

地理情報データベースシステム DaRuMa を用いたレスキューロボットからの情報集約

Information Gathering from Rescue Robots using Geographic Information Database System DaRuMa

秋山 英久^{1*} 下羅 弘樹¹ 野田 五十樹¹
Hidehisa Akiyama¹ Hiroki Shimora¹ Itsuki Noda¹

¹ 産業技術総合研究所 情報技術研究部門

¹ Information Technology Research Institute, AIST

Abstract: In this paper, we develop the information sharing system with mobile rescue robots in confined space. We use MISP to communicate among robots, the geographical information database systems DaRuMa. We defined the specialized data type for the 3D scan data set and developed the viewer client program darumaviewer, in order to deal with the data effectively. The experimental result shows our system can run in realtime.

1 はじめに

災害時において、減災および人命救助に関わる情報収集はもっとも基本的で重要な問題である。しかしながら、情報収集のために人間のレスキュー隊員が危険な場所へ入ることは、二次被害を発生させる可能性がありコストが高い。このような状況に対して、人間の代わりに遠隔操縦型探査用レスキューロボットに情報収集を行わせ、より安全な情報収集と確実な救助活動を実現することが期待されている。実際の運用においては、複数台の探査ロボットが同時に稼働し、それぞれが独立して情報収集を行うことが予想されるため、効率的な情報の統合と人間に対する視覚化手段が求められる。

本研究では、地理情報データベースシステム DaRuMa (DAatabase for Rescure Utility Management) を使用し、ロボットが取得したさまざまなデータを位置情報や時刻などとともにデータベースへ登録する。そして、DaRuMa 用ビューワクライアント上での環境地図の作成や情報表示を行うシステムの構築を行っている。本稿では、特に地下街などの閉鎖空間内での複数ロボットからの 3 次元スキャン情報の収集を目的としたデータ表現とビューワプログラムの実装、および、それらの有効性を検証した実証実験について述べる。

2 災害時情報共有システム

2.1 情報共有データベースシステムの要件

本稿で想定する探査用レスキューロボットやセンサデバイスの主な役割は、効率的な救助活動を補助するための情報を収集することである。しかしながら、探査ロボットは情報の断片しか提供しないため、情報を蓄え統合するデータベースシステムが必要となる。このようなデータベースの設計には、次の要件を満たす必要がある。

まず、災害情報においては位置と時間の情報が重要である。そのため、それらを統合するデータベースシステムは地理情報システム (Geographical Information System : GIS) の一種であり、地理オブジェクトを表現する機能を提供できるように設計されなければならない。

データベースシステムはオンラインでの利用が前提である。災害や救助は動的な現象であるため、リアルタイムな要求をロバストに処理できるシステムが必要となる。よって、集中管理型でメンテナンスコストが高いものではなく、軽量に動作し、分散実行可能なデータベースシステムが望まれる。

最後に、データベースによって扱われる情報構造は、災害時に必要なさまざまな情報を表現できなければならない。データベースシステムはレスキューロボットと他の災害情報システムとを統合するための重要なモジュールでもある。データベースシステムには、共通のプロトコルを用いることでサブシステム間で情報を受

*連絡先：産業技術総合研究所 情報技術研究部門
〒 305-8568 茨城県つくば市梅園 1-1-1 中央第 2
E-mail: hidehisa.akiyama@aist.go.jp

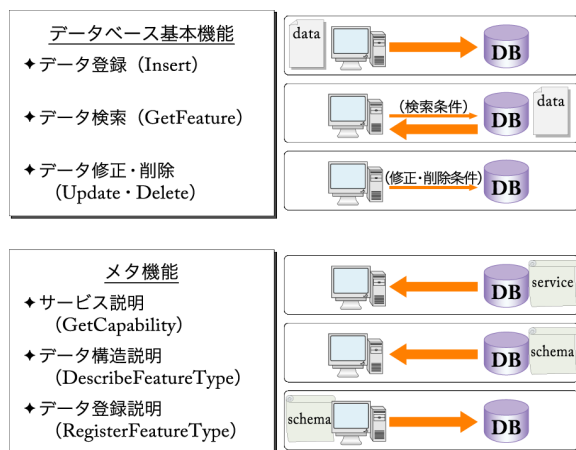


図 1: MISP の機能.

