

## エニキャストを用いた自動車のための 地域別緊急通報システムの実現

朝長 康介<sup>†</sup> 太田 昌孝<sup>††</sup> 荒木 啓二郎<sup>†††</sup>

近年、移動体通信の発展、自動車の急速な情報化により、情報通信を行う自動車が登場している。一方、ITS の枠組みにおいては、自動車のための緊急時自動通報システムがとりあげられている。従来、電話網では最寄りの警察や消防に通報する際、全国共通の電話番号による自動接続が用いられてきた。これにより、地域別の通報受理と通報への迅速な対応が可能となっている。一方、現在、電話網がインターネットに統合されつつあり、将来的には移動体通信に関してもインターネットの接続エリアが既存の携帯電話網程度に広がるのが期待される。そこで、本論文では、ITS の通信基盤としてインターネットを想定し、従来の電話網同様の通報を実現するために端末の IP アドレスに直接基づくエニキャストを用いた緊急通報を提案する。また、実験においては、自動車内に構築した移動ネットワーク環境を車外の無線 LAN と接続し、車載端末の位置に応じたエニキャスト・サーバとの通信を行うことで運用における評価を行った。

### District-based Emergency Call System for Vehicles Using Anycast

KOSUKE TOMONAGA,<sup>†</sup> MASATAKA OHTA<sup>††</sup> and KEIJIRO ARAKI<sup>†††</sup>

As the growth of mobile computing, automobiles can be equipped with telecommunication systems easily. Therefore new emergency call systems have been considered in ITS architecture to realize more quick arrangements of ambulances, police cars, fire trucks and so on. In the traditional telephone network, subscribers can talk with the closest emergency services by using nation wide telephone numbers such as 110, 119. In this paper, we suppose the Internet as ITS infrastructure, and describe design of a district-based emergency call system by using anycast which realize general data transmission to the closest emergency services. And we also evaluate the anycast emergency call system from a mobile network in a car.

#### 1. はじめに

高度道路交通システム (Intelligent Transport Systems: ITS) は、交通渋滞や事故等の問題解決のために自動車、道路、センタシステム等を要素として構築される交通システムである。ITS の例としては、交通情報の配信、高速道路での料金収受サービスがすでに提供されている。また、車載のセンサから車両の位置、速度、状態等をセンタシステムにおいて収集し、運行情報管理や事故情報管理を提供する試みもある<sup>1)</sup>。

国土交通省が提示する ITS の枠組みにおいては、利用者サービスの 1 つに緊急時自動通報があげられている<sup>2)</sup>。これは緊急車両の運行支援を目的としている。従来、電話を用いた緊急通報では 110 番、119 番のような全国共通の電話番号が用意され、通報者の位置に応じ、最寄りの警察や消防と自動で接続する経路制御が用いられてきた。これにより、地域ごとの警察や消防は、通報に対して迅速に対応することが可能となっている。そして、地域別緊急通報は ITS においても有効であると考えられる。

一方、ITS ではサービス共通の通信基盤が確立されおらず、代わりにインターネットですべてを賄おうという考えもある。たとえば、インターネット自動車システムでは、自動車が移動体端末として、また、センタシステム等が固定端末としてインターネットに接続され、サービス共通の通信基盤を構成する<sup>3)</sup>。これにより、新たなサービスを導入する際の基盤開発コストの抑制とサービスを越えた機器の共通利用が可能に

<sup>†</sup> 九州大学大学院システム情報科学府  
Graduate School of Information Science and Electrical Engineering, Kyushu University

<sup>††</sup> 東京工業大学大学院情報理工学研究所  
Graduate School of Information Science and Engineering, Tokyo Institute of Technology

<sup>†††</sup> 九州大学大学院システム情報研究院  
Graduate School of Information Science and Electrical Engineering, Kyushu University

なる。

また、将来においては、既存の電話網における回線交換網とパケット交換網がインターネットに統合され、車載のインターネット端末は走行中においても現在の携帯電話並みに通信を維持することが可能になると筆者らは期待している。なぜなら、移動体通信網全体へのIPの適用は標準化団体3GPP<sup>4)</sup>の主要課題であり、同団体に属する主な移動体通信事業者は、無線アクセス網も含めた移動体通信網にIPを適用するための実証実験を行っているからである。また、低電力無線としては無線LAN, PHS, 携帯電話等があるが、セルが小さいために移動体端末の高速移動に短時間でハンドオーバーが必要となる無線LANにおいても、直径400m程度の連続セルで時速260km<sup>5)</sup>、直径500m程度の連続セルで時速330km<sup>6)</sup>の移動を実現する高速ハンドオーバー技術がすでに存在している。

さて、ITSの通信基盤にインターネットを活用する際には、電話網同様、緊急通報を地理的な区域に応じ行える通信網を前提とすべきである。なぜならば、本来、アクセス網は地理に従い、ある範囲に収まる性質を有しており、地理的な区域に応じた経路制御の導入が容易だからである。また、アクセス網を地理に応じて活用するメリットとしては、区域に応じた経路制御により、緊急通報の導入に際して既存のアプリケーションへの変更が最小限で済むことや、GPSに代表される端末の測位技術を用いなくても、大まかな通報場所を管轄区域ごとに特定可能であることがあげられる。

