

災害復旧支援ネットワーク用の新しいプロトコルの提案

袴田 暁人* 白井 治彦** 黒岩 丈介*** 小高 知宏* 小倉 久和***

The Proposition of a New Protocol for Disaster Restoration Support Network

Akito HAKAMADA* , Haruhiko SHIRAI** , Josuke KUROIWA***
Tomohiro ODAKA* and Hisakazu OGURA***

(Received February 10, 2011)

In this article, we propose a new disaster restoration support network, and show the new construction method for such network system. In this system, we use the Etherphone which is new communications technology using only the data link layer and the physical layer. The Etherphone network uses a broadcast for the transmission of a message of data. We proposed a new protocol for the disaster restoration support network which uses the wireless Etherphone system. We construct the simulator program to test our protocol. And, we simulated it in some patterns. The simulation showed that we were able to suggest a protocol for Etherphone.

Key words : Etherphone, Disaster Restoration Support, Protocol

1. はじめに

近年の情報通信技術 (IT) の発展と普及により, 多種多様なデジタルデータやそれを活用する技術が政府・自治体においても容易に利用可能な環境になってきた [1]. 地震等の災害時における復旧支援システムはネットワークに依存したものが多く, 災害の被害によってネットワークが途切れてしまった場合に使用できなくなってしまう. そこで, 障害が発生して既存のネットワークを利用できなくなった際に, ネットワークを代替的に構築する手段が必要である. 現在, その代替的なネットワークについて様々な研究がされている [2,3].

本研究では, イーサフォン [4] という通信技術を用いた無線端末を複数台設置することによりネットワークを構築する手法を提案する. 通常, 無線端末を用いてネットワークの構築を行う場合には, OLSR や AODV などのルーティングプロトコルを用いて, 無線マルチホップに最適化したルーティングプロトコルを考案する必要がある [5]. それに対して, イーサフォンは, OSI (Open Systems Interconnection) 参照モデルの第 2 層以下に相当するイーサネットの機能のみを用いて通信を行う技術である. データの送信にはブロードキャストを用いるため, イーサフォンはルーティングプロトコルの最適化設定に伴う手間を削減することができる.

本稿では, 無線イーサフォンによる災害復旧支援システムの実装シミュレーションを行った. ノードであるイーサフォン端末は, 送信側 PC からの情報を受け取り, そのデータをブロードキャストしてネットワーク全体に流す役割をしている. 我々は, ノードを動的に配置しネットワークの形成を行うシミュレーション実験により, 無線イーサフォンを用いた端末を複数台設置することで, 設定の手間を削減した災害復旧支援ネットワークの提案を行った.

*大学院工学研究科 原子力・エネルギー安全工学専攻

**技術部

*** 大学院工学研究科 知能システム工学専攻

*Nuclear Power and Energy Safety Engineering Course, Graduate School of Engineering

**Dept. of Technology

***Human and Artificial Intelligent Systems Course, Graduate School of Engineering

2. 無線イーサフォンによる災害復旧支援ネットワークの構成

2.1 災害復旧支援ネットワークの概要

災害復旧支援ネットワークとは、地震、津波、洪水、台風、竜巻などの影響により、敷設されているネットワークインフラに障害が発生した際に、それに代替するネットワークとして作成されるものである [6,7]。情報伝達の内容としては、災害が発生した時の警察や消防による捜索、救出、緊急通報、避難誘導、被害情報の収集・連絡、復旧活動支援、被災者同士の安否の確認などが挙げられる。また、情報の伝達内容や伝達頻度、利用目的や利用規模によってネットワークの構成方法は様々である。

2.2 イーサフォンについて

本研究では、災害時情報支援システムにイーサフォンの技術を取り入れて実装を行った。イーサフォンを用いることで、PCの相互通信における情報を容易にネットワークに流すことが可能となる。さらに、イーサフォンを用いることで非常に安価で設定不要のシステムを構築することができる。

イーサフォンとは福井大学が特許を有する通信技術（特許第4110251号）のことである [8]。イーサフォン開発における基本コンセプトとして2点挙げられる。1点は従来のアナログデータ通信基盤に変わる通信基盤を開発することである。もう1点は、昨今のインターネット通信環境が複雑になっており、近距離・閉鎖的な通信網には短所が多いと考えるからである。イーサフォンの特徴を表1にあげる。

