

機関番号：12102  
 研究種目：基盤研究（C）  
 研究期間：2008～2010  
 課題番号：20560052  
 研究課題名（和文） センサネットワークにおけるノード位置を高精度に推定する半正定値最適化手法の開発  
 研究課題名（英文） Semidefinite Optimization Approach to Estimate the Locations of Nodes in the Sensor Network with High Accuracy  
 研究代表者  
 吉瀬 章子（YOSHISE AKIKO）  
 筑波大学・大学院システム情報工学研究科・教授  
 研究者番号：50234472

## 研究成果の概要（和文）：

本研究は、 $r$ 次元空間に布置された  $p$  個（通常その数は非常に少ない）のアンカーの位置情報と、 $N$  個のセンサーに対する各アンカー、センサー間の部分的な距離行列の情報のみから  $N$  個のセンサーの布置を効率よく推定することを目的としている。このためセンサネットワークのノードを分割する2つの方法を提案した。計算機実験により、クリーク構造を利用した分割手法が各種のパラメータへの依存度が相対的に少ないことを確認した。

## 研究成果の概要（英文）：

The study aims to efficiently estimate the location of  $N$  sensors in  $r$ -dimensional space using the information of the location of  $p$  anchors (usually  $p$  is very small) and the partial distance matrix of the graph of sensors and anchors. We propose two methods for dividing the set of sensors: a method using the degree of each sensor and a method using clique structures in the graph. Our numerical experiences report that the method using clique structures is more stable with respect to changes of parameters.

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2009年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2010年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度	0	0	0
年度	0	0	0
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：最適化，数理最適化

科研費の分科・細目：応用物理学・工学基礎・工学基礎

キーワード：センサネットワーク，最適化，地理情報システム，半正定値計画問題，内点法

## 1. 研究開始当初の背景

大規模倉庫の管理や、児童の登下校見守りシステムなど、小型で廉価なセンサーを用いた新しいサービスが増えている。これらのセンサーの位置を求めるネットワーク位置同定問題は、そのまま最適化問題として定式化すると、実行可能解集合が非凸となり、最適解を求めることが困難となる。そこで既存研

究では、問題を凸な半正定値計画問題に緩和する方法が提案されている。しかし、半正定値計画問題に緩和しただけでは、大規模な問題に対しては計算時間が増大し、必ずしも実用的ではない場合がある。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、センサネットワーク位置同定問題の緩和問題として現れる半正定値計画問題のサイズを縮小させるため、センサーの集合をうまく分割して、小規模の半正定値計画問題を繰り返し解くことで、短時間で精度のよい緩和問題を生成する方法を提案することである。

### 3. 研究の方法

センサーの分割方法として以下の2つの方法を提案した。

#### (1) センサーの接続次数を用いる方法

アンカーの位置は分かっているので、より多くのアンカーに繋がるセンサーの位置は高い精度で計算できる可能性がある。この推測を基に、多くのアンカーに繋がるセンサーを抽出し、少ないセンサー数に対する緩和問題を解くことで位置を同定し、同定したセンサーを(疑似)アンカーとみなして、アンカーの集合を増やし、さらにこれらに多く繋がるセンサーを抽出するという作業を繰り返す方法を提案した。

#### (2) センサネットワークのクリーク構造を用いる方法

クリークとは、任意の二頂点間に枝があるような頂点集合であり、アンカーを多く含むクリークに含まれるセンサーの位置は高い精度で計算できる可能性がある。この推測をもとに、センサネットワークのクリーク構造を用いて、(1)の方法と同様に、(疑似)アンカーの集合を増やしながらかセンサーを抽出する方法を提案した。ただし、極大クリークの列挙には膨大な時間を要するため、最小次数法でグラフをコーダル拡張した上で、極大クリークを列挙する多項式時間のアルゴリズムを適用した。

### 4. 研究成果

前節で提案した2つの方法と、センサー集合を分割せずに一度にすべてのセンサーを対象として緩和問題を解く方法の、3つの方法について計算機実験を行った。以下では、SFSDP: センサー集合を分割しない方法  
ISDPA: 3節(1)の接続次数を用いる方法  
ISDPA: 3節(2)のクリーク構造を用いる方法と呼ぶことにする。