そこで、電話網と同様の方式が検討されるが、電話番号は本質ではない。なぜなら、電話番号は電話網において経路の決定に利用される本質的なものであるが、インターネットにおいてその役割はIPアドレスが担うからである。伝統的な電話端末を利用するインターネット電話では電話番号の利用が自然であるが、必須というわけではなく、昨今の携帯電話端末程度の複雑さを有する端末では、もはや電話番号にこだわる必要はない。まして、電話以外の多くのインターネットのアプリケーションはそもそも電話番号を持たず、相手のIPアドレスが分かれば直接の通信が可能である。もちろん、これらのアプリケーションでも電話番号を利用してアプリケーション内で何らかのデータベースサーバにアクセスして電話番号をIPアドレスに変換することは可能である。しかし、そこまで電話番号にこだわる必然性がないばかりか、端末どうしが直接の通信を行えるにもかかわらず、不要なデータベースサーバが導入されたことによりシステムの耐障害性は低下する。大規模災害発生時に消防、警察にはつながるが

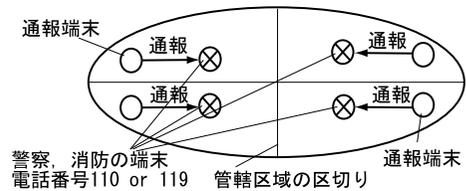


図1 電話網の緊急通信

Fig. 1 Emergency call of the traditional telephone network.

データベースサーバにはアクセスできないという事態も起こりうるからである。これについては、2.4節で詳しく説明する。

そして、インターネットのアクセス網における地理的な経路制御にはエニキャストが有用である。エニキャストとは、同一のIPアドレス(以下、エニキャスト・アドレス)を共有する複数の端末のうち、送信端末からネットワーク的に最寄りのものにパケットを配送する通信方式である<sup>7)</sup>。ここで、エニキャスト・アドレスを持つサーバは、エニキャスト・サーバと呼ばれる。インターネットのアクセス網において、管轄区域の境界部分におけるルータの設定でエニキャストの境界を管轄区域に応じて形成すれば、ネットワーク的な距離が地理に対応し、エニキャスト・アドレスが、まさに電話網の110番や119番に相当する役割を担う。

本論文では、ITSの通信基盤としてインターネットを想定し、従来の電話網と同様に固定端末や移動体端末にかかわらず、通報者がいる管轄区域に応じた緊急通報を実現するために、端末のIPアドレスに直接基づくエニキャストを用いた緊急通報を提案する。本方式により、緊急通報を受付ける警察、消防機関はITSのセンタシステムととらえられ、エニキャスト・アドレス宛の通報パケットを直接受け取ることになる。また、実験では自動車内に移動ネットワーク環境を構築し、車載端末の位置に応じたエニキャスト・サーバとの通信を行うことで運用における知見を得た。

## 2. 既存の緊急通報

### 2.1 電話網の緊急通報

従来、電話網の緊急通報では、通報者の位置に応じて最寄りの警察や消防と通報者とが自動で接続される経路制御が用いられてきた。110番では県ごとの警察本部に、119番では市町村ごとの消防本部に接続される。これにより、通報先が管轄区域ごとに分散され、警察や消防は通報に対して迅速に対応することが可能となっている。図1に電話網の緊急通報システムにおける経路制御モデルを示す。電話網では管轄区域にほ

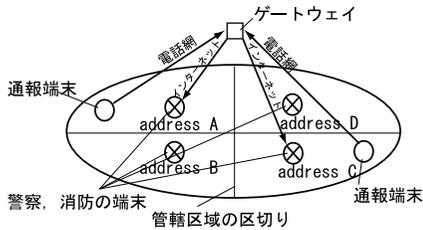


図 2 電話網のメール・ウェブ機能を用いた通報

Fig. 2 Emergency call of the telephone network by using E-Mail or Web.

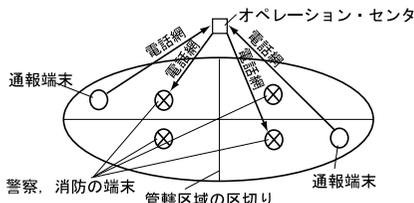


図 3 HELPNET サービスを用いた通報

Fig. 3 Emergency call using the HELPNET service.

ば対応した形で経路制御を行い、警察、消防の端末への通報を管轄区域ごとに実現している。

## 2.2 電話網のメール・ウェブ機能を用いた通報

近年、電話網ではゲートウェイ・サーバを介したウェブ接続やメール送受信機能が提供されているが、全国共通の URL やメールアドレスにより、最寄りの警察や消防と通信する機能は備わっていない。

図 2 に電話網のメール・ウェブ機能を用いた通報モデルを示す。図中、ゲートウェイは管轄区域に応じて接続を切り替えないため、通報端末は警察や消防のサーバごとに異なるアドレスを通報場所に応じて使い分ける必要がある。また、他にも GPS により携帯電話端末の位置を特定し、その位置情報をメールやウェブ等で送信する仕組みが存在している。

## 2.3 電話網における商用の通報サービスの事例

電話網を利用した ITS の緊急時自動通報システムの事例として、商用の HELPNET サービス<sup>8)</sup>を紹介する。図 3 にサービス・モデルを示す。HELPNET では、警察、消防の端末と通報端末との間にオペレーション・センタが介在し、通報をサポートする。まず、サービスの加入者は、専用の車載端末もしくは携帯電話端末からオペレーション・センタに通報する。通報時には、まず、加入者情報や GPS で測定された自動車の位置情報データ等が送信され、それを受信したオペレーション・センタでは通報者との通話を開始する。通話により状況把握を行ったオペレーション・センタは、通報者から最寄りの警察、消防等の救援機関に代

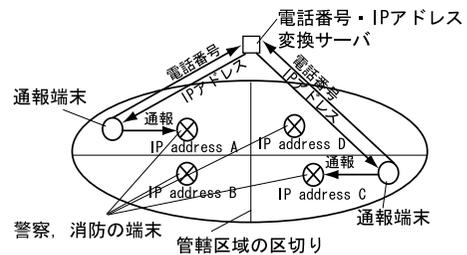


図 4 電話番号変換を用いたインターネット電話の通報

Fig. 4 Emergency call with the IP telephone system using an IP address translation from a telephone number.

