

移動ロボットのための環境情報システムの開発

Development of Environmental Information System for Mobile Robot

○鈴木 透, 高橋隆行, 王志東, 宮下丈司, 中野栄二

○Toru Suzuki, Takayuki Takahashi, Zhi-Dong Wang, Takeshi Miyashita, Eiji Nakano

東北大学

Tohoku University

キーワード: 自律移動ロボット(autonomous mobile robot), オブジェクト指向(object oriented), データベース(database), データ構造(data structure), java言語(java)

連絡先: 〒980-77 仙台市青葉区荒巻字青葉 東北大学大学院 情報科学研究科 中野研究室(青葉山キャンパス 機械系) 鈴木 透, Tel.: (022)217-7025, Fax.: (022)217-7023, E-mail: toru@robotics.is.tohoku.ac.jp

1. 緒言

移動ロボットが自律的に移動・作業を行うには、環境に関する情報が必要となる。そのため、環境情報の表現に関する研究や環境情報を扱うシステムの研究が行われてきた。風岡らは、廊下の情報から成る環境地図を用いた地図管理システムを研究した¹⁾。関口らは三次元の幾何学情報によりワールドモデルを構築した²⁾。高田らはフレーム理論を基に環境表現の研究を行った³⁾。

しかし、ロボットが実行するタスクの内容によっては、これら従来の幾何学的な地図情報を扱うだけでは不十分な場合が考えられる。例えば、ロボットに「○○さんに書類を持っていけ」という命令が与えられたとしよう。このタスクの実行には人の居場所を情報として持っていなければならない。

そこで、ロボットが自律的に作業を行う際に必要とする様々な情報を提供できるよう、扱う情

報の範囲を拡張した「環境情報システム」が、筆者らの所属する研究室の高田らによって提案・研究された⁴⁾。

本研究の目的はこの提案に基づき、

- ロボットが自律的に作業を行う際に必要とする情報の検討
- 環境情報の表現
- 情報利用を支援するシステムの構築

を行うことである。

今回は、多種多様な情報の扱いに適したデータ構造を検討・設計した。また、それを基にシステムを試作し、ロボットの移動実験での利用を試みた。

2. 情報主体の表現

本システムでは、オブジェクト指向を用いて環境情報を表現している。例えば「組織」や「人」、

「物体」などの情報主体となるものをオブジェクトとして表現している。オブジェクトはそれ自身の情報を表す属性を持ち、その値として数や文字列だけでなくオブジェクトを持つことができる。また、オブジェクトは「集約」という概念によって部品/全体を表現したり、「継承」という概念によって抽象/具体を表現したりすることができる。こういった表現力の豊富さが、本システムにおける多種多様な情報の表現に適していると考えられる。

3. 情報主体間の関連の表現

情報主体を表すオブジェクト同士をラベル付きのリンクでつなぐことで、情報主体間の関連を表現している(Fig.1)。関連を表現するリンクの使用により、例えば「組織」や「人」や「物体」といった型の違うデータを一つの体系の中で扱うことができるようになる。

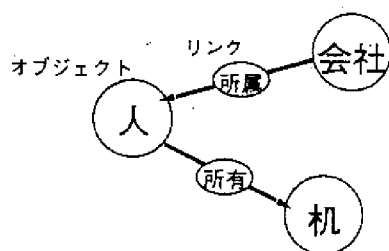


Fig. 1 情報主体間の関連情報

高田ら⁴⁾の提案では、オブジェクトを木構造で体系付けることとしていた。

こうすることで関連するオブジェクトをまとめて扱うことができるため、データの修正が容易になる。例えば、環境において「部屋A」にある「机」が「部屋B」に移動した場合のデータ修正について考える(Fig.2)。この場合は「机」オブジェクトを「部屋B」オブジェクトの子ノードとすることでデータ修正を行う。データが木構造で体系付けられていると、「机」の上に置いてある「本」のオブジェクトも同時に「部屋B」に移動

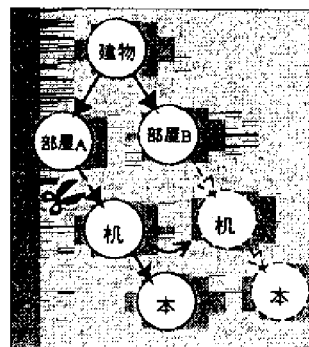


Fig. 2 木構造によるデータ変更例

し、修正が容易である。

オブジェクトを木構造に配置することは、オブジェクトの識別についても利点がある。全てのオブジェクトはルートオブジェクトからの絶対パス名で一意に識別することができる。そのため、親ノードが違えば、同じ名前のオブジェクトがあっても識別が可能となる。また、オブジェクトは任意のオブジェクトからの相対パス名でも識別できる。

