

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 27 日現在

機関番号：25503

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26330123

研究課題名(和文) 災害救助支援のための自立型移動センサノードの協調動作による災害後屋内マップの生成

研究課題名(英文) Generation of indoor map after the disaster for supports Disaster Relief by autonomous mobile sensor nodes cooperation

研究代表者

山本 真也 (YAMAMOTO, Shinya)

山陽小野田市立山口東京理科大学・工学部・講師

研究者番号：10552375

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：災害時に救助隊が行動する際、間取り図だけではなく、棚などの倒壊による屋内環境の変化を知ることができる災害後の屋内地図があると有用である。そこで、本研究では、災害後の屋内マップの自動生成を実現することを目的として研究を行った。

研究成果として、安価な素材で人間に視認し難く、ブラックライトやフィルムによってマーカが浮かび上がるような不可視マーカ、壁に貼り付けたマーカの読み取りによる間取り図自動生成システム、路面の凹凸によるノードに搭載されたカメラのぶれに対応した円形マーカ、複数の移動ノードが協調することによる効率的な未知領域探索アルゴリズム、ポロノイ図を用いた巡回経路生成アルゴリズムを提案した。

研究成果の概要(英文)：When a rescue operation of a disaster, it is useful that there is the indoor map after disaster that can know such as collapsed shelves.

Therefore, we researched that it for the purpose of realizing the automatic generation of the indoor map after the disaster.

As result, we proposed as follows: (1) the invisible marker in pervasive inexpensive materials, that emerges by a black light or films; (2) the automatic indoor map generation system by the reading of the markers on the wall; (3) the circular marker resisting of the blurring with the irregularity of the road surface by the camera equipped with in the movable node; (4) the effective unknown field search algorithm with movable nodes cooperating and (5) the patrol course generation algorithm for movable nodes with Voronoi graph.

研究分野：ユビキタスコンピューティング

キーワード：災害救助支援 分散協調アルゴリズム 自律移動ノード

### (1) 研究開始当初の背景

近年、災害救助支援に関連する研究として、災害救助支援システムや、それらシステムを支えるアドホックネットワークの構築に関連する研究が盛んである。これらの研究は、災害救助活動を円滑に行うためにリアルタイムに支援するシステムであり、災害が発生してから救助活動を開始するまでの時間帯や夜間などの救助活動休止期間における空白時間を用いて災害救助支援を行う研究はない。また、センサノードによって屋内状況をモニタリングする研究の多くは間取り図が用意されていることが前提であるが、現実問題として、間取り図の電子データを事前に用意するのは困難である。また、屋内地図を生成する研究として、レーザレンジスキャナを用いた地図推定などが存在するが、比較的高価で特殊な機材を必要とし、これらを応用しても屋内の様子を詳細に知ることはできない。効率的に災害救助活動を支援するためには、災害救助において救助隊が行動する際、間取り図だけではなく、棚などの倒壊によって屋内環境がどのように変化しているかを知ることができる災害後の屋内地図があると有用である。

### 2. 研究の目的

災害救助において救助隊が行動する際、間取り図だけではなく、棚などの倒壊によって屋内環境がどのように変化しているかを知ることができる災害後の屋内マップの自動生成を実現することを目的に研究を行った。このようなシステムを実現するためには、以下の3つの機能が必要であると考えた。

- (1) 間取り図および写真を用いたウォークスルーモデルの3Dビューマップの自動生成システム
- (2) 位置情報を含む様々な情報を、カメラを備えた自律移動センサノードが他ノードとの協調動作によって収集するような自律移動センサノードの協調アルゴリズム
- (3) 様々な環境情報を「見える化」によってマッピングする機能

本研究では、これらの機能の実現を目標に研究を行った。

### 3. 研究の方法

本研究では、目標を達成するために、以下の課題を設定した。まず、壁に貼り付けたマーカをWebカメラによる映像を画像解析することにより、マーカ間の相対位置・角度を取得することで間取り図を構築する。この間取り図および取得映像の一部を用いたウォークスルーモデルの3Dビューマップの自動生成

