

災害救助戦略における地図情報の利用についての検討

Applying geometry information to disaster relief strategies on RoboCup Rescue

長谷部 優^{*1}

Yu Hasebe

森久 和昭^{*2}

Kazuaki Morihisha

伊藤 暢浩^{*1}

Nobuhiro Ito

^{*1}愛知工業大学

Aichi Institute of Technology

^{*2}奈良先端科学技術大学院大学

Nara Institute of Science and Technology

A result of disaster relief activities is influenced by geometry information such as structures of road networks and locations of houses on a map. In this paper, we discuss the effect of strategies by applying geometry information through some RoboCup Rescue simulations. We confirmed that the strategy is efficient for disaster relief activities.

1. はじめに

近年、世界各地で大規模な自然災害による被害が頻発している。2008年6月に起こり土砂災害が多かった岩手・宮城内陸地震、国外では2009年4月にイタリアで起こった大地震など、いずれも大きな被害となっている。

このような大規模な自然災害に対するさまざまな取り組みが注目を集めており、その取り組みの一つとして RoboCup-Rescue プロジェクトがある。このプロジェクトは、大規模災害の被災を想定した仮想的な被災都市における災害救助シミュレーションや災害シミュレータの開発を通して、人工知能やロボット工学分野の研究を促進し、災害救助戦略や避難シミュレーションによる啓蒙活動などを発展させるものである。

実社会において、災害発生時におこなう救助戦略の内容を記したものに防災対策マニュアル [1] がある。これは総務省消防庁によって発行されており、具体的な救助活動の方法はこのマニュアルをもとに各地域により作成される。そのため、救助活動の内容は各自治体により異なる。現在、防災対策マニュアルでは、救助戦略において地図情報を用いる方法や戦略を変えることは記されていない。

しかし、縦横の建物、道路に関する研究 [2] や瀬戸口の道路ネットワークに関する研究 [3] により地図には特徴があり、地図と災害救助戦略の間に関係があるということはすでにわかっている。地震災害などの自然災害は、その地域の特徴と密接な関わりがあると考えられている。この地域の特徴を表現した地図の情報を、救助戦略に用いることができれば、より良い戦略になると考えられる。

そこで本研究では地図情報を解析し、その結果を用いて動作することが可能な RoboCupRescue 用の災害救助エージェントを設計実装し、その効果について検討をおこなう。

2. Rescue Simulation における救助戦略

2.1 RoboCup とは

RoboCup[4] は、ロボット工学と人工知能の研究促進と発展のために自律移動ロボットによるサッカーを題材として日本の研究者らによって提唱されたプロジェクトのことである。現在、このプロジェクトはサッカーだけでなく、大規模災害へのロボットの応用を目的としたレスキュー、次世代の技術の担い手を育てる

ジュニアなどのリーグが構成されている。レスキューでは実機ロボットを用いる RoboCup Rescue ロボティクス&インフラストラクチャプロジェクトや RoboCupRescue インテグレーションプロジェクトおよび、RoboCupRescue Simulation などの複数の分野で構成されている。以下、2.2 節では、RoboCupRescue Simulation について説明する。

2.2 Rescue Simulation

RoboCup Rescue Simulation では地震災害による火災や建物倒壊、道路閉塞が発生した被災都市において、災害救助隊が市民の救助および火災の消火をおこなうシミュレーションをおこなう。このシミュレーションはマルチエージェントシステムに基づく災害シミュレーションシステムである。RoboCup Rescue Simulation のエージェントは役割によってモデル化されている。主なエージェントとその役割を以下に示す。

2.3 Rescue エージェントについて

消防隊 火災を消火し、建物の延焼を防ぐエージェント
救急隊 埋没した市民を救助し、避難所まで連れていくエージェント
道路啓開隊 閉塞した道路を通行可能にするエージェント

本研究では、これらの役割を持つエージェントすべてをまとめて災害救助隊と呼ぶ。

災害救助隊以外のエージェントとして、市民エージェントが存在する。市民エージェントは避難所へ逃げるのみ設計されており、自由な行動をさせることはできない。近年、この市民の行動をより現実に近いものにするエージェントが提案されているが、残念ながら実用段階に至っていないため本研究では現在の市民エージェントを用いて研究を進める。

また、各エージェントや建物、道路、節点は一意の ID を持っている。この ID はユニークであることが保障されている。

RoboCupRescue Simulation では災害救助隊が協調しあって救助活動をおこなう。

救助戦略ではどのように意思決定をするかが重要である。意思決定をする前提条件は、現在の環境がより良くなる行動を選択するということである。その選択のための判断材料となるものは、既に得られている環境情報である。