イーサフォンは表1のように、OSI参照モデルの下位2層に相当するイーサネットの機能のみを用いることによって通信を行う通信方式である。さらに、イーサフォンの様々な特徴の中で一番の利点は通信設定なしにネットワークを構成し、接続できることである。

OSI参照モデルとは国際標準化機構であるISOにより、策定されたネットワーク通信の設計方針である。OSI参照モデルを表2に挙げる。OSI参照モデルでは通信機能ごとに、7つの階層に分けられている。上位層はソフトウェア寄りの内容で、下位層は逆にハードウェア寄りの内容になっている。この7層のうちイーサフォンは下位2層である物理層とデータリンク層の一部を用いて通信を行う。

まず、第1層となる物理層では、物理的な接続であるコネクタやケーブルのピン数や通信路の電気信号などの変換について定義されている。そして、第2層であるデータリンク層では、上位層からのサービス

表1: イーサフォンの特徴

	説明・特徴
(1)	イーサネットの機能のみを用いる ・OSI参照モデル L1,L2 を使用 ・イーサネット機器を使用できる ・L3 以上は利用不可
(2)	長距離でもノイズの影響を受けにくい ・信号増幅装置は必要なし
(3)	通信設定は必要なし ・TCP/IP などのプロトコルを使用しない ・電源と LAN インフラがあれば使用可能
(4)	無線通信も可能 ・有線 LAN/無線 LAN どちらにも対応 ・無線でも通信設定は不要
(5)	アナログ/デジタルデータを伝送可能 ・通信時はデジタル形式 ・アナログデータは A/D 変換により対応

要求に答えたり、下位層サービスを要求するために、フロー制御やエラー検査などの情報移動に関する役割を持っている。

イーサネットは、この物理層とデータリンク層を用いた通信規格であり、一般的によく利用される LAN(Local Area Network) で最も利用される通信規格である。イーサフォンでは、通信を行うにあたり、表2に示す OSI参照モデルにおける物理層及びデータリンク層に対応する通信プロトコルのみを使用する。つまり、イーサフォンは利用範囲を近距離・閉鎖的なネットワークのみに利用場所を限定することで、イーサネットの機能のみを用いて、TCP/IP 等のプロトコルの設定なしに通信を行えるものである。

表2: OSI参照モデル

階層	OSI参照モデル	プロトコル例
7	アプリケーション層	WWW
6	プレゼンテーション層	データの変換
5	セッション層	コネクションの確立や開放
4	トランスポート層	TCP, UDP
3	ネットワーク層	IP
2	データリンク層	CSMA/CD
1	物理層	100 BASE-T

本稿では送受信用のPCとノードである無線端末を繋ぐための通信手段としてイーサフォンを用いた。通信手段にイーサフォンを用いた無線端末（イーサフォ

ン端末)は送信元から受け取ったデータをブロードキャストして全体に流す。これにより、送信元から送信先までのルーティングや経路選択等の設定が不必要となる。また、ノード端末の追加や削減、動的配置を簡単に行うことが出来る。

2.3 イーサフォンによる災害復旧支援ネットワークの概要

イーサフォンによる災害復旧支援ネットワークの概要について説明する。利用用途は災害時における、災害の規模や損害による影響などの災害情報、住民の避難状況、救助活動の進行状況、食料や日用品や暖房設備など必要物資の伝達をするためである。ネットワークの通信規模は各避難場所間と災害対策本部を繋ぐ上位的なものとする。ネットワークのイメージを図1に示す。

