

《様式B》

研究テーマ 「 920MHz を用いた交差点安全支援システムの研究開発」

研究責任者	所属機関名	愛知工科大学
	官職又は役職	教授
	氏名	宇野新太郎 メールアドレス uno-shin@aut.ac.jp
共同研究者	所属機関名	NEC エンジニアリング株式会社
	官職又は役職	インターネットターミナル事業部第3テクノロジー開発部内部部長
	氏名	栗岡千立
共同研究者	所属機関名	アイチシステム株式会社
	官職又は役職	代表取締役
	氏名	中戸與三郎

1. 実施内容および成果ならびに今後予想される効果の概要（1, 000字程度）

※産業技術として実用化の可能性や特許出願（予定も含む）の有無についてもご記載ください。

1. プロトコル検討&ソフト開発

プロトコル検討は研究責任者が行った。具体的には、920MHz 車載器が、デバイス検索により、920MHz 路側器を検索し、RSSI 値の一番高いものを選択する。次に 920MHz 車載器から 920MHz 路側器に対し、交差点に進出したことを表す交差点進入データを 920MHz 路側器に送信する。920MHz 路側器間は交差点進入データをマルチホップで送信し、最終的には交差点に設置されている管制器に対して、交差点進入データが送信される。管制器は交差点に進入しているすべての車載器に対し、920MHz 路側器を経由して、交差点進入データを送信する。交差点進入データを受けとった 920MHz 車載器は接続されている表示画面に他車が接近していることを表示する。920MHz 通信モジュールは共同研究先である NEC エンジニアリング（株）から優先的に提供していただいた。なお、本内容については、愛知工科大学宇野新太郎とアイチシステム（株）共同で、「交差点車両衝突防止システム」と題して特許出願を行った結果、2017 年 9 月に特許第 6204288 号として特許登録された。

2. 室内&実証実験

簡単な室内実験後に、実際に愛知県蒲郡市、愛知県高浜市、静岡県磐田市において、実証実験を行った。実際見通しの悪い十字路交差点で交差点から 20~50m 離れたところに 920MHz 路側器（各道路に

3台ずつ計9台)を配置し、管制器は交差点に配置し、2か所から車を近づけた。成功率(交差点の70m~150mぐらい手前で他車接近の表示を車載器につながれたPC上で行うことができ、交差点通過後に表示が消えた場合を成功とする)は、それぞれ、92%、80%、96%であった。今回の成果は国内学会ならびに国際会議にて発表を行った。

3. 商用化開発ならびに商用化実証実験

小型化・降雨対策については、共同研究先であるアイチシステム(株)ならびに実際の発注先であるエーデイ電子(株)と検討、試作を行った。8ビットマイコンを使った基盤を試作し、それに上記通信モジュールを接続した。路側器では、降雨対策用のケースに格納した。また、車載器は小型ケースに収容し、対向で通信ができていることを示すLED表示ができるようにした。実際に、静岡県磐田市での実証実験において、小型化された車載器と小型化・降雨対策を施した路側器とを用い、雨天時でも問題なく動作することを確認した。

4. 今後予想される効果

今回の実証実験で、信号機のない交差点手前約70m~150m手前でドライバーに他車接近表示を通知できることを確認した。なお、成功率は100%になっていないが、これは路駐している車により通信の不安定性が発生したことに起因している。路側器のアンテナ高を変えることにより改善されると考える。また、小型化された車載器、路側器も動作に問題がないことを確認できた。今後は実証実験をさらに行うとともに、車対車での出会い頭事故防止につなげていきたい。さらには、BLEを使って、車対車だけでなく、車対自転車、車対歩行者に適用していきたい。また、車載器を搭載していない車両に対しては、センサを使ってクルマ接近を交差点に設置された表示板に表示するシステムも同時に行っていきたい。今後は、総務省東海総合通信局への標準化の提案や自動車メーカ、カーナビメーカ、路側器メーカとの共同開発にもつなげていき、実用化を実現していきたい。

2. 実施内容および成果の説明(A4で、5ページ以内)