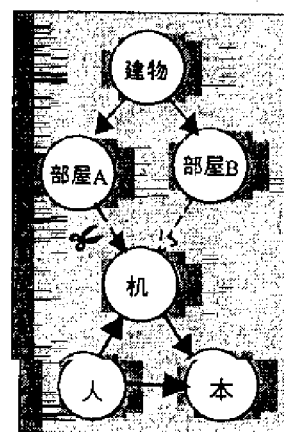


Fig. 3 リンク構造によるデータ変更例

しかし、情報主体は木構造のみでは表せないような関連を持っていることもある。例えばFig.3のように「机」と「本」が「人」に所有されるという関連を持っている場合などである。

そこで、関連の表現力を向上させることを重視し、オブジェクトの体系を木構造からリンク構造へと変更した。この変更により、木構造に束

縛られず情報主体同士の関連を表現できるようになった。また、上記の例に対応するデータ修正も、リンクのつなぎ替えで同様の結果が得られる (Fig.3)。ただし、オブジェクト同士の関連が例に示すような単純な場合についてはそのように言えるが、より複雑にリンクが張られている場合には、他のリンクも張り替えなければならなくなる。

オブジェクトの識別に関しては木構造と同様にはできない。リンク構造におけるオブジェクトの識別に関しては次章の4.4節で議論している。

4. オブジェクトのデータ構造設計

ここでは、環境情報の表現や扱いに適したデータ構造の設計について述べている。設計に当たったの注意点としては、

- 前述の情報表現を実現すること
- 情報の変更が容易にできるような柔軟性を持たせること
- データ操作・利用が容易に行えるようにすること

などである。

4.1 情報の分類

環境情報は情報主体自身の情報と、情報主体間の関連情報とに分類して扱う。情報を分類して扱うため、情報主体を表すオブジェクトだけではなく、リンクも属性を持てるようにする。つまり、情報主体自身の情報はそのモデルであるオブジェクトの属性とし、情報主体間の関連情報はリンクの属性とする。

例えば机の色の情報は机オブジェクトの属性とし、部屋の中における机の位置情報は、部屋と机の間のリンクの属性とする (Fig.4)。机の位置の情報は机が部屋の中にあるという関係に基づく情報なので、関連を表すリンクの属性とするのが自

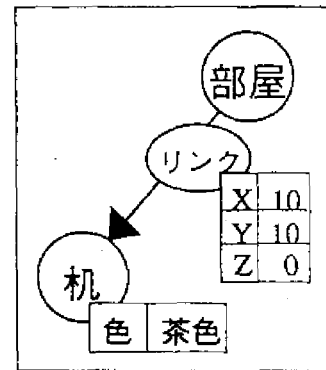


Fig. 4 情報の分類

然な表現と考えられる。部屋から机がなくなったとき、リンクを切るのに伴って机の位置情報がなくなることから、この表現が自然であると言える。

4.2 属性について

環境の情報は属性として情報主体を表すオブジェクトやリンクの中に保持される。一般的にロボットは開発途上の段階にあることが多く、必要とする情報が変化することも考えられるので、属性は柔軟に追加・削除ができる方が便利である。属性をコーディングしてしまう方法では、新たな属性の追加や不要になった属性の削除をしようとした場合にコードの変更を行わなければならない、システムのユーザにとって不便である。そこで、属性はハッシュテーブルを用いて保持する。属性名をハッシュテーブルのキー、その値を要素とする。属性名をキーとして値にアクセスできるので、コーディングした場合と同じように属性の利用ができる。また、ハッシュテーブルを用いることで任意個の属性を持つことができ、不要になった属性は削除することができる。

4.3 リンクについて

情報主体を表すオブジェクトは、関連するオブジェクトに対してのリンクであるリンクオブジェクトを、属性と同様にリンク用のハッシュテーブ

ルで管理している。リンクオブジェクトへは、関連名(例: 中, 上)とリンク先のオブジェクトの名前を示すことでアクセスできる。

ハッシュテーブルは、キーとしてオブジェクト同士の関連名を用い、要素としてハッシュテーブル(サブハッシュテーブル)を持つ(Fig.5)。サブハッシュテーブルはキーとしてリンク先のオブジェクトの名前を用い、要素としてリンクオブジェクトを持つ。このようにハッシュテーブルを組み合わせることで階層構造をとすることで、リンクオブジェクトを関連の種類によって分類できるため、扱いに便利である。

