

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 6 日現在

機関番号：12605

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23500206

研究課題名(和文)複数ロボットによる協調監視を実現する巡回経路設計システムの開発

研究課題名(英文)Collaborative Patrol Course Planning System for Multiple Mobile Robots

研究代表者

富岡 洋一 (TOMIOKA, Yoichi)

東京農工大学・工学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：10574072

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円、(間接経費) 1,230,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では安心・安全な社会環境の実現に向けた監視システムの性能向上に大きく貢献すべく、複数台の監視ロボットが協調して巡回監視を行うための巡回経路の設計システムを確立した。本システムを用いることで、全監視領域と全移動物体を定期的に撮影できる協調巡回経路を求めることができる。また、監視ロボットが充電無しに稼働可能な時間が与えられたときに、充電ステーションの最適配置とその配置に適した巡回経路を同時に設計可能である。

研究成果の概要(英文)：In this study, we established a patrol course planning system for multiple mobile robots to realize highly-reliable surveillance. This system can design appropriate patrol courses to observe all static and moving objects in an observation area at short intervals by letting mobile robots patrol collaboratively. Moreover, based on a given battery capacity, appropriate patrol courses and battery station placement can be designed simultaneously.

研究分野：動画処理、監視システム、回路設計

科研費の分科・細目：情報学・知覚情報処理・知能ロボティクス

キーワード：監視ロボット 協調巡回経路 充電ステーション

1. 研究開始当初の背景

駅等の人が集まる場所では、犯罪発生を抑止、証拠映像の記録、火災等の異常事態や不審人物の早期発見を目的として監視カメラの導入が進んでおり、犯罪件数の減少や犯人検挙に貢献している。従来の監視システムでは広範囲の監視には膨大な固定カメラを必要するため、対象施設全体の状況を詳細に把握することは困難である。一方、自律走行や遠隔操作が可能な監視ロボットの研究開発が着々と進んでおり、監視ロボットは固定カメラに代わる効果的な監視手段となっていくことが予想される。しかし、監視ロボットを用いた監視システムにおいて十分に信頼性の高い監視を実現するためには、監視ロボットが十分な距離、角度で監視領域を継続的に撮影できるように適切な巡回経路を設計することが重要である。

2. 研究の目的

本研究では以下の3つの条件を満たす複数台監視ロボットの協調巡回経路を探索する手法を確立し、監視に要するエネルギーの削減と安心・安全な社会の実現に向けた監視システムの性能向上に大きく貢献することを目的とする。

(条件1) 搭載カメラの視野距離と視野角に応じて全領域を指定された頻度で監視

(条件2) いかなる移動物体もカメラを避けて滞留し続けることが不可能

(条件3) 監視ロボットがバッテリーの充電又は交換を行えるよう充電ドックを配置

3. 研究の方法

(1) 図1のように視野距離、視野角に基づき監視ロボットの視野条件が与えられたとき、最小台数の監視ロボットで監視領域を指定された周期以内に巡回する経路を探索する手法を確立する。

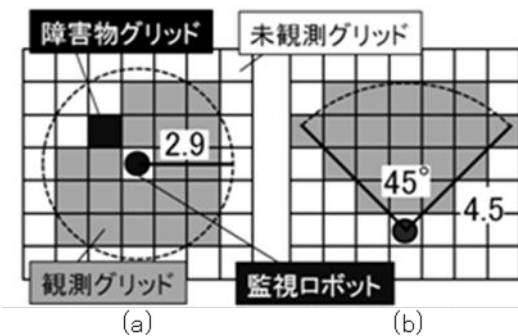
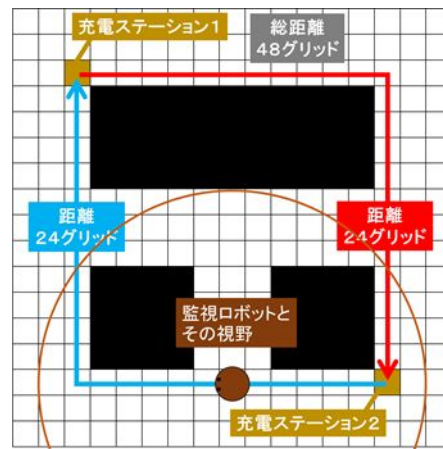