を実現するため、以下の課題を設定した。

- (1) マーカが景観を損ねないためのインビジブル画像マーカの読み取り機構とそれによる屋内位置推定機構の実装
- (2) 推定位置情報を用いた間取り図・ウォークスルー型3Dビューマップを自動生成する機能の設計・実装

また、位置情報を含む様々な情報を、カメラを備えた自律移動センサノードが他ノードとの協調動作によって収集するような自律移動センサノードの協調アルゴリズムを実現するために、以下の課題を設定した。

- (3) 多数の移動ノードで未知領域を探索し推定位置情報を収集するための効率的なマーカ発見を目的としたノードの協調動作アルゴリズムの設計
- (4) 倒壊した棚などの検出および環境情報を効率的に収集するための巡回経路探索アルゴリズムの設計
- (5) 移動不可能になったノードが他ノードへと情報提供を行ったり通信中継ノードとして役割を変更したりする協調貢献を行うためのアルゴリズムの設計

さらに、様々な環境情報を「見える化」によってマッピングする機能を実現するために、以下の課題を設定した。

- (6) 様々な環境情報の見える化に際しユーザにわかりやすく提示するための新しい表現方法などの情報提示の設計・実現
- 最終的な目標として、このシステムを災害時だけでなく様々なシーンへと適応させるため、以下の課題を設定した。
- (7) 提案アルゴリズムをより様々な環境で利用できるようにするための汎用的なシステムへ拡張

### 4. 研究成果

これまでに、部分成果について、8件の国内研究会発表(3本のポスター発表、3本のデモ発表を含む)を行い、1本の優秀ポスター賞、2本の優秀デモンストレーション賞を受賞した。

インビジブル画像マーカの読み取り機構とそれによる屋内位置推定機構の実装として、ブラックライトによる紫外線反射・赤外線透過フィルムを用いた色調変更・偏光フィルムによる偏光処理の3種類によるマーカの不可視化の検討を行った。結果を図1~5に示す。それぞれ、左図は人間が認識する状態、中図はブラックライト照射、赤外線透過フィルム経由でカメラが撮影した様子、偏光フィルム経由でカメラが撮影した様子、右図は、中図をマーカ検出システムによりマーカとして検出できた様子である。この結果、通常は人間には視認し難く景観を損ねることなく、あらかじめカメラに設定した特定条件下ではマーカと識別できることを確認した。これによって、特殊な機材を用いずとも、一般

的な素材でマーカを作成することで不可視化が可能であることを示した。



図 1 同色異素材マーカ (紫外線)



図 2 熱反射フィルムマーカ (赤外線)

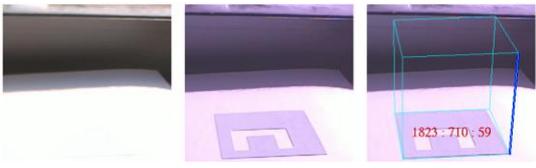


図 3 赤外線反射塗料マーカ (赤外線)



図 4 偏光フィルムマーカ (偏光)



図 5 改造ディスプレイマーカ (偏光)

この研究成果について、国内研究会においてデモンストレーション発表[C-8]を行い、優秀デモンストレーション賞を受賞した。

推定位置情報を用いた間取り図・ウォークスルー型 3D ビューマップを自動生成する機能の設計・実装について、推定位置情報を用いた間取り図の実装を行った。壁に貼り付けたマーカをカメラで撮影するだけで、相対位置・角度から図6のように壁を示す線分と建築製図通則 (JIS A 0150) で定められた記号を配置し、間取り図を自動生成することが可能となった。

