

ネットワークインテリジェンスによる災害時支援システムの開発

1. はじめに
2. オントロジー
3. 実験機器構成
4. 実験
5. おわりに

山 口 亨*
 齋 藤 毎 至**
 梅 田 雅 士**
 小 倉 泉***
 秋 山 哲 男****

要 約

情報インフラは整い、便利になり、そして高度化してきた。その反面、大地震などの災害時には非常に弱い。よって、既存のネットワークに機能を追加し、災害に強いネットワーク構築を行うことが必要である。また、被災状況に応じて避難経路や火災状況など必要な情報を自動的に集めてくる機能も必要である。本稿では、災害時におけるネットワークリンクのダウンを克服するための手法と、状況に応じて必要な情報を自動的に集めてくるための手法の2つを提案することで、ネットワークインテリジェンスを構築し、災害時における避難支援システムを開発する。

1. はじめに

情報インフラは整い、便利になり、そして高度化してきた。その反面、大地震などの災害時には非常に弱い。全ての情報を一箇所のコンピュータで集中管理する既存の方法は、そこが停止してしまうと誰一人として情報を得られなくなってしまう。このような事態にならないため、ネットワークが切れてしまったら、つながっているコンピュー

タだけでコミュニティを再構成し、「情報の分散化」を行う必要がある¹⁾。しかし、情報の分散を行うと大量のコンピュータが情報を出力し、様々な情報が散乱するので、これらの情報を整理して分かりやすく見やすくする必要があり、ところが、このような作業をキーボードやマウスを使って行うのは非常に面倒であり、特に災害時には不可能であるため、コンピュータが利用者側に歩み寄り、人間の置かれている状況に応じて自動的に情報を収集して整理し、必要に応じて情報を

*東京都立科学技術大学大学院工学研究科

**東京都立科学技術大学大学院工学研究科（修士課程）

***東京都立保健科学大学

****東京都立大学大学院都市科学研究科

教えてくれることが必要である。このように、人間の置かれている状況に応じて自動的に情報を収集して整理し、必要に応じて情報を教えてくれる機能は災害時だけでなく日常時でも有効である²⁾。

本稿では、分散して情報を保持するための情報管理の方法をコンピュータがネットワークの状況に応じて自動的に認識する機能と、人間の置かれている状況に応じて自動的に情報を収集して整理し、必要に応じて情報を教えてくれる機能の2つの機能を持つオントロジーを利用し、ネットワークインテリジェンスを構築する。そして、避難訓練実験を行い、このネットワークインテリジェンスが災害時における避難支援システムとして有効であることを示す。

2. オントロジー

2.1 オントロジーとは

本来オントロジーは哲学用語で「存在に関する体系的な理論(存在論)」という意味であるが、本稿におけるオントロジーとは、我々の共有する概念体系を工学的に取り扱うオントロジーをいう³⁻⁷⁾。オントロジーは、共通の基盤を持つことによって機械が自己と他者、環境の関係の情報を処理し、人間を「理解」し、この理解に基づいて、その時実行すべき適切な反応の形成を可能にすることを目的とする。そして、このオントロジーを、人間が知識を経験から獲得していくように、新たな事例からボトムアップ的に構築していく手法をとった。ネットワーク全体がオントロジーを基礎とする知能機構を持つことで、人間の意図を把握し、人間をダイナミックに支援するシステムの実現が可能となる。

2.2 モバイル端末の現在と未来

近年のネットワークの発達は目覚しく、携帯電話の利用者の人口普及率は60%を超え、いつでもどこでも携帯電話を持ち運び利用するようになった。現在の携帯電話は、カメラや電話やメール機能が中心であるが、携帯電話に似た携帯端末とし

てPDAと呼ばれるものがある。PDAは携帯電話の持つ機能に加え、無線LANやBluetoothなどのネットワークが強化されていて、インターネットやメッセージ機能など、ネットワークコンピュータ的な機能を持つ。携帯電話は、今後Symbian OSやSmartPhone OSを搭載し、PDA化するといわれている。近未来の携帯電話は、携帯電話基地局のほかに、無線LAN基地局や、Bluetooth基地局などの複数の基地局と通信を行えるようになり、マルチバンド化される。そして近い将来、携帯電話はネットワークが強化されたPDAのような移動端末機となり、我々はこのような端末を常に持ち運び利用することになると予想される。

