

被災者探索のための知的データキャリアの設計・開発*

Development of Ubiquitous Victim Search Device : Intelligent Data Carrier for Rescue

川端 邦明*¹ 羽田 靖史*² 嘉悦 早人*³ 浅間 一*⁴
 (Kuniaki KAWABATA) (Yasushi HADA) (Hayato KAETSU) (Hajime ASAMA)

In the case of the large earthquake in the urban area, it is important to find where or how about the victims are in the rubble, as soon as possible. This paper describes about Intelligent Data Carrier for Rescue (IDC-R) which is a sort of ubiquitous device for searching the victims in the rubble. IDC-R is pre-set within the house and when the earthquake occurs, it falls into the rubble with the victims. After that, IDC-R repeats the message to the victims and gathers the victims' response. In this paper, the specification of such device is discussed. The prototype of IDC-R is also developed and some experimental results are described.

Key Words : Intelligent Data Carrier for Rescue, Ubiquitous Device, Victim Search, Network

1. はじめに

大都市における大規模地震等の災害発生時に、行方不明者や要救助者の安否や所在を早急に明らかにすることは、重要な課題の一つである。現状ではレスキュー隊員や犬等が被災地をくまなく探査することで被災者探索を行っているが、被災者発見までに時間がかかってしまう場合がある。被災者の救命率を低下させないためには、このような広域災害地において、同時並列的かつ分散的に被災者探索を実現するシステムを開発することは、社会支援の観点から大きな意義がある。

一方、近年の情報関連技術の発展に伴い、ユビキタス・コンピューティング¹⁾やセンサ・ネットワーク²⁾、データキャリア³⁾といった技術分野が注目を浴びている。特にこれらの技術は、人間生活空間に遍在するデバイスにより、環境を知能化することで生活支援を実現する目的で研究開発が行われている。著者らも、これまでに、知的データキャリアによる環境知能化技術を開発し、移動ロボットや人間と環境との間で情報交換を行うことで、効率的な作業実行や新たな機能の創発等の効果があることを示してきた⁴⁾⁵⁾。このようなユビキタスデバイスの導入および活躍が期待される重要な応用例の一つとして、

災害時の情報収集があげられている。

このため、著者らは、震災直後の効率的な被災者探索を実現するために、レスキュー用知的データキャリアの設計および開発を行った⁶⁾⁷⁾⁸⁾⁹⁾。レスキュー用知的データキャリアとは、被災環境自体を知能化し、瓦礫内で被災者の情報収集機能を有する無線通信可能な小型デバイスである。これにより、被災地において、至る所で並列的に被災者の探索を実現するものである。

本論文では、被災者探索のためのレスキュー用知的データキャリアの設計・開発について報告を行う。また、試作したデバイスを用いた基礎動作実験について述べる。

2. 被災者探索システム

大震災が発生した場合に、瓦礫内に閉じこめられた被災者を探索するために以下のような技術が必要であり、一部は既に実用化され、現場で使用されている。

- 瓦礫を取り除く技術 (バックホウ等の建設機械, ジャッキ等)
- 瓦礫内を探索する技術 (棒付きカメラ等)
- 瓦礫内情報を検出する技術 (レーダ, ガスセンサ等)

このうち、瓦礫内情報を検出する技術については、被災者探索計画の立案等に重要な情報を提供可能なことから、被災直後に重要な役割をなすものである。特に、被災者の所在や安否情報については、できるだけ早く収集されることが望ましい。現状では、レ

* 原稿受付 2006年11月15日
 *1 正会員, 理化学研究所(〒351-0198 和光市広沢2-1)
 *2 非会員, 情報通信研究機構
 (〒184-8795 小金井市貫井北町4-2-1)
 *3 非会員, 理化学研究所(〒351-0198 和光市広沢2-1)
 *4 非会員, 東京大学人工物工学研究センター
 (〒277-8568 柏市柏の葉5-1-5)

スキュー隊員や救助犬等により活動が行われている大都市大震災発生時の被災者探索について、以下の点で解決すべき課題があると考えられる。

- 広範囲に被災箇所が分布
- 被災者が瓦礫内深くに埋没
- 外界（瓦礫外）との肉声通信が困難
- 通信インフラ断絶、利用不可能
- 被災直後の瓦礫状態が不安定で、接近探索は二次被害発生に直結