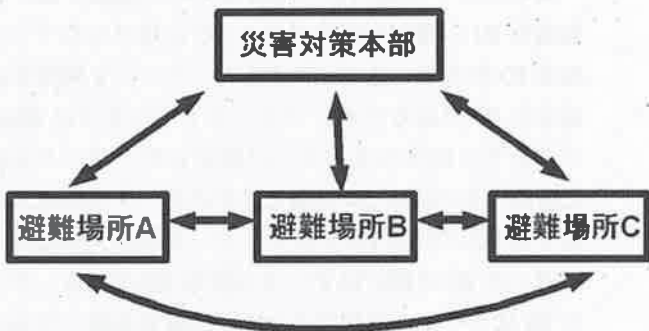


図1: ネットワーク環境の概念図

通信技術にイーサフォンを用いているため、通信におけるルーティングは、細かくルートを設定して通信するのではなく、周囲にある全ての端末にブロードキャストを行うことで通信を行う。通信における流れを、図2を用いて説明する。避難場所Aが災害対策本部にデータを送ろうとした場合、避難場所Aから直接災害対策本部にデータを転送することが出来る。しかし、災害対策本部にデータが届いた時点でデータの転送を止めるのではなく、避難場所Bにもデータを転送する。これはブロードキャストによって周囲にある端末全てに送信を行っているからである。

また、避難場所Bは受信したデータが自身に向けられたデータではないため、ブロードキャストを行う。それにより避難場所Cにも避難場所Aが送信した内容がわかる仕組みになっている。ここでイーサフォンを用いた災害復旧支援ネットワークの概要は以下のようにまとめられる。

- ・災害時における各避難場所間と災害支援対策本部を繋ぐネットワークの構築
- ・利用用途は災害情報、避難状況、救助状況、必要物資の伝達等
- ・ブロードキャストして通信を行い、全ての端末にデータを送信

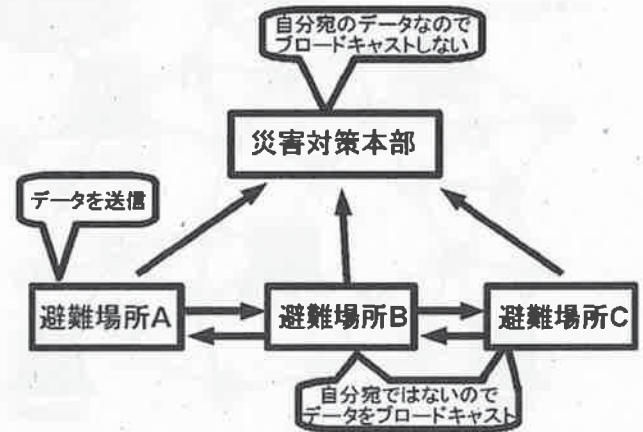


図2: イーサフォン通信の概念図

3. イーサフォンによる災害復旧支援ネットワークの設計と構築

3.1 イーサフォンによる災害復旧支援ネットワークの設定条件

イーサフォンによる災害支援ネットワークの構築の設定条件について説明する。各避難場所及び災害対策本部(支点)にはデータの送受信が可能なPCを設置する。支点間を無線で接続して通信が行えるようにイーサフォンの機能を持った中継端末(ノード)を設置する。各ノードは固定的且つ、どのルートも単一にならず複数になるように配置する。

災害復旧支援ネットワークの利用において災害対策本部は外部ネットワークとの通信が考えられる。イーサフォンはルータの壁を越えることは出来ないが、災害対策本部はネットワーク環境の破壊されてない場所に設置されるので、外部との通信が必要な際にはそちらのネットワークを利用して通信を行う。ここで、ネットワークの概念図を図3に示し、状況設定は以下のようにまとめられる。

- ・各避難場所及び災害対策本部(支点)にはデータの送受信が可能なPCを設置
- ・支点間を無線接続出来るように中継端末(ノード)