け渡す役割が要求される。そのため、文字列や数値などの一般的なデータだけでなく、地理データ、時刻データ、画像などの非テキストデータ、構造化されたデータなども扱えなければならない。特に、レスキューロボットが収集するデータを扱う場合には、さまざまなセンサデータが処理対象になるため、それらを適切かつ高速に扱う性能が要求される。

2.2 減災情報共有プロトコル

前節で述べた要件を満たすための減災情報共有プロトコルとして MISP (Mitigation Information Sharing Protocol) が提案されている [3, 4]。これは、既に標準化され広く使われている規格を可能な限り採用し、既存のシステムや今後作成されるシステムとの親和性を高めることを目指したプロトコルである。

MISP は、WFS(Web Feature Service)[5] をベースとした XML ベースのプロトコルであり、WFS と関連する GML(Geography Markup Language)[6]、XML Schema、SOAP(Simple Object Access Protocol)[7] などの各種標準を用いている。地理表現、時刻表現には GML を、検索には柔軟な検索形式が定められている WFS が用いられ、認証・暗号化には SOAP が用いられている。

図 1 に MISP の機能を示す。MISP で扱う機能は一般的なデータベース管理システムと基本的に同じで、データの入力、検索、修正、削除が主なものとなる。MISP が WFS と大きく異なる点は、保存するデータの方を実行時に XML Schema によって定義、登録し、構造を共有化できる点である。このため、運用時にシステムを停止させずに更新することも可能となっている。

MISP では以下のリクエストが利用可能である。

- **GetFeature:** データベースを検索しデータを取

得する。

- **Transaction:**
 - **Insert:** データベースに新たなデータを追加記録する。
 - **Update:** データベースに記録されているデータの内容を変更する。
 - **Delete:** データベースに記録されているデータを削除する。
- **GetCapabilities:** サーバが提供するサービスに関する情報の問い合わせ。
- **DescribeFeatureType:** 登録されているデータの型 (応用スキーマ, 自称の型) の情報を、XML Schema の形式で問い合わせる。
- **RegisterFeatureType:** データベースに新たなデータ型を定義する。

これらのリクエストに対して、サーバからのレスポンスメッセージがそれぞれ規定されている。これらのうち、RegisterFeatureType 以外は WFS で規定されているプロトコルである。RegisterFeatureType によって、システム全体を停止させることなく、ユーザは新しいデータタイプを追加することができる。災害発生以前に必要な情報のすべてを定義することは困難であるため、この種の柔軟性はレスキューシステムにおいて重要である。ロボットからの情報収集を行う場合には、ロボットが使用できるセンサデバイスや通信帯域の容量に合わせて、データベースに登録すべき情報を定義することになる。

さらに、情報共有を効率化する仕組みとして TransactionID が用意されている。TransactionID はシンボル化されたタイムスタンプを扱う。TransactionID によって、あるトランザクション以降に追加、変更があった情報のみを取得でき、差分データのやり取りによって最新データへの追従できるようになる。このような機能は、多量のデータを扱うだけでなく即時性も重要なシステムに対して有効である。本研究で扱うような、ロボットが取得した情報をリアルタイムに蓄積していくことを想定する環境では、TransactionID は重要な機能である。

2.3 DaRuMa

DaRuMa (DAtabase for Rescure Utility Management)[1, 9, 2] は MISP の実装の一つであり、MySQL サーバと Java で実装されたミドルウェアで構成されている。DaRuMa の構造を図 2 に示す。Java ミドルウェアは MISP と SQL との翻訳を行う。MySQL と Java は多く

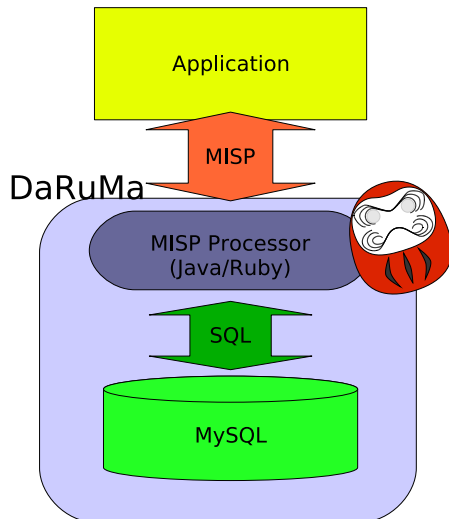


図 2: DaRuMa の概要 .