このように、日常において携帯電話は非常に便利なコミュニケーションツールであり、さらに高機能化、高度化が進んでいるが、2004年の新潟中越地震においては、携帯電話はまっさきに使えなくなった。これは、被災地への安否の確認によるネットワーク負荷の増加、有線ケーブルの断線、電源の供給の停止等が主な原因である。1995年の阪神淡路大震災においても、必要な情報が必要な人に届かなかつたために、被災後の救援活動が組織的に迅速に行われなかつたことが大きな問題点として指摘されている。これは、既存の情報管理の仕方が、一箇所に情報を集中して管理する「情報の集中化」型であり、災害時に一箇所のコンピュータが停止した場合や、ネットワークの到達経路がなくなった場合に、誰一人として情報を得ることができなくなってしまうのが主な原因である。既存の情報ネットワークインフラは整い、便利になり、高度化してきたが、その反面、大地震等の災害時には弱いことを露呈したといえる。

2.3 災害時において必要とされるオントロジーとは

災害時におけるインフラの問題点は、有線ケーブルが断線することによって情報がやり取りできなくなる点にある。しかし、情報は有線ケーブルの中を電気信号としてのみ運ばれる、というわけではない。日常時、災害時にかかわらず、人が移

動すると近未来携帯電話端末も移動し、これに格納された情報は、無意識のうちに人が運んでいることになる。ネットワークがダウンしても、人と共に情報は移動する。従って、近未来携帯電話端末に情報を一時的に記憶させ、人に運んでもらい、分断されたネットワーク先でその情報を送信してもらえば、分断したネットワークを超えて情報を運ぶことができる。情報はあたかも手紙のように人の移動によって運ばれるのである。しかし、災害時においては、情報を運ぶための面倒でわずらわしい操作をする余裕はない。無意識のうちに、ネットワークが自動的に情報転送の必要性を認識し、移動する近未来携帯電話端末に情報の転送を行わせる機構が必要である。通常時においては既存のネットワークを、災害時においては人の持ち運ぶ近未来携帯電話端末が情報の搬送の役割を担う仕組みにし、ネットワーク自身が自動的にこれを切り替えて使うような仕組みを搭載させると、何とか情報は伝わり、災害時にも頑健であると考えられる。これがネットワークルーティングオートロジーである。

次に、災害時における情報管理の問題点は、必要な情報が必要な人に届かないことである。これは、既存の情報管理の方法が、全ての情報を一箇所のコンピュータに集中させる方法であるため、そこが災害等で停止した場合や、ネットワークの到達経路がなくなってしまった場合、誰一人として情報を得られなくなってしまうことが原因である。そのような事になってはならないため、ネットワークが切れてしまったら、つながっているコンピュータだけでコミュニティを再構成し、「情報の分散化」を行う必要がある。しかし、分散を行うと大量のコンピュータが情報を出力し、様々な情報が散乱するので、これらの情報を整理して分かりやすく見やすく必要がある。ところが、このような作業をキーボードやマウスで行うのは非常に面倒であり、特に災害時においては不可能であるから、コンピュータが利用者側に歩み寄り、人間の置かれている状況に応じて自動的に情報を収集して整理し、必要に応じて情報を教えてくれることが必要である。このように、人間の

置かれている状況に応じて自動的に情報を収集して整理し、必要に応じて情報を教えてくれる機能は災害時だけでなく日常時でも有効である。これが、災害時における情報自動提供オートロジーである。

従って、既存のネットワークに少し機能を追加するだけで、災害に強いネットワーク構築ができることになる。

2.4 リンクダウンに有効なネットワークルーティングオートロジー

通常時においてはインターネットを使って情報を共有するが、災害が発生してネットワークが切断され情報が送信できなくなった場合は、つながっているコンピュータだけでコミュニティを作って「情報の分散化」を保持しようとする。各コミュニティに属するコンピュータは、近未来携帯電話端末や、ヒューメインピークル^{8~10)}等の移動可能なデバイスの接続を待ち、他のコミュニティとの通信を行う機会を待つ。

