

災害時車両アドホックネットワーク技術の開発

大山 卓 金子 富
浅野 欽也 浜口 雅春

総務省は、東日本大震災を踏まえ、災害時に情報伝達の基盤となる情報通信の耐災害強化に向けて必要な技術の研究開発・実証実験の基本計画を掲げた。OKIは東北大学、KDDI株式会社、株式会社KDDI研究所と共同で「災害に強いネットワークを実現するための技術の研究開発」を受託し¹⁾、2013年3月に東北大学において、共同で公開実証実験を行なった。OKIは災害時車両アドホックネットワーク技術の開発を担当したので、その方式設計、シミュレーション評価、試作機検証を報告する。

システム概要

東日本大震災ではネットワークインフラが損壊し、被害地あるいはその周辺の人々の安否が確認できず、電話、メール等を使うための通信路確保が必要とされた。災害によって損壊したインフラに代わり、機動性のある車載無線機を用い、アドホックネットワークを構築できれば、災害現場、避難所、病院及び災害本部等の拠点間の通信路確保が可能になるため、災害時に短時間で拠点間を結ぶ車両ネットワークの実現が望まれる。

研究開発内容

今回、開発した災害時車両アドホックネットワークの目標は、2 km四方内に孤立した避難所、病院及び自治体等が10か所程度存在すると想定し、複数の無線通信手段を使い、30分以内にネットワーク構築することである。無線通信手段は、既存あるいは実用化に近い無線通信を想定し、ETCで既に実用化されている国内の狭域通信システム(ARIB STD-T75)²⁾、700 MHz帯高度道路交通システム(ARIB STD-T109)³⁾及び欧米の狭域通信システム(IEEE 802.11p)の無線仕様を参考にした。IEEE 802.11pの使用周波数は5.9 GHz帯であるが、日本で利用できる狭域通信の周波数(5.8 GHz帯)で検証を行なった。以下、この3つの無線通信方式を、T75、T109及び5.8 GHz-OFDMと呼ぶ。これらの無線通信を使った災害時車両アドホックネットワークシステムを図1に示す。この車載無線機は複数の通信手段から1つを選択して送信するマルチプロトコル通信機能と、中継通信によって2 km四方の通信を

可能にするマルチホップ通信機能を装備する。ユーザは図1に示す様にスマートフォンを用いて、音声通話・インターネットアクセスが可能になる。そのために、車載2.4 GHz帯無線LAN(Wi-Fi : IEEE 802.11 b/g)のアクセスポイントを装備している。システム要件及び無線通信仕様を表1及び表2に示す。

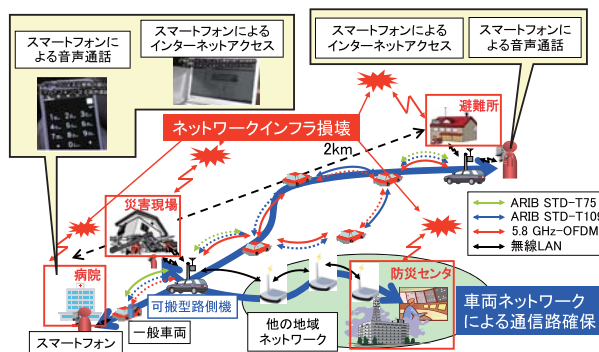


図1 災害時車両アドホックネットワーク構築

表1 システム要件

項目	内容
サービスエリア	2km 四方に存在する拠点間を無線通信で結ぶ
ネットワーク構築	30分以内
通信手段	T75、T109あるいは5.8 GHz-OFDM から選択
中継手段	T109あるいは5.8 GHz-OFDM で、中継通信を行う
伝達する情報	災害情報、音声、ネットワーク構築の制御情報
通信モビリティ性	半固定(現場まで移動後、停止)

表2 無線通信仕様

	T75	T109	5.8 GHz-OFDM
中心周波数	5.840 GHz	760 MHz	5.7775 GHz
送信電力	10 mW	10 mW / MHz	
占有帯域幅	4.4 MHz	9 MHz	
MAC方式	TDMA	CSMA	
変復調方式	$\pi/4$ shift QPSK	OFDM-QPSK	
実効伝送速度	3.3 Mbps	6 Mbps	
直接通信距離	最大 数 100 m		