図1 カメラの視野距離、視野角に基づく観測グリッド。(a)視野距離 2.9 グリッド、全方位。(b)視野距離 4.5 グリッド、視野角 45 度。

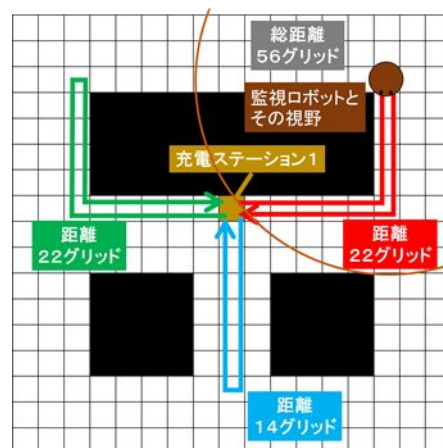
(2) 研究の方法(1)の巡回経路では、観測全領域の定期的な監視を実現できるが、意図的に監視ロボットを避けて移動する物体を長時間観測できない恐れがある。そこで、(1)の手法をベースとし、一定時間毎にいかなる

移動物体も少なくとも1回ずつは観測されるように、複数台の監視ロボットが協調して巡回する経路とスケジュールを決定する手法を確立する。

(3) ロボットによる継続的な監視を実現するためには、適切な位置に充電(電池交換)ステーションを設置する必要がある。例えば図2(a)の巡回経路では総距離が最小であるが、充電ステーションが二箇所が必要である。一方で、図2(b)では総距離は伸びているが、一箇所に充電ステーションを設置するだけで十分であり、充電ステーションの設置・運用コストの節約が見込める。そこで、各監視ロボットが電池交換無しで稼働可能な時間が与えられたときに、必要な充電(電池交換)ステーションの最小数とその最適配置も同時に決定できるように巡回経路探索手法を拡張する。



(a) 総距離(監視周期)最小の巡回経路



(b) 充電ステーション数最小の巡回経路

図2 距離 24 グリッド毎に充電(電池交換)が必要であるときの、充電ステーションの配置と巡回経路の設計例。

4. 研究成果

(1) 1 台の監視ロボットのための巡回経路探索手法を拡張し、複数台の監視ロボットの巡回経路探索手法を確立した。本手法は混合整数計画法に基づいており、監視ロボットが搭

載するカメラの視野距離と視野角度の下，所望の間隔での継続した監視を実現するために必要な最小の監視ロボットの台数とその最適な巡回経路を決定できる．本手法を用いることで監視ロボットの導入，管理コストを抑えられると共に，火災等の異常事態の早期発見に貢献できると考えられる．更に，監視領域の表現方法を改善することで本手法の高速化を行った，監視領域は監視ロボットによる観測候補点と観測候補点間の移動を表わす辺からなるグラフで表現できる．まず，全領域を単位グリッドに刻み，各グリッドを観測候補点とし隣接する観測候補点を接続することでグラフを生成する．次にいかなる観測候補点からも観測できない領域が生じない範囲で近傍の観測候補点を逐次的に縮退し冗長な観測点を削減することで，巡回経路探索の効率を大きく向上した．

(2) 監視領域と移動物体の定期的な観測を実現するための複数台監視ロボットの協調巡回経路探索手法を開発した．巡回中に全ての移動物体を観測するためには，観測済の領域内に未観測の移動物体が入り込まないように複数台のロボットが協調してブロックしながら巡回する必要がある．このような制約を課すために監視ロボットが各位置を通過する時刻を表現するラベルを導入し，ラベルを利用した効率的な定式化を示した．

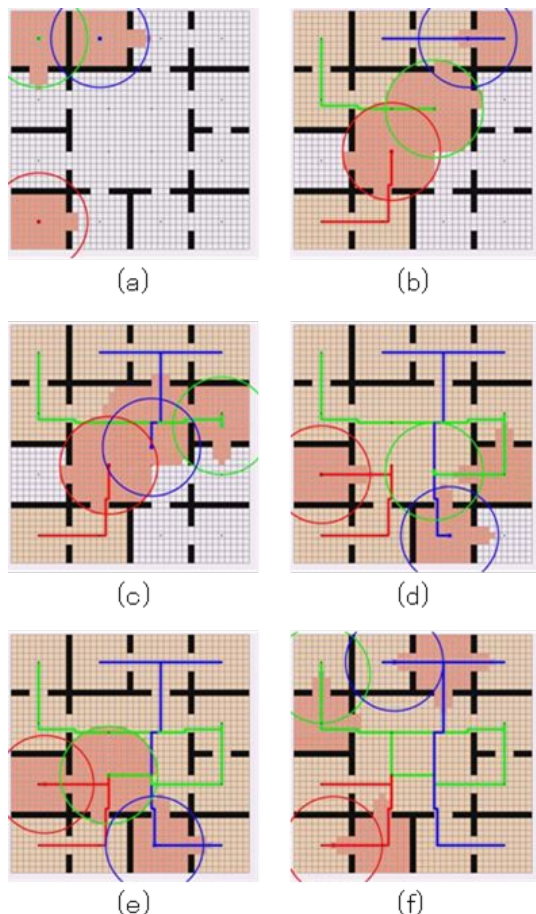


図3 協調巡回経路の出力例．

本手法により設計した協調巡回経路の例を図3(a)-(f)に示す．この巡回監視では3台の監視ロボットが常に移動物体をブロックするように協調して動いているため，経路を一周する間に各移動物体を少なくとも1回は撮影することが可能である．