各コミュニティに属するコンピュータは、移動可能なデバイスの接続を確認したら、情報を運ぶよう指令を出し、搬送するための情報を送信する。一般的に、これらの移動可能な装置は、記憶領域は大きくはないため、運ぶ情報に緊急レベルを格付けし、緊急度の高い情報を優先的に運ぶようにする。移動可能なデバイスは、情報を所持したまま、人の手によって移動されるのを待ち、移動後、この情報を別のコミュニティで送信する(図1)。

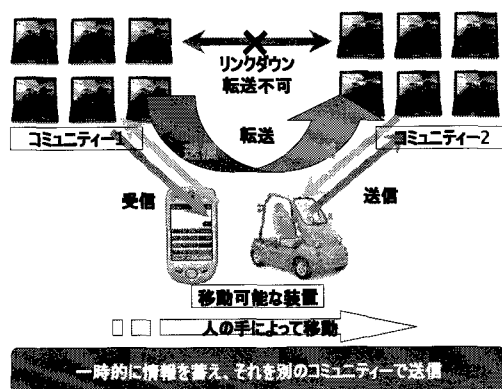


図1 情報転送の仕組み

このようにして、コミュニティに属するコンピュータは情報転送の必要性をネットワークの状況に応じて自動的に認識し、移動可能なデバイスは情報転送の役割を自動的に認識して行うインテリジェントを持つ。このようにして、災害時においてネットワークがダウンしても何とか情報を伝えてくれる手法を、ネットワークルーティングオントロジーと呼ぶ。

2. 5 災害時における情報提供オントロジー

大地震の被災直後、人はどのような情報を必要とするのかということ、あらかじめ避難訓練実験を行って調べた。この実験については4.1に記載した。この実験の結果、「火災など発生状況」に関する情報を必要とする人は74.8%、「道路が通行できるか否かの状況」に関する情報を必要とする人は64.5%、「家族・友人などの安全確認」に関する情報を必要とする人は78.6%、「他者の避難の支援を行いたい」という人は84.3%となった。よって、火災発生状況の情報、避難所まで安全に移動できる経路情報、知人友人などの避難状況情報、自力で避難をすることができないため救助を要請している人がいるという情報、の4つの情報を共有することで、避難訓練実験における情報ニーズは満足され、救援活動を迅速に行えるようになることができる。そして、これらの情報を状況に応じて自動的に通知するオントロジーをボトムアップ的な手法で構築する。

火災発生状況の情報、知人友人などの避難状況情報、自力で避難をすることができないため救助を要請している人がいるという情報は、移動端末に表示すれば情報ニーズは満足される。しかし、避難所まで安全に移動できる経路情報については少し工夫を要する。なぜならば、大地震発生直後であるため、全ての経路が安全に通行できるかどうかわからないからである。このような場合において、安全に、確実に、できるだけ遠回りせずに避難所までたどり着くことのできる経路をどのように探すのかということをお考えたとき、「誰か1人が通り抜けた道は安全に通行可能である」という確実な方法がある。誰かが交差点Aから交差点

Bへ通り抜けた場合、AからBとBからAの経路は安全に通り抜けることができると評価する。この方法では、始めの1人に対しては避難経路の支援をすることはできないが、2人目以降に対しては避難経路の支援を行うことができると考えられる。本稿においては、被災者は近未来携帯電話端末を常に所持し、端末は過去に通過してきた経路の情報を自動的に記録していると仮定している。従って、この端末の経路情報を利用することで通行可能な道路を判断することができ、避難所までの安全に通行できる経路を被災者のいる位置に応じて自動的に知らせることができると考えられる。このような手法を、災害時における情報提供オントロジーと呼ぶ。

3. 実験機器構成

3. 1 i-Spot(固定端末)

街の交差点や家の中等にある、設置場所を固定された端末を「i-Spot」と呼ぶ(i-Spot=Intelligent Spot)。この端末は、図2に示すように、一般パーソナルコンピュータと無線LANユニットとカメラデバイスで構成されている。カメラデバイスは、端末の周辺の状態を認識するために利用される。無線LANは、移動端末が接続するため、及び、隣接するi-Spotと無線LANによる接続を行うために利用される。通常利用においては、インターネットを使って情報共有を行うが、インターネットが利用できなくなった時には、自動的に無線LANを利用することを試みる。しかし、それでも通信が行えない場合は、移動端末による情報の転送を試みる。これらのことを自動的に行うネットワークルーティングオントロジーは、作成したソフトウェア上に実装され、一般パーソナルコンピュータ上で動作し、様々な情報を共有する。