のプラットフォームで動作するため、さまざまな環境で DaRuMa を実行可能である .

3 データタイプの定義

3.1 DaRuMa へ登録されるデータ

本稿では、DaRuMa へ登録、画面表示されるデータとして以下の情報を扱う .

- 地図データ
- 3次元スキャンデータ

上記以外にも、ロボット自身の移動経路、ロボットに搭載されているカメラによって取得された画像データ、ロボットによって発見された要救助者の位置と画像、などのさまざまな情報の利用が考えられる . MISP によるデータ表現の設計とロボットからの情報送信処理の実装を行えば、新しい種類の情報を DaRuMa へ登録することは容易である .

3.2 地図データの表現

ロボットによって未知環境における自己位置推定と地図作成を同時に行う手法を総称して SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) と呼び、3次元レーザースキャナなどによって取得された情報に基づいた環境地図作成が研究されている . しかしながら、ロボット自身が取得、推定したデータにはノイズが含まれるため、長距離走行後に実際の位置とのずれが発生することは避けられない . この問題に対応するには、探査する建造物の図面データを元に環境地図を作成してお

き、それらに含まれるランドマークとの整合性を取る試みが有効であろう .

建物の設計図などは一般的に CAD データとして扱われるため、CAD ソフトウェア上で作成した電子データを MISP へと変換することで既存データを有効活用できる . CAD データには、点、直線、ポリゴン、楕円などの基本的な図形表現がすでに定義されており、これらは容易に MISP による表現へ変換できる . MISP へ変換された図面データは、ロボットを稼働させる前に DaRuMa へ登録しておく .

3.3 3次元スキャンデータの表現

3次元スキャンデータは点の集合として得られる . それらは MISP へ変換され、DaRuMa へと登録される . このとき、MISP での表現方法によってシステム全体の実行効率に大きな影響が及ぶ .

取得される点は座標値を持つデータであるため、各点データを検索可能な形で DaRuMa へ登録することができる . しかしながら、個々の点データを区別しては扱えるデータ量が限られてしまう . 点データを個別に扱った場合、DaRuMa が処理できるデータ量は 1 秒あたり 1000 個程度となる¹ . 3次元スキャンによって得られる点データの数は最大で 1 秒あたり 7000 個を越え、さらに、実際の運用では複数台のロボットが同時に情報を送信するため、リソース不足が発生し、データを処理しきれなくなる . この問題に対応するために、本稿では、複数の点データをまとめて扱うデータ表現方法を採用する . この方法によって、処理できる情報量は個々の点データを扱う場合に比べて 10 倍程度になる . ただし、個々の点データの地理情報をキーとして検索することはできなくなるため、各点データの位置情報の扱いはクライアントプログラム側の責任となる .

図 3 に RegisterFeatureType によって定義された 3次元スキャンデータを示す . ここでは、ScanPointData というデータタイプを定義している . このデータタイプには、ロボットが情報を取得した時刻 (time)、ロボット自身の識別情報 (robotId)、使用したデバイスの識別情報 (deviceId)、そして、データの实体として点の集合 (pointSet) が含まれている . pointSet 以外の要素は、検索のキーとして使用できる .

さらに、図 3 のデータタイプを用いたとしても、ロボットが取得したすべての情報をオンラインで処理することは不可能であるため、MISP に変換する際に前処理を施さなければならない . 前処理としては、重複しているデータを削除する、一定間隔で間引く、などの処理を実行する . 点データの数をどの程度まで減ら

