

蓄積転送型通信を用いた 広域災害時通信システムの設計と実装実験

守屋博之, 横山輝明

要旨

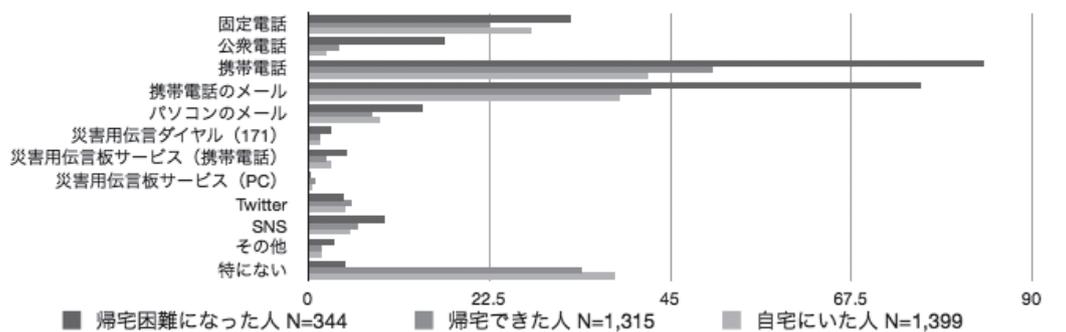
本論文では、広域災害などの通信インフラが不通となる状況を想定して、蓄積転送型と呼ばれる通信手段を用いた通信システムを設計して実装した。蓄積転送型通信はDTN (Delay Tolerant Network) と呼ばれる通信技術から派生した技術で、通信端末による通信データの蓄積と通信端末間での直接のデータ伝搬によって通信機能を実現する。この方式は端末のみで通信インフラを構築できる可能性をもつ。そのため、広域災害のような状況における非常時通信などの伝達手段として期待を集めている。

キーワード：蓄積転送型通信システム, 非常時通信, 災害時通信, DTN

1. 広域災害時における情報伝達の手段と課題

被災地における情報伝達は非常に重要な課題である。地震などの広域災害では、無数の被害が広域において発生する。そのため、被災地内部での人的・物的な被害状況などの情報伝達が、安否確認や救援・復旧計画などのために重要となる。

表1 東日本大震災当日に安否確認しようとした方法 (帰宅困難者別)



「インターネット白書2011」(c)impress R&D, 2011

サイバー大学 IT 総合学部・学生, サイバー大学 IT 総合学部・講師

原稿受付日: 2011年10月17日

原稿受理日: 2012年2月22日

広域災害の発生時に伝達が要求される情報のひとつとして、安否情報を例にあげて被災地における通信状況を考察する。表1は、東日本大震災の発生日である2011年3月11日に安否情報の伝達に利用された通信手段の調査結果である⁽¹⁾。携帯電話の普及により、安否確認の手段として携帯電話からの通話が安否確認の手段として有効に機能していることがわかる。日頃から使い慣れた手段であることと、肉声による安心感などがその理由と考えられる。しかし、安否確認による電話利用の増加はしばしば輻輳が発生し、安否確認の手段としては困難な場合がある。

そこで、東日本大震災においては携帯電話からのデータ通信も活用された。図1は、電話回線とインターネット通信の違いについて模式的に表した図である。通話による通信は電話回線を占有するため、利用可能な通話数が定められており排他的に利用されている。しかし、インターネット通信はパケット通信と通信路の共有という特徴のため、災害時などの混雑時においても利用可能であった。

回線を占有する電話回線に比べて、データ通信利用は混雑状態にも強いいため、輻輳状態においても有効利用された。その結果は、表1における携帯電話のメール利用の回答として現れている。さらに、TwitterやSNSなどのオンライン情報サービスを利用した安否確認についても、少数ではあるが存在することに注目する。これらの事例についても、日常生活で利用している情報サービスが災害時においても選択され、有効に機能したと考えられる。

