

令和元年6月13日現在

機関番号：12201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06174

研究課題名(和文)複数台の移動ロボットによる不特定な侵入傾向の学習とそれに適応した最適警備システム

研究課題名(英文)Optimal Patrolling System with Multiple Mobile Robots for Intruders' Trends

研究代表者

星野 智史 (HOSHINO, SATOSHI)

宇都宮大学・工学部・准教授

研究者番号：80431980

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)：本研究では、人間による警備と同様、ロボットが知的な思考を通じてより多くの侵入者を発見できる警備システムの実現を目的とした。そのためにはロボットにとって、(1) 不特定な侵入者に対する傾向を特定し、(2) その傾向に基づいた最適な警備行動を、(3) 複数台で広範囲を対象に実行するための方法論を構築した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究によってロボットは、侵入者に関する事前情報がなくとも学習を通じて侵入傾向を特定し、その度合いに応じた警備が可能となる。これは、侵入傾向が顕著な場所を重点的に、そうでない場所を一様に、ロボットが警備することを示している。これらは現在、大手警備会社がロボットをターゲットに取り組んでいる研究を先行した内容となっており、本研究成果が与える社会的なインパクトは大きい。本ロボットシステムは、建物だけでなく、町(街)の安全、すなわち犯罪の抑止にも貢献できるものと期待できる。治安や安全に関する問題の解決は、全世界規模での課題であり、本研究成果はロボティクスの平和利用として、高い波及効果が見込まれる。

研究成果の概要(英文)：We aimed at a robotic patrolling system which has the same capability with the one based on human patrol. For this purpose, we proposed (1) learning method to identify the intrusion trends, (2) optimal patrolling methodologies based on the trends, and (3) multi-robot patrolling systems.

研究分野：ロボティクス

キーワード：知的ロボットシステム

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

2001年9月11日の米国同時多発テロ事件以降、監視カメラに機動性を持たせた研究が盛んに行われている。2005年には、国内でも移動式の監視システムが提案されるようになった。さらに2012年には、移動式監視カメラシステムの有効性が示されている。これら社会的な背景に対する関連研究を鑑みて、申請者は、監視カメラを搭載した自律移動ロボットによる警備システムに着目した。

移動ロボットによる警備に関する研究では、複数台のロボットシステムに焦点が当てられてきた。国内では、申請者の他に東京大学の太田らが、未知な環境(ロボットが環境の地図を有していない)に対して、探索と警備を同時に行う方法論を提案している。国外では、イタリアとアメリカの大学が共同で、ロボットが侵入者を発見するよう警備経路を環境中に計画する研究に取り組んでいる。また、申請者が一年間在外研究で訪れたカリフォルニア大学サンタバーバラ校(UCSB)のF. Bulloらは、警備ポイントを巡回するアルゴリズム開発の先駆的存在である。これらの研究は、いずれも既知な環境を想定している。本研究においても、ロボットは環境の地図情報を有しているものとする。

しかしながら、従来の関連研究では、侵入者発見の有無がロボットの警備行動に反映されることはなかった。これは、ランダムな不特定侵入者を想定していたためである。そのため、ロボットは侵入者発見のいかんによらず、予め決められた警備行動を繰り返すのみであった。一方で、不特定でも実は侵入傾向がある場合、ロボットはその傾向を利用することでより多くの侵入者を発見できるはずである。

申請者はこれまでの研究にて、ロボットが不特定の侵入者に対して、居場所や人数といった侵入傾向を、ベイズの定理に基づいた機械学習法(ベイズ学習)によって特定できることを示した。そのため、この侵入傾向に基づき警備目的地を決定し、目的地までの経路を計画する戦略を提案した。しかしながら、(1) 侵入傾向の時間的変化には対応できず、(2) 警備戦略は経験的に与えられ、(3) 1台のロボットのみによる警備に限定されてきた。

2. 研究の目的

本研究における課題は、上述した(1)~(3)となる。そこでこれら(1)~(3)を、以下のアプローチによって解決することが本研究の目的となる。研究の遂行にあたっては、課題(1)に対して多様な侵入傾向を特定し、これらに基づき課題(2)と(3)に取り組む。そして、3つの課題を統合的に解決する。

- (1) 侵入者発見の有無に関する傾向変化を、リアルタイムに検出する。この変化点情報を、ベイズ学習過程における統計データの忘却に利用することで、変化した侵入傾向の即応学習を達成する。
- (2) 特定された侵入傾向に対して、多変数最適化問題の解法である動的計画法を用いる。これによりロボットは、侵入者を最も多く発見し得る警備目的地、時間、経路の組み合わせを獲得する。
- (3) 複数台のロボットシステムへと拡張する。このとき生じる警備タスクの割り当て問題に対して、侵入傾向に基づいた領域分割を行う。そして、各領域におけるロボットの警備負荷を均等にする。