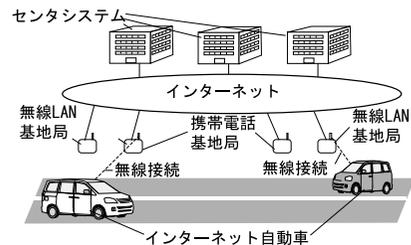


図 5 インターネット自動車システム

Fig. 5 InternetCAR System.

理で通報し、救援機関では通報者への対応を開始する。

## 2.4 インターネット電話による通報

インターネット電話を用いた通報では、110 番や 119 番等の電話番号を問合せ側の場所に依じた IP アドレスに変換することも考えられる。具体的には DNS の拡張である ENUM<sup>9)</sup> にそのような機能を付与すれば可能である。この場合の通信モデルを図 4 に示す。通報端末は電話番号・IP アドレス変換サーバと通信し、110 番あるいは 119 番といった電話番号を現在地に適した通報先 IP アドレスに変換した後、その IP アドレスにより通報パケットを送信する。この際、通報端末の位置検出には、通報端末の IP アドレスと位置情報を対応付けるデータベースの利用が考えられる。また、通報端末が測位装置を用いて位置情報を通達する仕組みも考えられる。

## 2.5 インターネット自動車による通報

ITS 共通の通信基盤が構築されれば、サービスごとに個別の通信基盤を開発する必要がない。また、各サービスを越えた機器の利用が可能となる。そこで、共通の通信基盤として、インターネットですべてを賄おうとする考えがある。たとえば、図 5 に示されるインターネット自動車システム<sup>3)</sup>では、インターネット自動車(以下、自動車)が移動体端末として、センタシステム等が固定端末としてインターネットに接続にされ、多様なサービスの通信基盤を構成する。また、

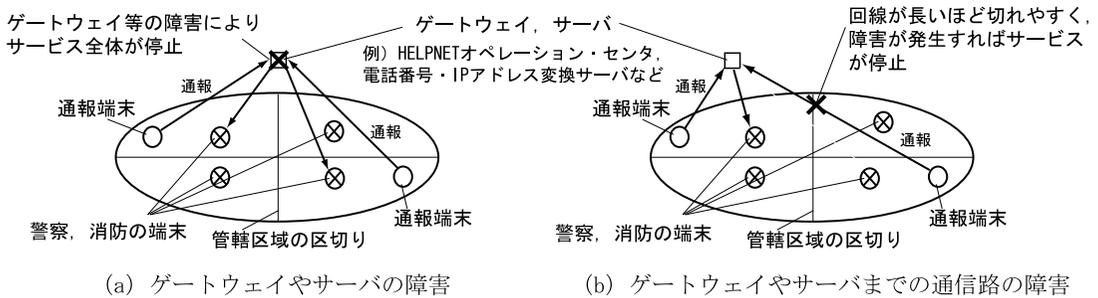


図 6 ゲートウェイにかかわる 2 つの問題  
Fig. 6 Two problems concern a gateway.

主要な機能としては、主に 2 つの機能が提供される。

- 自動車-センタシステム間の自由な通信
- 情報再利用のための共通情報プラットフォーム

ここで、センタシステムとは自動車からの情報収集、あるいは自動車への情報提供を行うシステムと定義されている。将来的には警察、消防も自動車からの情報収集等を行うと考えられ、よって、本論文では警察、消防をインターネット自動車システムにおけるセンタシステムととらえる。ただし、インターネット自動車システムでは、地理的に最寄りのセンタシステムに通報するための方式が議論されていない。そのため、2.2 節、2.3 節、2.4 節で紹介した遠隔地のゲートウェイやサーバを用いる方式が考えられる。しかし、図 6 (a) に示すようにゲートウェイ等に障害が発生すれば、通報システムが停止する可能性がある。また、図 6 (b) に示すように回線が切れた場合も同様であるが、回線は長いほど切れやすい。そのため、遠隔地にあるゲートウェイ等を用いる方式は事故や災害等で通報システムが停止する可能性が高く、高い信頼性が期待される緊急通報には適切ではない。

### 3. エニキャストを用いた緊急通報

本章では、既存の電話網と同様の緊急通報をインターネットで実現するため、アクセス網の地理的な経路制御にエニキャストを用いる方式を提案する。これにより、インターネットに接続する自動車あるいは車載の端末等の移動体端末からも利用可能な緊急通報の実現を目指す。

#### 3.1 提案方式

##### 3.1.1 概要

本論文の方式は、アクセス網において緊急通報用にエニキャストの経路制御を管轄区域に応じて行うものである。管轄区域ごとにある警察、消防のエニキャスト・サーバには記憶が容易な IP アドレスとして、たとえば IPv4 アドレスとして、110.110.110.110 とい

たエニキャスト・アドレスが付与される。また、一般のアクセス網においては、従来一般の経路制御プロトコルを用い、管轄区域の境界部分におけるルータの設定でエニキャストの境界を管轄区域に応じて形成する。このことは 3.1.3 項で詳しく説明する。