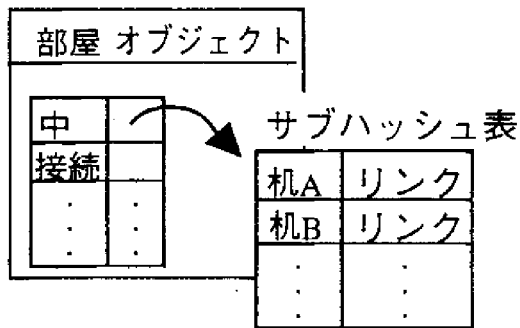


Fig. 5 リンクの保持

4.4 オブジェクト名の管理

本システムで扱う情報は、基本的に人間が入力することを想定している。そこで、ユーザがデータ操作を行う際にオブジェクトの識別に便利なように、オブジェクトに名前をつけることにする。

オブジェクトの名前はオブジェクト自身が持つ方法が考えられるが、その方法では名前の同じオブジェクトが存在してしまった場合、その識別ができなくなってしまう。反対に、個々のオブジェクトに全オブジェクト中で一意になるような名前を付けるのでは、オブジェクトの数が多くなったときに不都合を生じる。

そこで、オブジェクトの名前はオブジェクト自身が管理するのではなく、そのオブジェクトと関連するオブジェクトが管理することとする。具

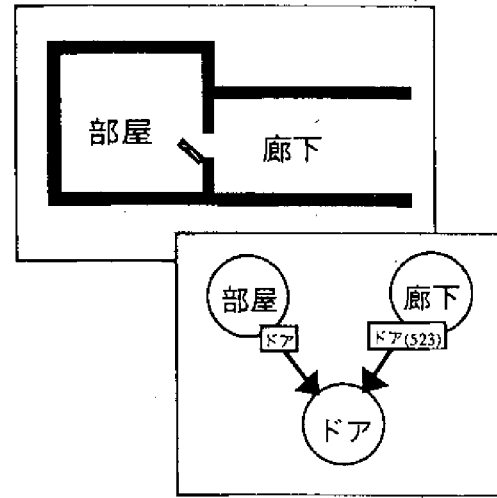


Fig. 6 環境の例

体的には前節で説明したサブハッシュテーブルのキーとして名前を管理し、それを使ってオブジェクトにアクセスする。

例としてFig.6のような環境のモデル化を考える。まず部屋オブジェクトからドアオブジェクトに対しリンクを張るとする。その際のドアオブジェクトの名前は、「ドア」などとして部屋オブジェクトが管理する。次に、廊下オブジェクトからドアオブジェクトに対しリンクを張ることを考える。廊下オブジェクトも同様にドアオブジェクトの名前を管理することになる。しかし、ドアオブジェクトの名前を「ドア」とするのは良くない。なぜなら、廊下は多くのドアと面していることが多く、「ドア」という名前では識別が困難で、また、名前の衝突を引き起こす可能性も高い。そこで、こういった場合には、例えば部屋番号を含めて「ドア(523)」などのようにすれば明示的で、且つ名前の衝突も防げると考えられる。この方法を用いれば、同じオブジェクトでも識別が必要なときにそれに適した名前をつければよく、合理的である。

5. ロボットの移動実験

java言語を用いて情報の編集と利用を行うためのシステムを試作した。

上記のデータ構造を基に情報を入力し、データ構造の実用性を確認することを目的として、簡単なロボットの移動実験を行った。

5.1 実験システムの構成

実験システムの構成をFig.7に示す。環境情報システムはPC-UNIXの一種であるLinuxが稼働しているPC-AT互換機上で動かしている。ロボットはカード型のPC-AT互換機上でメインプロセスが走り、MC68332を用いたワンボードマイコン上の移動プロセスを制御している。情報システムとロボットとの通信は情報システムと同じマシン上で動いている通信システムを用いて行っている。

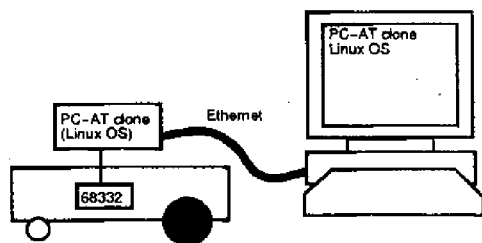


Fig. 7 実験システムの構成

5.2 実験

ロボットは以下の手順で移動を行う。

◆ 目的地の指定

目的地の指定は、ユーザインタフェースを用いて目的地となる空間名(例: 部屋1)を示す。

◆ 大局的経路計画

情報として入力されているグラフを利用し、Dijkstraのアルゴリズム⁵⁾を用いて目的地までの大まかな経路計画(例: ドア2⇒廊下⇒ドア1⇒部屋1)を立て、結果をロボットに渡す。グラフは部屋や廊下のような単位空間の隣接点(例: ドア)の前後にノードを置き、それらをエッジでつないだものとした(Fig.8)。Fig.9にグラフの表現例を示す。図中の接続を表すリンクの属性「ノード」がグラフの

