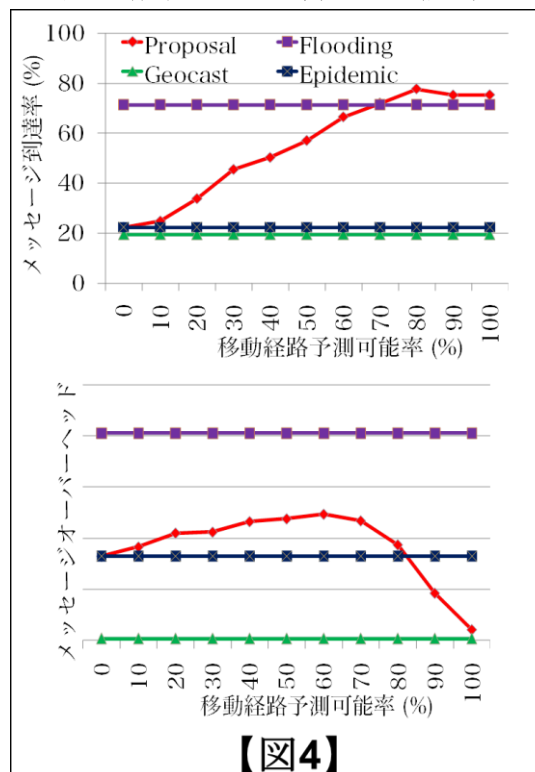
本研究では、メッセージの複製によるオーバーヘッドを抑えながら、メッセージの宛先への到達率を向上させることを目標に、近隣車両の移動予定経路情報を利用した情報伝播手法を提案した。

カーナビゲーションシステムを搭載した車両の運転者は、あらかじめ目的地を設定し、システムが誘導する経路通りに移動すると仮定する。提案手法では、各車両は、近隣にいる車両の移動予定経路情報を取得するため、自身の移動予定経路情報を含めたホームメッセージを定期的にブロードキャストする。送信すべきメッセージを保持する各車両は、近隣車両の移動予定経路情報を調べ、メッセージの宛先に最も近づく車両にメッセージを中継する。自車両が最もメッセージの宛先に近づく場合は、メッセージを保持したまま、中継先となる近隣ノードが現れるまで

移動を続ける。これを繰り返し行うことでメッセージを宛先に向けて中継していく(図3)。



提案手法を評価するために、交通流シミュレータとネットワークシミュレータを用いて、メッセージの宛先への到達率を調べるシミュレーション実験を行った。各車両が保持できるバッファサイズ、提案手法のシステムを搭載した車両の搭載率を変化させて、メッセージの到達率を評価した。VANETの範囲を1.4km×1.6kmの京都市内中心部とし、車両速度は最大60km/h、車両台数は60分で462台発生、メッセージサイズは1500bytes、メッセージの有効期限は300s、通信はIEEE802.11で帯域は12Mbpsとした。その結果、提案手法は、各車両の移動経路の予測が行えるときに、メッセージオーバーヘッドを抑えつつ、バッファサイズが小さい場合には単純なフラッディングの1.5倍程度、バッファサイズが大きい場合でも10%程度上回るメッセージ到達率を達成することを確認した(図4)。

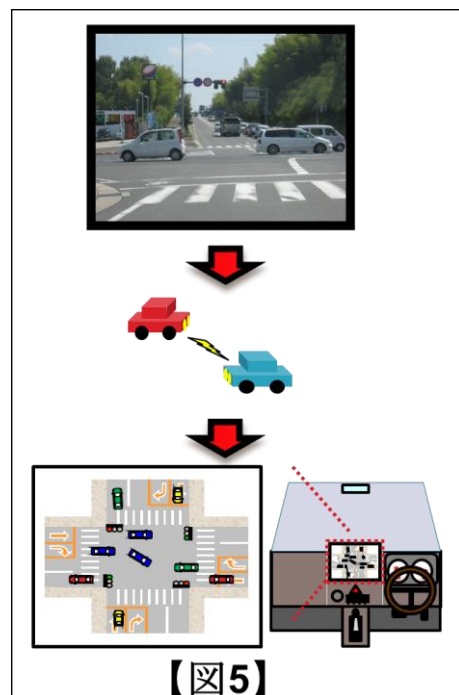


【図4】

(2) 近年、交通事故の多くは交差点で発生しており、その主な原因はドライバーの死角に存在する車両や歩行者である。そのため、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。

