T2R2 東京科学大学 リサーチリポジトリ
Science Tokyo Research Repository

# 論文 / 著書情報
# Article / Book Information

| | |
|---|---|
| 題目(和文) | センサーネットワークの長寿命化に向けた統計力学的手法による検討 |
| Title(English) | A study for extending operating life of sensor-networks by statistical mechanics |
| 著者(和文) | 白木善史 |
| Author(English) | Yoshifumi Shiraki |
| 出典(和文) | 学位:博士（工学）,<br>学位授与機関:東京工業大学,<br>報告番号:甲第10008号,<br>授与年月日:2015年9月25日,<br>学位の種別:課程博士,<br>審査員:樺島　祥介,渡邊　澄夫,高安　美佐子,青西　亨,瀧ノ上　正浩 |
| Citation(English) | Degree:Doctor (Engineering),<br>Conferring organization: Tokyo Institute of Technology,<br>Report number:甲第10008号,<br>Conferred date:2015/9/25,<br>Degree Type:Course doctor,<br>Examiner:,,,, |
| 学位種別(和文) | 博士論文 |
| Category(English) | Doctoral Thesis |
| 種別(和文) | 審査の要旨 |
| Type(English) | Exam Summary |

Powered by T2R2 (Science Tokyo Research Repository)

（博士課程）

# 論文審査の要旨及び審査員

<table>
<tr><td>報告番号</td><td colspan="3">甲第　　　　号</td><td colspan="2">学位申請者氏名</td><td colspan="2">白木善史</td></tr>
<tr><td rowspan="5">論文審査<br>審 査 員</td><td></td><td>氏　名</td><td>職　名</td><td></td><td colspan="2">氏　名</td><td>職　名</td></tr>
<tr><td>主査</td><td>樺島祥介</td><td>教授</td><td rowspan="4">審査員</td><td colspan="2">瀧ノ上正浩</td><td>准教授</td></tr>
<tr><td rowspan="3">審査員</td><td>渡辺澄夫</td><td>教授</td><td colspan="2"></td><td></td></tr>
<tr><td>高安美佐子</td><td>准教授</td><td colspan="2"></td><td></td></tr>
<tr><td>青西亨</td><td>准教授</td><td colspan="2"></td><td></td></tr>
</table>

論文審査の要旨（2000 字程度）

本論文は「センサーネットワークの長寿命化に向けた統計力学的手法による検討」と題し，全５章から構成されている．

第１章「序論」では，まず，研究対象となるセンサーネットワークの概要について説明している．高速道路，架橋，トンネルなどの社会基盤の老朽化，温度や二酸化炭素などの環境指標，住居内の様子などを遠隔からモニタリングする手法として，環境内に多数のセンサーを配置し情報を収集するセンサーネットワークが近年注目され，その重要性は今後さらに増していくと予想している．次いで，ネットワークが機能し続ける時間が“寿命”と呼ばれ，その時間をできるだけ長くする長寿命化がセンサーネットワーク研究の中心的課題であると述べている．その上で，長寿命化に有利なネットワークの設計，ならびに，情報圧縮を利用した通信コストの低減，によってセンサーネットワークの長寿命化を図ることが本論文の目的であると記している．続いて，第２章以降の解析で用いられる統計力学由来の計算法について要点をまとめ，論文の構成を説明している．

第２章「Cavity 法を用いたランダムネットワークの攻撃に対する頑健性解析:次数相関の影響」では，パーコレーション解析を応用することで，ランダムネットワークへの攻撃に対する頑健性を分析している．ネットワーク内のノードあるいはボンドをランダムに故障させた際に，“巨大コンポーネント”と呼ばれる機能を維持しているノードのみからなる最大の部分ネットワークの大きさによってネットワークの頑健性が定量化できると説明している．また，次数の高いノードを優先的に故障させる“攻撃”はネットワーク内で情報伝達の中継基地の役割を果たすノードが頻繁な通信により，早期に電池が枯渇あるいは経年劣化する状況に対応すると述べている．次いで，先行研究により，二極次数分布ネットワークと呼ばれる２種類の次数からなるランダムネットワークがノードの攻撃に対して頑健であると示されているが，次数の相関がネットワークの頑健性に与える影響は明らかにされていないことを指摘している．その上で，次数相関のあるネットワークに適用できるパーコレーションの解析法を統計力学の Cavity 法にもとづいて開発し，２つの代表的な二極次数分布に適用することで次数相関が巨大コンポーネントの大きさに与える影響を精緻に調べている．