3. 地図に関する解析

3.1 地図から読み取れる情報

地図 (環境情報) からは建物、道路、および節点情報を読み取ることができる。それぞれの関係を図 1 に示す。

連絡先: 長谷部 優, 愛知工業大学大学院, 〒 470-0392
愛知県豊田市八草町八千草 1247, Tel:(0565)48-8121,Fax:(0565)48-0277, b09731bb@aitech.ac.jp

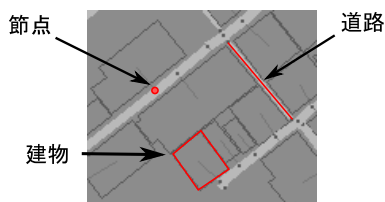


図 1: オブジェクトの関係

3.2 解析方法

解析方法は2種類に大別することができる。一つは地図情報を手に入れた直後に行う解析であり、もう一つは救助活動中に手に入れた情報の解析である。ここで前者の解析方法を静的解析と呼び、後者の解析方法を動的解析と呼ぶ。静的解析によって得られた結果は、不変な情報である。しかし、動的解析から得られた情報は時間が経過すると変化してゆく。本研究では地図解析を用いたエージェントがよりよい行動選択をおこなっていることを調べるため、静的解析を中心に解析をおこない検討する。以下に、静的解析の方法、動的解析の方法を説明する。

3.2.1 静的解析

静的解析とは、シミュレーション開始前、開始後に行う解析である。

シミュレーション開始前におこなう解析は、ある程度時間のかかる解析であってもかまわない。しかし、開始直後におこなう解析は、動的解析のようなリアルタイムに結果を求められるわけではないが短時間で解析が終わることが望ましい。地図情報の静的解析では建物解析と道路解析をおこなう。

● 建物解析

建物解析では、建物隣接率、訪問すべき建物の決定、消火ポイントの推定をする解析をおこなう。以下、それぞれの詳しい解析方法について述べる。

－ 建物隣接率

建物隣接率とは建物同士がどれくらい隣接しているかを数値で表すものである。建物の燃え移りやすさが分かれば、消防隊が消火活動をおこなうときの一つの判断材料となりえる。

－ 訪問すべき建物の決定

訪問すべき建物とは救助エージェントが見回りをする建物のことである。市民を救助するためには、建物を見回って埋没している市民がいなかを確認しなければならない。ここで見回りをする建物群の決定方法は次の二つが考えられる。

1. 地図上の全ての建物を訪問すべき建物群とする。(全探索)

- * 長所
必ず全ての埋没市民を発見できる。

- * 短所
建物数が多い場合、時間の制約があるため全てを訪問することは不可能である。

2. サンプルした建物を訪問すべき建物群とする。(部分探索)

- * 長所
訪問すべき建物数が全建物数よりも少なく

なるため、全てを訪問することの可能性はある。

* 短所

サンプリングに失敗すると全ての埋没市民を発見できない。

埋没市民を全員救助するためには制限時間内に発見することが前提条件である。そのため全探索の方法は用いずに部分探索をおこなう。災害救助隊は中心点から 10m 以内の建物ならば情報を知覚することができる。これを利用すると、以下の二つのサンプリング方法が考えられる。

1. ランダムサンプリング

全ての建物から適当に選ぶ方法

2. 最小限抽出サンプリング

訪問すべき建物が最小限となるように選ぶ方法

この二つのサンプリング方法にはそれぞれ問題がある。

ランダムサンプリングの問題点は、コード実行ごとに得られる訪問すべき建物が違ってくる可能性がある点である。

また最小限抽出サンプリングの問題点は、あらかじめ中心点から半径 10m 以内の建物を計算しておかなければならないということである。

どちらの方法を用いればよいか、二つの方法を用いて各地図における訪問すべき建物の数を計算した。その結果を表 1 に示す。

表 1: ランダムサンプリングと最小限抽出サンプリングの比較

Map\ サンプリング方法	ランダム	最小限抽出
Kobe	419	380
Kobe_4	1237	1154
Foligno	742	700
VC	639	583
Random	805	797

表 1 のランダムサンプリングは 3 回おこなった平均値である。この結果より最小限抽出サンプリングのほうがランダムサンプリングの約 94% の数で訪問可能になることがわかる。よって本研究では、全てのエージェントが同じサンプリング結果を得られるということと、訪問数が少ないということにより、最小限抽出サンプリングを用いて訪問すべき建物を決定することにする。