を設置

- ・中継端末は固定的に且つ、どのルートも複数になるように配置
- ・外部ネットワーク接続には通常のネットワークを利用

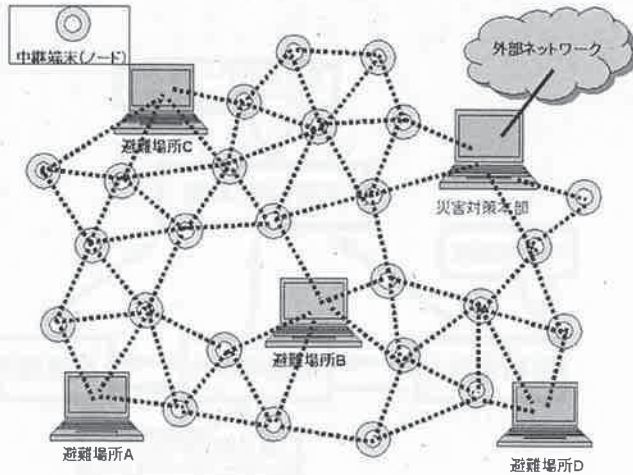


図3: イーサフォンによるネットワークの概念図

3.2 無線イーサフォンを用いたネットワークのルーティングプロトコル

具体的な前提条件について説明する。各支点の送受信 PC は固有の ID を持ち、全ての支点はお互いの MAC アドレスと固有 ID を把握しているものとする。プロトコルのフレームフォーマットはイーサネットのフレームフォーマットを利用した。その内容を図4示す。



図4: イーサフォンのフレームフォーマット

フレームフォーマットの各内容について説明する。イーサフォンはブロードキャスト通信を用いるため、宛先 MAC アドレスの欄にはブロードキャストアドレスが入る。送信元 MAC アドレスの欄には1ホップ前の端末の MAC アドレスが入る。MAC アドレスは6バイトの大きさを持っているため、このフィールドは6バイトである。タイプの欄ではイーサフォンのパケットであるか判定するためのイーサネットを示すフ

ラグが入るフィールドで2バイトである。データ部にはデータを送信する上で必要な情報が入り、フィールドの大きさは可変長で、最小が46バイトで最大が1500バイトである。データ部の具体的な内容については後ほど説明する。イーサフォン全体のフィールド情報を表3に示す。

フィールド名	バイト数	内容
宛先MAC アドレス	6	データを送信する宛先のMACアドレス
送信元MAC アドレス	6	1ホップ前の送信元のMACアドレス
タイプ	2	プロトコル識別するための識別番号。イーサフォンパケットか確認
データ部	46~1500	必要情報(表4参照)

表3: イーサフォン全体のフィールド情報

続いてデータ部の中の内容について説明する。宛先固有 ID の欄には宛先である PC に付けられている固有 ID が入る。固有 ID は端末一つ一つを識別する固有の ID であるため、フィールドの大きさは MAC アドレスと同等の6バイトに設定した。データ送信元情報の中の固有 ID の欄にはそのデータを作成し送信する PC の固有 ID が入る。データ送信元情報の中のデータ ID の欄にはデータの固有 ID が入る。データ ID はデータを送信する PC が情報を連続して送る際に何番目のデータであるか示すようなデータの固有 ID のことである。これは後述に示す受信処理の中の応答メッセージによる処理によって先に送ったデータが消されないようにする為のものである。フィールドの大きさは1日に情報を送信する回数等を考え、大きめに設定し、2バイトとした。データ消去要求の欄には削除するデータの固有 ID とデータ ID が入る。フィールドの大きさはデータ送信元情報と同じ8バイトである。そしてデータ(伝達事項)の欄に災害情報等の伝えたい情報を入れる。フィールドの大きさはイーサフレームのデータ部のフィールドの大きさから上記のフィールドを差し引き、24~1478バイトとした。データ部のフィールド情報を表4に示し、データ送信元情報のフィールド情報を表5に示す。データ消去要求のフィールド情報に関しては送信元情報フィールドとほぼ同じであるため省略する。

システムを初めて動作する際はデータ ID を全て利用可能状態にしてスタートさせる。ここで前提条件は以下のようにまとめられる。

- ・各支点は固有の ID を持つ
- ・支点の MAC アドレスと固有 ID は全ての支点がお

フィールド名	バイト数	内容
宛先固有ID	6	データを送信する宛先の固有ID
データ送信元情報	8	データを送る送信元の情報
データ消去要求	8	再送防止用記憶IDの削除要請
データ(伝達事項)	24~1478	伝達したい情報