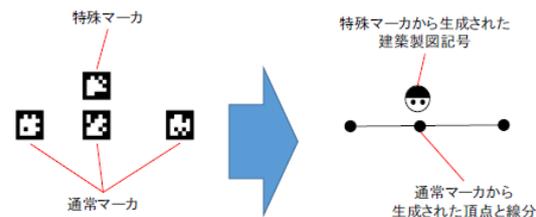


図 6 マーカの相対位置による間取り図生成

この研究成果について、国内研究会において

デモンストレーション発表[C-2]を行った。

しかし、間取り図生成システムを実地実験する段階で、移動ノードにカメラを搭載し、マーカを読み取ろうとすると、床の凹凸によりカメラが振動し、ぶれによってマーカの検出率が落ちることがわかった。そこで、図7のような線形ぶれに対応したマーカを作成することで対応した。このマーカはバーコードの各バーを同心の円形に配置している。通常、カメラ映像が線形にぶれた場合、そのぶれ方向にむけて映像が伸びたような状態になる。この円形マーカであればぶれ方向にのびた楕円のような形状となる。しかし、このマーカであれば、図8のようにぶれ方向とは垂直方向のバーコードは比較的影響のない形状を保つので、バーコードとして読み取ることが可能であり、ノードの振動によるマーカの検出精度を改善することができた。

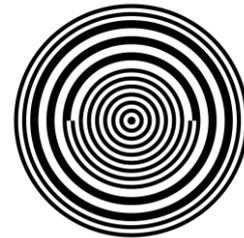


図 7 円形バーコードマーカ

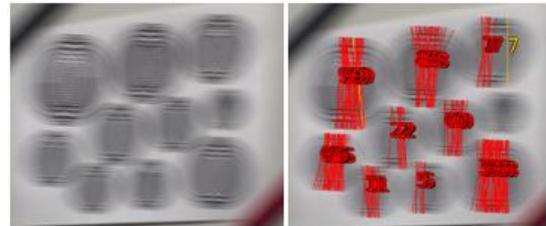


図 8 線形ぶれに対応した円形マーカの検出

この研究成果について、国内研究会においてデモンストレーション発表[C-5]を行い、優秀デモンストレーション賞を受賞した。

推定位置情報を効率的に収集するノードの協調動作アルゴリズムの設計として、移動ノードの未知エリア探索アルゴリズムをより効率的にするアルゴリズムを提案した。このアルゴリズムでは、複数の移動ノードが壁に貼り付けられたマーカを発見しながら、未知の領域を探索していく。このとき、移動ノード同士は定間隔で発見したマーカの情報を交換し合うことで情報を共有し効率的な未知領域の探索を試みる。また、バッテリー残量と通信範囲を考慮し、特定の移動ノードを分岐点や一定間隔毎に待機させて中継役として各ノードの情報共有を支援することで、探索効率を向上させる。このアルゴリズムを図9に示す縦30[m]、横20[m]の111個のマーカが設置された対象空間において、速度1[m/s]の5台の移動ノードによって情報を共有しながら協調によって未知領域を広く早く探索するシミュレーション実験を行い、従

来の移動ノードの運用で用いられる中継を行わず個々の探索を優先するアルゴリズムと中継役を設けて情報共有を行ない協調して探索を行うアルゴリズムとで比較実験を行った。その結果、図 10, 11 に示す通り、提案する協調探索アルゴリズムでは各ノードが十分に情報共有でき、探索完了までにかかる時間を最大約 75%に抑えられることが分かった。さらに、この手法により各ノードがより多くの情報の共有を達成できることがわかり、協調アルゴリズムの有用性を示すことができた。