まとめると、被災直後のデリケートな状態にある瓦礫内の被災者の状態に関する情報を、なるべく瓦礫に接することなく、広範囲で同時並列的に、かつ既存のインフラに頼ることなく、収集するシステムが必要ということになる。

そこで、著者らは、あらかじめ人間の生活空間である家屋内環境に設置された、無線通信可能な小型ユビキタスデバイスにより、広域災害地における瓦礫内の至る所で並列的に被災者を探索するシステムを開発している (Fig.1)。これにより、ユビキタスデバイスが収集した瓦礫内の情報を迅速に無線通信により、瓦礫外に転送し、収集する機能を実現することを目的としている。Fig.1では、飛行船による情報収集を想定しているが、ユビキタスデバイスと通信（情報交換）可能なリーダーライト及びアンテナを装備した人や、車両等でも情報収集は可能である。

このシステムにおいて重要なのは、瓦礫内に被災者と共に埋没するデバイスである。次節において、このデバイスに要求される機能について記述する。

3. 要求機能

これまでに著者らは、RF-IDを用いて知的データキャリアの試作を行い、デバイスの動作検証を行っている⁶⁾¹⁰⁾。しかしながら、これを被災者探索に利

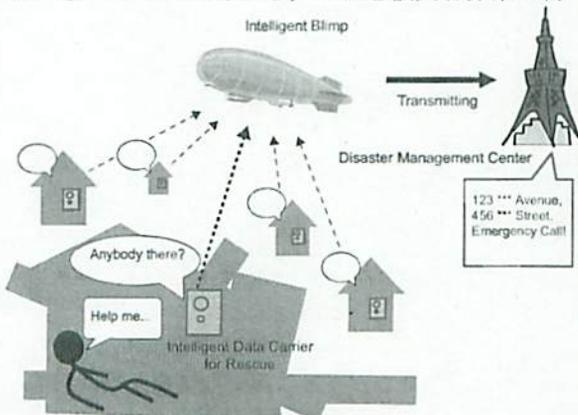


Fig.1 Concept of Victim Search System using Ubiquitous Devices

用するには、無線情報通信速度や距離、情報収集能力、記憶容量等の克服すべき課題がある。文献6)において報告したデータキャリアは前述のようにRF-IDを用いて実現されたが、通信距離：1.5[m]、通信速度4[kbps]、搭載メモリ128[kbps]といった性能であり、瓦礫内での動作および被災者音声情報収集には十分なものではなかった。そこで本論文では、これらの問題を解決する仕様設計を行い、レスキュー用知的データキャリア (Intelligent Data Carrier for Rescue 以下、IDC-R) の開発を行った。具体的には、IDC-Rは以下のような機能が実装される必要がある。

瓦礫内に取り残された被災者の情報を収集するには指向性のあるセンサによる計測では死角を生ずる可能性がある。つまり、被災現場でレスキュー隊員が行っているような声や音等による情報伝達の指向性が限定されない直接的な情報チャンネルを有効に利用することが重要である。そこで、ここでは、レスキュー隊員の探索法に習い、音声による呼びかけ・録音機能を実装するべきと考えられる。また、タイマーの設定により任意の時間間隔で周囲へ呼びかける機能と、呼びかけに対して発せられる音声を数秒間録音する機能を必要とする。さらに、必要に応じて、他のセンサを接続可能であることが望ましい。

さらに、必要に応じて瓦礫内で被災者の情報を収集し、外部に情報を取り出す仕組みが重要である。つまり、瓦礫内と外部を接続するための双方向無線通信機能を備える必要がある。特に、瓦礫外部での移動しながらの探索を考慮にいと、収集・蓄積した情報を瓦礫外に高速に転送する機能を備えるべきである。これにより、瓦礫内被災者の情報を迅速に収集することが可能になると考えられる。

さらにいえば、IDC-Rは家屋内の天井等に予め敷設されることを前提としているため、通常時はAC電源により駆動し、被災や停電時のような外部から電源が供給されない環境下においても一定時間バッテリー等によって、自律的に駆動を継続する機能を具備する必要がある。