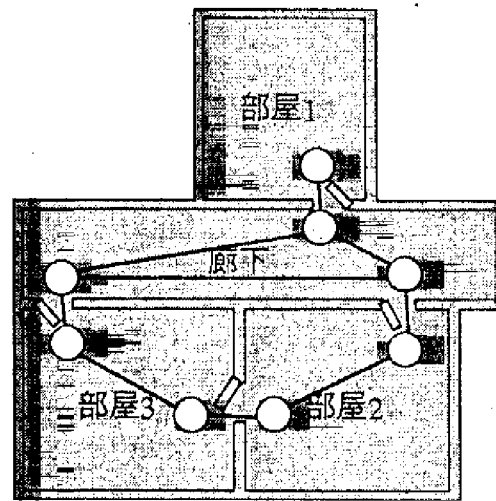


Fig. 8 グラフの例

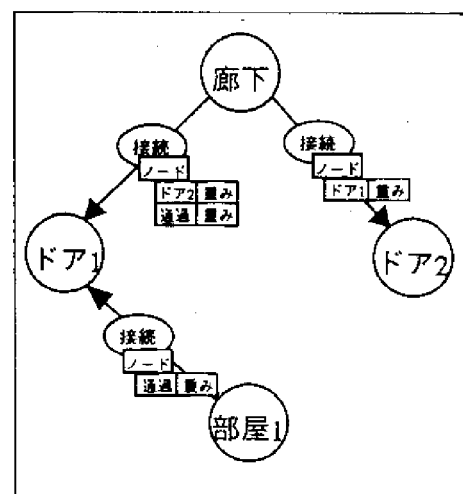


Fig. 9 グラフの表現例

ノードにあたる。

◆ 軌道生成

現在地の空間に存在する物体オブジェクトの幾何学情報からセルマップを作成し、ロボットに渡す。セルマップ生成に使用される情報の例をFig.10に示す。

本来ならセルマップを基に、軌道生成モジュールが軌道を算出することとなるが、軌道生成モジュールがないため、今回はGUIを用いた入力により人がロボットに通過点を与える。

以下、与えられた通過点に従いロボットが移動する。目的地に着くまで軌道生成と移動を繰り返す。

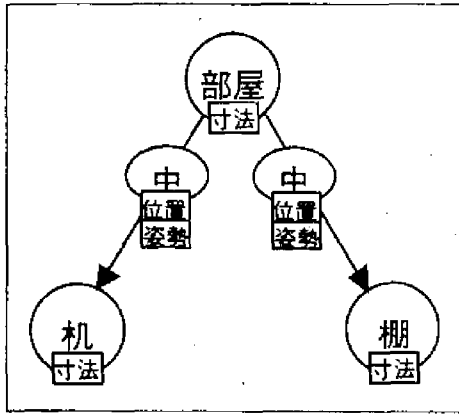


Fig. 10 セルマップ生成に使用される情報の例

返す。

6. 考察と今後の展望

目的地を座標などではなくその名前で示すことができるのは、ロボットの利用にとって有用な機能であると考えられる。今回は目的地として空間の名前しか与えられなかったため、今後は物体や人を目的地とすることを実現したい。

今回行った実験の目的は、設計したデータ構造により表現された情報の実用性を確認することであった。よって、環境情報システムを目指すところである、より広い情報の取り扱いは今後の課題として残っている。今後はより高度なタスクの実現を想定して必要な情報を検討し、それを扱えるよう改良を加えていく必要がある。

また、情報の入力のための、より良いインタフェースの開発も必要である。

7. 結言

環境情報システムの構築を目指して情報を表現するためのデータ構造を検討・設計し、それに基づいてシステムを試作した。また、実際に情報を入力し、ロボットの移動実験を行うことで、設計したデータ構造の実用性の確認を行った。

参考文献

- 1) 風岡, 他: 移動ロボットによる環境地図管理システムに関する基礎研究, -その4, 単数の移動

ロボットによる環境地図管理システムの一実現, 第9回日本ロボット学会学術講演会 No.1713, 253/254 (1991)

- 2) 関口, 他: センサデータに基づくリアルワールドモデルの生成, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'97講演会論文集 Vol.B, 795/796 (1997)
- 3) 高田, 青木, 坪内: 自律型異同ロボットのための地理システム-時間概念の導入, 第10回日本ロボット学会学術講演会 No.3234, 975/978 (1992)
- 4) 高田, 高橋, 中野: 移動ロボットのための環境情報表現法, 第13回日本ロボット学会学術講演会 No.4M1-5-5,579/580 (1995)
- 5) 浪平博人: データ構造とアルゴリズム, 129/132, CQ出版(1991)