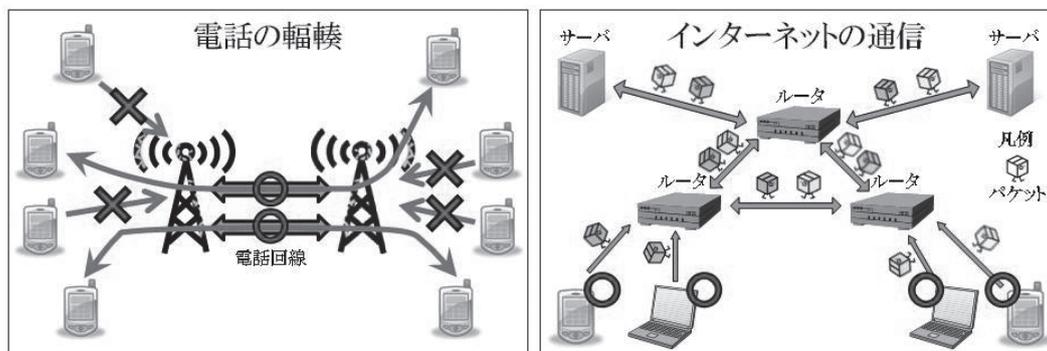


図1 電話の輻輳とインターネットの通信

しかし、これらの安否確認が有効に機能したのも、通信インフラが健全な地域のみであった。広域災害では、通信インフラもまた広範にわたって破壊される。通信インフラが破壊されるほどの被害が出る地域ほど情報伝達が必要とされるが、通信インフラが機能しない状況では情報伝達が困難となる。

東日本大震災では多くの携帯電話基地局のサービス停止や利用制限によって通信機能の利用が困難となった。NTTドコモは東北エリアにおける基地局の半数に近い4,900局、KDDIは1,933局、ソフトバンクモバイルは3,786局がサービスを停止した⁽¹⁾。また、固定通信網においても基幹網の切断や中継局の被害によって、一部のサービス提供を中断

した。さらに、輻輳対策のために音声通話全体の70～95%が規制された。

さらに、通信インフラの復旧には時間が必要となる。表2は、震災発生から11日後の3月22日午後7時の時点での各通信事業者の被害状況である⁽²⁾。安否確認などの伝達が求められる震災発生からの10日間において、一切の連絡手段を喪失したままの被災者も多かったと推測される。

表2 各通信事業者の3月22日における被害状況

通信事業者	被害状況
NTT 東日本	加入電話12万4000回線、フレッツ光2万9000回線が不通
NTT コミュニケーションズ	専用線2445回線が利用不可
KDDI	約9930回線が利用不可。東北と関東の中継回線は復旧済み
ソフトバンクテレコム	電話など1500回線、専用線100回線が利用不可
NTT ドコモ	基地局860局が停波
KDDI (au)	基地局502局が停波
ソフトバンクモバイル	基地局573局が停波
イー・モバイル	基地局29局が停波
ウィルコム	基地局1000局が停波

以上のように、災害時には平常時のような自由な通信利用は不可能となる。そのため、被災地での情報伝達は困難である。携帯電話をはじめとした端末機器の普及に伴い、災害時における情報サービスの活用が求められている⁽³⁾。そのために、災害における通信インフラの利用がより重要となっている。

2. 災害時における通信インフラの考察

災害時には通信の利用が困難となる。しかし、一方でそのような状況だからこそ情報伝達が重要となる。こうした非常時における通信では、情報伝達そのものが困難であるため通信の帯域性能や遅延性能よりも到達性の確保が最優先課題となる。

さらに災害における情報伝達に限定すると、伝達が必要な情報には特殊性が存在する。例えば安否確認や災害状況の通報を考えると、文字情報であればメッセージを日本語1,000文字としてShift-JISでエンコードした場合にはその容量は2KBとなる。その他のデータを付与しても数KBから数MBという軽量のデータとなる。また、それらの情報伝達では即時的なインタラクティブ性も不要だという特徴を持つ。つまり、被災地で求められる通信インフラは、狭帯域や遅延の大きさよりも到達性こそが重要だとわかる。

これらの要件を満たす通信技術として、本研究ではDTNから派生した蓄積転送型通信に注目する。DTNとは遅延や途絶への耐性を持つ通信技術である⁽⁴⁾。元々は宇宙空間での通信手段として研究されていたが、DTNで利用される蓄積転送型通信は、通信インフ

ラが未整備の地域や通信インフラが途絶された地域での通信技術としても利用可能であったことから、そうした通信困難地域における通信技術としての研究開発も取り組まれている⁽⁵⁾。