表 4: データ部のフィールド情報

フィールド名	バイト数	内容
固有ID	6	データを送った送信元の固有ID
データID	2	送ったデータの固有ID

表 5: データ送信元情報内のフレーム情報

互いに把握している

- ・データ ID はデータに付けられた固有 ID
- ・データ ID を全て利用可能状態にしてシステムをスタートさせる

次にデータを送信してから受信するまでの処理の流れについて説明する。まず、データを送信する際の処理について説明する。送信側は、データを伝える宛先である PC の固有 ID を、送信するデータのデータ部の中の宛先固有 ID の欄に挿入する。データ送信元情報の欄に自身の固有 ID とデータ ID を挿入する。使用したデータ ID を利用不可能状態にする。初めてデータを送信する際はデータ消去要求には何も挿入しない。受信している応答メッセージがある際は、その応答メッセージのデータ部のデータ送信元情報の内容を送信するデータの消去要求の欄に挿入する。そしてデータ（伝達事項）に災害情報や避難情報のような伝えたい情報を入力して送信する。ここで送信処理は図 5 のようにまとめられる。

次にデータの中継する処理について説明する。データを受信した支店及びノードは受信したデータのデータ部の中のデータ送信元情報である固有 ID とデータ ID が自身の記憶領域に既に保存されているか照合を行う。照合した結果、保存されていないと判断されたデータ送信元情報は記憶領域に保存し、送られてきたデータを周囲の端末にブロードキャストして送信する。照合した結果、既に保存されていると判断された場合は、受信したデータのブロードキャストを行わず、受信した情報を破棄する。

データ部のデータ消去要求に情報が入っている場合は、そのデータ消去要求の中の固有 ID とデータ ID

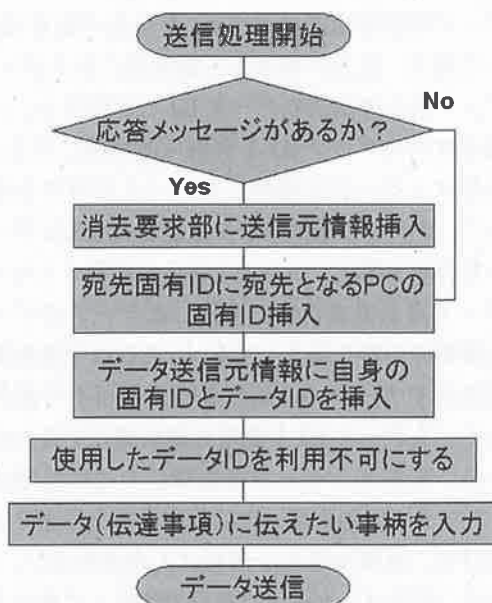


図 5: 送信処理の流れ

が自身の記憶領域に記憶されている場合、その情報に対応した固有 ID とデータ ID を消去（初期化）する。ここで中継処理は図 6 のようにまとめられる。

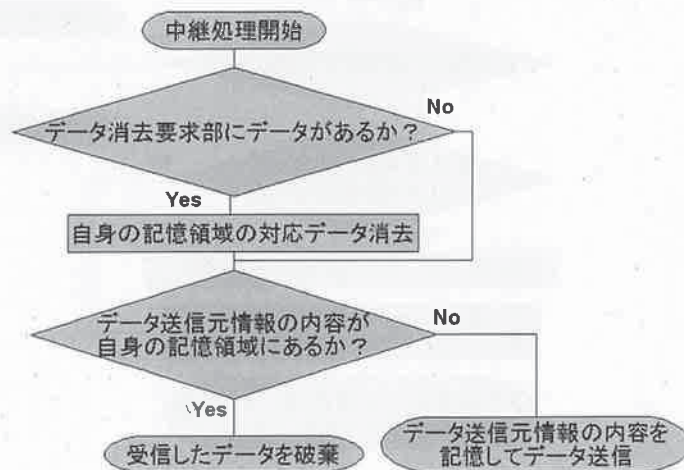


図 6: 中継処理の流れ

次に、データを受信した際の処理について説明する。まず、受信したデータのデータ部のデータ送信元情報の固有 ID と自身の固有 ID とを照合し、一致した場合は、そのデータを破棄する。次に、受信したデータの宛先固有 ID と自身の固有 ID とを照合する。一致した場合は、データ（伝達事項）を確認し、応答メッセージを返す。一致しなかった場合は、中継処理を行う。