¹CPU:Core Duo 1.6GHz, Memory: 1GB, OS: Linux のノート PC 上で計測 .

```

<?xml version="1.0"?>
<misp:RegisterFeatureType
  xmlns:misp="http://www.infosharp.org/misp">
<xsd:schema xmlns:xsd="http://www.w3.org/2001/XMLSchema"
  targetNamespace="http://.../hrt/scanPointData"
  xmlns:misp="http://www.infosharp.org/misp"
  xmlns:gml="http://www.opengis.net/gml"
  misp:id="http://.../hrt/scanPointData.xsd"
  xmlns:hrt="http://.../hrt/scanPointData">
<xsd:element name="ScanSensedData" type="hrt:ScanPointDataType"/>
<xsd:complexType name="ScanPointDatatype">
  <xsd:sequence>
    <xsd:element name="time" type="gml:TimePositionType"/>
    <xsd:element name="using" type="hrt:usingType" minOccurs="0"/>
    <xsd:element name="pointSet" type="gml:GeometryPropertyType"/>
  </xsd:sequence>
</xsd:complexType>
<xsd:complexType name="usingType">
  <xsd:sequence>
    <xsd:element name="robotId" type="xsd:string"/>
    <xsd:element name="deviceId" type="xsd:string"/>
  </xsd:sequence>
</xsd:complexType>
</xsd:schema>
</misp:RegisterFeatureType>

```

図 3: RegisterFeatureType による 3 次元スキャンデータの定義.

せば良いかは実験的に定める必要がある。データを間引くアルゴリズムについても検討の余地が大きい。

ロボットからデータ登録を行う際は、図 3 のデータタイプを用いれば十分である。しかしながら、データベースからの検索を実行すると、そのレスポンスとしてデータの実体も得られてしまう。一般にスキャンデータは情報量が大きいため、通信やプロトコルの処理そのものにかかるコストが大きくなる。この問題を解決するには、検索用のメタデータを別途定義し、登録する方法が有効である。MISP でロボットのセンサデータを定義する際のガイドラインとして、検索効率を上げるためにデータの実体と検索のキーとなる要素を個別に定義することが推奨されている [4]。実用上は、ロボットからのデータ登録時には図 3 のデータを登録しておき、後から検索用のメタデータを登録し直すことになる。

4 実証実験

「NEDO 戦略的先端ロボット要素技術開発プロジェクト 被災建造物内移動 RT システム (特殊環境用ロボット分野) 閉鎖空間内高速走行探査群ロボット」にて、本研究のシステムを実際のロボットと統合し、動作させる。このプロジェクトの一環として、実環境におけるロボットの実用化へ向けて、神戸市三宮駅地下街にて



図 4: 探査用レスキューロボット Kenaf.

実証実験を行った。この実証実験において、本研究のシステムを実際のロボットと連動して動作させ、実用的な性能を得られるかを確認した。

4.1 使用したロボットおよびセンサデバイス

使用したロボットは、プロジェクトの共同研究機関である千葉工業大学などが開発する Kenaf (図 4) である。このロボット上に 3 次元スキャナなどの各センサデバイスが搭載されており、それらのデバイスから取得した情報を DaRuMa へと送信する。今回の実験では、ロボット上の 3 次元スキャナが取得した点データの集合を DaRuMa へと登録した。

4.2 ビューワプログラム

DaRuMa へ登録された情報を視覚化するビューワプログラムとして、darumaviewer (図 5) を独自に開発した。darumaviewer には以下の機能が実装されている。

- DaRuMa 用クライアント
- 地図データの描画
- スキャンデータの 2 次元プロット
 - 各点データの高さによって描画色を変更可能
 - 座標系ごとに座標変換が可能
- スキャンデータの 3 次元プロット
- 座標系ごとの表示切り替え