被災者位置の特定に関しては、GPS等の技術があるが、瓦礫内で安定して機能しない可能性がある。そこで、予め仕掛けた場所（建物、部屋等）をIDC-Rの固有IDと共に、データベースで管理し、IDC-RのIDで埋没位置を推測する仕組みを取り入れる必要がある。

4. レスキュー用知的データキャリア

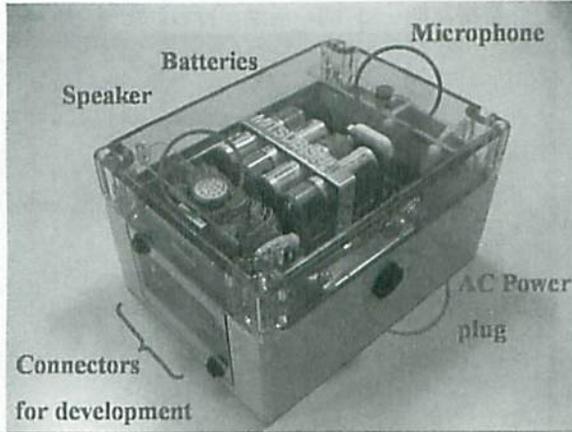


Fig.2 A Prototype of IDC-R

前述の要求機能を満たす、組み込みプロセッサを利用したレスキュー用知的データキャリアを設計・試作した。

4.1 試作した IDC-R

試作したIDC-RをFig.2に、仕様についてはTable.1に示す。IDC-Rは主に、音声録音/再生部、無線通信部、電源制御部により構成される。

音声録音/再生部は、ハードウェアには、組み込み用小型マイクと小型スピーカを実装している。被災者探索のための音声録音時間は、後述する音声録音方式によって、IDC-Rに実装したメモリ上に記録可能な限り、任意の長さ(1秒単位)で蓄積することが可能である。

音声の録音/再生方式は16ビットPCM (Pulse Code Modulation)を採用し、モノラルモードで、44.1/22.05/11.025/5.5125[KHz]の各周波数で録音可能である。さらに、収集した音声は、MP3もしくはOggVorbisにより、IDC-R上で圧縮可能である。本試作では、SDRAMを32[MB]実装しているが、このうち16[MB]が音声録音用に確保されている。これは肉声を十分に確認可能な32[kbps] MP3形式音声で、4096秒分が保存可能になっている。つまり、1回の録音時間を8秒とした場合、512回の録音を行うことができ、1分に1度程度の録音をした場合でも8時間分以上の録音が可能になっている。

また、無線通信部には、無線LANの一規格であるIEEE802.11b方式を採用した。規格によれば、見通し50[m]以上の無線通信が確保される。試作機で用いた無線LANアダプタはコンパクトフラッシュスロットに接続可能なBuffalo社製WLI2-CF-S11である。ここで、実際に瓦礫を想定し、鉄製箱やコンクリートを用いて遮断した基礎通信実験を行った。Fig.3,4は、無線LANアダプタWLI2-CF-S11の距離に対する通信特性および各素材で遮断した環境における5[m], 10[m]での無線通信機能の基礎実験結果である。この結果より、瓦礫等に囲まれた環境でも十

分動作可能だということが確認できた。

さらに、電源制御部として、内蔵バッテリーおよびACアダプタを実装しており、平常時には家庭用コンセント、電力が切断された際には内蔵バッテリー単三ニッケル水素電池1.2[V] 2700[mAh]を8本使用)により動作可能となっている。動作時間は、連続通信時には、4時間以上、非通信時には8時間以上を確保している。被災者探索には震災発生後の72時間が重要だといわれている。今回開発した試作機ではその機能を満たしているとはいえないが、音声探索機能を実装するための計算機性能および実装サイズの観点から、現状の動作時間となっている。

IDC-Rはオペレーティングシステム(OS)として、Linux OSを実装しており、アプリケーションの開発等が容易に実現可能となっている。また、音声再生/録音の時間管理分解能は1秒となっている。

IDC-R耐衝撃性能については、1[m]の落下試験に合格している。また、IDC-Rは瓦礫に埋まることも想定して、防塵防水としてはJIS規格C0920でのIP30相当で設計されている。これにより、防塵に関しては直径2.5[mm]以上の針金や粉塵を遮断しているため、瓦礫内でも十分動作可能である。防水については今回の試作では考慮されておらず、今後の課題となっている。