データ消去要求部の固有 ID が自身の固有 ID と一致した場合、自身の利用不可能状態にあるデータ ID とデータ消去要求部のデータ ID とを照合し、一致した場合はそのデータ ID を利用可能状態にする。

応答メッセージは受信したデータに対する返事ではなく、データの送信側が、指定した宛先にデータが届いたのかを確認するものである。応答メッセージにはデータ消去要求の欄に受信したデータのデータ送信元情報の内容を挿入しておく。これは中継処理の初期化処理やデータの送信によって利用不可能状態になっているデータ ID を利用可能状態にするため等に用いる。応答メッセージ送信時にも送信処理を行うが、データ（伝達事項）には受理成功を示すメッセージだけで、返事や新たな情報は入力出来ない。

また、応答メッセージは自分で作成して返すものではなく、自動で送信するように設定されている。ここで受信処理は図7のようにまとめられる。

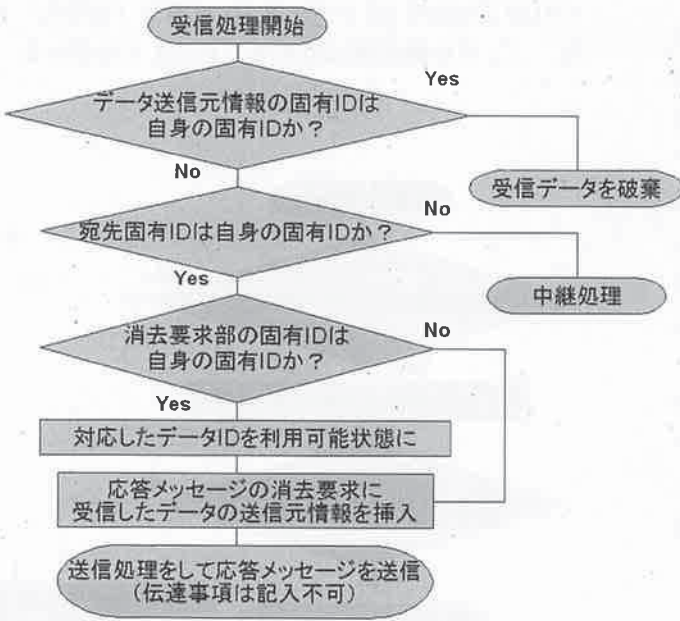


図7: 受信処理の流れ

3.3 シミュレーションプログラムの設計

ノードの配置パターンを自由に設定でき、どの配置パターンでも提案したプロトコルが正しく動作するか調べるシミュレーションを行った。また、各配置パターンのデータ到達速度を調べることでシステムの信頼性をテスト出来るようにした。都市フィールドはマス目状にし、送信 PC を S、受信 PC を J、中継ノードを N として設定した。シミュレーションプロ

グラムの操作画面を図8に示す。送信 PC、受信 PC、中継ノードはラジオボタンを切り替えることで排他的に配置することが出来る。送信 PC と受信 PC は各1台のみ配置可能とし、ノードは複数個設置することが可能である。送信開始ボタンを押すことでデータの伝達を開始し、停止ボタンでネットワークをリセットする。