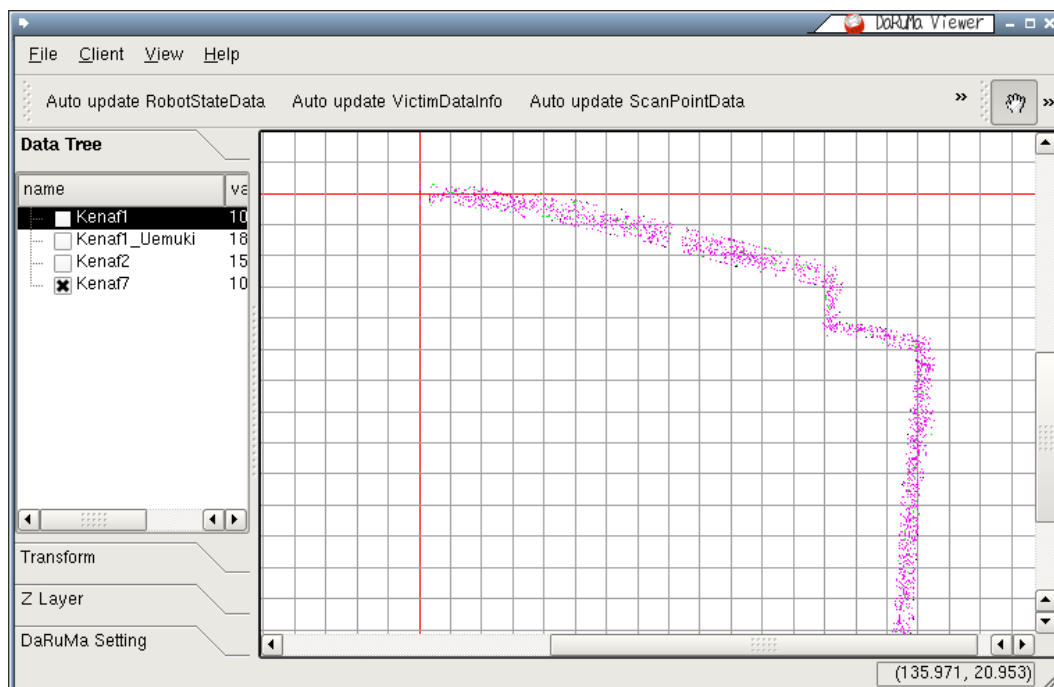


図 5: darumaviewer の実行画面.

4.3 実験結果

実際にロボットと動作させた得られたスキャンデータを 3次元表示した様子を図 6 に示す．図 5 と図 6 は同じデータを表示したもので，図 5 はスキャンデータ 2次元平面上に表示して真上から見下ろした状態である．いずれの図も，一台のロボットから登録されたスキャンデータを表示している．実際には 2 台以上のロボットが同時に動作し，それぞれが独立してデータ登録を行った．DaRuMa へのデータの登録と darumaviewer 上での表示は平行して実行され，ロボットから新規にデータが登録されると darumaviewer 上で反映することができた．データ登録は一時間以上に渡って断続的に行われ，合計で約 144 万個の点データの登録と表示をオンラインで行うことに成功した．

5 まとめ

本稿では，探査用レスキューロボットと連動してロボットが取得した 3次元スキャン情報をリアルタイムにデータベースへ登録し，更にそれらをリアルタイムに表示するシステムの構築を行った．実証実験によって，本研究のシステムがロボットと連動して実用的な速度で動作可能であることを確認した．

今後の課題としては，より多くの情報への対応が挙げられる．今回の実験ではロボットのセンサデータとして 3次元スキャンデータのみを扱ったが，ロボットに

さまざまなセンサデバイスが搭載されれば，その都度，拡張や異なるデータタイプの定義が必要になる．さまざまなデータタイプへの対応を容易にするために，特にビューワプログラムにより高い汎用性が求められている．データの種類が増えることで通信帯域が圧迫されることが予想されるため，情報の精度や送信頻度の調整方法の検討も必要である．

謝辞

本研究は，NEDO 戦略的先端ロボット要素技術開発プロジェクト 被災建造物内移動 RT システム（特殊環境用ロボット分野）閉鎖空間内高速走行探査群ロボットによる研究助成によって行われた．

参考文献

- [1] Itsuki Noda et. al. DaRuMa: Disaster Mitigation Information Sharing System and Integration of Rescue Information Systems, *SI-2007, 2A4-2* (2006)
- [2] DaRuMa: <http://daruma.sourceforge.jp/>
- [3] Itsuki Noda, Yasushi Hada, Jun-ichi Meguro, and Hiroki Shimora: Information Sharing and Integration among Rescue Robots and Information