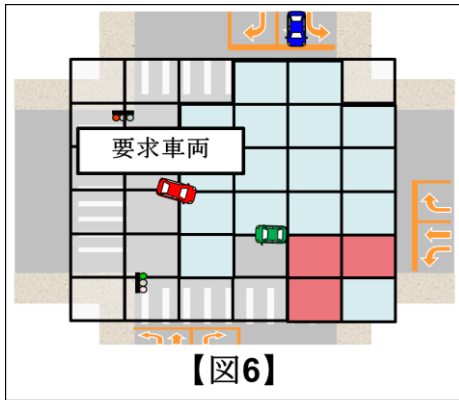
従来の研究では、交差点内に設置された特別なインフラによって交通安全支援を行うものが提案されている。しかし、交差点近辺の複数車両が撮影した交差点内の映像を車車間通信で交換することができれば、インフラなしに自車両から死角となる交差点内の状況把握が可能となる。ここで、映像のような大きなデータを複数の車両が車車間通信で送信する場合には、通信帯域を有効に利用することが重要な課題となる。

本研究では、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。交差点の全ての車両に映像を送信させると無線通信帯域を浪費するため、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した(図5)。



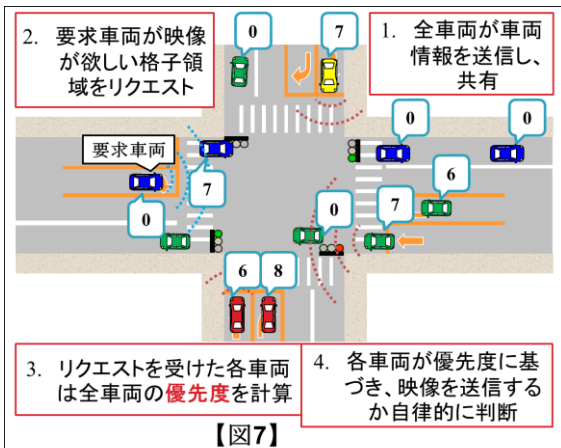
【図5】

提案手法では、まず、交差点内にいる各車両が、それぞれ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し共有する。それらの情報から交差点付近にいる各車両が、全車両について、映像を送信する優先度を計算する。優先度は、要求されている格子領域を高品質で撮影している車両に高い値を与える(図6)。そして、各進行方向で優先度が高い車両を選択する。各車両は他車両と優先度を比較し、



【図6】

映像を送信するかどうかの判断を自律的に行う (図7)。



【図7】

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。シミュレーション実験では提案手法で用いる優先度を算出する関数を決定するための予備実験、また提案手法が選定した車両が要求に応じた高品質な映像を送信出来ているかを評価するための評価実験を行った。予備実験では、映像を送信する優先度を決定するための複数の項目に対して、重みを変化させ実験を行い、優先度を算出する関数を決定した。

送信車両の選定手法の評価実験では、現実に近い環境での性能を評価するために、車間距離が 5~10 [m], 10~20 [m], 20 [m] 以上という 3 種類の車両密度を用いて、通信機器の搭載率 100%, 60%, 30% の場合それぞれについて実験を行った。その結果、提案手法では車間距離が 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。

最後に、交差点を再現した環境において、複数の車両を模したノードが撮影している映像を互いに交換し、取得した映像を変換、合成することで、リアルタイムに鳥瞰映像が作成できることを示すテストベッドを開発した。

鳥瞰映像を各ノードで合成する手順を図 8 に示す。各ノードは以下の二つの処理を並行して行う。

① 映像送信部

自身の WEB カメラでキャプチャした映像からフレームイメージを取得し、フレーム毎にアドホック通信を利用し、他ノードへ送信する。

② 鳥瞰映像作成部

他ノードから受信したフレームイメージに対して、透視投影変換を行う。透視投影変換とは、図 8 のように、空間を任意の視点から見たように、空間座標から画像座標への変換を行うものである。この変換では、変換前の画像中の 4 点の座標、変換後の対応する 4 点の座標を基に、変換行列を生成する。そして、変換行列を用いて幾何的に変換を行う。

本開発では、変換前の画像の 4 点の座標を取得する際、画像中の特徴点を抽出し座標を取得し、動的に変換を行う。変換された各方向からの画像を合成し、鳥瞰画像を作成する。画像を合成する際にも、変換と同様、画像中の特徴点を抽出し合成の基準点を設定し、動的に合成を行う。そして、合成を行った鳥瞰画像を提示する。



【図8】

以上の二つの処理を逐次的に行い、各ノードが鳥瞰映像を作成し、提示した。実際に 200 万画素 15fps のカメラと、Intel Core2Duo 2.26GHz メモリ 2GB の MS Windows XP マシン上で Visual C++ を用いてシステムを実装したところ、実時間で鳥瞰映像作成が行えた。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計2件)

[1] 小谷 和也, 孫 為華, 木谷 友哉, 柴田直樹, 安本 慶一, 伊藤 実, “交差点鳥瞰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,” 情報処理学会論文誌, 査読有, vol. 52, no. 6 (2011) (採録決定).

[2] Y. Takada, M. Bandai, T. Kitani, and T. Watanabe, “Cooperative Data Buffering with Mobile Sinks for Wireless Multimedia Sensor Network,” Journal of Information Processing, 査読有, vol. 18, pp. 96-109 (2010).