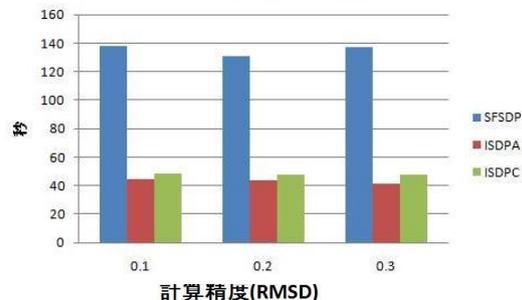
#### (1) 解の精度について

センサー1000点、アンカー36点の例題群に対して、距離の誤差比率を変えて実験を行った。いずれの場合も誤差の比率が増えるほど解の精度は悪くなり、SFSDPの解の精度が最もよい。またISDPAはISDPCより精度のよい解を与えることがわかった。

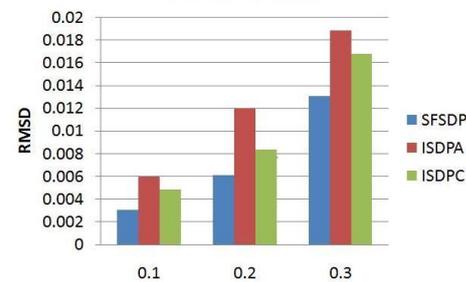
#### (2) 計算時間について

前述の例題群に対して、解が得られるまでの計算時間を比較すると、SFSDPが最も計算時間がかかっている。またISDPCはISDPAより計算時間が長く、精度と計算時間の間にトレードオフの関係があることがわかる。

全体の計算時間

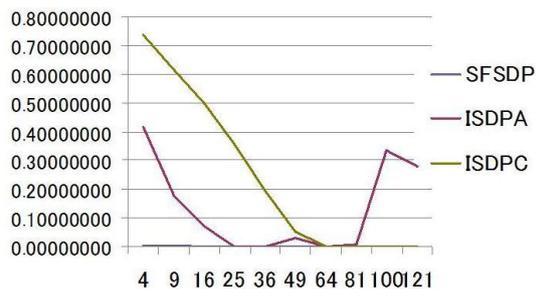


計算精度(RMSD)



#### (3) アンカーの個数が精度に与える影響について

センサー5000点に対して、アンカーを4点から121点を格子点上に配置した場合に得られた解の精度を比較した。計算時間が最も長いSFSDPは最も安定して精度がよい。計算時間が短いISDPAとISDPCを比較すると、ISDPCはアンカーの個数の増加に比例して精度のよい解を求めるのに対して、ISDPAは精度が必ずしも向上せず、安定しないことがわかった。



### 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10件)

- ① Masahiro Hachimori and Kenji Kashiwabara, Obstructions to Shellability, Partitionability, and

