

道路上の移動ノードを利用する災害時通信方式の提案

宮西 洋太郎† , 高橋 修‡

† 宮城大学 事業構想学部 〒981-3298 宮城県黒川郡大和町学苑 1 番地

TEL: 022-377-8352 E-mail: miyanisi@myu.ac.jp

‡ 公立はこだて未来大学 システム情報科学部 〒041-8655 北海道函館市亀田中野町 116 番地 2

TEL: 0138-34-6225 E-mail: osamu@fun.ac.jp

あらまし 地震などの大規模災害発生時には、通常の固定電話などにおいて非被災地から被災地へのトラフィックが急増し、交換機の輻輳状態を最悪状態から保護するため、通信規制が行われる。またさらに大規模災害の場合には、電話局の崩壊や停電のために、通常の通信手段がすべて遮断される可能性も予想される。そのような場合にも、衛星回線やアマチュア無線をはじめ各種無線通信手段が残存していることが想定される。身近なところでは、各個人が所持している携帯電話それ自体単体としては正常であることが想定される。本稿では、そのような状況において、携帯電話を用いて、特に高速道路や一般国道上を走行または停止している自動車に乗車する人の所持する携帯電話を用いて、非常時の通信手段を確保することの実現可能性や解決すべき問題点などについて検討する。

An Idea of Communication Channel using Mobile Nodes on Highways when a Disaster happens

Yohtaro MIYANISHI † , Osamu TAKAHASHI ‡

† Miyagi University , 1, Gakuen, Taiwa-cho, Kurokawa-gun, Miyagi-ken

TEL: 022-377-8352 E-mail: miyanisi@myu.ac.jp

‡ Future University - Hakodate , 116-2, Kamedanakano-cho Hakodate-city

TEL: 0138-34-6225 E-mail: osamu@fun.ac.jp

Abstract: When a huge disaster such as a huge earthquake happens, normal communication methods can not be available because of communication traffic congestions or facility corruptions. And it will happen that there are no communications between the stricken area and other areas. However the highway could be assumed as communication channels if we could utilize the mobile nodes in cars running on highways. We propose such an idea and consider the problems that should be solved.

1. はじめに

地震などの大規模災害発生時には、通常の固定電話などにおいて安否確認などの非被災地から被災地への通信トラフィックが急増し、交換機の輻輳状態を最悪状態から保護するため、通信規制が行われる 1)。一方、被災地から非被災地へのトラフィックは比較的急増しないので、被災地から非被災地に向けての災害用伝言ダイヤル(171)の仕組みが既に整備されている 2) i-mode による災害伝言板も整備されている 3) 企業向けにも、一斉連絡、安否確認の仕組みが整備されている 4)。しかし、これらの用意されている機能は、日ごろ使用したこともなく、存在すら一般利用者には知られていないかもしれない。したがって災害時にこれらを利用することは困難である。やはり利用者が日ごろ慣れ親しんだ方法

で、直接連絡を取りたい(できれば、伝言ではなく、直接リアルタイムの音声で安否を確認したい)というニーズは存在する。またさらに大規模災害の場合には、電話局の崩壊や停電のために、通常の通信手段がすべて遮断される可能性も予想される。すなわち通信面で被災地域が他の地域から孤立する可能性がある。そのような場合にも、衛星回線やアマチュア無線をはじめ各種無線通信手段が残存していることが想定される。身近なところでは、わが国で1人1台近くまで普及した携帯電話がある。携帯電話は通信距離約数 Km、連続使用約1日の小型で優れた通信機器である。各個人が所持している携帯電話それ自体単体としては正常であることが想定される。本稿では、そのような状況において、携帯電話を用いて、特に高速道路や一般国道上を走行または停止している

自動車に乗車する人の所持する携帯電話を用いて、非常時の通信手段を確保することの実現可能性や解決すべき問題点などについて検討する。

現在の携帯電話では、無線を使用するのは、携帯電話と基地局との間のみであり、基地局より遠方との間には中継機を経由した基幹中継網(基地局、中継網を含めてインフラネットワークと呼ばれている)によって通信が行われる。すなわち携帯電話間での直接通信は行わない。この仕様では、大規模災害時には、やはり中継機輻輳の原因になる。