研究開発の課題

先の開発内容に記載した様に、課題をまとめる。

- ・10箇所程度の拠点を想定する。
- ・複数の無線通信を使い、30分以内に、拠点間を結ぶ。
- ・アプリケーションは、音声、Web情報を想定する。

・音声通信のため、遅延を0.1 sec程度に抑える。
上記の課題に対して、以下の様に取り組んだ。

無線通信方式設計

図2は災害時車両アドホックネットワークの方式設計及び評価フローである。このネットワークの特徴を、以下に確認する。

①災害時の拠点間での通信路確保

拠点間を少ない台数で構築するには、無線メッシュネットワークよりも、ストリング型が有利である。

②車載無線機の配置場所

車載無線機は、見通しの良い道路に配置するとした。

③スマートフォン (Wi-Fi) による VoIP の適用

車両通信は非IP系が前提のため、IP通信を考慮する。

④災害時向けに改良した車両アドホックネットワークプロトコルの適用

災害時車両アドホックネットワークは、一度、経路構成すると、頻繁に車両が移動するわけではない。無線アドホックネットワークの一種であるMANETで検討されているプロトコル(OLSR、AODV)は、車両移動に伴う経路変更に対応し、経路構築に関わる制御パケットを頻繁に送受信する。そのため、災害時車両アドホックネットワークに適用すると、制御パケットが冗長になる可能性がある。

⑤平常時にも利用可能

平常時に安全運転支援アプリケーションとして利用している装置を用い、災害時に車両ネットワークを構成すれば、周波数有効利用が可能である。

ルーティングプロトコルの評価・検証は、これまでに、他機関において提案・評価され、実用化に向けた課題、標準化の検討が行なわれている^{4),5)}。他機関ではIEEE 802.11系評価・検証が主流であるが、ITSで検討されている各種無線通信方式が災害時車両ネットワークに適用可能か、どの程度の通信品質確保が可能か、不明であった。現在、MANETで、多数の提案方式から、OLSRv2及びDYMO (AODV v2)の2種類に絞られている。ここでは、通信イベント前に中継通信経路を構築する方式(OLSR)と通信イベント発生後に中継通信経路を構築する方式(AODV)をベースに評価した。図2に示す様に、ネットワークトポロジー構成は、2 km四方の中に災害対策本部があり、災害対策本部から各拠点に向けた情報配信(下り情報)、各拠点から災害対策本部に向けた情報収集(上り情報)を想定したスター型とストリング型の2種類で評価を行なった。ストリング型は

2つの拠点間を直線的に配置した中継車両で結ぶ場合であり、スター型の特殊な形態がストリング型であると言える。しかし、両者に、中継パケットの衝突発生原因に顕著な相違がある。中継経路に枝分かれが生じるスター型は分岐点での電波干渉により、中継伝送効率が低下するために、2つのトポロジーで比較評価した。また、2つのトポロジー構成に対して、2つのルーティング方式を用いて、スループット特性及び遅延時間を評価した。

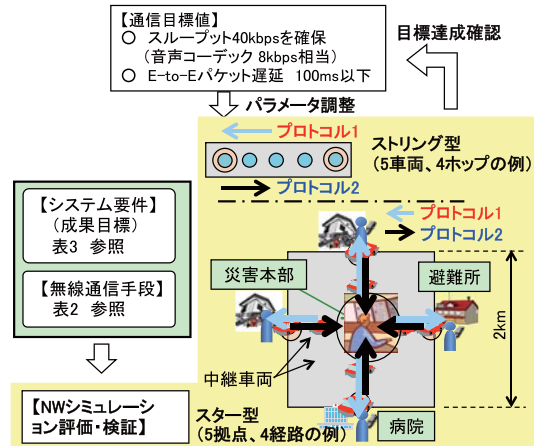


図2 無線通信方式設計・シミュレーション評価フロー

無線通信評価及びその試作機開発

(1) 評価目標及び評価条件

表3にシミュレーション諸元を示す。本シミュレーション評価では、車載無線機を見通しの良い道路に配置することを前提にし、伝搬距離の減衰は自由空間損失を用いた。遅延時間評価で、ハードウェア処理遅延時間は実機のPing測定結果値(1ホップ当り0.01 sec)を用いた。即ち、(End-to-End許容時間) = (要求値 0.1 s) - {0.01 s × (ホップ数)} 式(1)から、遅延時間が許容時間内か、否かで求めた。

表3 シミュレーション諸元

	項目	内容
目標	ネットワーク構築時間	30分以内
	受信スループット	40 kbps (音声 8kbps 相当)
	パケット遅延時間	0.1 sec 以下
評価条件	サービスエリア	2 km 四方
	拠点数	2~10 拠点
	使用無線通信方式数	1, 2
	チャンネル数	1 チャンネル/1 無線通信方式
	ルーティングアルゴリズム	OLSR
	アプリケーションデータ長	100 Bytes
	車両間距離	約 500m
	車両台数	2 km 四方に 25 台配置
	電波伝搬	自由空間損失 (建物遮蔽無)
	車両配置トポロジー	ストリング型, スター型
	車両速度	停止状態