3. 研究の方法

ベイズ学習と変化点検出法を用いた侵入傾向変化に対するロボットの即応学習

本研究では、時系列データにおける値の急激な変化をリアルタイムに検出する ChangeFinder によって、傾向の変化点検出を試みる。緩やかな変化に対しては、学習過程におけるカルバック・ライブラー情報量(統計データと近傍データの確率分布の差異)から変化点検出を試みる。そして、変化の度合いに応じた統計データの忘却を行うことで、侵入傾向を即応的に学習する。

動的計画法を用いた最適警備行動の生成

ロボットは、各状態(セル)における矢印の向きにしたがい、目的地へと向かって警備を行う。その結果、警備目的地、時間、経路といった一連の最適な警備行動が獲得される。各セルには、ロボットが学習により特定した侵入傾向が確率として与えられている。この侵入傾向に対して、本研究では動的計画法における価値反復を実行する。これにより、環境全体(全セル)に対するロボットの状態価値関数を $SV^{\{*\}}_s$ として最適化する。 $SV^{\{*\}}_s$ に対してグリーディーアルゴリズムを適用することで、最適行動方策 $\pi(s) = \text{argmax}_{a \in A} \sum_{s' \in S} P(s'|s, a) \gamma V_{\{k\}}(s')$ が求まる。

複数台ロボットによる警備システムへの拡張

より広範囲の警備を実現するためには、複数台のロボットシステムへと拡張する必要がある。その際、どの警備タスクをどのロボットに実行させるかといったタスク割り当て問題を解決しなくてはならない。全てのロボットが同一の目的地に対して同様の警備行動をとってしまう可能性がある。そこで、対象環境をロボットごとの警備領域に分割することで、本問題を解決する。環境中の各セルには、侵入傾向が確率として定義されている。本研究では、1~3の手順により、侵入傾向に基づいた領域分割を行う。

1. ロボットの台数分だけ、確率の高いセルを親セルとして選択；
2. その他のセルは、幾何学的に最も距離の近い親セルと領域を成すよう拡張；

3. 領域拡張終了後，各領域の確率の総和が均等になるよう境界を調整する．

4. 研究成果

本研究によってロボットは，侵入者に関する事前情報がなくとも学習を通じて侵入傾向を特定し，その度合いに応じた警備が可能となった．これは，侵入傾向が顕著な場所を重点的に，そうでない場所を一様に，ロボットが警備することを示している．さらに，昼夜など時間によって侵入傾向が変化しても，ロボットはそれに応じて警備を行うことができる．

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計1件)

1. S. Hoshino and K. Takahashi, Dynamic Partitioning Strategies for Multi-Robot Patrolling Systems, Journal of Robotics and Mechatronics, 採択済み, 2019.

〔学会発表〕(計9件)

1. Satoshi Hoshino and Junichiro Chiba, Robotic Patrolling Systems based on Hidden Markov Model for Moving Visitors, IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, pp. 2190-2195, 2018.
2. Satoshi Hoshino and Shingo Ugajin, Adaptive patrolling by mobile robot for changing visitor trends, IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp. 104-110, 2016.
3. 伊藤雅基, 星野智史, 千葉潤一郎, 高橋和希, 分散型ロボットシステムの巡視に向けた領域分割手法, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2018, 1P1-E14, 2018.
4. 千葉潤一郎, 高橋和希, 星野智史, HMM による訪問者の目的地推定に基づいたロボット警備システムの提案, 計測自動制御学会第 18 回システムインテグレーション部門講演会, pp. 3432-3437, 2017.
5. 星野智史, 宇賀神禎吾, 移動ロボットによる効率的な警備に向けた巡視意思決定手法, 第 35 回日本ロボット学会学術講演会, RSJ2017AC3B1-06, 2017.
6. 千葉潤一郎, 高橋和希, 宇賀神禎吾, 星野智史, 隠れマルコフモデルを用いた進入者の目的地推定と移動ロボットによる警備, ロボティクス・メカトロニクス講演会, 1A1-I01, 2017.
7. 高橋和希, 宇賀神禎吾, 千葉潤一郎, 星野智史, 複数台ロボットによる訪問者警備に向けた領域分割手法の提案, 第 29 回自律分散システム・シンポジウム, 149-154, 2017.
8. 星野智史, 宇賀神禎吾, 警備ロボットによる進入者の傾向変化に対する即応ベイズ学習, 第 34 回日本ロボット学会学術講演会, RSJ2016AC2G2-07, 2016.
9. 星野智史, 石渡貴仁, 上田隆一, ベイズ学習と価値反復法に基づいた警備ロボットの最適巡視, 第 34 回日本ロボット学会学術講演会, RSJ2016AC3G2-06, 2016.

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年：
国内外の別：

取得状況(計 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.mech.utsunomiya-u.ac.jp/~hosino/>

6 . 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：

ローマ字氏名：

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号（8桁）：

(2)研究協力者

研究協力者氏名：

ローマ字氏名：

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。