この端末は、同じコミュニティに属する端末と情報を共有する機能を持つ。具体的には、火災が発生している場所や、通行可能な道路の情報、避難支援要請情報等を共有する。次に、移動端末と情報の送受信を行うために、無線による接続を行

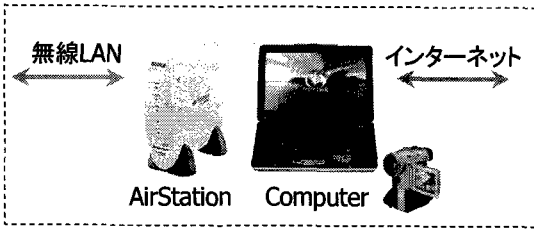


図2 i-Spot

う機能を持つ。具体的には、地理的な場所情報、災害の情報、ネットワークの断線を認識した場合に転送させる情報等をやりとりする。最後に、移動端末に情報の輸送を行うための指令を送る機能を持つ。この機能はリンクダウンに有効なネットワークルーティングオントロジーによって自動的に実行される。

3. 2 移動端末

設置場所が固定されていない端末を「移動端末」と呼ぶ。移動端末には、近未来携帯電話端末とヒューメインビークルの2種類が存在する。

(1) 近未来携帯電話端末

近未来携帯電話端末は、図3に示すように、PDAと無線LANユニットで構成されている。無線LANは固定端末に接続するために利用される。このデバイスを持ちながら歩き回ると、最も近くに存在するi-Spotの無線LANユニットに自動的に接続される。

この端末では、利用者の置かれている状況に応じて自動的に情報を集めてきて整理して、必要に

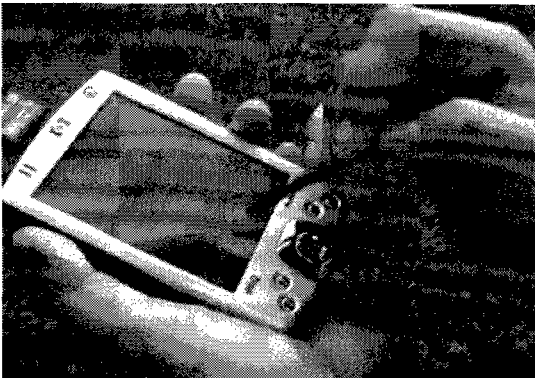


図3 PDA(近未来携帯電話端末)

応じて情報を教えるオントロジーを実装したソフトウェアを実行する。本稿では災害時におけるオントロジーをボトムアップ的に構成し、避難所までの安全に通行可能な避難経路、火災発生場所、一人で避難を行うのが困難であるため避難要請を行っている者がいるという情報を必要に応じて自動的に表示する。また、i-Spotから送信できずに送信を中止している情報を受け取り、人の手によって移動されるのを待ち、分断されたネットワークを超えて他のコミュニティに送信するリンクダウンに有効なネットワークルーティングオントロジーについても、同様にソフトウェアで作成し実行する。

(2) ヒューメインビークル

ヒューメインビークルは、図4に示す一人乗りの車である。この車の上に、i-Spotを搭載させると、車が移動することができるため、i-Spotの持つ機能に加え、リンクダウンに有効なネットワークルーティングオントロジーの機能も利用可能になる。この端末の名前をi-Spot on the Carと呼ぶことにする。i-Spot on the Carは、i-Spotからは移動端末として扱われ、近未来携帯電話端末からはi-Spotとして扱われる。