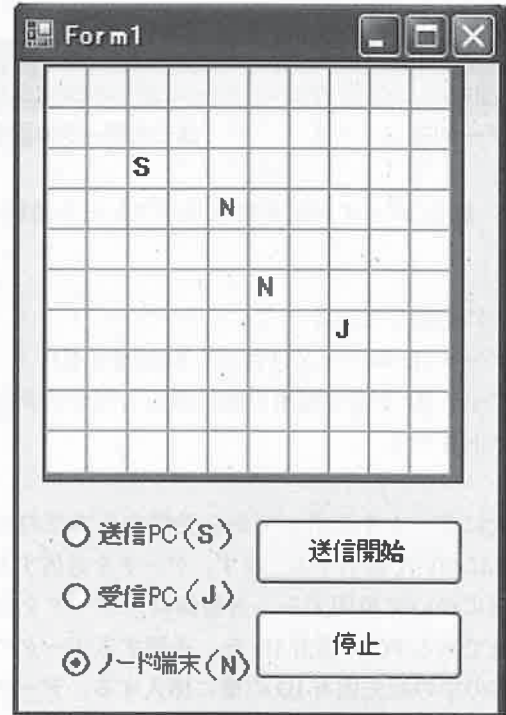


図8: 操作画面例

4. 実装シミュレーション

4.1 シミュレーションの前提条件

シミュレーションの設定を以下のようにして実験を行った。

- ・ 10 × 10 のマス目都市
- ・ ノードの配置は動的に行う
- ・ データの転送は固定的に行う
- ・ 電波範囲は 4 マス
- ・ 伝送速度は 1 マスあたり 0.05ms
- ・ 処理速度は受信処理・送信処理共に 20ms

配置パターンには図9、図10、図11の3パターンを用いて行った。

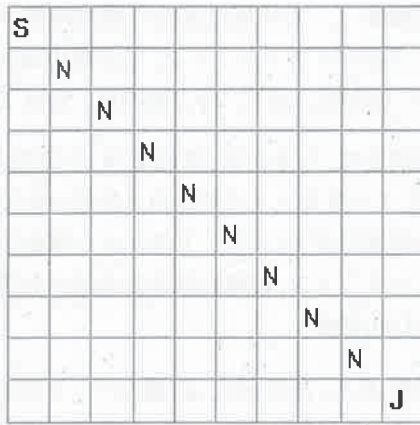


図 9: パターン 1

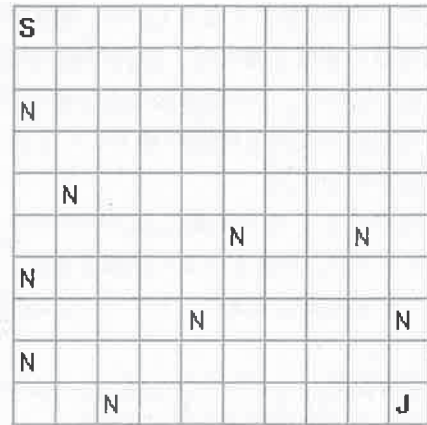


図 11: パターン 3

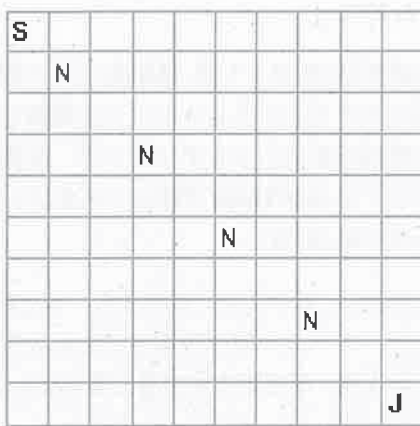


図 10: パターン 2

4.2 シミュレーション結果

前提条件に基づきシミュレーション実験を行ったところ、3パターンともデータの伝送が問題なく行われた。その結果を表6に示す。伝達速度はデータが宛先に届くまでの最短の時間である。伝達終了時間は範囲内の一番最後の端末がブロードキャストを行った終了時間である。配置中継ノードの数がマップ全体に配置された中継ノード数で、伝達までのホップ数が最短経路でのホップ数である。

	データの伝達	伝達速度 (ms)	伝達終了時間 (ms)	配置中継 ノードの数	伝達までの ホップ数
パターン1	○	200.9	201.0	8	5
パターン2	○	200.9	200.9	4	5
パターン3	○	401.3	401.3	9	9

表 6: シミュレーション結果

5. 考察

本研究では、無線イーサフォンを用いて災害復旧支援ネットワークを構成するための新しいプロトコルの提案を行った。そして、3章で述べたような方法でイーサフォン用のルーティングプロトコルを提案し、シミュレーション実験を行った。

その結果、全てのパターンでデータが伝達したことから、提案したプロトコルは正常に動作していることがわかる。

次に、パターン1と2を比較した。2つのパターンは最短ルートは同じだが端末の密度が違っている。このような場合、密度の高い方が全ての端末にデータを伝送するまでに時間がかかると考えられるが、イーサフォンによる通信はブロードキャストにより周囲の端末に一齐に送信しているため伝達終了時間にほとんど差がない結果となっている。