1. まえがき

交差点において、車対車、車対自転車、車対歩行者など出会い頭の衝突事故は後を絶ない。交通事故の中で一番多いのが追突事故であり、2番目が出会い頭事故¹⁾となっている。追突事故に関しては、車メーカーが追突防止装置を開発することにより効果を上げている半面、出会い頭事故については対策が遅れているのが現状である。また、交通事故の約4割が信号機のない中小規模の交差点で発生している²⁾。これを解決することは社会的な要請であり、緊急性も強く求められている。従来から、DSRC³⁾や700MHz帯⁴⁾などで多く研究されており、一部実証実験等が進められているが、設置対象も都市部の大規模交差点が中心となっている。また、設置コストも高価なものとなっている。筆者は、信号機のない中小規模の交差点向けに安価でかつ低消費電力の無線通信手段を使って実現ができないかを検討した結果、低コスト、低消費電力である920MHz帯⁵⁾に着目した。ここでは、まず今までの著者等の提案方式¹⁾の課題について述べ、その課題を解決するために、920MHzを使った交差点支援システム技術を提案する。今回プロトタイプを試作し、いくつかの実証実験も行ったので、その結果についても紹介する。

2. 様々な交差点安全支援技術

ここでは、現在検討され、一部実用化されている様々な交差点安全支援技術を簡単に紹介する。

2-1 DSSS

DSSS(Driving Safety Support Systems)⁶⁾は、従来のVICSを発展させたものであり、図1にあるように光ビーコンを使って、交差点に他車が近づいていることをドライバーに知らせるものである。ただし、図からもわかるように信号機のある大規模交差点が中心である。

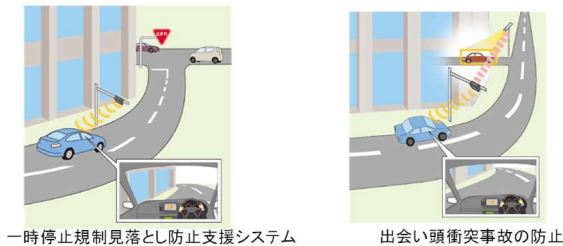


図1 DSSS

2-2 DSRC

DSRC(Dedicated Short Range Communication)⁷⁾は、5.8G帯のETCの発展形であり、サービス名

として図2に示すように、ETC2.0ともいわれている。この中で、安全支援として、道路上からの落下物や、渋滞末尾情報など、事故が起こりやすい急カーブなどで事前に音声で注意を促したり、また、交差点での出会い頭事故防止も検討されている。ただし、DSSSと同じように、大規模交差点が中心であり、設備コストや消費電力に課題が残っている。

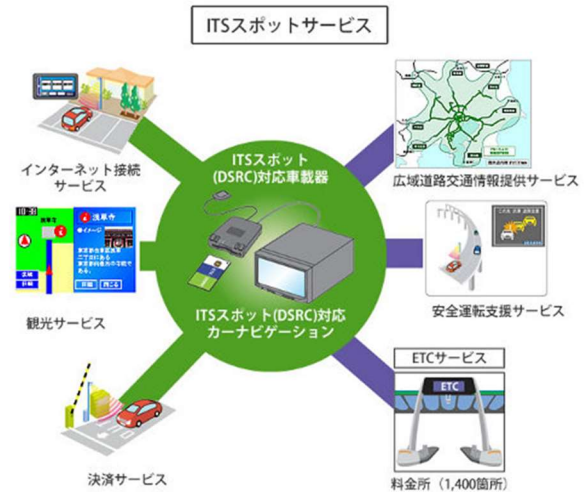


図2 ETC2.0

2-3 760MHzを使った安全運転支援

ITS専用周波数である760MHzについてはARIB STD-T109で検討され、トヨタ自動車はITSコネクト⁸⁾という製品名で一部商品化をしている。例えば、図3にあるように、交差点右折時に、対向車や歩行者をカメラで検知し、760MHzを使ってドライバーに知らせることができる。しかしながら、路側器は東京、名古屋などの大都市の大規模交差点に設置されているだけであり、信号機のない中小規模の交差点への対応はほとんど行われていないのが現状である。