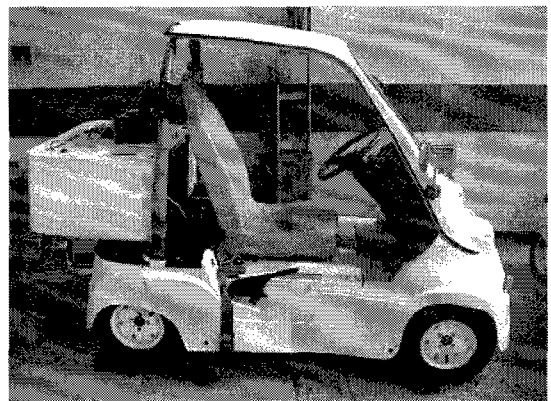


図4 ヒューメインビークル

4. 実験

4. 1 災害時における必要情報の検出

大地震等の災害時、避難を行う際にどのような

情報を必要とするのかを調べ、災害時におけるオントロジーをボトムアップ的に構築するための事前調査を行った。

この実験では、東京都板橋区において、建物が倒壊し火災が発生するような大地震が発生したと想定する。地震の大きさは、阪神大震災レベルのマグニチュード7程度を超えるものと仮定する。本実験は、一人で避難を行うには困難を伴う肢体不自由者と知的障害者の方々(避難弱者)と介助者の方々に協力を依頼し参加をお願いした。参加者数は、障害者の方が8名、介助者の方が12名であり、地震発生後、介助者は避難弱者の自宅へ行き、一緒に避難所まで移動するという避難行動をとる。

実験終了後にはインタビュー調査(ディスカッション)を行い、避難所まで避難を行う一連の避難活動を行う際に発生する問題点を洗い出し、さらに、質問紙を用いた実態調査も実施した。対象者は、東京都内の災害危険地域に住む住人で、人口密度および現地調査から災害危険地域として東京都板橋区を選定した。平成16年12月に東京都板橋区仲町、弥生町、南常盤台1丁目に居住していた住民11359人である。

これらの結果を考察し、避難を行う際にどのような情報を必要とするのかを調べたところ、「火災等の発生状況」に関する情報を必要とする人は553人(74.8%)、「道路が通行できるか否かの状況」に関する情報を必要とする人は447人(64.5%)、「家族、友人などの安全確認」に関する情報を必要とする人は581人(78.6%)、「他人の避難を支援したい」という意思を持つ人は623人(84.3%)であった。

これらの事実より、災害時における情報提供オントロジーを2.5で説明したとおりボトムアップ的に構成した。

4. 2 避難経路通知の有効性を示す実験

本実験では、災害時における情報提供オントロジーを使用し、避難経路情報を利用した場合と利用しなかった場合の2通りの避難実験を行って比較することにより、評価を行うことを目的とする。