そこで携帯電話間での直接通信、さらにマルチホップ機能による転送機能を仮定する。この仮定により、携帯電話が分散している地理的領域のなかで、これらの携帯電話群が通信路として利用できることが考えられる。

このようなネットワークは、アドホックネットワークと呼ばれ MANET(Mobile and Adhoc NETwork)として IETF において検討されている 5)。災害時のアドホックネットワークも研究されている 6)、7)。本研究はこのアドホックネットワークのアイデアを活用するとともに、高速道路または一般国道上に存在し移動する車載の携帯電話(といっても乗員が所持する通常の携帯電話)に着目する。

被災地を横断する道路上の携帯電話を災害時の通信路として活用し、被災地域内の基地局を経由せずに被災地域外と通信するというアイデアである。

また、道路上の車載携帯電話の中継が途切れると、文字とおり車載携帯電話にパケットを運んでもらい、被災地外の領域で、携帯基地局に接続するというアイデアである。通信のニーズとしては、音声でリアルタイムというニーズであるが、上記の仕組みでは、なかなか難しく、文字データで時間遅れあり、といった形にならざるを得ない。すなわち、この仕組みでは、VoIP は難しいかもしれない。将来のネットワークの高速化に期待したい。

2. 大規模災害発生時の状況

大規模災害発生時の通信環境について想定する。災害発生前は、図 1 に示す環境にある。災害発生時には図 2 の状態になり、被災地の携帯電話は基地局に繋がらないものとする。すなわち被災地の携帯電話は他の地域の携帯電話など他の通信機器と接続できない状態になる。この場合に、地震などの規模にもよるが、高速道路や一般国道の崩壊が免れる場合もある。その場合には、道路上の車は移動を継続する。また道路が崩壊した場合には、車は道路上に停止する。

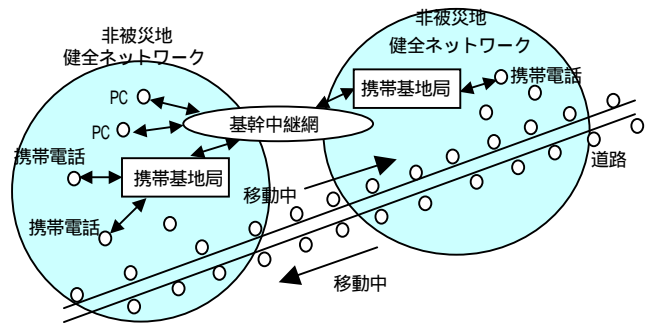


図 1. 平常時における携帯電話通信

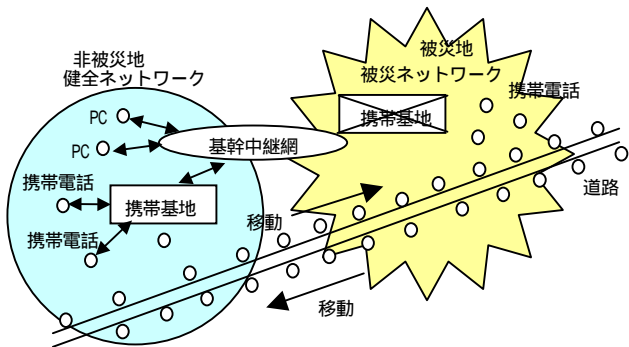


図 2. 災害発生時における携帯電話通信環

3. 大規模災害発生時の対策案

図 2 の状態で、パケットを道路上の移動中または停止中のノードを次々とホップさせれば、道路を複数本の通信路として利用することが考えられる。このような場合を図 3 に示す。本稿では、このような対策の方式を提案し検討する。

現在各方面で研究されているアドホックネットワークの信頼性の考えは通常の TCP/IP の信頼性の考え方と同じく、通信が確立すれば、高い信頼性の通信ができるが、通信が確立しなければ、全く通信できない、というオールオアナッシングの考えである。この考えは非常時ということではなければ、至極妥当な考えである。