－ 消火ポイントの推定

消火ポイントの推定とは、消防隊が消火活動をおこなう場所をあらかじめ推定しておくものである。消防隊が消火活動をおこなうとき、建物にはいつ放水することが望ましい。なぜなら道路上で放水活動をおこなうと、他のエージェントがその道路を通過できず、人的な閉塞が発生するからである。そのため消火活動をおこなうときは、放水するポイントをその都度設定しなければならない。通常の建物には消防隊が 1 隊しかはいれないという制約がある。しかし、各指令所や避難所にはこの制約があてはまらない。また消防隊が放水できる限界距離は 30m

であるため、消火ポイントはこの範囲内である必要がある。したがって、これらの制約をふまえて消火ポイントを推定する。

● 道路解析

道路解析では早期啓開道路の決定および、重要道路の計算をおこなう。

ー 早期啓開道路の決定

早期啓開道路とはシミュレーション開始直後に、優先的に啓開活動をおこなう道路のことである。決定基準となる道路を次に示す。

* 避難所付近の道路

避難所へ到達できなければ全ての救助活動に支障をきたす。たとえば、救急隊が救助した市民を連れていくことができない、消防隊が給水できない、移動エージェントがダメージを回復できないなどである。

* 火災が起こっている建物付近の道路

火災が起こっている建物付近は、消火活動のために消防隊が移動する道路が多い。そのため道路閉塞があると消火活動が遅れてしまう可能性がある。

* 救急隊および消防隊の初期位置付近の道路

救急隊および消防隊の初期位置付近の道路が閉塞していた場合、それぞれの災害救助隊が選択した活動が遅れてしまうためである。

ー 重要道路の決定

重要道路とは利用頻度が高い道路のことである。判断方法として、節点を基準とした全点对最短経路問題を解くことにより最短経路を計算することができる。この最短経路で使われる道路を数えていくことにより道路の利用頻度を計算することができる。

最短経路を求める計算では経路探索で多く使われている、ダイクストラ法 [6] を用いた。この他に全点对最短経路問題を解くアルゴリズムとしてウォーシャル・フロイド法 [7] がある。コストは辺の長さで定義し、節点を基準とした。

3.2.2 動的解析

動的解析は、シミュレーション中におこなう解析である。地図情報の動的解析では市民情報の解析、火災情報の解析および閉塞情報の解析をおこなう。

● 市民情報の解析

市民情報の解析では、未訪問の見回る建物を効率的に訪問する経路探索、および救助を待つ埋没市民の様子見をする役割分担をおこなう。

● 火災情報の解析

火災情報の解析では、閉塞情報と消火場所の情報を統合した、消火可能場所の計算をおこなう。

● 閉塞情報の解析

閉塞情報の解析では、ある場所へ到達可能か不可能かの計算をおこなう。

以上の解析方法を用いて意思決定支援をおこない、よりよい救助行動を選択させる。また本研究では地図解析の結果を用いて行動選択をしていることを確認するために、主に静的解析の利用について検討をおこなう。

4. 地図情報解析を用いた実験と考察

4.1 実験内容

三つのエージェントを用いて実験をおこない、結果を比較する。実験に用いるエージェントは地図解析をおこなわないエージェント、地図解析をおこなうエージェント、およびロボカップ 2008 世界大会で優勝したエージェントである。以下にそれらの特徴を述べる。

Simple-Agent 地図解析をおこなわないエージェント。行動選択は各エージェントが現在の状況のみを考慮し選択する。選択した結果、環境にどのような影響があるかなどの推論をまったくおこなわない。以下、Simple と略す。

AIT-Rescue 本研究の地図解析を用いた行動をおこなうエージェント。ロボカップ 2008 秋期キャンプに出場した AIT-Rescue をベースに開発した。本研究の解析方法を用いて行動選択をおこなう。以下、AIT と略す。

ZJUBase ロボカップ 2008 世界大会で優勝したエージェント。地図解析をおこなっており高度な推論能力を持つ。経路探索ではニューラルネットワークを用いて、最適な経路を計算している [9]。以下、ZJU と略す。