〔学会発表〕(計15件)

(発表は全て筆頭著者)

[1] 木谷友哉, “VANETにおける経路設定情報を利用したメッセージルーティングプロトコルの性能解析,” 情報処理学会研究報告, vol. 2011-ITS-44, no. 11, pp. 1-4 (静岡大学, 浜松市) (2011/3/10).

[2] 木谷友哉, “移動予定経路情報を利用可能なVANETでの時間軸を追加した接続性グラフの構築,” 第18回マルチメディア通信と分散処理ワークショップ(DPSWS2010)講演論文集, pp. 73-74 (青島サンクマール, 宮崎県日南海岸) (2010/10/28)

[3] 中村正人, 木谷友哉, 孫 為華, 柴田直樹, 安本慶一, 伊藤 実, “VANETにおける車両の経路情報を利用した情報伝播プロトコルの提案と評価,” 情報処理学会研究報告, vol. 2010-ITS-40, no. 6, pp. 1-8 (ビッグ愛, 和歌山市) (2010/3/5).

[4] 小谷和也, 孫 為華, 木谷友哉, 柴田直樹, 安本慶一, 伊藤 実, “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,” 情報処理学会研究報告, vol. 2010-ITS-40, no. 7, pp. 1-8 (ビッグ愛, 和歌山市) (2010/3/5).

[5] M. Nakamura, T. Kitani, W. Sun, N. Shibata, K. Yasumoto, and M. Ito, “A Method for Improving Data Delivery Efficiency in Delay Tolerant Vanet with Scheduled Routes of Cars,” Proc. of IEEE CCNC2010, pp. 1009-1013 (Las Vegas, NV) (2010/1/9) (査読有).

[6] K. Kotani, W. Sun, T. Kitani, N. Shibata, K. Yasumoto, and M. Ito, “Inter-Vehicle Communication Protocol for Cooperatively Capturing and Sharing Intersection Video,” Proc. of IEEE CCNC2010, pp. 958-962 (Las Vegas, NV) (2010/1/9) (査読有).

[7] 中村正人, 木谷友哉, 孫 為華, 柴田直樹, 安本慶一, 伊藤 実, “予定経路情報を用いた車車間情報配送効率の改善,” 上昇処理学会 DPSWS-17 論文集, pp. 129-134 (層雲溪温泉, 北海道) (2009/10/8) (査読有).

[8] 小谷和也, 孫 為華, 木谷友哉, 柴田直

樹, 安本慶一, 伊藤 実, “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,” 情報処理学会 DPSWS-17 論文集, pp. 135-140 (層雲溪温泉, 北海道) (2009/10/8) (査読有).

[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,” 情報処理学会 DPSWS-17 論文集, pp. 109-110 (層雲溪温泉, 北海道) (2009/10/7).

[10] 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ーリーミング手法の提案,” 情報処理学会研究報告, vol. 2009, no. 24, pp. 39-45 (東北大学, 仙台市) (2009/3/5).

[11] 澤 悠太, 木谷友哉, 柴田直樹, 安本慶一, 伊藤 実, “指向性アンテナおよび車車間通信を用いた歩行者位置追跡手法とその評価,” 情報処理学会研究報告, vol. 2009, no. 24, pp. 31-38 (東北大学, 仙台市) (2009/3/5).

[12] 中村正人, 木谷友哉, 孫 為華, 柴田直樹, 安本慶一, 伊藤 実, “各車両の予定経路情報を利用した車車間通信による情報取得手法の提案,” 情報処理学会研究報告, vol. 2009, no. 24, pp. 23-29 (東北大学, 仙台市) (2009/3/5).

[13] 澤 悠太, 木谷友哉, 柴田直樹, 安本慶一, 伊藤 実, “車車間通信を用いた歩行者位置推定の高精度化方式とその評価,” 情報処理学会関西支部支部大会講演論文集, vol. 2008, pp. 333-336 (京都リサーチパーク, 京都市) (2008/10/24).

[14] Y. Sawa, T. Kitani, N. Shibata, K. Yasumoto, and M. Ito, “A Method for Pedestrian Position Estimation Using Inter-Vehicle Communication,” Proc. of IEEE AutoNet 2008, (IEEE GLOBECOM Workshops), pp. 1-6 (New Orleans, LO) (2008/12/4) (査読有).

[15] 澤 悠太, 木谷友哉, 柴田直樹, 安本慶一, 伊藤 実, “指向性アンテナを搭載した複数車両の協調による歩行者位置検出方式,” 情報処理学会 マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOM02008) シンポジウム論文集, pp. 862-871 (定山溪温泉, 札幌市) (2008/7/10) (査読有)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

木谷 友哉 (KITANI TOMOYA)

静岡大学・若手グローバル研究リーダー育成拠点・特任助教 (テニュアトラック)

研究者番号: 40418786

(2) 研究分担者 なし

(3) 連携研究者 なし