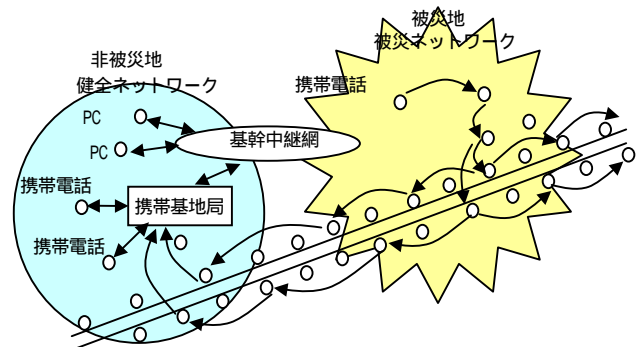


図 3. 災害発生時における対応

しかし、災害時を想定する提案方式の基本的考えとして、多少とも通信の可能性があれば、それを利用するという立場にたつ。この考えは災害という極限的な非常時を想定するので、利用できるものは何でも利用するという考えである。

3. ではこのような対策方式の想定する動作を述べ、4. において、このような方式を実現するための課題と解決方向を述べる。

まず、図3における想定する動作について述べる。携帯電話からPCにメールなどのデータを送信する場合の動作を考える。から送信されたパケットはマルチホップで被災地内の携帯電話を伝達していき携帯電話に到達する、から道路上の移動ノード(携帯電話)、に伝達する。、に伝達されたパケットは、道路上のノードを次々に伝達していき、ノード、に到達する。、は健全ネットワークの領域にあるので、通常の携帯基地局と通信が可能となり、それ以降は通常時の経路で、PCに到達する(メールの場合にはサーバに到達する)。

この場合、まずからまでの全体をアドホックネットワークとして扱うことが考えられる。からまで、経路を見つけることができ、TCPレベルで通信が確立できれば、それがベストである。そうでないときは、経路が形成できていないか形成できていても伝達できない場合でICMP到達不能メッセージが返されてくる。

からまでは、比較的移動性が小さく、携帯電話間で送信電波が到達する限り安定して繋がる。しかしから、またはからの道路上のノードは移動性が大きく、データリンクレベルで繋がるとは限らない。また繋がらなかったリンクが再度繋がることもありうる。

そこで、から、またはからを次の2種類のネットワークに類別することが考えられる。

(1) 移動性の小さいノードから成るネットワーク

図3におけるからまでのネットワークである。こちらは交通手段を使っていない個人、市街地など低速移動の車を使っている個人などの所有する携帯電話から成るネットワークである。この部分で繋がらなかった場合には、本提案の通信は成り立たないと考える。

このネットワークについては、アドホックネットワークの考えを適用することができる。すなわち、経路制御を行い、までは確実にパケットを転送する。

(2) 移動性の大きいノードから成るネットワーク

図3におけるから、またはからまでのネットワークである。こちらは高速道路、一般国道で移動中の車を使っている個人が所有する携帯電話から成るネットワークである。この部分では接続の不確実性がある

が、繋がらないからといって、通信を放棄することはしない。

またノードは線的に配置されているので、通常の意味での経路制御は行わなくてもよいと考えられる。素朴なフラディングの考えに近いが、過剰パケット抑止のためのある程度の制御は必要である。

4. 課題

(1) ビジネスモデルの検討

このような対策を行うことに対するビジネスとして、だれが事業主体で、どこから原資を得て、だれが、どのようなコストを負担するのかといったビジネスモデルが必要である。コストはユーザが負担すべきものか、公共的な政策として負担すべきものかといった検討が必要である。

(2) 携帯電話のIDとインターネットのIDの相互運用性

現在の携帯電話とインターネットとの関わりとして、iモード、WAP(Wireless Application Protocol)などの仕組みが運用されている(8)。いずれも端末の近く、すなわちネットワークの最も外側で携帯電話番号体系が吸収されている模様である。ネットワークの中ではすべてIPアドレスで運用されている。この方式はインフラネットワークへの接続がシングルホップの場合に問題ではないが、携帯電話間でマルチホップを行うとき、携帯電話にルータ機能を持たせる場合、PCその他の機器との相互運用性から、やはりIPアドレスで扱うことが望ましくなってくる。その場合、IPv4ではアドレス不足が考えられるので、現在の番号体系をMACアドレスにして、それを吸収するIPv6アドレス体系を決めるか、その下位64ビット程度(固定電話の国際標準E.164では10進15桁)を専用のアドレス体系にするなどが考えられる。本稿ではそれをノードIDアドレスと称する。