図5はオントロジーを利用した場合の避難経路

で、図6はオントロジーを利用しなかった場合の避難経路である。共にGPSによる測定を行いながら避難を行い、移動経路を地図に重ねた。

実験の結果、オントロジーによる避難経路情報を持っているほうが移動距離で31%の短縮、時間で38%も短縮することができた。避難経路通知の有効性は示された。

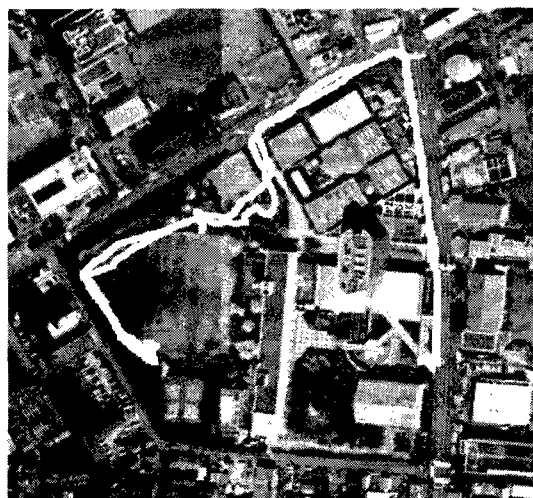


図5 避難経路情報あり

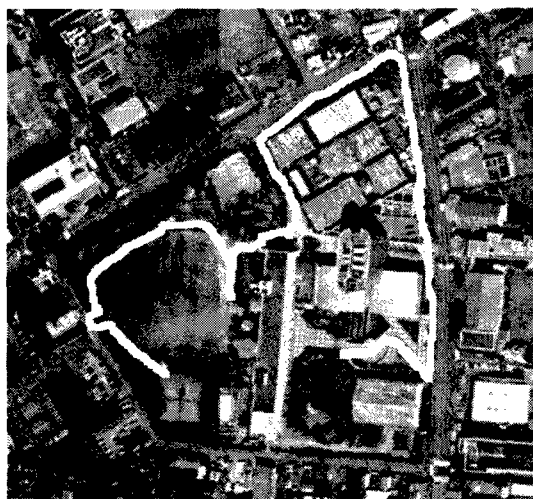


図6 避難経路情報なし

4. 3 防災ネットワーク評価実験

今回の実験は、本稿で作成した防災ネットワークの評価実験であり、これを利用した被災者が、どれだけ安心感を得たか、避難をするにあたって

どれだけ役に立ったのかを調べるために行われた。この実験では、一人で避難を行うには困難を伴う肢体不自由者と知的障害者の方々(避難弱者)と介助者の方々に協力を依頼し参加をお願いした(図7、図8)。

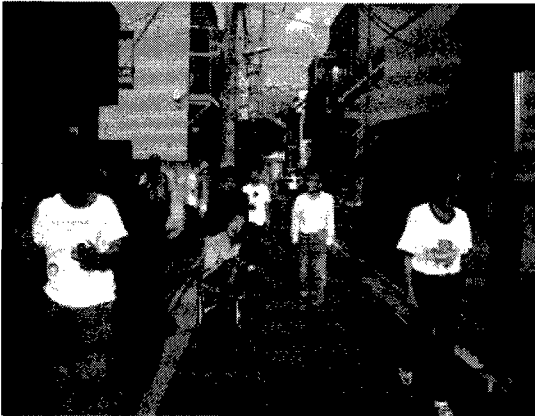


図7 実験の様子

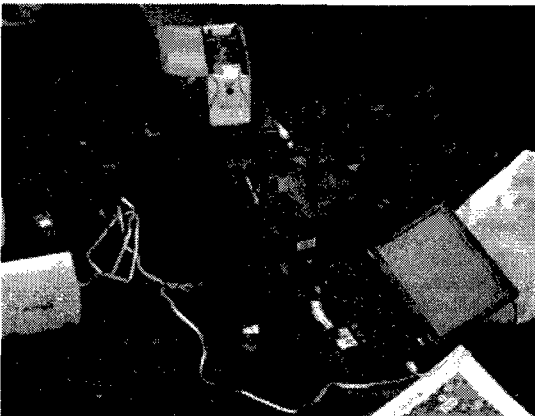


図8 固定端末

この実験では、大地震が起きたと想定する。介助者は避難弱者の元へ行き、共に避難所まで移動するという行動をとる。そしてこの実験後、アンケート調査を行って評価を行った。アンケート対象は、実験に参加した者全員であり、各項目によって異なるがおよそ30名ほどである。評価方法は、1が最も評価が低く、5が最も評価が高い5段階による評価である。アンケートの回答と質問を表1、表2にまとめた。

表1 アンケートの回答項目

評価	回答
1	かなり、不便になった、役に立たない、不安になった。
2	少し、不便になった、役に立たない、不安になった。
3	以前と比較して、変わらない、意見なし。
4	少し、便利になった、役に立った、安心した。
5	かなり、便利になった、役に立った、安心した。

表2 アンケート質問項目

質問	内容
I	地震発生時、現在の「火災の発生状況」に関する情報を知ることができて、
II	「救助が到着するまでの時間」に関する情報を知ることができて、
III	「避難所までの安全に通行できる避難経路」に関する情報を知ることができて、
IV	地震発生時、「家族・友人などの安全確認」に関する情報を知ることができて、
V	「救助要請をしている人」の情報を知ることができて、
VI	救助が到着し、「安全が確認された人」の情報を知ることができて、

アンケート結果は、次のようになった。

表3 アンケート結果(%)

	1	2	3	4	5
I	0.00	3.45	27.6	48.3	20.7
II	0.00	0.00	21.2	45.5	33.3
III	0.00	0.00	33.3	30.0	36.7
IV	0.00	0.00	34.6	26.9	38.5
V	0.00	0.00	26.9	38.5	34.6
VI	0.00	0.00	19.2	42.3	38.5

アンケート結果の評価は5段階評価であるが、平均評定はおおむね4を超えているため、本稿で作成した防災ネットワークは、避難をするにあたって役に立つという評価を得たものとして考えることができる。しかし、質問項目のうちひとつだけ、評定4を超えないものがあった。それは、