図2 蓄積転送型通信の通信モデル

図2では、蓄積転送型通信の通信方式のイメージを説明している。蓄積転送型通信とは、端末間での直接通信によってパケツリレーのようにデータを転送する通信技術である。端末は他の端末に出会うまでデータを蓄積して、転送可能な相手端末に出会うたびにデータを複製転送する。この通信方式では、端末自体がネットワークを構成する機器となるため、固定的な通信インフラを必要としない。つまり、通信インフラが寸断した地域でも端末のみで即座に通信インフラを構築することができるため、被災地における情報伝達手段として有効に動作することが期待できる。

蓄積転送型通信では、端末内のデータ蓄積と端末間でのデータ転送によって通信機能を実現する。そのため、通信の到達性や到達時間の完全な保証は困難となる。また、移動する端末間でのデータ転送による情報伝播の性能はいまだ未知の部分も多い。そこで、本報告では蓄積転送型通信を用いた通信システムの実用性を探るために、蓄積転送型通信に基づいた情報伝達システムを試作して、実験する

3. 蓄積転送型通信システムの設計

3.1 機能解説

この通信システムは無線 LAN (IEEE 802.11 a/b/g/n) を利用し構築する。ノート PC やスマートフォンが標準搭載している無線通信を用いることで、ケーブルや追加機材を必要としない通信手段を実現できる。図3は、この通信システム用プログラムの動作概要である。端末は、無線 LAN の通信可能範囲内にある端末を発見する近隣探索機能と、データをやり取りするためのファイル交換機能の2つの機能によって通信機構を実現する。

近隣探索機能は、自端末の通信可能範囲内にある他端末を発見する機能である。近隣探索機能では、マルチキャスト通信で近隣探索要求メッセージを送信し、ユニキャスト通信による近隣探索応答メッセージの受信によって他端末を発見する。近隣探索のマルチキャスト通信には IPv6 での近隣探索通信を利用する⁽⁶⁾⁽⁷⁾。そのため、端末 OS には IPv6 通信が利用可能であることが求められる。

ファイル交換機能は、データをファイル単位でやり取りを行うための機能である。端末はファイル交換のために、ファイル取得要求を送信してファイル取得を試みる。このときのファイル取得要求やファイル転送には、一般に広く普及している HTTP 通信を利用する⁽⁸⁾。



図3 プログラムの動作

3.2 近隣探索機能の設計

近隣探索では、端末が無線 LAN の通信可能距離まで接近した際に送受信メッセージをやりとりすることで他端末を発見する。送受信メッセージには表3の項目を格納する。なお各項目は改行によって区別し、改行コードは「CR+LF」とする。

表3 近隣探索メッセージの項目一覧

項目名	値	説明
Version:	ANDP/1.0 (現状では固定)	プロトコルのバージョン情報
NetworkID:	16進数32桁の文字列	ネットワーク識別情報
Type:	Request Response	メッセージの種別 (要求、または応答)
Result:	Accept Reject	結果 (許可、または拒否)

図4は、近隣探索処理の流れである。送信側端末が要求メッセージをマルチキャスト通信で送信する。同一無線ネットワークに接続している他端末は、その要求メッセージを受信した場合に応答メッセージをユニキャスト通信で送信側端末へと返答する。以下に近隣探索の具体的な処理内容を記す。

- (1) 探索側の端末が「Version:」「NetworkID:」「Type:」を格納したパケット (要求メッセージ) を、リンクローカルマルチキャストアドレス (FF 02 :: 1) に送受信する。
- (2) 他端末が要求メッセージを受信した場合には、「Version:」「NetworkID:」の合致と「Type:」が「Request」であることを確認する。これらの条件を充たす場合には「Version:」「NetworkID:」「Type:」「Result:」を格納したパケット (応答メッセージ) を送信元アドレス宛に返信する。
- (3) 探索側の端末は (2) の応答メッセージを受信すると、「Version:」「NetworkID:」の合致と「Type:」が「Response」であることを確認し、さらに「Result:」が「Accept」であ

ることを確認して、他端末の発見が完了する。



図4 近隣探索処理の概要

3.3 ファイル交換機能の設計

ファイル交換は「RFC 2616 (HTTP/1.1)」に準拠した方式を用いる。本プログラムでは「GET」メソッドと「Host」オプションのみを用いて、ファイル要求とファイル取得を表現する。なお、現状の実装では「Host」オプションには HTTP 接続先の IP アドレスをそのまま格納する。