(3) 経路制御対応の携帯電話

携帯電話自体に経路制御を可能とする機能を持たせることが必要である。すなわちルーチングプロトコルを実行できるようにする必要がある。アドホックネットワークにおける多くのルーチングプロトコルは無線LANを対象としている。携帯電話について経路制御から見た検討が必要である。たとえば

・データリンクレベル(MACレベル)での、競合制御、ブロードキャスト送信/受信機能、およびACK返信機能など。

この面で多くの検討課題が残されていると考える。

(4) 移動性の小さいネットワークの中のノードと移動性の大きいネットワークの中のノードとの識別

車載であるということを直接何らかの手段で識別することは、GPS を前提にしていけない本提案としては困難である。そこで経路テーブルの時間的変化を利用することを考える。reactive 型、proactive 型いずれにしても2つのタイミングで経路制御がなされたものとする。そして ICMP を利用した traceroute アプリケーションを利用する。これにより、到達可能なノードまでの経路したルータの IP アドレス(ノード ID)を知ることができる。proactive 型ならば、この探索を適切な周期で繰り返す。前回との差が生じたところからが移動性の大きいネットワークのノードであると判断する。

図4に経路制御および traceroute のタイミングを示す。そのとき経由したルータ(この場合ルータ=ノード)の最短経路の処理をした後のノード ID アドレスを図5に示す。

図5から、までと、以降に違いを見つけることができる。すなわち、までが移動性の小さいネットワークの中に存在していると判断できる。

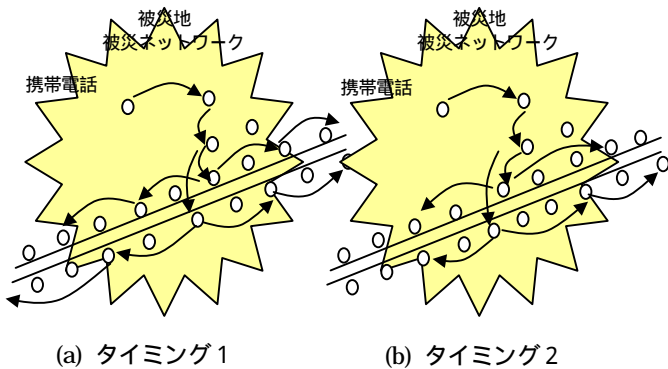


図4 . traceroute タイミング

	タイミング1		タイミング2	
携帯電話	* : 101	* : 101	* : 101	* : 101
携帯電話	* : 298	* : 298	* : 298	* : 298
携帯電話	* : 151	* : 151	* : 151	* : 151
,	* : 432	* : 621	* : 761	* : 511
...				

図5 . traceroute の結果の例

(4) 移動性の小さいネットワークでの転送処理

このネットワークでは、アドホックネットワークの考えを適用する。からまでは、アドホックネットワークとして経路制御されて、できる限り重複なくかつ信

頼性高く(ただし接続できなときは通信できない)パケットが到達する。

この場合、携帯電話自体に、基地局が行っている CDMA のための送信電力制御や基地局でも行っていない経路制御、転送処理といった機能をもたせることが必要になり、さらなる詳細の検討が必要であるとともに、各方面で精力的に研究されているアドホックネットワーク研究の成果に注目していくことが必要である。

(5) 移動性の大きいネットワークにおける転送処理

・ からパケットを受信したノード、は周辺のノードに向かって MAC レベルのブロードキャスト機能を使用して IP レベルでブロードキャストする。

・ 少なくとも1つのノードから ACK を受信すれば、自分の役割が終わったと判断する。

・ 周辺のノードは初めて受信するパケットならば、転送のためにブロードキャストする。同じパケット(ノード ID + 連番)ならば、廃棄する。

・ これにより、または から道路に沿って両方向にパケットが伝達していく。

・ 1つのノードからも ACK を受信しない場合、ここで通信が途切れたと判断する。この場合でも通信を放棄せず、例えば車が走行を続けていれば、1から2時間後には、被災地地域を通過し、非被災地地域にいたることが期待できる。その時点で通信を再開するものとする。