第３章「$\ell_{2,1}$ ノルムの最小化とベイズ最適な方法による分散圧縮センシングの典型的な復元性能」では，高次元の疎な信号（ある基底において信号の次元に対して非零の要素数が少ない信号）に対して少数サンプルからの信号復元を可能にする圧縮センシングは，複雑性の低い情報圧縮法でありセンサーネットワークの長寿命化に有用であると述べている．さらに，多チャンネルのシステムでは，チャンネル間の信号の相関を利用する分散圧縮センシングによってさらに利得が得られる可能性のあることを指摘している．その上で，jointly sparse model-2(JSM-2)と呼ばれる分散圧縮センシングのモデルに対し，信号復元に際して $\ell_{2,1}$ ノルムの最小化，ならびに，ベイズ最適な方法を用いた場合に得られる利得の解明が本章の目的であると述べている．さらに，もう一つの目的として，計算量的に困難であるベイズ最適な方法に対し，belief propagation(BP)と呼ばれる確率推論の枠組みにもとづいて現実的な計算量で実行可能な近似的信号復元アルゴリズムを開発することを挙げている．観測ノイズの影響を受けない状況に対し，$\ell_{2,1}$ ノルムの最小化，ならびに，ベイズ最適な方法を信号復元に用いた場合について，誤りなく復元できるシステムパラメータの領域がチャンネル間の信号相関の利用により広がることを統計力学のレプリカ法を用いて示し，その結果の妥当性を数値実験によって確認している．また，ベイズ最適な方法について，チャンネル数が十分多い場合に，開発した BP による近似アルゴリズムは理論的な性能限界を大自由度極限において漸近的に達成することを示している．

第４章「$\ell_{2,1}$ ノルムの最小化とベイズ最適な方法による分散圧縮センシングの典型的な復元性能: ノイズの影響」では，より現実的な状況を念頭におき，信号観測がノイズの影響を受ける場合の分散圧縮センシングについて調べている．信号観測が独立なガウスノイズの影響を受ける JSM-2 に対してレ

プリカ法による分析を行い，$\ell_{2,1}$ ノルムの最小化，ならびに，ベイズ最適な方法を信号復元に用いた場合について，達成できる平均自乗誤差がチャンネル間の信号相関を利用することでチャンネル数の増加とともに減少することを示し，その結果の妥当性を数値実験によって確認している．また，ランダムな直交行列を観測行列に用いた場合の方が，先行研究で広く調べられている各要素を同一分布から独立に生成して構成されるランダム行列を用いた場合よりも高い信号復元性能を導くことを明らかにしている．加えて，第３章で開発したベイズ最適な復元に関する近似アルゴリズムをノイズのある場合に拡張し，チャンネル数が十分多い場合には平均自乗誤差に関する理論的な性能限界が大自由度極限において漸近的に達成されることを示している．

第５章「結論」では，第２章から第４章で得られた結果をまとめるとともに，それらにもとづいてセンサーネットワークの長寿命化に向けた理論的指針を与えている．

以上を要するに，本論文はランダムネットワークに関するパーコレーション解析と分散圧縮センシングの性能分析を通じて，消費電力の低減にもとづいた，センサーネットワークの長寿命化への指針を与えたものであり，工学上，工業上資するところが大きい．よって，博士（工学）として十分な価値のあるものと認められる．

注意：「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチリポジトリ（T2R2）にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。