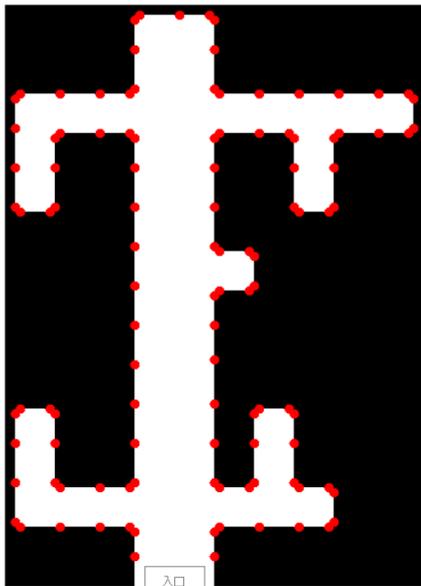


図 9 シミュレーション対象領域

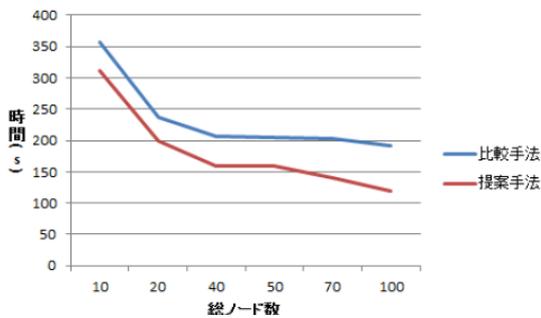


図 10 総ノード数による探索時間の比較

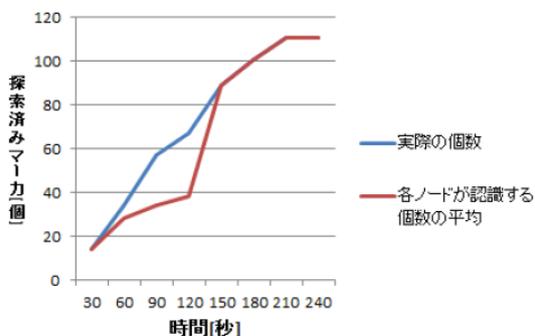


図 11 各ノードが認識する探索済みマーカー数

この研究成果について、国内研究会において 1 件の口頭発表[C-4]、3 件のポスター発表

[C-3][C-6][C-7]を行い、1 件の優秀ポスター賞を受賞した。

倒壊した棚などの検出および環境情報の収集アルゴリズムの設計については、間取り図が存在する状態での、効率的な情報収集をおこなうためのボロノイ図を用いた巡回ルートの自動作成アルゴリズムを提案した。この手法では、上記で提案した壁や什器に貼り付けたマーカの検出によって生成される間取り図とセンサ位置情報を用いて、その頂点と線分情報からボロノイ図によって移動ノードの巡回ルートを決する。すなわち、間取り図の頂点を母点としてボロノイ図を作成すると、そのボロノイ線は、母点間の垂直二等分線の集合である特性上、母点を避けるような線となる。このとき母点となる頂点を十分に用意することによって、図 12 のように壁や什器を避け通路上に引かれた線分集合を作成することができる。この線分集合を経路として利用することによって、無駄なく環境情報を収集することが巡回できる。

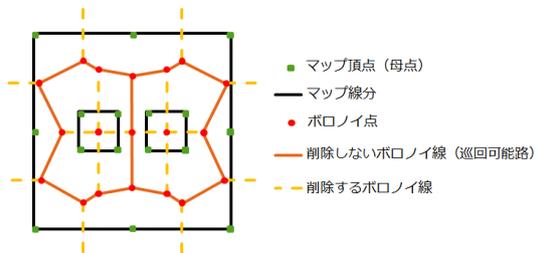


図 12 ボロノイ図による巡回経路生成

この研究成果を、移動センサノードの巡回経路探索問題として一般化したものを国内研究会にて口頭発表[C-1]を行った。

### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 8 件)

[C-1] 山本 真也, 勝間 亮: ボロノイ図を用いた移動センサノードのための巡回経路探索アルゴリズムの提案, 第 170 回マルチメディア通信と分散処理・第 76 回コンピュータセキュリティ合同研究発表会, 情報処理学会研究報告 Vol. 2017-DPS-170 (32), pp. 1-6, (March, 2017).

[C-2] 山本 真也, 柴田 直樹: マーカを利用した間取り図自動作成システムの提案, 第 24 回 マルチメディア通信と分散処理ワークショップ(DPSWS2016), マルチメディア通信と分散処理ワークショップ論文集, pp. 191-192, (October, 2016).