・ 上り車線、下り車線の区別

上り、下り同じ方向のノードで転送処理をすることが望ましい。この区別方法として、もし上り車線のノード群に下り車線のノードが混入していた場合、2つの異なるタイミングにおけるルーチングテーブルに差異が生じる。これを利用して区別することが考えられる。

道路上のノード群によるネットワークとして、望ましい点は、

・ ホッピングは回数を少なくするため、できるだけノード間の距離が長くなるようにする。しかし、距離が長くなると受信電力が小さくなり、信頼性が低下する。両者のトレードオフが必要である。

・ 上りは上りだけ、下りは下りだけの移動ノードでホッピングすることが望ましい。(経路の安定性の点で)

・ 各方向に複数の経路が形成されることが望ましい。(通信容量増大の点から)図6に複数経路の存在を示す。

全体としての経路制御の具体的方法、上り、下りの区別や複数経路の構成方法については、今後の検討事項である。

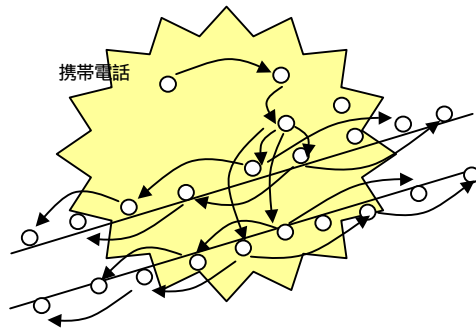


図6．複数経路の存在

(6) マルチホップの性能検討

マルチホップネットワークの場合、どのような性能になるのかも検討が必要である。ここでは簡単な検討を試みる。

・転送時間の観点からの性能

ホップ回数 n が増えると、転送時間が増加し、ポイントツウポイントの通信容量 C は低下する。1回のホップでの通信容量を C_0 (bps) とする。1回のホップに要するCPU時間を t_0 (秒) とする。xビットをホップ回数 n で転送に要する時間 t_n (秒) は、

$$t_n = n \left(t_0 + \frac{x}{C_0} \right) \quad (1)$$

したがって n 回ホップする場合のポイントツウポイントの通信容量 C (bps) は、

$$C = \frac{x}{t_n} = \frac{C_0}{n} \left(1 - \frac{nt_0}{t_n} \right) \quad (2)$$

となり、ほぼホップ回数 n に反比例して減少する。さらに全体転送時間 t_n に対して占めるCPU処理時間 $n \cdot t_0$ の割合に応じて減少する。

・スループットの観点からの性能

上記は転送時間からの観点であり、スループットの観点では、ホップごとに1つのパケットを転送し終るごとに、次のデータの転送に入る。すなわち、パイプライン的な処理がなされるので、最良の場合、(2)式の n 倍となる。ただし、メディアの競合使用やルーティングのためのトラフィックのためにスループット低下がある。

さらに複数経路が存在すれば、スループットとしての通信容量は増加する。詳細は今後の検討とする。

5. まとめ

着想から日が浅く、システムの観点から検討したが、各要素技術やシステム全体についての思い違いや調

査・検討不足などがあると考えている。詳細について本研究会などで、有識者の方々からご意見やご指導を賜れば幸いである。

参考文献

- 1) 通信規制
<http://www.ntt-east.co.jp/aboutus/service/index.html#01>
http://www.ntt-east.co.jp/traffic/c_page01.html
- 2) 伝言ダイヤル
<http://www.ntt-east.co.jp/voicem/>
- 3) i-mode による災害伝言板
<http://www.nttdocomo.co.jp/info/dengon/home.html>
- 4) 企業向け一斉連絡，安否確認
<http://www.ntt-east.co.jp/saigai/kigyo/kigyotop/kigyo.html>
- 5) MANET
<http://www.ietf.org/html.charters/manet-charter.html>
- 6) 災害時のアドホックネットワーク
http://www.rescuesystem.org/ddt/H14-report/web/3_4_6aist_noda.pdf
- 7) 織田，上原，横山，伊藤，「端末のパケット中継機能を用いた安否確認ネットワークの検討」，信学論文誌B Vol.J85-B No.12 pp.2037-2044 (2002)
- 8) WAP
<http://www.atmarkit.co.jp/fmobile/rensai/wap02/wap02.html>