地震発生時、現在の「火災の発生状況」に関する情報を知ることができてどうだったかという質問である。この質問の評価があまりよくなかった理由として、単に火災が発生している場所を知らせるだけでは、かえって不安を煽る可能性があることを示唆している。現に、1人の回答者は不安になったという評価をしている。このような身の危険にかかわるような情報を提供する場合、火災が発生しているが、これは遠くで起きているので安全なのか、もしくは近くで起きているので危険なのか、ということまで知らせる必要があり、もし危険であれば、どの道を通って避難をすればいいのかということまで踏み込んで情報を提供する必要があると考えることができる。

5. おわりに

本稿では、分散して情報を保持するための情報管理の方法をコンピュータがネットワークの状況に応じて自動的に認識する機能と、人間の置かれている状況に応じて自動的に情報を集めてきて整理して必要に応じて情報を教えてくれる機能の2つの機能を持つオントロジーを利用し、ネットワークインテリジェンスを構築した。そして、避難訓練実験を行い、このネットワークインテリジェンスが災害時における避難支援システムとして有効であることを示した。

この研究は東京都傾斜配分特別研究費によって行われたものである。

参 考 文 献

- 1) 中林一樹・山口亨・菅又昌実, 東京の危機管理とそのツールを考える, 東京都立大学都市研究所 第15回公開講演会, 総合都市研究第80号, pp.127-162, 東京都立大学都市研究所, 2003
- 2) 山口亨, 人間中心型インターフェイスとオントロジー技術, 生産研究, 53-5, 2001
- 3) Martin Heidegger, Being and Time, Niemeyer Publishing Co., 1927
- 4) 溝口理一郎・池田満, オントロジー工学序説－内容指向研究の基盤技術と理論の確立を目指して, 人工知能学会誌, Vol.12, No.4, pp.559-569, 1997.
- 5) 溝口理一郎, タスクオントロジーとオントロジー工学, 新工学知1, 東京大学出版会, pp.107-125, 1997
- 6) 溝口理一郎, オントロジー研究の基礎と応用, 人工知能学会誌, Vol.14, pp.977-988, 1999
- 7) 山口亨・増田俊輔・村上洋, 人工オントロジーを用いた人間中心型自立エージェントシステム, 日本知能情報ファジィ学会, Vol.16, No.2, pp.50-60, 2004
- 8) Toru Yamaguchi, Chen Dayaong, Yasuhiro Takeda and Jianping Jing, Intention Recognition Using Case-base Learning in Human Vehicle, 2003 International Symposium on Advanced Intelligent Systems
- 9) Toru Yamaguchi, Jianping Jing and Jun Kawakatsu, Vehicle Warehousing Support System Based on Safe Human Cooperation Mobility System in Collaboration with Cyber City, 2003 International Symposium on Advanced Intelligent Systems
- 10) Toru Yamaguchi, Takafumi Yoshifuji, Kunihiro Ohashi and Miyoshi Ayama, Eye-Contact Communication in human vehicle, 2003 International Symposium on Advanced Intelligent Systems

Key Words (キー・ワード)

Great Earthquake (大地震), Evacuation Support (避難支援), Vulnerable People (避難弱者), Mobile (モバイル), Disaster Prevention (防災), Ontology (オントロジー), Network Intelligence (ネットワークインテリジェンス)

Developing the Support System by Network Intelligence in Case of Disaster

Toru Yamaguchi*, Maiji Saito**, Masashi Umeda**, Izumi Ogura*** and Tetsuo Akiyama****

*Graduate School of Engineering, Tokyo Metropolitan Institute of Technology

**Graduate Student, Tokyo Metropolitan Institute of Technology

***Tokyo Metropolitan University of Health Sciences

****Graduate School of Urban Science, Tokyo Metropolitan University

Comprehensive Urban Studies, No.85, 2005, pp.69-77

Information infrastructure has been well ordered, convenient, and advanced. However, it is very weak in a time of disaster, such as in great earthquake. Therefore, we need to develop system that is strong in disaster by adding functions to the present network. Depending on the state of disaster, we also need system that gathers informations, when course of refuge, state of fire, and so on. In this paper, we propose on building network intelligence to develop supporting system of sheltering, with two ways of network system. These are, to overcome breaking connection and gathering necessary information in a time of disaster.