ファイル要求では、通信相手の端末が蓄積しているファイルを指定してファイル要求メッセージを送信する。そのため、相手端末が蓄積しているファイル一覧の情報が必要となる。そこで各端末にはファイル一覧をファイルリストとして作成維持することが必要となる。ファイルリストは各端末の HTTP ルートとして配置することとして、ファイルリストの取得は HTTP メソッド「GET / HTTP/1.1」を用いる。ファイル要求側端末はファイル要求前に応答側端末のファイルリストを取得して、その一覧を元に要求するファイルを決定してからファイル要求する。

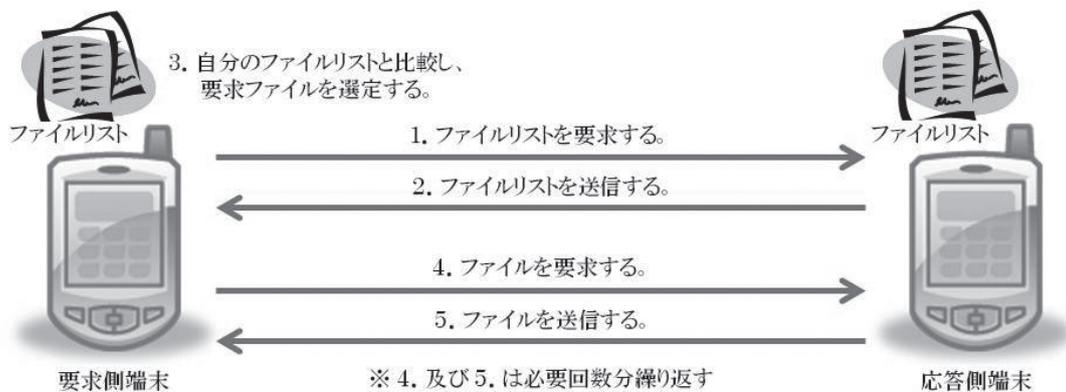


図5 ファイル交換処理の概要

ファイルリスト内にはファイル毎に、ファイル名 (FileName)、URI (FileURI)、ファイルサイズ (FileSize)、ファイル更新日時 (FileUpdate)、ファイルダイジェスト (FileDigest) の情報を格納する。ファイルリストのエンコードは JSON (JavaScript Object Notation) 形式を用いて、1 ファイルの情報を 1 オブジェクトとして表 4 の項目を格納する。

表 4 ファイルリストの項目一覧

項目名	説明	内容例
“FileName”	ファイルの名称	“Sample.file”
“FileURI”	ファイル要求時に使用する URI	“/Directory/Sample.file”
“FileSize”	ファイルサイズ (Byte)	1024
“FileUpdate”	ファイルの更新日時 (ISO 8601 に準拠)	“2011-08-01 T 09:00:00 +09:00”
“FileDigest”	ファイルのメッセージダイジェスト (SHA-256 ハッシュアルゴリズムを使用)	“0e4fa2dff8aca85dff256789d0e70f5c32ddcfd2e96e98736f1368c77adec3b5”

4. 蓄積転送型通信システム Acrux の実装と動作実験

4.1 Acrux の実装

本研究では、被災地における通信手段としての蓄積転送型通信システムの実装を試みる。前節での設計に従って、プログラム言語 Java を用いてプログラムを作成した。このプログラムの名称を Acrux (アクルックス) とする。Acrux とはみなみじゅうじ座を構成する星の一つであり、3 連星である。3 連星とは 3 つの恒星が互いの重力で束縛しあい、重心の周りを軌道運動し構成されている天体を指す。このことが本蓄積転送型通信プログラムの端末が互いにネットワークを構成しているイメージに似ていたためこのように名付けた。Acrux は PC 上で動作して、DTN 端末として振舞う。Acrux が同一通信リンク上の他端末を発見して、PC 内の指定されたファイル群を転送する。

