

包含概念を用いた拡張 R-tree による被災地管理

三栗 寛之† 向 直人† 渡邊 豊英† 朝倉 宏一†
 Hiroyuki Mikuri Naoto Mukai Toyohide Watanabe Koichi Asakura

1. はじめに

災害の発生を予知することは困難であり、それによる被害を完全に抑えることも不可能である。しかし、効果的な災害対策を採って発生に備えることは重要である。そこで、情報技術を用いた災害対策 [1,2] の一つとして、地震発生時に各被災者に対して避難所への経路を提供する避難誘導システムを取り上げる。地震により、被災地には被災者が安全に行動できない危険領域が生じ、時々刻々と変化する。避難誘導システムは、危険領域を避けた避難経路を各被災者に通知することで初期避難を支援する。この際、多数の被災者を対象として誘導すること、被災者からの経路要求に対して素早い応答が必要なこと、使用可能な計算処理能力には限界が存在することなどから、全探索のような高コストの経路設定法は避難誘導システムに不適である。

この問題を解決するために、我々は R-tree [3] を拡張した木構造、RNR-tree による被災地の危険領域管理を提案する。本手法では、最初に各危険領域について将来の変化を予測し、その周囲に予測上の危険領域を設定する。予測上の危険領域は将来における危険領域を示し、危険レベルによって分類される。そして、危険領域とそれに隣接する予測上の危険領域を一つの葉ノードとして、RNR-tree を構築する。RNR-tree では、危険レベルが木構造内の階層に対応付けられ、階層が深くなるほどより危険レベルが高い領域が管理される。RNR-tree を用いることで、計算機がヒューリスティックに避難経路を設定する際に、被災地の状況を人が俯瞰で眺めるように大局的な視点から探索不要な領域を判定できる。

本稿の構成は以下である。提案するアプローチとして、2章で危険領域の変化予測、3章で危険領域を管理する木構造 RNR-tree について述べる。4章では、本手法の有効性を評価実験により示す。

2. 危険領域の変化予測

避難経路は、被災者が安全に通過できない危険領域を避けて設定されなければならない。ここで問題となるのは、危険領域が空間的に固定ではなく、時々刻々と変化する事である。故に、避難所まで安全に到達可能な経路を求めるには、予め危険領域の変化を予測しておき、この予測に基づく必要がある。本章では、変化予測に用いる仮定と予測結果の一例について述べる。

2.1 変化予測に用いる仮定

変化予測では以下の仮定を用いる。

- (1) 危険領域は矩形で近似可能である。
- (2) 既知の危険領域の拡大のみを考慮すれば良い。

現実の状況下では、これらの仮定は成り立たない場合が

存在する。例えば、長い時間間隔で見れば、時間経過や救助活動等によって危険領域の縮小は起こり得る。しかし、本稿では被災者を誘導するための比較的短い時間を考えるため、仮定を用いて単純化した予測を採用する。

2.2 予測結果

以上の仮定のもとで既知の危険領域の周囲への拡大を予測し、全領域に対して危険レベルを割り当てる。危険レベルは、将来ある時点においてその領域がどのぐらいの可能性で危険領域となるかを表す。すなわち、危険レベルが高い領域は将来危険領域となる可能性が高く、危険レベルが低い領域は可能性が低い。仮定より、既知の危険領域の周りには危険レベルが高い領域が隣接して存在し、既知の危険領域から遠ざかるにつれて危険レベルが下がるという包含関係を持つ予測結果を得る。この一例を図1に示す。

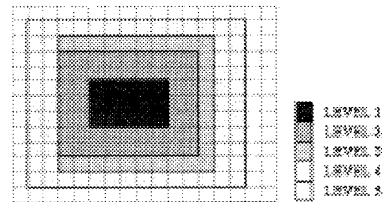


図1: 予測結果の一例

図1では、既知の危険領域が中央にレベル1で表現されており、その周囲にレベル2からレベル5に対応する予測上の危険領域がこの順序で、内側から外側に向けて包含的に表現されている。本稿では、図1のように被災地内の領域を5つの危険レベルに分類した場合を検討する。

以上の予測を用いると、各被災者が置かれている状況に対して可能な限り安全な避難経路を次の手順で求められる。最初に、危険レベルが最も低いレベル5の領域のみを通行可能として経路を探索する。この際、経路が存在しなければレベル4の領域も通行可能として経路を探索する。以下同様に、経路が存在しなければより危険レベルが高い領域を通行可能として経路を探索する。

3. RNR-tree

本章では、変化予測結果を索引する木構造として、R-tree を拡張した RNR-tree について述べる。R-tree は空間オブジェクトの管理手法としてよく知られる平衡木であり、効率的な検索を可能とする。また、対象とする問題に応じて様々な拡張 R-tree が提案されている。

3.1 RNR-tree の構造

RNR-tree は R-tree を拡張した木構造であり、葉ノードの追加及び削除、検索などの基本的な操作は R-tree の場合と同様である。R-tree と RNR-tree の主な相違点は、RNR-tree では変化予測結果である図1の包含構造を葉ノードとして索引すること、RNR-tree 内の全ノードが管理する危険レベルをそのノードが存在する階層に従って所持することであ