また、本方式は、遠隔地のゲートウェイやサーバをいっさい用いない。なぜなら、図 6 で示したようにゲートウェイやゲートウェイとの通信路の障害によりシステムが停止する問題があるため、緊急通報の方式として望ましくないからである。これは、インターネットの基本原理であるエンドツーエンド原理<sup>10)</sup>にも適っている。本来、インターネットでは端末(エンド)間の直接通信(エンドツーエンド)が可能であるため、不必要なゲートウェイを介在させることにより、信頼性を低下させたりゲートウェイに負荷を集中させたりすべきではない。

本方式の利点としては、アクセス網、通報端末、エニキャスト・サーバにおいて、通報用の測位置置や特別な通信ソフトウェアを用いず、また、一般に利用されていない経路制御プロトコルを用いないことがあげられる。それゆえ、現在のインターネットへの導入が容易である。一方、欠点としては、管轄区域よりも細かな精度の位置情報を扱えないことがあげられる。これらは 3.2 節における既存の研究との比較において明らかにする。

ところで、エニキャストを緊急通報に用いる提案は文献 11) においてもなされており、本論文はこれを発展させたものである。具体的には、本論文により、アクセス網が管轄区域に収まらない場合においても緊急通報を実現可能とする。また、運用方法や既存の研究との比較においても明確な記述を行う。

##### 3.1.2 設計方針

本研究の方式では、図 6 に示されるようなゲートウェイをいっさい用いず、警察や消防の端末と通報端末が直接通信する方式を目指す。つまり、通報用のエ

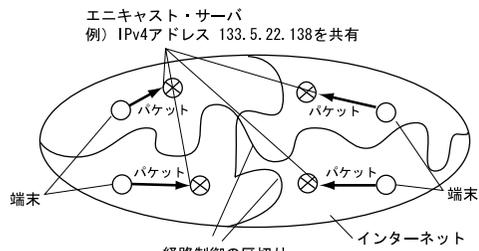


図 7 エニキャスト  
Fig. 7 Anycast.

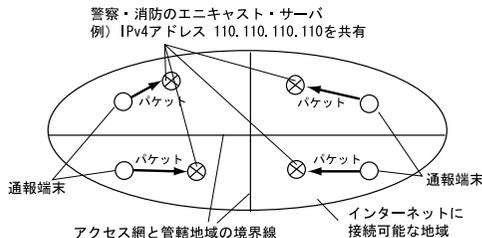


図 8 アクセス網と管轄区域が一致する場合におけるエニキャスト  
Fig. 8 Anycast when an access network and an emergency district cover the same areas.

ニキャスト・アドレスを警察、消防の端末に付与し、通報端末は地理的に最寄りの端末にエニキャスト・アドレス宛のパケットを直接送信するよう設計する。

まず、GPS や無線 LAN を用いた測位装置を用いることで、精度の高い位置情報による通報者の位置通知、通報先との自動接続を検討した。しかし、測位を行えない端末では通報先の選択さえ行えず、通報の受け手では大まかな位置検出すら行えない可能性がある。そこで、本研究では、まず既存の電話網同様、端末における測位装置を前提としない。つまり、通報パケットのための経路制御はアクセス網で行い、測位装置や測位用ソフトウェア等はいっさい用いない。また、通報の受け手における位置検出の精度は、電話網と同様、管轄区域に応じて行えるようにする。これにより、通報端末やサーバでは測位装置の取り付けや測位用ソフトウェアのインストールが不要となる。

次に、特別な通信ソフトウェアの利用を検討した。特別な通信ソフトウェアを前提とすれば、インストールされていない端末に対して通報先の選択が行えない等、測位装置を前提とする場合と同様の問題が生じる可能性がある。また、従来一般に利用されていない経路制御プロトコルを前提とすれば、対応していないルータでは通報パケットが配送されない可能性がある。そこで、本研究では、通信ソフトウェアに関して、一般に利用されるウェブやメール等既存のアプリケーションのみを端末の前提とし、経路制御プロトコルに関して、RIP や BGP 等現在普及している経路制御プロトコルのみをルータの前提とする。これにより、既存の端末やルータを用いた緊急通報の導入が、現在のインターネットにおいて容易となる。

3.1.3 設 計

図 7 に示すように、エニキャストは、通常、経路のメトリックに従ってネットワーク的に最寄りのサーバとの通信を実現し、その境界は管轄区域の境界とは一般に一致しない。そこで、アクセス網において、エニキャストを用いて管轄区域に応じた経路制御を実現す

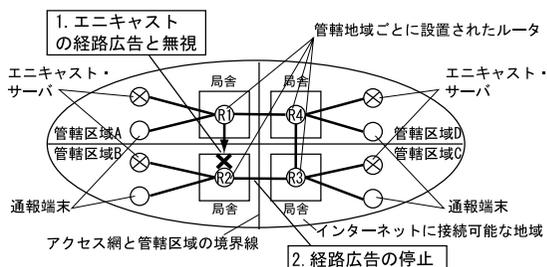


図 9 エニキャストを用いた緊急通報のための経路広告  
Fig. 9 How to advertise routing information for emergency calls using anycast.