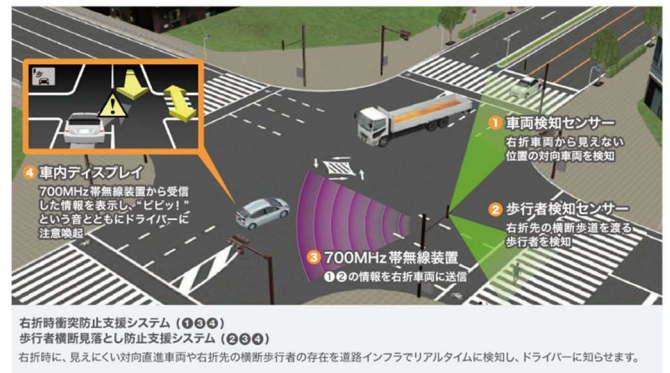


図3 ITSコネクト

2-4 車車間通信による安全運転支援

上記760MHzやWLANを車車間通信による安

全運転支援が検討されている。760MHz に関しては、車車間通信が路車間通信よりも先行すると言われている。インフラ設備が必要がなく、車両に搭載されればいいので、より実現が容易ということにある。車車間通信は、見通しの良いところでは効果が期待できるが、見通しの悪いところでは路車間通信に比べ、適用が困難な場合が多い。また、Honda はスマートフォンの WLAN を使って、見通しの悪い交差点での相手の存在を知らせる方法を検討している。ただし、通信距離や信頼性に課題が残る。

2-5 ASV による安全運転支援

ASV(Advanced Safety Vehicle)⁹⁾ における車側にミリ波の衝突防止装置を搭載し、衝突を検知する方法については、既に一部が実用化されている。しかしながら、前方への衝突には効果を発揮するが、交差点における見通しの悪いところでは発見が遅れ衝突してしまうケースも考えられ、すべてをカバーできていない。

2.6 海外の動向

特にアメリカ、欧州において、交差点における安全支援として、5.9GHz 帯 DSRC 路車間通信、5.9GHz 帯車車間通信(アメリカでは、IEEE802.11p/1609.4、欧州では ETSIES202663 規格ベース)が検討されており、一部実用化も検討されている。IEEE802.11p は日本の 760MHz ARIB STD-T109 にて参照されている¹⁰⁾。ただ、日本とは、周波数やチャンネル数が異なっている。

3. 今までの提案方式

3-1 提案方式(1)¹¹⁾

車載器として、ZigBee 端末、路側に ZigBee ルータ、交差点に ZigBee コーディネータを置き、ZigBee 端末が ZigBee ルータ経由で、ネットワークに参加後、ZigBee 端末から ZigBee ルータ経由で ZigBee コーディネータに生存確認データを送信し、ZigBee コーディネータは、交差点に近づいている ZigBee 端末が路線ごとにあるかないかというデータを、ネットワーク参加かつ交差点を通過していないすべての ZigBee 端末へ送信するプロトコルを開発し、これをもとに交差点における実証実験を行った。図4はシステム構成図である。実際に、信号機のない交差点に、2台の車両を近づかせ、他車接近表示が十分手前でできるかどうか、また、交差点を過ぎたところで、表示が消えるかどうかの試験を行い、車両を中低速で移動させ、試行回数と成功回数を計測した。