(3) 各監視ロボットが電池交換無しで稼働可能な時間が与えられたときに，必要な充電（電池交換）ステーションの最小数とその最適配置も同時に決定する手法を確立した．研究成果(1)，(2)の巡回経路探索手法では，短いパス部品を組み合わせることで全領域の監視といった監視条件を満たす巡回経路を構成していたが，この方法では規模の大きな監視領域において巡回経路を求めることが困難であった．そこで，パスの代わりに小さな閉路を組み合わせることで監視条件を満たす巡回経路を構成することで探索効率を向上した．空港といった数平方キロメートルの比較的規模の大きな監視領域においても，良好な巡回経路と充電ステーションの最適配置を同時に求めることが可能となった．

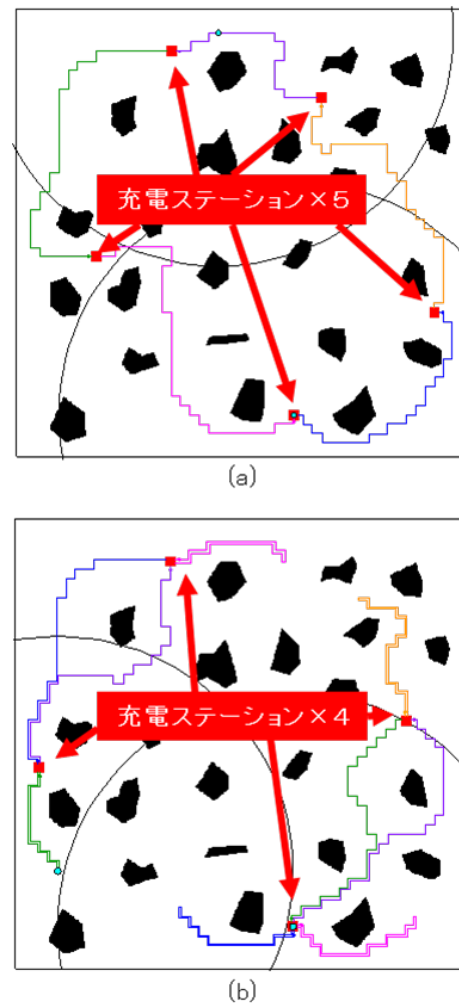


図4 2台の監視ロボットのための充電ステーション配置及び巡回経路の出力例．(a)巡回周期が最小の巡回経路を生成後，充電ステーションを配置．(b)提案手法の出力例

図4に2台の監視ロボットのための巡回経路と充電ステーションの配置例を示す。図4(a)は研究成果(1)を応用し、巡回周期が最小の巡回経路を求めた後、監視ロボットの電池容量に基づき充電ステーションを配置した例である。図4(b)は提案の巡回経路と電池ステーションを同時最適化する手法の出力である。同時最適化により、充電ステーションの少ないより低コストな設計が得られている。

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 1 件)

Yoichi Tomioka, Atsushi Takara, and Hitoshi Kitazawa, "Generation of an Optimum Patrol Course for Mobile Surveillance Camera", IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology, 査読有, vol.22, issue 2, pp.216--224, 2012.

DOI: 10.1109/TCSVT.2011.2159449

〔学会発表〕(計 3 件)

Sumitaka Ogino, Yoichi Tomioka, Hitoshi Kitazawa, "Patrol Course Planning and Battery Station Placement for Mobile Surveillance Cameras", 2014 IEEE International Conference on Multimedia & Expo, July 17th, 2014. (JinJiang Hotel, Chengdu, China)

Yoichi Tomoka, Hitoshi Kitazawa, "COLLABORATIVE PATROL PLANNING OF MOBILE SURVEILLANCE CAMERAS FOR PERFECT OBSERVATION OF MOVING OBJECTS", 2013 IEEE International Conference on Multimedia & Expo, July 18th, 2013. (The Fairmont San Jose, San Jose, USA)

Yoichi Tomioka, Atsushi Takara, and Hitoshi Kitazawa, "Enhanced Patrol Course Planning Method for Multiple Mobile Surveillance Cameras", Fifth ACM/IEEE International Conference on Distributed Smart Cameras, Aug. 23th, 2011. (Het Pand, Ghent, Belgium)

6. 研究組織

(1)研究代表者

富岡 洋一 (TOMIOKA Yoichi)
東京農工大学・大学院工学研究院・助教
研究者番号：10574072

(2)研究分担者

北澤 仁志 (KITAZAWA Hitoshi)
東京農工大学・大学院工学研究院・教授