(2) シミュレーション評価結果

無線通信方式が1種類の場合、OLSR、AODV共にストリング型では、要求値を満足できたが、スター型では両方式共に、スループット及び遅延時間共に要求値を満足できなかった。無線通信方式が2種類の場合、ストリング型はスター型の経路数が1本の場合と同じであり、要求値達成を確認できた。そこで、図3及び図4に、無線通信方式が2種類、スター型のシミュレーション結果を示す。図5に評価したトポロジー配置を示す。2 km四方中に災害対策本部を含む拠点数が7か所、経路数が6経路の場合であり、災害対策本部とその他の周辺の拠点間を車両ネットワークで結ぶ。シミュレーションでは、災害対策本部から各拠点を下り方向（通信方式1）、各拠点から災害対策本部を上り方向（通信方式2）として、上り方向と下り方向の通信路が独立にして、評価した。

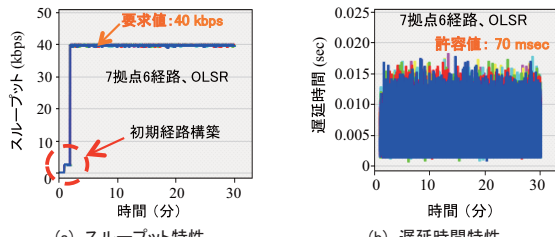


図3 受信スループット特性及び遅延時間特性 (OLSR、スター型下り、7拠点6経路)

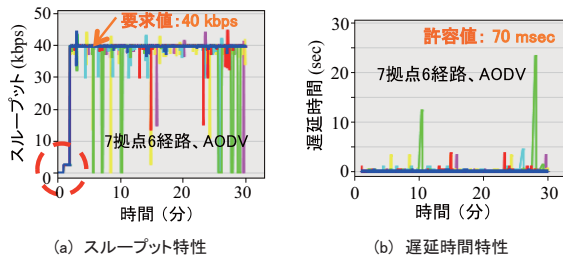


図4 受信スループット特性及び遅延時間特性 (AODV、スター型下り、7拠点6経路)

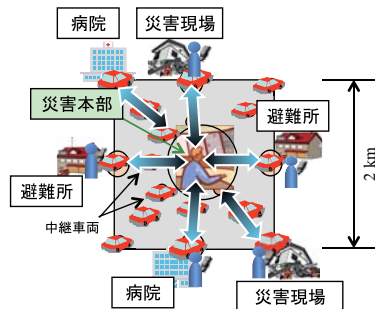


図5 7拠点、6経路のネットワークトポロジー

シミュレーションでは、約1分程度で初期経路構築を確認したので、初期経路構築時間（開始1分後から2分後まで2 kbps）後、40 kbpsのトラフィック負荷をかけ、スループットの安定性及び遅延時間の変動を評価した。この様に、上り方向と下り方向に、無線通信方式を分け、通信路を独立化すると、通信品質を改善できた。

OLSRに関するパラメータhello interval (2 sec)、traffic control interval (5 sec)、neighbor hold time (6 sec)、topology hold time (15 sec)は、それぞれ、10、25、60及び60 secと変更した。また、AODVに関するパラメータを変更したが、要求値を満足するに至らなかった。そこで、OLSRに絞り、スター型、かつ、4経路から6経路の範囲で、スループット及び遅延時間を評価し、それらの特性から得たスループットの最頻度値及び変動幅、遅延時間の最大値を表4に示す。この結果、OLSR改良方式を利用することで、要求値を満足することを確認できた。

表4 スループット、遅延時間の比較

(a) スループット	最頻度値(kbps)		変動幅(kbps)	
	下り	上り	下り	上り
5 拠点 4 経路	40	39	38.9-40.1	29.5-40.1
6 拠点 5 経路	40	39	38.9-40.1	35.6-39.8
7 拠点 6 経路	40	38	38.9-40.1	11.8-39.8

(b) 遅延時間	最大値(sec)	
	下り	上り
5 拠点 4 経路	0.014	0.027
6 拠点 5 経路	0.015	0.036
7 拠点 6 経路	0.035	0.035

(3) 試作機開発

5.8 GHz帯車載無線機、700 MHz帯車載無線機及びT75車載無線機の試作機開発を行なった。複数の異なる通信方式を1つの装置内に搭載し、無線通信方式の選択（マルチプロトコル）、マルチホップ送信判定を判断するネットワーク制御部を介して、送受信を行なう。

試作機にはシミュレーションで評価したOLSR改良方式をベースとした機能を実装した。東北大学デモで配置した可搬型路側機を図6に示す。図中に示す5.8 GHz-OFDM及びT109はマルチホップ通信、5.6 GHz-11aは災害情報配信やインターネットへの接続に用いた。