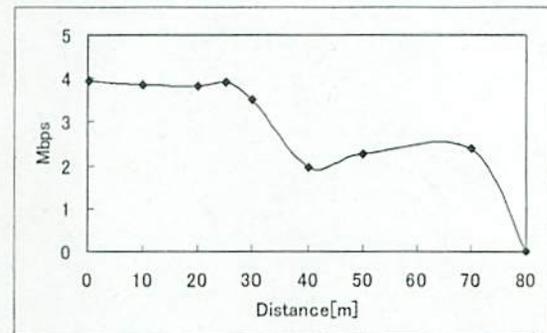


Fig.3 Performance of Wireless LAN (distance)

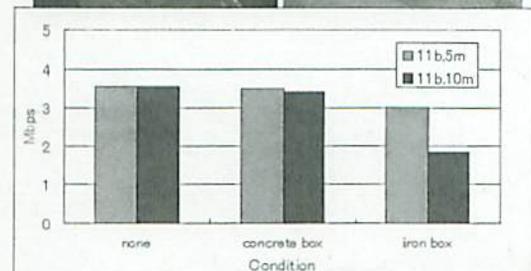


Fig.4 Performance of Wireless LAN (conditions)

Table.1 Specification of IDC-R

CPU	Renesas M32R/E 100[MHz]
OS	Linux 2.4.19
Memory	SDRAM 32[MB] FLASH 8[MB]
Comm.	IEEE802.11b (11[Mbps])
Size	120[mm]×160[mm]×91[mm]
IOs	RS232C×2, 16[bit]PIO, CF slot, Microphone, Speaker
Power Supply	Batt. (1.2[v]×8) or AC adaptor 12[V]
Intensity	3[W]
Time Resolution	1[sec]
Protection Against Dust / WaterProof	IP30

4.2 状態遷移による被災者探索シーケンス

瓦礫内で音声により被災者情報を収集するために、IDC-R の状態は主に以下の4つから構成されるものを設計した。状況に応じてこれらの状態間を遷移させることで、間欠的な情報収集機能が実装可能になる (Fig. 5)。

- 休止状態… 平常時に活動を休止している状態である。震災時に瓦礫外部のエージェントからの起動指令を受け、待機状態に入る。
- 活動状態… タイマ等のトリガにより、IDC-R はスピーカを利用して被災者に安否を問いかけ、被災者からの返答(声や周囲の音) を録音する。

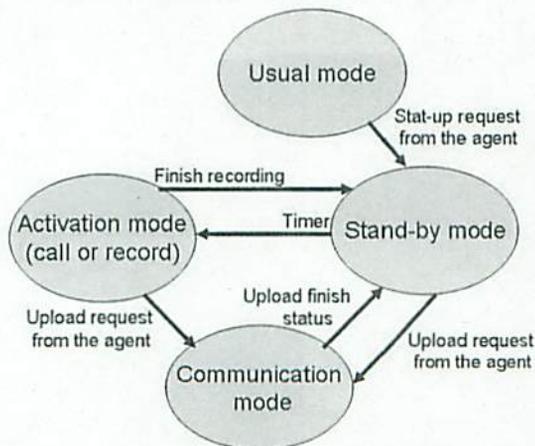


Fig.5 State Transition Scheme

- 待機状態… 1回の活動が行われた後、IDC-R は次の活動時間まで待機状態に入る。
- 通信状態… 活動状態及び待機状態中に外部からの命令を受けると、IDC-R はそれまでに蓄積した音声を行船にアップロードする。通信が終了すると、IDC-R は待機状態に入り、再び録音を繰り返す。

この状態遷移を実現するソフトウェアを開発・実装を行うことで、データキャリアは自律的に動作し、瓦礫内での被災者探索を実現可能となる。

5. 動作検証

開発した IDC-R 試作機および前述のソフトウェアを用いて基礎動作実験を行った。まず予め録音した被災者への問いかけ音声(「どなたかいますか?いたら返事をしてください」)を再生した後、16ビットPCM形式44.1[KHz]で5秒間の音声録音を行い、録音した音声(ファイルサイズ約900[KB])をサーバに無線通信で転送、サーバ上で音声を確認するアプリケーションを作成し、実験を行った(Fig.6)。