Acrux のプログラム全体構成は図 6 のように実装した。manager パッケージ内にある GeneralManager が全体制御を担当して、その他のマネージャクラスがそれぞれ近隣探索と HTTP 通信を制御する。近隣探索で発見した端末は NodeManager で管理して、HttpClient はその発見端末の情報を利用する。転送対象となるファイル群は、ファイル同期ディレクトリ内に「.source.filelist」というファイルを用意して指定する。他端末から発見された場合には、このファイル一覧を返答する。また、受信したファイル一覧は、ファイル同期ディレクトリ内に「.receive.filelist」というファイルで保存する。FileListManager は、「.source.filelist」の更新や「.source.filelist」と「.receive.filelist」の比較を行う。

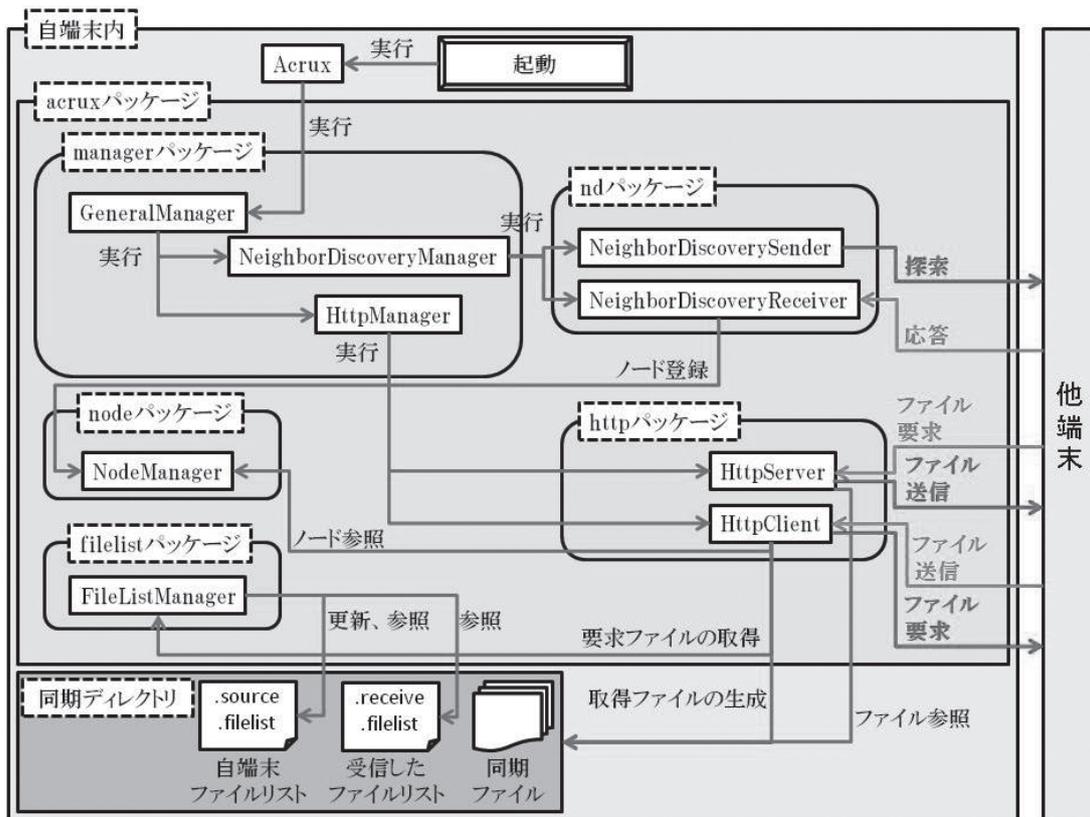


図6 プログラムの構成と動作概略

4.2 Acrux の動作実験

Acrux は Java 言語により実装したため、Windows 系 OS や Mac OS X 10.7 Lion などの多プラットフォームにおける Java VM 上にて動作することを確認できた。JDK 1.7 でコンパイルしたクラスファイル (中間コード) は JRE 1.6 で使用することができないため、その際には JDK 1.6 でコンパイルをし直す場合があった。一方で、JDK 1.6 でコンパイルしたクラスファイルは JRE 1.7 で動作した。今後の稼働実験では、利用プラットフォームが広がることが考えられる。JDK と JRE のバージョン整合性にも注意する必要がある。

動作実験では、3 台の PC を用意して、802.11n 無線 LAN 通信のアドホックモードを利用した。図7は実験で使用した端末の画像である。無線 LAN ルータなどの中継機器は利用しなかった。3 台の PC に対して、あらかじめ 802.11n のアドホックモードを設定して直接通信が可能になるようにした。この実験環境にて、3 台の PC 上に 2,048 Bytes (2 K Bytes) × 15 個のファイルをそれぞれ配置した。動作実験では、この 45 個のファイルの伝搬の様子を観察する。