†名古屋大学大学院情報科学研究科

‡名古屋大学大学院工学研究科

る。ここで、予測結果を索引した際の RNR-tree の構造を図2に示す。

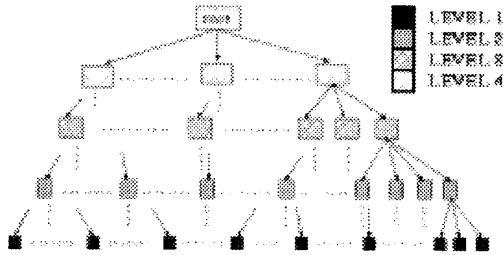


図2: RNR-treeの構造

図2では、最上位階層に根ノード、最下位階層に葉ノードがそれぞれ表現されている。また、葉ノードは危険レベル1の領域であり、中間ノードは上位階層にあるノードほど危険レベルが低い。これは、上位階層のノードであるほど、その階層で管理される危険レベルが低くなることを表す。また、これは全ての中間ノードが、その子ノードの領域に危険レベルで一つ分だけの余裕を加えた領域を包含するように構成されることによる。

3.2 危険レベルに基づく問合せ

先に述べたように、危険レベルが低い領域から順次通行可能として避難所への経路を設定する。このとき、危険レベルがあるレベル以上の領域を通行不能とみなす場合に、各地点が通行可能であるかどうかを判定する必要がある。この判定のための RNR-tree に対する問合せを、「危険レベルに基づく問合せ」と呼ぶ。

構造上の特徴より、RNR-tree のある階層においてどのノードにも含まれない地点は、それより下位階層のどのノードにも含まれない。また、ある階層においていずれかのノードに含まれる地点にのみ、その地点の危険レベルがその階層で管理される危険レベル以上である可能性がある。これらの性質を用いて、次の手順で判定する。

(1) 深さ優先で検索地点を含むノードを探索する。

(2) 検索対象の危険レベルを管理する階層において、検索地点を含むノードが存在する場合にはそのノードの内部密度を調べる。ここで内部密度とは、ある中間ノードの面積に対してその子ノードが占める面積の割合を表す。

(3) 内部密度が一定値以上であれば通行不能と判定する。一定値未満であれば、下位階層で検索地点が検索対象の危険レベル以上の領域に含まれるかどうかで判定する。

以上の手順を用いると、内部密度が高い中間ノードの下位階層での探索が打ち切れ、通行不能と判定される。これは、大局的な視点を用いた探索打ち切りである。内部密度が高い中間ノード内では、その子ノードが多く面積を占める。故に、検索地点自体が通過可能であっても、付近に通過不能な地点が多く存在することから、検索地点を通過する避難経路は存在しない可能性が高い。つまり、この探索打ち切りを用いると、探索によって避難経路を得る見込みが薄い地点での経路探索が打ち切られる。このため、これを用いることで結果的に不要となる地点の探索回数を抑えることができ、計算コストを削減可能である。

4. 実験

提案手法の有効性を示すために実験を行った。本章では、実験の環境設定を述べ、実験結果を示す。

4.1 実験環境・設定

被災地として、縦6km、横8kmに相当する矩形のマップを設定し、この中に交差点に相当する約400のノードと約200の建物を配置する。各ノードは近傍のノードと道路セグメントに対応するエッジによる繋がりを持つ。また、建物の中からランダムに3個の避難所を設定する。このマップ内に危険領域をランダムに配置し、時間経過と共に徐々に拡大させる。そして、マップ内に1回あたり30名の被災者を設置して誘導を100回、設置する危険領域数を変化させて行った。被災者は実験の1ステップあたり50m移動可能とし、実験開始時及び20ステップが経過する毎に経路情報を更新した。

本実験では、被災地内の各危険領域に対して2章で述べた変化予測の結果を、2種類の方法で索引し計算コストを比較する。一方は、予測結果を1つのRNR-treeを用いて索引する場合である。他方は、危険レベル毎にR-treeを用い、計4つのR-treeで索引する場合である。また、双方の場合において先に述べた可能な限り安全な経路を求める手順で、Dijkstra法を用いて経路を設定する。ここでの計算コストには、予測結果を索引する木構造内で経路を設定する際に探索されるノードの総数を用いた。

4.2 実験結果

図3に実験結果を示す。図中の横軸が被災地内に存在する危険領域数に、縦軸が計算コストに、実線がRNR-treeを用いた場合の計算コストに、破線が複数のR-treeを用いた場合の計算コストにそれぞれ対応する。結果より、RNR-treeを用いた場合には複数のR-treeを用いた場合と比較して、必要となる計算コストを削減できる。また、被災地内に存在する危険領域数が多いときにコストの削減率が大きくなり、より効果的に働いていると言える。

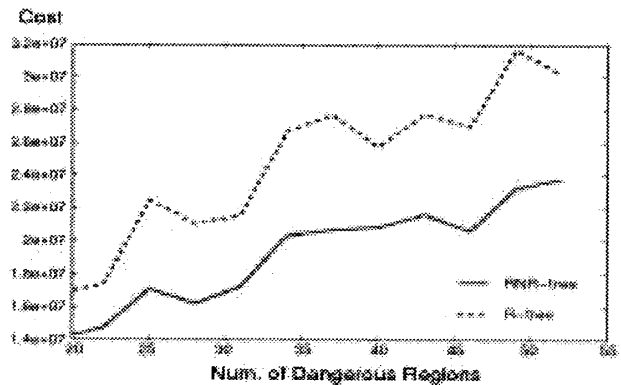


図3: 実験結果

参考文献

- [1] 仲谷善雄. 大規模災害に対する減災情報システム(前編), 情報処理学会誌, Vol. 45, No. 11, pp. 1164-1174, 2004.
- [2] 仲谷善雄. 大規模災害に対する減災情報システム(後編), 情報処理学会誌, Vol. 45, No. 12, pp. 1255-1265, 2004.
- [3] Antonm Guttman. R-TREES: A Dynamic Index Structure for Spatial Searching, Proc. of ACM SIGMOD 1984, pp.47-57, 1984.