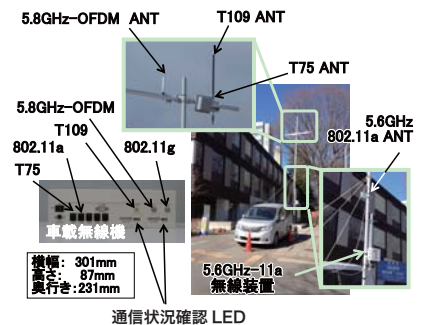


図6 東北大学デモで配置した可搬型路側機

システム検証

2013年3月に、東北大学において、公開実証実験を行なった際の管理サーバ画面を 図 7 に、図中の配置に至るネットワーク構築手順を以下に示す。

- ①災害発生を受け、車両基地から各車両を出動。
- ②各車載無線機は、周辺の車載無線機との通信状況を 図6中の通信状況確認LED表示部で確認しながら現場に急行。
- ③各車両は通信状況を確認しながら持ち場に付く。
- ④可搬型路側機に搭載されたネットワーク構築状況モニタリングツールにて確認。

東北大学デモでは、車両ID1, 2, 3, 5, 6, 7は事前に車両配置を行ない、車両ID4を災害対策本部（青葉記念会館前）から出動し、ネットワーク構築状況を管理サーバ画面で確認した。その結果、ネットワーク構築時間は車両出動から約3分であった。また、全体のネットワーク構築時間は約10分であることを確認した。

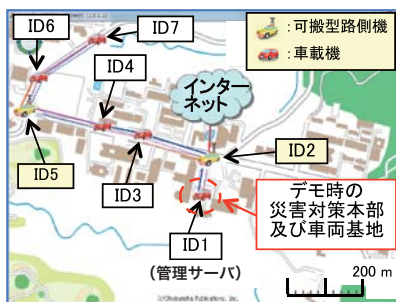


図7 ネットワーク構築状況モニタリングツール

まとめ

今回、マルチプロトコル及びマルチホップ通信技術を適用した、災害時車両ネットワーク構築の方式検証及び実証実験を行なった結果を以下にまとめる。

- ・シミュレーション評価から、OLSR改良方式により、7拠点程度までであれば、スループット40 kbps、遅延0.1 sec以下となることを確認した。
- ・実環境を想定した東北大学デモで、6台を事前に配置、1台を災害対策本部から出動する方法で、経路構築が車両出動から約3分、全体の構築時間は約10分であり、30分以内に構築できることを確認した。

短時間で災害時車両アドホックネットワークを構築するため、周辺の車載無線機との通信品質を方式毎に監視し、通信品質の良い通信方式を選択する機能追加や、制御パケット発生を抑制する様に改良したネットワークプロトコルを検討し、その有効性を確認した。また、車両に搭載する試作機を使い、フィールド実証実験で、目標達成を確認した。

尚、本技術は、総務省の「情報通信ネットワークの耐災害性強化のための研究開発」（平成23年度第3次補正予算）による委託を受けて実施した研究開発による成果である。◆◆

参考文献

- 1) 総務省報道資料. (http://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/02tsushin03_03000074.html)
- 2) ARIB STD-T75狭域通信システム, 2008年12月, 1.5版策定.
- 3) ARIB STD-T109 700MHz帯高度道路交通システム, 2012年2月, 1.0版策定.
- 4) 坂田史郎他, “アドホックネットワークと無線LANメッシュネットワーク”, 電子情報通信学会 B, Vol. J89-B, No. 6, pp.811-823, 2006.
- 5) 間瀬憲一, “車々間通信とアドホックネットワーク”, 電子情報通信学会 B, Vol. J89, No.6, pp.824-835, 2006.

筆者紹介

- 大山卓：Takashi Ohyama. 社会システム事業本部 交通・防災システム事業部 無線技術研究開発部
金子 富：Yutaka Kaneko. 社会システム事業本部 交通・防災システム事業部 無線技術研究開発部
浅野 欽也：Kinya Asano. 社会システム事業本部 交通・防災システム事業部 コンポーネント開発部
浜口雅春：Masaharu Hamaguchi. 社会システム事業本部 交通・防災システム事業部 無線技術研究開発部

TIP 【基本用語解説】

ストリング型トポロジー
(2つの拠点間を直線的に配置した中継車両で結ぶトポロジー構成)

AODV (Ad Hoc On Demand Distance Vector)

CSMA (Carrier Sense Multiple Access)

DYMO (Dynamic MANET On-demand Routing)

IETF (Internet Engineering Task Force)

MAC (Media Access Control)

MANET (Mobile Ad-hoc Networks)

OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)

OLSR (Optimized Link State Routing)

SIP (Session Initiation Protocol)

TDMA (Time Division Multiple Access)