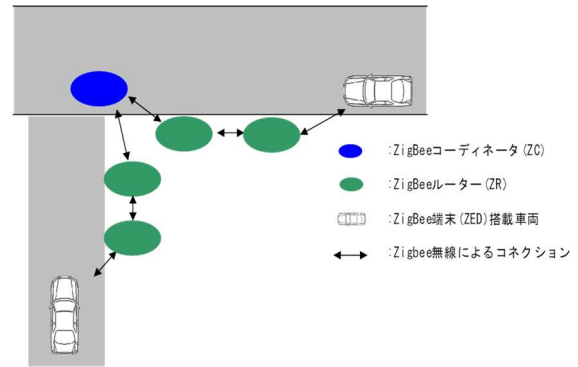


図4 提案方式1のシステム構成図

結果として自転車対歩行者、車(徐行)対歩行者、車対車(40km/h,60km/h,80km/h)において、成功率10割で、歩行者あるいは、他車が近づいていることを車載器につながるPC上に警告表示することができた。ネットワーク参加時間(ZigBee 端末がネットワーク参加要求を送信し、参加成功までの時間)としては、1233msec~1272msec となった。また、車両から他の車両への通知時間は、156msec~210msec となった。これは、総務省で検討されている700MHz帯安全運転支援通信システムにおける技術要件¹²⁾において「システム遅延時間+システム処理時間が400msec以内であることを満たしている。課題としては、ZigBee が使用している2.4GHz帯は、WLANとBluetoothと同じ周波数帯であり、高トラフィック下では、ZigBeeのチャンネルが使えない場合が想定される。また、ZigBeeは初めにネットワーク参加を行う必要があり、その分の通信時間が必要となる。ZigBeeの通信距離は高々100mぐらいであり、それ以上の通信距離があれば、少ない路側装置で交差点のかなり手前から通知が可能となりうる。

3-2 提案方式(2)¹³⁾

上記課題を解決するために、ZigBeeと920MHzとを混在させた交差点安全支援システムを提案した。920MHzは、免許のいらぬISMバンドであり、HEMS(Home Energy Management System)¹⁴⁾、RFID¹⁵⁾、ZigBee IP¹⁶⁾で使用されているが、ITSへの適用については、のり面モニタリングシステムで、高速道路ののり面の状態を、80km/hで走行する車両に920MHzで送信する例¹⁷⁾しかないのが現状である。920MHzの特性としては、電波の伝搬距離が長く、見通しの悪い環境での通信距離は、道路沿いで200mという報告がある¹⁸⁾。また、回り込み特性もよく、消費電力も小さく、現状では電波干渉は少ない。ここでは、車載器と路

側器間に 920MHz を採用した。システム構成図を 図 5 に示す。

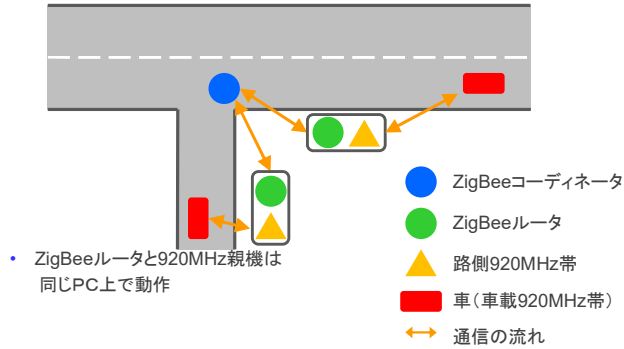


図 5 提案方式 2 のシステム構成図

車載 920MHz 帯装置は、路側 920MHz 装置の検索を行い、路側 920MHz 装置と車載 920MHz 装置が通信し、路側 920MHz 装置が受信したデータを ZigBee ルータ(ZR)経由で ZigBee コーディネータ(ZC)に送信し、ZigBee コーディネータは車載 920MHz 装置宛に他車情報を送信し、車載 920MHz はそれを受信すると、他車接近表示を行う。車両が交差点を通過したら、車載 920MHz 装置から交差点通過データを ZigBee コーディネータに送信し、他車両に当該車両の交差点通過を知らせる。

今回採用した通信モジュール並びに I/F カード¹⁹⁾を 図 6 に示す。なお、920MHz 通信モジュールに関しては、PHY は IEEE802.15.4d に準拠しており、MAC 層は独自方式となっている。また、電源は電池駆動となっている。