評価方法は式 1 で計算されるスコアを用いる。これはレスキューシミュレーションの標準的なスコア計算方法である。

ただし、 V をスコア、 P を生存している総エージェント数、 S をエージェントの残り体力の総合値、 S_{int} をエージェントの最初の体力の総合値、 B を燃え残った建物の面積、 B_{int} は最初の建物の面積とする。

$$V = \left(P + \frac{S}{S_{int}} \right) \sqrt{\frac{B}{B_{int}}} \quad (1)$$

4.2 実験方法

実験方法は RoboCup2008 世界大会で使用された五つの地図でシミュレーションをおこなう。使用した地図の特徴は以下のとおりである。

Kobe

兵庫県神戸市長田区の一部を抜き出した地図である。スケールは実際の地図の 10 分の 1 スケールである。もっとも建物数が少ない。

Kobe_4

Kobe と同じく、兵庫県神戸市長田区の一部を抜き出した地図である。スケールは実際の地図の 4 分の 1 である。もっとも建物数が多い。

Foligno

イタリアのフォリーノ市をモデルにした地図である。建物数が多い割りに道路の車線数が少ないため移動が難しい。

VC

仮想都市 (Virtual City) の地図である。名城大学高橋研究室で作られた地図である。

Random

レスキューシミュレーションサーバ付属の地図生成アルゴリズムによって作られた地図である。

4.3 実験結果

実験結果を表 2 に示す。

表 2: 実験結果

Map\Team	Simple	AIT	ZJU
Kobe	68.516	93.079	100.947
Kobe.4	82.248	97.979	101.514
Foligno	61.385	85.920	93.899
VC	52.073	60.154	82.615
Random	67.711	71.312	80.554

4.4 解析を用いないエージェントとの比較・検討

Simple と AIT ではすべてのマップにおいて AIT がよいスコアを獲得した。これは救助戦略における地図情報の利用が有効であることを示している。Random マップ以外ではスコアの差が大きい。Random マップは他のマップと比較して移動可能な経路数が少ない。これは啓開隊の行動が重要になるということであるが、その行動選択のアルゴリズムに問題があり、同程度の結果になったと考えられる。

4.5 RoboCup 世界大会のエージェントとの比較

AIT と ZJU では ZJU のスコアを越えることができなかった。これは地図解析だけでなく、協調行動によるスコアへの影響が大きいと考えられる。ZJU は火災が起きている建物群がある場所へ、活動可能な全ての消防隊を向かわせて消火活動をするアルゴリズムを採用している。

4.6 災害救助における地図情報の利用についての検討

今回の実験結果から、地図情報を利用することでよりよい行動選択をさせることができた。特に、早期啓開道路の決定は非常に有効である。Simple-Agent が低スコアになった原因の一つに、避難所付近の道路が閉塞しておりその解除が遅れたことがあげられる。現実世界の救助活動では、病院や避難所などの重要施設付近を早期に開拓することで迅速な救助活動につながると考えられる。

5. まとめと今後の課題

本研究では、地図から得られる情報を静的・動的に解析してその結果を利用することにより、災害救助戦略における地図利用の有効性について検討をおこなった。また、実験から地図情報の利用や解析の有効性が示された。

今後の課題として、解析した結果をより効果的に用いることのできるアルゴリズムを開発する必要がある。実験結果から、どちらの災害救助隊も地図解析を用いているが、ZJU がよりよいアルゴリズムを用いていたと考えられる。また、本研究では協調行動についてあまり言及しなかったが、協調行動は救助活動において、重要な要素の一つである。現実世界における災害救助隊も互いに協力しあって行動をしている。地図解析をおこない、互いに情報を共有しあって活動できれば、救助活動を迅速に行えるようになると思われる。

参考文献

[1] 総務省消防庁.

<http://www.fdma.go.jp/>

[2] 瀧澤寛明. 建物および道路による地図の特徴と災害救助エージェントの評価に関する研究. 人工知能学会研究報告 Vol. 2008, No. 20, pp. 61-66, 2008.

[3] 瀬戸口陽一. 道路ネットワークの複雑さと移動型エージェントシミュレーションとの依存関係について. 人工知能学会全国大会投稿論文, 2007.

[4] ロボカップ日本委員会.
<http://www.robocup.or.jp/>

[5] 人工知能学会,
<http://www.ai-gakkai.or.jp/jsai/whatsai/AIwhats.html>

[6] 佐藤史隆, 廣安知之, 三木光範.
“最短経路問題におけるアルゴリズム【ダイクストラ法】の調査”,
<http://mikilab.doshisha.ac.jp/dia/research/report/2004/0716/002/report20040716002.html>

[7] 佐藤史隆, 廣安知之, 三木光範.
“最短経路問題におけるアルゴリズム【ウォーシャル・フロイド法】の調査”,
<http://mikilab.doshisha.ac.jp/dia/research/report/2004/0716/001/report20040716001.html>

[8] RoboCup2008 SCM Repositories .
<https://roborescue.svn.sourceforge.net/svnroot/roborescue>

[9] ロボカップ 2008 世界大会 TDP