(a) Playing the message and Recording victim's voice



(b) Sending Gathered Voice Data to the Server and Confirmation it on the Server

Fig.6 Outlook of Victim Searching Demonstration (1)

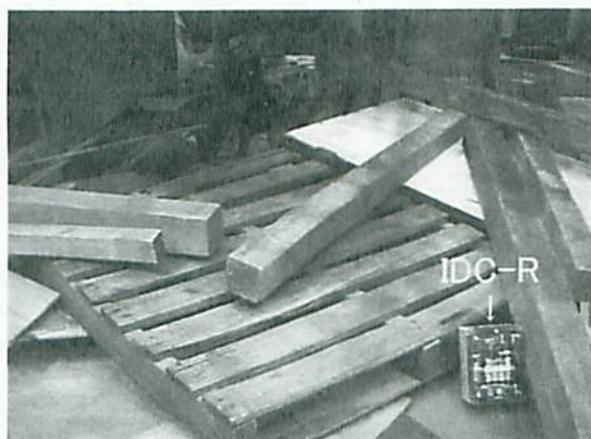


Fig.7 Outlook of Victim Searching Demonstration (2)

その結果、屋内の何も遮蔽物がない状態で 10[m]程度で安定して人間の発する音声を収集できることが確認できた。また、被災情報収集データベースサーバーと想定した計算機に、IDC-R が収集した情報を無線で転送し、サーバー上で再生により音声を確認することができた。

また、Fig.7 のような瓦礫を模した環境においても音声収集および無線通信により外部に情報を安定して提供可能であることを確認した。この実験環境は、二層構造になっている瓦礫フィールドであり、各層に木材や箆筋等の瓦礫を配置している。この実験環境の上部から通信を行った結果、安定して通信が確立したことが確認されている。

被災者位置推定に関する IDC-R の ID については、IDC-R 内のメモリ空間上に情報を書き込んでおくことで、これを音声データと共に提供することで、確認が可能となっている。

瓦礫内での状況はあらかじめ予測することが困難であるが、この程度の音声録音・再生が可能であれば、十分実用にたえると考える。また、空間にして設置台数を増やす（設置密度向上）等により、確率的に探索領域の漏れを出さないようにする等のアプローチにより、より確実かつ効率的な探索が可能になると考えられる。

6. おわりに

本論文では、大規模震災時に瓦礫に取り残された被災者を効率的に探索するためのレスキュー用知的データキャリアについて述べた。設計工学的な観点から、レスキュー現場でのニーズや、被災者探索作業環境等を考慮に入れるとともに、被災者探索に必要とされる機能についても抽出を行った。これらの

仕様を満たす一つのプロトタイプとして、レスキュー用知的データキャリアを試作し、要求される機能を満たすことを実験により確認した。

今後は、距離や角度、声質、遮蔽物などのパラメータ変化に対してどの程度ロバストに被災者の音声を録音可能かについての実験を行い、高度化を進める。また、機能を維持した上で、小型化、長寿命化についても検討を行う予定である。今後は、小型の端末を家庭内に多数配置することで、災害時の落下、衝突衝撃を小さいものとし、かつ少数の故障であれば他の端末により同様のサービスが行えるようなフォールトトレランス性能の向上を目指したい。また、長寿命化については電子回路設計や間欠動作アルゴリズム等も含めて今後の課題である。

さらに、別途研究開発中の自律飛行船との統合実験を行うことで、被災者探索システムの実証実験を行う。

謝辞

本研究は文部科学省大都市大震災軽減化特別プロジェクトの一環として、国際レスキューシステム研究機構、防災科学技術研究所との協力の下になされたものである。

また、試作機開発にあたり、三菱電機株式会社情報総合研究所から多くの助言をいただいた。

ここに関係者への謝意を表します。

参考文献

- 1) Weiser, Mark., : The Computer for the Twenty-First Century, *Scientific American*, September (1991), 94-10.
- 2) 安藤 繁, 田村陽介, 戸辺義人, 南 正輝 編著: センサネットワーク技術-ユビキタス情報環境の構築に向けて-, 東京電機大学出版局, (2005)
- 3) 竹田晴見: データキャリア, 日本工業新聞社, (1991)
- 4) 倉林大輔, 浅間 一: 知的データキャリアを用いた自律ロボット群と環境の情報交換, 日本ロボット学会誌, Vol.17, No.5, (1999), 29-32.
- 5) 藤井輝夫, 浅間 一, 倉林大輔, 嘉悦早人, 遠藤 勲: 知的データキャリアによる群ロボットの機能創発, 日本ロボット学会誌, Vol.17, No.6, (1999), pp94-100.
- 6) Kurabayashi, Daisuke, Noda, Kenichi, Asama, Hajime, Kawabata, Kawabata, Kaetsu, Hayato, and Hashimoto, Hiroshi, : Information Assistance for