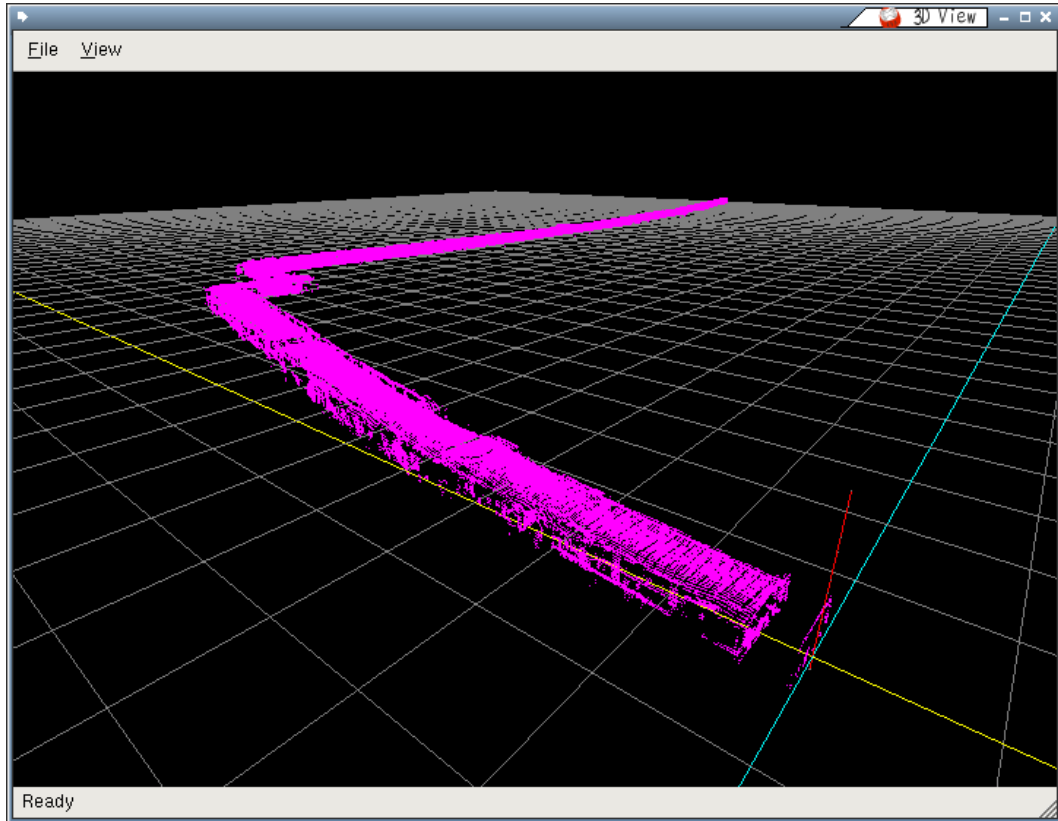


図 6: 取得したスキャンデータの 3 次元表示.

- Systems, *Proc. of IROS2007 Full-Day Workshop MW-3 (Rescue Robotics)*, pp. 125–139 (2007)
- [4] Itsuki NODA: Communication Protocol and Data Format for GIS Integration, *Proc. of the 2nd International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence*, pp. KRW-058, (2005)
- [5] Open GIS Consortium, Inc.: *Web Feature Service Implementation Specification (OGC-02-058)*, ver.1.0.0 edition, http://portal.opengeospatial.org/files/?artifact_id=7176, (2002)
- [6] Open GIS Consortium, Inc.: *OpenGIS Geography Markup Language(GML) Implementation Specification (OGC-02-023r4)*, ver.3.00 edition, <http://www.opengis.org/docs/02-023r4.pdf>, (2003)
- [7] W3C World Wide Web Consortium : *SOAP Version 1.2 Part 0: Primer(Second Edition)*, <http://www.w3.org/TR/soap12-part0/>, (2007)
- [8] Autodesk: AutoCAD DXF Reference, <http://usa.autodesk.com/adsk/servlet/item?siteID=123112&id=8446698>
- [9] 下羅弘樹, 横田裕思, 松井宏樹, 野田五十樹, 柴山明寛, 羽田靖史, 目黒淳一: 災害時情報共有のためのプロトコルおよびその実装, 電子情報通信学会「人工知能と知識処理」「異文化コラボレーション」人工知能学会「社会における AI」合同研究会プログラム, (2007)