図 6 通信モジュール並びに I/F ボード

実証実験では、ZC、路側器間では 35~45m とし、モジュールの高さ(アンテナ高)は、路側器:約 1.8m、車載器:約 0.8~1m、ZC:0.7m とした。送信出力は 10mW とした。また、路側に設置されているモジュール間でネットワークを構築する。車載器が乗っている車両の车速は、20~40Km/h である。結果としては、6 回中 6 回で、交差点からおおよそ 150m 手前で、警告の表示があり、安定した結果が得られた。また、伝搬遅延は 266msec~1918msec となった。課題としては、2.4GHz 帯は WLAN や Bluetooth と同じ周波数帯であり、高トラフィック時には ZigBee チャンネルが不足する場合も起こりうる。2.4GHz 帯は 5dB ぐらいの降雨の影響が考えられ、安定性に影響がある。2.4GHz 帯は通信距離は最大 100m と、920MHz に比べると通信距離が短い。ZigBee はネットワークを常時張っている状態なので、切断された場合回復時間がかかる。異なる方式が混在することで、メンテナンスが難しい。

4. 提案方式

以上のことを鑑み、すべて 920MHz を用いた低コスト・低消費電力な交差点安全支援システムを提案する。

4-1 システム構成ならびに通信手順

システム構成は、図 7 に示すように、車載器、路側器、管制器(前節の ZigBee コーディネータに相当)で構成される。車載器は路側器を検索し、見つけた場合に、車載器から交差点進入通知を路側器にデータ送信する。路側器は、車載器から受け取った交差点進入通知を管制器までデータの中継して送信する。管制器は交差点情報をまとめ、すべての路側器にデータを送る。路側器が車載器までデータ送信する。車載器は他車接近表示を画面に表示し、運転者に通知する。ZigBee を用いた場合と異なるのは、路側器間で常時ネットワークを張る必要がなく、データが発生したらバケツリレー的に送信するだけでよいので、消費電力の低減化が図れ、ネットワークを常時監視する必要もない等のメリットがある。車載機フローを 図 8 に示す。

4-2 実証実験

路側器ならびに管制器計 10 台を 20m から 40m までの間隔で設置し、アンテナ高を 1.0m とし、送信出力 10mW に設定した。車 2 台を 40km/h 以下のスピードで信号機のない交差点に近づけた。路側器、車載器の外観をそれぞれ 図 9, 10 に示す。実証実験を 3 回行い、その結果を表 1 に示す。ここで成功率とは、交差点十分手前で車載器に接続

された PC に他車接近表示が出るかどうか、交差点を通過後表示が消えるかどうかで判定している。

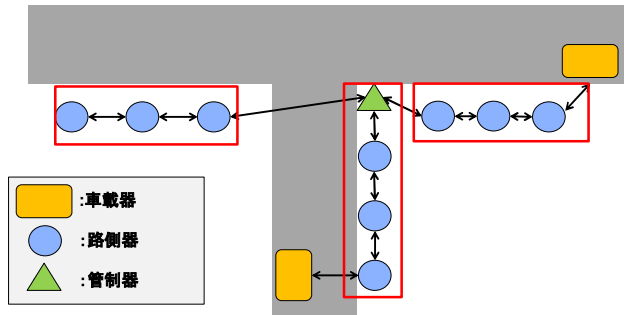


図 7 提案方式のシステム構成

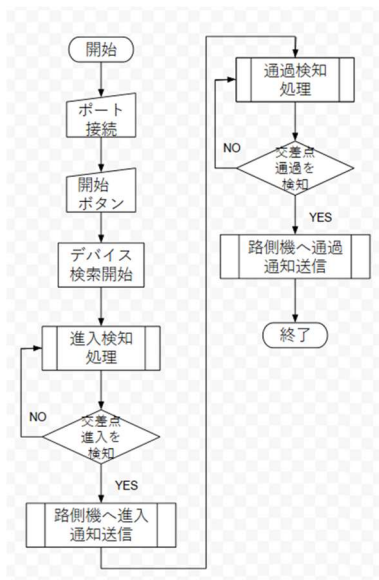


表 1 実証実験結果

	試行回数	成功回数	成功率	伝搬処理遅延
実験1	13	12	92%	299msec-688msec
実験2	10	8	80%	350msec-760msec
実験3	25	24	96%	-