- Sequential Cohen-Macaulayness, Journal of Combinatorial Theory, Series A, 査読有, Vol.118, No.5, 2011/6(出版予定), p.1608-1623
- ② 張明超, 高橋里司, 繁野麻衣子, 最大密度部分集合問題と近似2分探索による解法, 日本オペレーションズリサーチ学会和文論文誌, 査読有, Vol.53, 2010/12, p.1-13
- ③ Yasuaki Matsukawa and Akiko Yoshise, On Optimization over the Doubly Nonnegative Cone, Proceedings of 2010 IEEE Multi-Conference on Systems and Control, 査読有, 2010/09, p.13-19
- ④ Akiko Yoshise, Complementarity Problems over Symmetric Cones: A Survey of Recent Developments in Several Aspects, Discussion Paper Series, 査読無, No.1262, 2010/07, p.1-35
- ⑤ Yuichi Takano and Yoshitsugu Yamamoto, Metric-Preserving Reduction of Earth Mover's Distance, Asia-Pacific Journal of Operational Research, 査読有, Vol.27, No.1, 2010/04, p.39-54.
- ⑥ Takahito Kuno, Linear Optimization over Efficient Sets, 数理解析研究所講究録, 査読無, Vol.1676, 2010/04, p.230-238
- ⑦ 松川恭明, 吉瀬章子, 二次割当て問題に対する copositive 行列を用いた緩和法について, 統計数理研究所共同研究レポート「最適化:モデリングとアルゴリズム」, 査読無, Vol.252, 2010/03, p.124-137
- ⑧ 白畑敬, 吉瀬章子, センサーネットワークローライゼーションに対する SDP を用いた緩和法とその効果について, 統計数理研究所共同研究レポート「最適化:モデリングとアルゴリズム」, 査読無, Vol.252, 2010/03, p.115-123
- ⑨ 木村康宏, 吉瀬章子, マンハッタン距離行列の二次割当て問題に対する SDP 緩和について, 統計数理研究所共同研究レポート「最適化:モデリングとアルゴリズム」, 査読無, Vol.252, 2010/03, 138-149
- ⑩ Akiko Yoshise, Homogeneous Algorithms for Monotone Complementarity Problems over Symmetric Cones, Pacific Journal of Optimization, 査読有, Vol.5, No.2, 2009/05, 313-337
- Survey of Recent Developements, ICOTA 8, 2010/12,/11 上海, 中国
- ② Akiko Yoshise, Recent Developments in Complementarity Problems over Symmetric Cones, INFORMS Annual Meeting, 2010/11/09, Austin, Texas
- ③ Akiko Yoshise, Optimization over the Doubly Non-Negative Cone, Workshop on Combinatorial Geometry and Algorithms, 2010/09/21, 東京工業大学
- ④ Akiko Yoshise, Optimization over the Doubly Non-Negative Cone, IEEE Multi-Conference on Systems and Control, 2010/09/08, パシフィコ横浜
- ⑤ Akiko Yoshise, Optimization over the Doubly Non-Negative Cone, International Workshop on Optimization and Its Applications, 2010/08/01, 筑波大学
- ⑥ Akiko Yoshise, Symmetric Cone Complementarity Problem, OR Seminar at Tilburg University, 2010/06/17, Tilberg, The Netherlands
- ⑦ Yasuaki Matsukawa, Akiko Yoshise, Optimization over the Doubly Non-Negative Cone, INFORMS Annual Meeting, 2009/10/11, Hilton and Convention Center, San Diego, USA
- ⑧ Akiko Yoshise, On Interior Point Trajectories for Conic Complementarity Problems, 20th ISMP Conference, 2009/08/26, Chicago Marriott Downtown, Chicago, USA
- ⑨ 木村康宏, 吉瀬章子, マンハッタン距離行列の二次割当て問題に対する SDP 緩和について, 研究集会「最適化:モデリングとアルゴリズム」, 2009/03/26, 統計数理研究所
- ⑩ 松川恭明, 吉瀬章子, 二次割当て問題に対する完全正行列を用いた緩和について, 研究集会「最適化:モデリングとアルゴリズム」, 2009/03/26, 統計数理研究所
- ⑪ 白畑敬, 吉瀬章子, センサーネットワークローライゼーションに対する SDP を用いた緩和法とその効果について, 日本オペレーションズ・リサーチ学会 2009 年春季研究発表会, 2009/3/17, 筑波大学

[その他]

ホームページ等

<http://infoshako.sk.tsukuba.ac.jp/~yoshise/>

[学会発表] (計 11 件)

- ① Akiko Yoshise, Complementarity Problems over Symmetric Cones: A Brief

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

吉瀬 章子 (YOSHISE AKIKO)  
筑波大学・大学院システム情報工学研究科・教授  
研究者番号：50234472

### (2) 研究分担者

山本 芳嗣 (YAMAMOTO YOSHITSUGU)  
筑波大学・大学院システム情報工学研究科・教授  
研究者番号：00119033

久野 誉人 (KUNO TAKAHITO)  
筑波大学・大学院システム情報工学研究科・教授  
研究者番号：00205113

繁野 麻衣子 (SHIGENO MAIKO)  
筑波大学・大学院システム情報工学研究科・准教授  
研究者番号：40272687

八森正泰 (HACHIMORI MASAHIRO)  
筑波大学・大学院システム情報工学研究科・准教授  
研究者番号：00344862

### (3) 連携研究者

( )

研究者番号：