このことから、ノードを格子状に増やしてすべての送受信端末を繋げれば、伝達が終了するまでの時間を増やすこともなく理想的な配置が出来ることがわかる。

次に、パターン2と3を比較した。送信端末と受信端末の位置は同じだが、最短経路が大きく異なっている。そのため、同じ距離でも倍近くの処理時間がかかってしまっている。これにより、どこにノードを追加すれば伝達時間が短縮されるかわかる。パターン3で例えると、送信PCから右に3、下に4の位置にノードを追加すれば、伝達速度を60.45ms短縮することが出来る。

最後に、パターン1と3比較した。パターン2と3を比較したときとほぼ同様に最短経路が大きく異なっている。それに加え、配置されたノードの合計もほぼ同じになっている。しかし、データが伝送されるまで

の最短ホップ数が倍近くになっている。通常同じ範囲に端末を増設し密度を増せば、伝達時間は短縮するはずである。しかし、この結果を見ると端末の配置場所を誤ると伝達にかかる時間が降下してしまうことがあることがわかる。

これらのことから、提案したプロトコルとシミュレーションプログラムをうまく使用すれば、無線イーサフォンを災害復旧支援ネットワークに応用できると考える。

本研究で提案したプロトコルは、シミュレーションである程度の成果を挙げることができた。しかし、作成したシミュレーションプログラムではまだ足りないと考えられる。そのため、今後は実環境に近いシミュレーションを行い、実際に端末を実装することで、さらなる成果を挙げると期待できる。

6. まとめ

本研究では、無線イーサフォンを用いた災害復旧支援ネットワークの構成方法の検討を行った。そこで、無線イーサフォン用プロトコルの新規提案とシミュレーションシステムの作成を行った。シミュレーション実験を行った結果、提案したイーサフォン用プロトコルが正しく動作することがわかった。また、設定の手間を省け、安価にネットワークを形成することが可能であることがわかった。このことから、無線イーサフォンを用いた災害復旧支援ネットワークの有用性を示すことが出来たと考えられる。

今後の課題としては、シミュレーション実験の内容の追加が挙げられる。建物などによる電波強度の変化、マス目ではなく地図に直接配置出来るようなシミュレーションを考えることで、実際に端末を設置する時に役立つと考えられる。また、この端末を実際に作成して動作実験を行い、実環境での実験を行う必要があると考えられる。

参考文献

- [1] 間瀬憲一, 阪田史郎. 「アドホック・メッシュネットワークーユビキタスネットワーク社会の実現に向けてー」, コロナ社, 2007.
- [2] 阿部 圭一. 画像処理と無線アドホックネットワークを統合した災害時ライフライン情報通信・復旧支援システム, 通信・放送機構地域提案型開発制度平成14年度研究成果報告書、(2003).

- [3] 間瀬憲一. 大規模災害時の通信確保を支援するアドホックネットワーク, 電子情報通信学会学会誌, vol.89, no.9, pp.796-800, Sept. 2006.
- [4] 吉岡正博, 白井治彦, 黒岩丈介, 小高知宏, 小倉久和. イーサネットの機能のみを用いた通信モデルの提案と実装-ブロードキャスト機能を利用したイーサフォン. 情報処理学会全国大会講演論文集 vol.69(2007).
- [5] 後藤 真人, 吉田 聡太, 間瀬憲一. アドホックネットワークにおけるテーブル駆動型経路制御プロトコルの性能評価, 電子情報通信学会技術研究報告. MoMuC, モバイルマルチメディア通信 103(422), 1-6, 2003.
- [6] 篠田孝祐, 野田五十樹, 國藤進. 「人の繋がりを利用したアドホックネットワーク環境を用いた災害時情報支援」マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO 2003) シンポジウム論文集, pp.45-48, 2003
- [7] 岩倉寛幸, 松中正法, 柴田史久, 木村朝子, 田村秀行. モバイル複合現実感による災害時の設備復旧支援, 歴史都市防災論文集 Vol.1 (2007年6月)
- [8] 福井大学: 通信装置, 及び, 通信方法, 特許出願 2004-217916, 特許公開 2006-041842, 特許番号 (特許第 4110251) .