るには設定が必要となる。この設定により、たとえば図 8 に示すように管轄区域に応じた経路制御が実現される。ここで、アクセス網としては PPPoE を用いず DSL による接続を電話局単位で提供する場合や、携帯電話、PHS、無線 LAN のように低電力無線接続を無線局単位で提供する場合がある。以下、考える 4 つすべての場合について検討した結果を示す。

まず、図 8 で示したように警察や消防の管轄区域とアクセス網において両者がカバーする地域が完全に一致する場合、管轄区域をまたいで隣接するルータではエニキャストの経路情報を交換しない設定が必要となる。図 9 に経路情報を交換しないための 2 つの方法を示す。具体的には、ルータ R1 からルータ R2 のように経路情報を広告しても受け取らない方法と、ルータ R2 からルータ R3 のように、そもそも経路広告をしない方法である。前者は運用中にルータ R2 の設定を誤ることにより、管轄区域 B の通報が管轄区域 A に届いてしまう可能性が生じる。そして、もし、管轄区域を越えてエニキャストの経路情報が交換されれば、図 7 で示したように地理的に複雑な区分けに経路制御が従ってしまうが、これは経路広告を受け取る側が責任を持つべきことである。よって、前者の方式の利用は当然であるが、意図しない経路制御を未然に防ぐため、後者の方式との併用が望まれる。

次に、複数の管轄区域を 1 つのアクセス網がカバー

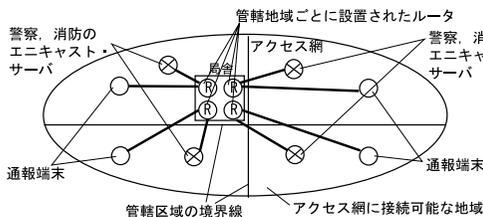


図 10 アクセス網が複数の管轄区域をカバーする場合におけるエニキャスト

Fig. 10 Anycast when an access network covers some emergency districts.

する場合、収容ルータを管轄区域ごとに分ける設定が必要となる。たとえば、1つのアクセス網が4つの管轄区域に接続を提供している場合が図10である。この場合、図のように、管轄区域ごとに通報端末をルータに収容する設定が必要となる。また、接続上、管轄区域をまたいで隣接するルータには、上述したエニキャストの経路情報を交換しない設定が必要となる。これらの設定により、各ルータでは管轄区域ごとにエニキャスト・アドレス宛パケットの経路を扱える。ただし、収容ルータを管轄区域ごとに分けられない場合として、1台の無線局が複数の管轄区域に接続を提供する場合がある。その場合、管轄区域の区別を経路制御で行えず、通報端末が存在する管轄区域とは別の管轄区域にある警察等の端末に通報が届いてしまう問題が生じる。同様の問題に対し、電話網では警察等の端末が互いに通報を転送し合うことで対処し、大きな問題とはなっていない。よって、筆者らはエニキャスト・サーバに通報を転送する機能があれば問題ないと考える。

また、1つの管轄区域を複数のアクセス網がカバーする場合は、上述したエニキャストの経路情報を交換しない設定が、管轄区域をまたいで隣接するルータに必要となる。そのうえで、各アクセス網は管轄区域を担当するエニキャスト・サーバまでの接続を提供する。たとえば、図11に示すように4つのアクセス網が1つの管轄区域をカバーする場合、各アクセス網では管轄区域をまたいで隣接するルータでエニキャストの経路情報を交換せず、管轄区域のエニキャスト・サーバに接続を提供する。

最後に、アクセス網と管轄区域において、カバーする地域が完全に一致しない場合は前2者の場合の組合せで済む。

一方、ここでエニキャストを用いた緊急通報システムに適さないアクセス網としては PPPoE や PPP を用いたものがあり、以下に2つの理由を述べる。第1に、2.5節の図6で示した遠隔地のゲートウェイや

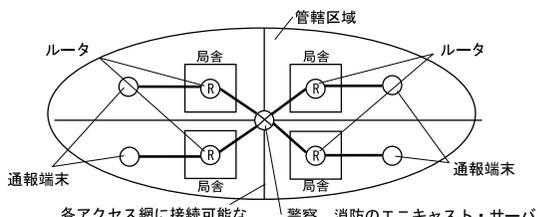


図 11 複数のアクセス網が管轄区域をカバーする場合におけるエニキャスト

Fig. 11 Anycast when some access networks cover an emergency district.

サーバと同様、PPPoEサーバや PPPoEサーバまでの通信路の障害によりシステムが停止する可能性があるため、緊急通報システムに適さないからである。第2に、PPPoEでは一般に県単位の接続が提供されており、エニキャスト・アドレス宛のパケットはアクセス網の経路制御に従わず、県ごとの PPPoEサーバにとってネットワーク的に最寄りのエニキャスト・サーバに配送されてしまうからである。これは、せっかく地理と対応したアクセス網の物理層のトポロジがデータリンク層の PPPoE という介在物により、ネットワーク層に反映されなくなったためである。よって、県単位で通報を管理する警察は別であるが、市町村単位の消防の緊急通報システムに一般の PPPoE は適さない。

さて、エニキャストによる緊急通報を実現したアクセス網においては、警察等の緊急通報サービスに専用ドメイン名をそれぞれ付与し、エニキャスト・アドレスとの対応付けを DNSで行うことが考えられる。しかし、信頼性の観点からは DNSを用いなくても動作するように、通報者にとって記憶が容易な IPアドレスを割り当て、それを用いるべきである。なぜなら、大規模災害発生時には警察、消防とは通信が可能だが、図6に示したような障害が発生し、遠隔地の DNSサーバとの通信が不能となる事態が起こりうるからである。