図 8 車載機フロー



図 9 車載器外観

なお、3 回目の実証実験を行うに当たり、図 10, 11 のように車載器、路側器の小型化を図り、さらに路側器は防水ケースに入れるようにした。1 回目、2 回目の実証実験では通信モジュールに I/F ボードを接続していたが、制御ソフトをマイコン化し、小型化した。その結果、ソフトウェアの動作が安定し、成功率が飛躍的に向上した。なお、3 回目の実証実験では雨天での実験であったが、動作上全く問題は発生しなかった



図 10 車載器の小型化



図 11 路側器の小型化並びに防水化

5. まとめと今後の課題

920MHz を用いた交差点安全支援システムの検討を行い、実証実験において良好な結果を得た。本システムは信号機のない中小規模の交差点における出会い頭衝突事故防止をターゲットにしている。従って、将来的には、DSSS, DSRC, 760MHz を使ったシステムとの共存が可能である。なお、今回の実証実験では車載器の表示装置は PC を用いたが、スマートフォンによる表示も検討していきたい。また、車対車だけでなく、車対自転車、車対歩行者の検討も行っていきたい。また今後は、アンテナ高や路側器最適配置を検討し、様々な形状の中小規模交差点での実証実験を行っていきたい。

参考文献

- 1) http://www.ms-ins.com/pdf/rm_car/jiko_data.pdf
- 2) 愛知県警察本部交通部「平成 27 年度愛知県の交通事故発生状況」
<http://www.pref.aichi.jp/police/koutsu/jiko/kout>

- 3) ARIB STD-T75, 2002 年 7 月
- 4) ARIB STD-T109, 2012 年 2 月
- 5) ARIB STD-T108, 2012 年 2 月
- 6) 一般財団法人 UTMS 協会
<http://www.utms.or.jp/japanese/system/dsss.html>
- 7) 一般財団法人 ITS サービス高度化機構
<http://www.utms.or.jp/japanese/system/dsss.html>
- 8) トヨタ自動車 ITS コネクト
<http://toyota.jp/technology/safety/itsconnect/>
- 9) 国土交通省
<http://www.mlit.go.jp/jidosha/anzen/01asv/>
- 10) 平山、澤田、“V2X 通信技術の動向と将来展望”、電子情報通信学会誌、Vol.98, No.10, pp860-863, 2015 年 10 月
- 11) 宇野、“近距離無線を用いた交差点安全支援”電子情報通信学会モバイルとアプリケーション研究会、MoNA2013-38, 2013 年 9 月
- 12) 総務省情報通信審議会 情報通信技術分科会 移動通信システム委員会報告 2011 年
- 13) 宇野、“920MHz を用いた交差点安全支援”電子情報通信学会モバイルとアプリケーション研究会、MoNA2015-16, 2015 年 8 月
- 14) i エネコンソーシアム
<http://www.ienecons.jp/hems/>
- 15) 一般社団法人 日本自動認識システム協会、“920MHz 帯 RFID (パッシブ型) 周波数利用ガイドライン Ver. 1.1”、平成 27 年 9 月
- 16) ZigBee Alliance, “ZigBee IP and 920Ip”,
<http://www.zigbee.org/zigbee-for-developers/network-specifications/zigbeeip/>
- 17) 藤原、“センサネットワークによる道路監視システムの開発”、ワイヤレステクノロジーパーク 2013 センサネットワーク
- 18) 橋爪、“920MHz 帯無線技術の動向とスマートコミュニティへの適用例”、ZigBee フォーラム 2014
- 19) NEC エンジニアリング株式会社
<http://jpn.nec.com/engsl/pro/wireless/ty92ss-e.html>
- 20) 宇野、“920MHz を用いた交差点安全支援 (その 2)”電子情報通信学会モバイルとアプリケーション研究会、MoNA2016-12, 2016 年 8 月
- 21) 宇野、“車載センシング技術の開発と ADAS、自動運転への応用” 第 9 章第 1 節、技術情報協会、2017 年 5 月
- 22) 宇野、“920MHz を用いた交差点安全支援に関する検討”、電子情報通信学会 2017 ソサイエティ大会 B-15-3, 2017 年 9 月