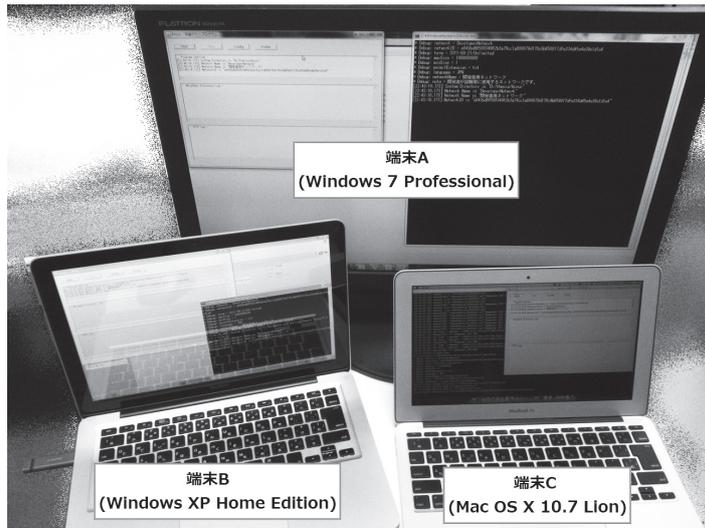


図7 実験の様子

上記の実験環境において、プログラム起動からデータ伝搬の後にプログラムが終了するまでを動作実験した。この実験における各端末の動作についてログ情報を収集した。ログ情報を分析した結果を表5と図8に示す。プログラム起動時に、3端末がそれぞれ保持しているデータを全端末に共有する様子を実験から観察した。

表5 ログの分析結果

1,182	端末Bが端末Aからファイル(No.01~15)取得	156ms(1,538kbps)
1,196	端末Aが端末Cを発見	×
2,091	端末Aが端末Bからファイル(No.16~30)取得	140ms(1,174kbps)
2,278	端末Aが端末Bからファイル(No.31~45)取得	115ms(2,087kbps)
2,310	端末Cが端末Aを発見	×
3,182	端末Cが端末Bを発見	×
3,261	端末Cが端末Aからファイル(No.01~15)取得	140ms(1,714kbps)
3,417	端末Cが端末Aからファイル(No.16~30)取得	171ms(1,404kbps)
3,532	端末Bが端末Cを発見	×
3,782	端末Bが端末Cからファイル(No.31~45)取得	293ms(819kbps)

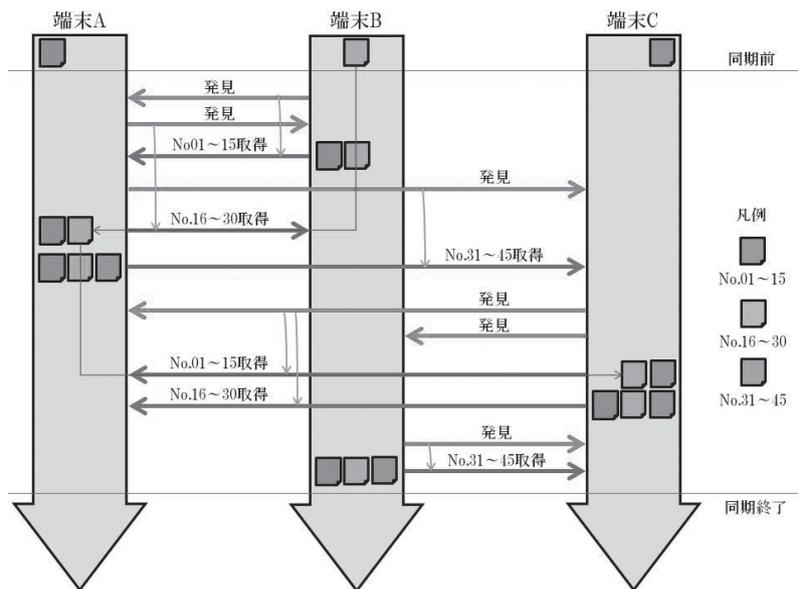


図8 ファイル転送の状況

図8より、No. 16～30のファイル群が端末Bから端末Aへと転送されていること、その後に端末Aから端末Cへと転送されていることから、蓄積転送の様子がわかる。このとき、表5よりデータ転送速度は819～2,087 kbpsと低速に留まっていることもわかる。実験環境の無線LANはすべてIEEE 802.11nに対応しているにも関わらず転送速度が低速となっているのは、ファイル1つの転送毎に接続確立と切断が発生しているオーバーヘッドのためと考えられる。