- Search-and-Rescue by Intelligent Data Carriers and a Data Retrieval Blimp, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.15, No.5, (2003), 521-527.
- 7) 羽田靖史, 福田 靖, 川端邦明, 嘉悦早人, 倉林大輔, 浅間 一: 被災者探索用知的データキャリアの開発, 第 9 回ロボティクス・シンポジア予稿集, (2004), 270-275.
- 8) 羽田靖史, 福田 靖, 野田賢一, 倉林大輔, 伊藤貴史, 川端邦明, 嘉悦早人, 浅間 一, 橋本洋志: レスキュー用知的データキャリアによる被災者探索システム的设计, 日本ロボット学会第 21 回学術講演会, (2003), 1L27.
- 9) 羽田靖史, 福田 靖, 川端邦明, 嘉悦早人, 倉林大輔, 後藤昇弘, 浅間 一: 被災者探索用知的データキャリア的设计, 第 4 回 SICE システムインテグレーション部門講演会 (SI2003), (2003), 3J4-2.
- 10) 川端邦明, 土居 円, 中後大輔, 嘉悦早人, 浅間 一: 局所情報管理デバイスを用いた車両制御システム, 设计工学, Vol.41, No.2, (2006), 102-106.

会 告

2008 年会誌 表紙デザイン募集

2008 年 1 月号から 12 月号までの表紙デザインを募集いたします。2008 年の 1 年間は、緑色と白黒グレートーンを基調としたオリジナルデザインとします。

提出期限：2007 年 10 月 12 日(金) 必着

①A4 フォト光沢厚手用紙の縦 15cm, 横 20cm の領域にプリントアウトしたものを郵送。

〒169-8555 新宿区大久保 3-4-1

早稲田大学理工学術院 基幹理工学部
機械科学・航空学科

富岡 淳(JSDE 出版部会長) 宛

②画像電子データ(jpg, bmp 等)を電子メールで shuppan@jsde.or.jp に送付。1 回のメールに添付するファイル容量は、3MB 以下になるように工夫願います。

①あるいは②のいずれかによって、連絡先郵便番号、住所、氏名、メールアドレスを明記のうえ、出版部に提出してください。別途、デザインを調整させていただきお願いがあるかもしれないことをご了解ください。採用された方には、1 万円相当の図書券を進呈させていただきます。多くの方の応

募をお待ちしております。

また、3次元CADソフト Solid Works によってデザインを作成され、採用された場合は、ソリッドワークス・ジャパン株式会社様(本会賛助会員)のご好意によって学生向け Solid Works(最新版, 詳細は下の URL 参照)を、副賞として 1 セット進呈させていただきます。この場合、確認のため、Solid Works(バージョンを明記のこと)形式で保存したデータもお送り下さい(CD-R に保存して郵送あるいはメール添付で送付)。

<http://solidworks.co.jp/pages/products/edu/solidworksforstudents.html>

なお、上述のアンダーライン部分は、今後、次のように周期的に変化していくことを記載しておきます。

2009 年 ピンク色系 2010 年 黄色系 2011 年 青色系

2012 年 茶色系 2013 年 緑色系

最後に、2007 年の 1 月号からは、東京理科大学大学院理工学研究科・畔柳雄太君のデザインを採用させていただいております。

別刷

設計工学

社団法人 日本設計工学会誌

2007年 第42巻 第10号

(P. 589 ~ P. 594)

被災者探索のための知的データキャリアの設計・開発

川端 邦明, 羽田 靖史, 嘉悦 早人, 浅間 一

Development of Ubiquitous Victim Search Device : Intelligent Data
Carrier for Rescue

Kuniaki KAWABATA, Yasushi HADA, Hayato KAETSU
and Hajime ASAMA

jsde

社団法人 日本設計工学会