### 3.1.4 耐障害性の向上

エニキャスト・サーバの障害に関しては別サーバへの経路が選択されず、緊急サービスが停止してしまう可能性がある。そこで、サービスごとに予備として基本と異なるエニキャスト・アドレスをさらに1つ以上割り当てる。また、追加されたエニキャスト・アドレス1つずつに、それぞれ個別のエニキャスト・サーバ群を用意し、エニキャスト・アドレスを共有させる。一方、クライアント側ではサービス要求が成功するまでエニキャスト・アドレス1つずつとの通信を試行する。このように、全部のアドレスを試行することにより耐障害性を高める方法は、電子メールでは古くから

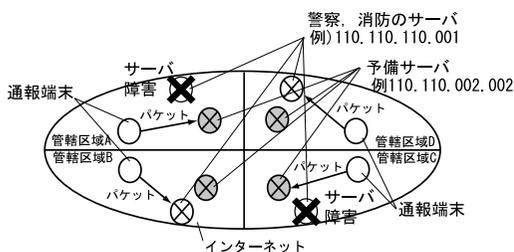


図 12 エニキャスト・サーバにおける耐障害性の向上

Fig. 12 Enhancement of fault tolerance of anycast servers.

行われており<sup>12)</sup>、また、対応していないアプリケーションでも耐障害性は高まらないが通信自体は行える。図 12 に予備としてエニキャスト・アドレス 1 つを割り振った例を示す。図では、管轄区域 A、管轄区域 C における警察等のサーバに障害が発生しているが、それぞれの区域における通報端末は別のエニキャスト・アドレス 110.110.002.002 を用いることで予備サーバへの通報を行える。

### 3.2 既存の研究

#### 3.2.1 エニキャストを用いた方式

エニキャストを緊急通報に用いることは文献 13) においても提案されているが、経路制御としてはパケットの送信元アドレスに応じて通報先エニキャスト・サーバを切り替える方式しか述べられていない。よって、地理に応じた経路制御の実現方法が不明であるし、地理に応じない経路制御を用いた方式も考えられる。たとえば、ネットワーク的には最寄りのエニキャスト・サーバに接続し、通報者の位置情報、通報内容等を送信することで、実際には高速・耐障害性のある警察や消防側のネットワークで地理的に最寄りのものに連絡を届けることが可能となる。

文献 13) の方式で地理に応じた経路制御を行う場合、アクセス網では通報端末の送信アドレスごとに多数の経路情報を管理し全ルータで設定する必要があり、運用面での負担が大きい。さらに、移動体端末では通信開始時の地理的な位置に応じて送信元アドレスを変える必要があり、異なる送信元アドレスを持つ通信が同時に複数動作する等実装に困難をとめない、運用への負担はさらに重くなる。一方、地理に応じた経路制御を行わない場合は、地理的に最寄りの警察等の端末に連絡するために通報端末の物理的な位置情報が必要となる。たとえば、すべての通報端末に測位装置や位置情報を扱う通報用の特別な通信ソフトウェアが不可欠となり、インターネットへの導入が困難となる。

ところで、文献 13) では、エニキャストを用いた経路制御の区切りによりエニキャスト・サーバ間で DoS

攻撃による負荷が分散され、同攻撃への耐障害性が高まるという利点が述べられている。これは本論文の提案方式でも同様である。

さて、文献 13) に比べ、本研究の方式には次のメリットがある。まず、宛先アドレスであるエニキャスト・アドレスに応じた経路制御により、運用面での負担が軽減される。なぜならば、アクセス網では、通報用の宛先アドレスに応じた経路情報のみを管理するため、管轄区域をまたいで隣接するルータのみを設定すればよいからである。また、通報端末には通報パケットの送受信に特別な装置やソフトウェアをいっさい必要としないために導入が容易である。

#### 3.2.2 マルチキャストを用いた方式

地理に応じた経路制御の方式は文献 14) において提案されており、緊急通報にも利用可能である。同方式を用いたネットワークでは、地理的な範囲を任意に定め、その範囲内にあるすべての端末に緊急通報パケットを送信することが可能となる。しかし、導入には、通報パケットを扱う全ルータでパケット転送を扱う部分への機能の追加・修正が必要となり、実現は困難である。さらに、GPS の搭載を前提としているため、すべての通報端末に測位装置が不可欠であるのも実現を困難にする。また、GPS では、屋内や建物の陰等衛星の捕捉が困難な場所において一般に測位精度が悪化するという欠点もある。しかも、文献 14) の方式では、通報パケットを端末に直接配送する末端のルータで、パケットごとのアドレス付け替えやカプセル化が必要となり、NAT と本質的に同じで、アプリケーションが制約される等、数々の問題が引き起こされる。

また、マルチキャストを多用するために大量の不要なパケットが配送されてしまう。たとえば、マルチキャストではリング・サーチと呼ばれる端末の探索方式が用いられる。これは、あるマルチキャスト・アドレス・グループに参加する端末が応答するまで、TTL を増大させながら探索パケットの到達範囲を拡大してゆく方式である。図 13 (a) に示すように、マルチキャストでは周囲に応答する端末が不在の場合、探索パケットの TTL を増大させながら探索範囲を広げるため、広域に大量のパケットが配送される。そして、探索範囲内に当該マルチキャスト・アドレスの受信者が多数存在するが、返事をすべき者がいなかった場合にも、大量のパケットが広域に配送されることになる。また、図 13 (b) に示すように、たとえ 1 つの端末が応答すれば十分な場合でも、多数のサーバから応答パケットが返される。さらに、図 13 (c) に示すようにパケット落ちが発生した場合、近くに応答可能な端末がありな