[C-3] 寺田 謙伸, 小倉 広大, 勝間 亮, 山本 眞也, 柴田 直樹: 通信接続性を重視した可動ノードの未知領域協調探索手法, 第 24 回 マルチメディア通信と分散処理ワークショップ (DPSWS2016), マルチメディア通信と分散処理ワークショップ論文集, pp. 202-205, (October, 2016).

[C-4] 寺田 謙伸, 小倉 広大, 勝間 亮, 山本 眞也, 柴田 直樹: 通信を考慮した可動ノードの屋内協調探索手法, 2016 年度 情報処理学会関西支部 支部大会, 2016 年度 情報処理学会関西支部 支部大会 講演論文集, (September, 2016).

[C-5] 柴田 直樹, 山本 眞也: 線形モーションぶれに耐性のある円形バーコード, 第 23 回 マルチメディア通信と分散処理ワークショップ (DPSWS2015), マルチメディア通信と分散処理ワークショップ論文集, pp. 216-217, (October 2015).

[C-6] 勝間 亮, 柴田 直樹, 山本 眞也: カメラモニタリング向けセンサノードの発光による障害物の位置推定手法の検討, 第 23 回 マルチメディア通信と分散処理ワークショップ (DPSWS2015), マルチメディア通信と分散処理ワークショップ論文集, pp. 244-245, (October 2015).

[C-7] 勝間 亮, 山本 眞也, 柴田 直樹: 災害時の屋内 3D マップ生成のための可動ノードの協調探索手法の提案, 第 22 回 マルチメディア通信と分散処理ワークショップ (DPSWS2014), マルチメディア通信と分散処理ワークショップ論文集, pp. 50-54, (December 2014).

[C-8] 山本 眞也, 柴田 直樹, 勝間 亮: 屋内位置推定用マーカにおける不可視化の検討, 第 22 回 マルチメディア通信と分散処理ワークショップ (DPSWS2014), マルチメディア通信と分散処理ワークショップ論文集, pp. 138-142, (December 2014).

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)  
○取得状況 (計 0 件)

[その他]  
ホームページ等

【業績リスト】  
<http://shiny-ya.jp/publication.html>

Google Scholar Citations  
<https://scholar.google.com/citations?hl=en&user=oS2KW08AAAAJ>

#### 【受賞】

[A-1] 優秀ポスター賞: 寺田 謙伸, 小倉 広大, 勝間 亮, 山本 眞也, 柴田 直樹: 通信接続性を重視した可動ノードの未知領域協調探索手法, 第 24 回 マルチメディア通信と分散処理ワークショップ (DPSWS2016), pp. 202-205, (October 2016).

[A-2] 優秀デモンストレーション賞: 柴田 直樹, 山本 眞也: 線形モーションぶれに耐性のある円形バーコード, 第 23 回 マルチメディア通信と分散処理ワークショップ (DPSWS2015), pp. 216-217, (October 2015).

[A-3] 優秀デモンストレーション賞: 山本 眞也, 柴田 直樹, 勝間 亮: 屋内位置推定用マーカにおける不可視化の検討, 第 22 回 マルチメディア通信と分散処理ワークショップ (DPSWS2014), pp. 138-142, (December 2014).

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

山本 眞也 (YAMAMOTO SHINYA)  
山陽小野田市立山口東京理科大学・工学部・電気工学科・講師  
研究者番号: 10552375

##### (2) 研究分担者

柴田 直樹 (SHIBATA NAOKI)  
奈良先端科学技術大学院大学・情報科学研究科・准教授  
研究者番号: 40335477  
勝間 亮 (KATSUMA RYO)  
大阪府立大学・理学(系)研究科(研究院)・助教  
研究者番号: 80611409

##### (3) 連携研究者

( )

研究者番号:

##### (4) 研究協力者

( )