5. 今後の課題

今回の試作実装実験において、3台という小規模構成ではあるが、蓄積転送によるデータ伝搬やデータ拡散が可能となることを確認し、蓄積転送型の通信システムを実現できた。ただし、より実用的な利用には課題も残る。HTTPヘッダフィールドを活用したファイル転送速度の向上や、端末の移動時の限られた時間内での効率のよい転送方法、全端末への効率のよいデータ拡散など、プロトコルの改良も必要となる。さらに、より大量の端末の動作時での稼働実験や性能測定の必要もある。また、現在は端末間通信には無線LANインターフェイスのアドホックモードを事前に設定した上でIPv6通信を用いている。無線LANインターフェイスは頻繁に利用されているため、このアドホックモード設定を事前に多ユーザーに予め設定することには運用上の困難がある。近接通信の機会拡大のためにはBluetoothなど近接通信専用の通信リンクへの対応も必要となる。

将来的には、被災地支援サービスが必要としている情報をAcruxによって伝達することで、被災地における情報通信技術としての貢献が考えられる。従来にもWebなどを利用した被災地支援サービスが利用されてきた⁽⁹⁾。しかし、それらのサービスでは通信イ

ンフラの稼働が前提であったため、Acruxによる通信機能との組み合わせが通信インフラが途絶した状況における情報収集や共有につながる可能性がある。

また、Acruxが提供する近接通信は災害時のみならず、日常生活においても有用であると考えられる。例えば、職場などでの会議のような物理的近接性を伴う集団でのファイル共有機構や、日常生活での往来に基づいたファイル拡散やそれを用いたソーシャルネットワーク利用などの応用が考えられる。これらの事例のように、Acruxが提供する近接通信について日常からも活用することが一般的となれば、災害時においてもより自然に活用されることが期待できる。災害時における実用システムの実現のためにも、日常生活におけるアプリケーション事例についても考察と実装を図る。

参考文献

- (1) インターネットメディア総合研究所, "インターネット白書 2011", インプレスジャパン, 2011年7月, pp. 4.
- (2) 『日本経済新聞』2011年3月24日朝刊11面「通信各社の被害状況」
- (3) 総務省総合通信基盤局, "新潟県中越地震の教訓等を踏まえた今後の取組(電気通信事業関係)", 電気通信事業における重要通信確保の在り方に関する研究会, 2004年12月22日
- (4) V. Cerf et al., "Delay-Tolerant Networking Architecture," RFC 4838, April 2007.
- (5) K. Fall et al., "A delay-tolerant network architecture for challenged internets," In proc. of the SIGCOMM '03, DOI= 10.1145/863955.863960 <http://doi.acm.org/10.1145/863955.863960>
- (6) S. Deering et al., "Internet Protocol, Version 6 (IPv6) Specification," RFC 2460, December 1998.
- (7) T. Narten et al., "Neighbor Discovery for IP version 6 (IPv6)," RFC 4861, September 2007.
- (8) R. Fielding et al., "Hypertext Transfer Protocol -- HTTP/1.1," RFC 2616, June 1999.
- (9) C. De Silva et al., "Sahana: Overview of a Disaster Management System," In proc. of the IEEE International Conference on Information and Automation (ICIA), 2006.

Design and Implementation of Communication System for Emergency Situation

Hiroyuki MORIYA, Teruaki YOKOYAMA

Abstract

In this paper, we propose a communication system using store-and-forward communication scheme derived from DTN research. Our proposal system is based on hop-by-hop data transmission between terminal computers. Consequently, users can communicate among them without fixed communication infrastructure. We expect communication service against disaster situation can be constructed on the communication system. This paper reports our implementation on personal computers with Java language and preliminary experimental result.

Keywords : Communication system based on store and forward scheme, Communication system under disaster situation, Application of Delay Tolerant Network technology