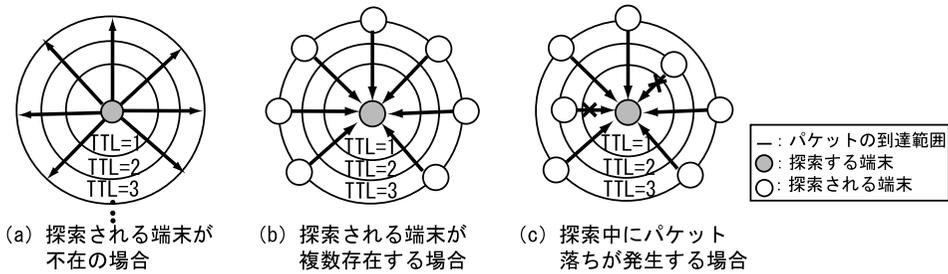


図 13 マルチキャストを用いたリング・サーチの欠点

Fig. 13 Disadvantage of the ring search using multicast.

から、さらに大きな TTL で探索することにより多数のサーバから応答パケットが返される場合もある。

さて、マルチキャストや GPS を用いる方式に比べ、本論文の方式には次のメリットがある。まず、エニキャストを用いた経路制御は従来一般の経路制御プロトコルを用いて実現可能であるため、通報パケットを扱う全ルータでパケット転送を扱う部分への機能の追加・修正が不要である。また、GPS を搭載しない端末でも管轄区域ごとに大まかな位置検出が可能である。さらに、あらかじめ通報用の経路を用意するため、比較的少ないパケットでの通報が実現される。

#### 4. 実験

本章では、実際に構築した自動車内の移動ネットワークとエニキャスト・サーバを用い、車載端末からエニキャスト・サーバの切替えを確認することにより、運用面において得られた知見について述べる。

##### 4.1 実験環境

実験で構築した自動車内の移動ネットワークとアクセス網について図 14 を用いて説明する。図中、移動ネットワークは車載のモバイル・ルータで車外のインターネットと無線 LAN で接続した。また、車内では通報端末を有線 LAN 経由でモバイル・ルータに接続し、車外の接続を共有する形でインターネットに接続した<sup>15)</sup>。また、アクセス網は 5 カ所に設置した無線 LAN 基地局ルータ 5 台で構成し、2 つの管轄区域をカバーしているものと想定した。

##### 4.2 実験

実験環境におけるアクセス網を管轄区域に対応させるため、ルータを 2 つのグループに分け、モバイル・ルータが異なるグループのルータに收容されるようにした。また、経路制御はグループごとに異なるエニキャスト・サーバにパケットが配送されるように設定した。具体的には、図 14 で示すグループ a の無線 LAN 基地局ルータに收容されている場合はエニキャ

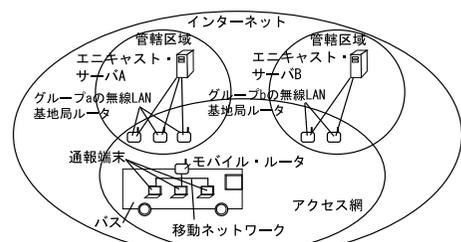


図 14 移動ネットワークとエニキャスト・サーバを用いた実験環境

Fig. 14 Experiment environment with a mobile network and anycast servers.

スト・サーバ A に通報パケットが配送され、グループ b の場合はサーバ B に配送されるよう設定を行った。また、エニキャスト・サーバには通報を受理するアプリケーションとして、メール・サーバの qmail と WWW サーバの apache をインストールした。

##### 4.3 実験結果

無線基地局ルータとの接続を切り替えながら、エニキャスト・サーバに対する WWW とメールを用いた通信を行ったところ、管轄区域に応じたサーバと通信を行うことが可能であった。メールの送信では、エニキャスト・アドレスを持つ SMTP サーバと直接通信を行う必要があったため、メール・クライアントのアカウント管理機能を利用して通報用アカウントを作成する準備をしなければならなかったが、他は通常どおりのメール送信が行えた。一方、WWW においてはサーバ側で通報用ページのキャッシュを無効にする設定が必要であったが、他はエニキャスト・アドレスに対応した URL をブラウザで閲覧する操作のみで通報が行えることが確認された。

##### 4.4 考察

実際に運用することにより、得られた知見を述べる。まず、特別な通報用アプリケーション、測位装置、経路制御、ゲートウェイを必要としない分、エニキャストを用いた緊急通報は環境の構築が容易である。たとえば、

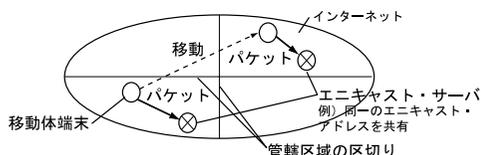


図 15 エニキャスト利用時の移動による通信の切断

Fig. 15 Disconnection when a mobile host moves using anycast.

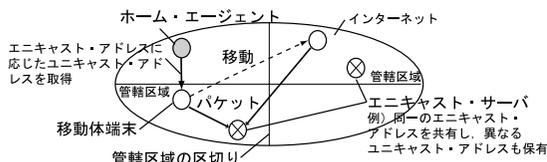


図 16 三角経路除去機能による通信の維持

Fig. 16 Keeping connection with the function which removes triangle routing.

ルータ側では経路制御の設定を変更するだけで動作が実現し、以降の運用においては変更の必要がなかった。さらに、通報者の位置検出は、通報を受け付けたサーバについて担当の管轄区域を確認するだけ実現された。

## 5. 今後の課題と方向性

本論文の緊急通報のモデルでは、電話に限らない多様なインターネット・アプリケーションの利用が期待される。しかし、今回の実験では、長時間にわたり長時間通信を必要とする電話のようなアプリケーションを考慮していない。たとえば、長時間の接続を行うアプリケーションでは、図 15 に示されるように端末の位置に応じてエニキャスト・サーバが切り替わることで通信が切断される問題がある。IPv6 を利用した場合、解決策としては、図 16 に示すように、エニキャスト・サーバを移動体端末になぞらえ Mobile IPv6<sup>16)</sup> の三角経路除去機能を用いて、エニキャスト・アドレスをホーム・アドレス、ユニキャスト・アドレスをケアオブ・アドレスと見なし、通信開始時にエニキャスト・アドレスをユニキャスト・アドレスに変換する方式が考えられる。

## 6. 結 論

本論文では、自動車のための緊急通報システムをインターネットにおいて実現するため、管轄区域に応じて地理的に最寄りのエニキャスト・サーバと直接通信を行う方式を提案した。また、実際に自動車内に構築した移動ネットワークから無線 LAN 経由で WWW とメールによる通報を行える環境を構築し、運用面での知見を得た。結果、エニキャストを用いた緊急通報

は、現行のインターネットへの導入が容易な方式であることが確認できた。また、測位装置や特別な通信ソフトウェアを扱えない端末を用いても通報した管轄区域の特定が行える点で有用である。

## 参 考 文 献

- 1) 伏木 匠, 岸野清孝, 山根憲一郎, 横田孝義, 権守直彦, 石田 康, 伊藤彰朗: プローブカーを利用した交通情報予測方式の検討, 情報処理学会論文誌, Vol.43, No.12, pp.3801-3808 (2002).
- 2) 国土交通省道路局. <http://www.mlitt.go.jp/road/ITS/j-html/>
- 3) 植原啓介, 湧川隆次, 佐藤雅明, 渡辺恭人, 砂原秀樹, 寺岡文男, 村井 純: 自動車情報化のためのインターネットを用いた通信システムの構築, 情報処理学会論文誌, Vol.42, No.2, pp.286-296 (2001).
- 4) 3GPP. <http://www.3gpp.org/>
- 5) ROOT Inc.: 最高時速 260 km の移動中에서도途切れない高速移動体 IP 通信実証実験に成功. <http://www.root-hq.com/newsrelease/news030513.html>
- 6) CNET Japan.: NEC, 無線 LAN を用いた時速 330 km の高速移動通信に成功. <http://japan.cnet.com/news/com/story/0,2000047668,20061436,00.htm>
- 7) Partridge, C., Mendez, T. and Milliken, W.: Host Anycasting Service, RFC 1546 (1993).
- 8) HELPNET. <http://www.helpnet.co.jp/>
- 9) Faltstrom, P. and Mealling, M.: The E.164 to Uniform Resource Identifiers (URI) Dynamic Delegation Discovery System (DDDS) Application (ENUM), RFC 3761 (2004).
- 10) Carpenter, B.: Architectural Principles of the Internet, RFC 1958 (1996).
- 11) 朝長康介, 太田昌孝: エニキャストを用いた緊急通信, 2004-MBL-29, pp.181-185 (2004).
- 12) Partridge, C.: Mail routing and the domain system, RFC 974 (1986).
- 13) Matsunaga, S., Ata, S., Kitamura, H. and Murata, M.: Applications of IPv6 Anycasting, draft-ata-ipv6-anycast-app-01.txt, IETF (2005) (Internet Draft).
- 14) Imielinski, T. and Navas, J.: GPS-Based Addressing and Routing, RFC 2009 (1996).
- 15) 真野 浩: 無線 LAN とモバイル IP を用いた移動車両通信導入事例, 情報処理学会会誌, Vol.45, No.8 (2004).
- 16) Johnson, D., Perkins, D. and Arkko, J.: Mobility Support in IPv6, RFC 3775 (2004).

(平成 17 年 3 月 31 日受付)

(平成 17 年 10 月 11 日採録)



朝長 康介 (学生会員)

2003年九州大学大学院システム情報科学府修士課程修了。現在、同学府博士後期課程に在学中。エンキャストの応用に興味を持ち、主な研究テーマとしている。



太田 昌孝 (正会員)

1982年東京大学理学部情報科学科卒業。1984年同大学大学院理学系研究科情報科学専門課程修士課程修了。1987年同研究科博士課程単位取得退学。同年より東京工業大学総合情報処理センター助手。2000年より同大学大学院情報理工学研究科講師。博士(理学)。コンピュータグラフィックス、マルチメディア、UNIX、計算機の高速化、国際化文字コード、ドメイン名システム、超高速インターネット、QoS保証、マルチキャスト、インターネット放送、光ルーティング等の研究に従事。1995年度山下記念研究賞、1997年度第12回電気通信普及財団賞奨励賞、2001年度情報処理学会 Best Author 賞。



荒木啓二郎 (正会員)

福岡市生まれ。1976年九州大学工学部卒業。1978年同大学大学院修士課程修了。九州大学助手、同助教授、奈良先端科学技術大学院大学教授を経て、現在、九州大学大学院システム情報科学研究院教授。(財)九州システム情報技術研究所研究室長兼務、九州大学附属図書館副館長。工学博士。形式仕様記述、ソフトウェア開発方法論、プログラミング言語、組み込みソフトウェア、インターネット、マルチメディア通信等の研究に従事。日本ソフトウェア科学会、ACM等の会員。ソフトウェア技術者協会常任幹事、博多祇園山笠西流元赤手拭い等。