

平成 22 年 6 月 4 日現在

研究種目：特定領域研究
 研究期間：2006～2009
 課題番号：18079015
 研究課題名（和文） 分散符号化による適応的計測・通信システムの提唱と構築
 研究課題名（英文） Constructing and advocating distributed coding-based systems for adaptive measurement and communications
 研究代表者
 村山 立人（MURAYAMA TATSUTO）
 日本電信電話株式会社 NTT コミュニケーション科学基礎研究所・メディア情報研究部・研究主任
 研究者番号：80360650

研究成果の概要（和文）：ノイズのある環境で計測したデータを統合して観測精度を向上させようとすると、普通、非常に困難なトレード・オフに直面する。つまり、計測するデータの数を増加させることによって質の高い観測を実現することができるが、あまりにその数が大きすぎると、せっかく集めた多数のデータをうまく統合することができなくなるのである。本研究では、このような計測システムの一般的挙動を数学的モデルで分析し、特に不可逆データ圧縮による通信容量を超えたデータ統合の示す性質を明らかにした。主要な研究成果として、通信容量とシステム全体としての情報利得にいわゆるスケーリング則が存在することを示し、あるノイズレベルを越えると不可逆データ圧縮による大規模なデータ統合がいつでもそれを用いないシナリオよりすぐれた情報統合戦略になることを発見した。さらに、このスケーリング則と臨界的なノイズレベルに関して、システムの通信容量が無限大に発散する極限で普遍的な表現を導くことに成功した。これらの結果は、確率論における大偏差理論を統計力学のアプローチで援用したことで得られた。

研究成果の概要（英文）：Aggregation of noisy observations involves a very difficult tradeoff between observation quality, which can be increased by increasing the number of observations, and aggregation quality which decreases if the number of observations is too large. In this research we clarify this behavior for a prototypical system in which arbitrarily large numbers of observations exceeding the system capacity can be aggregated using lossy data compression. Here we show the existence of a scaling relation between the collective error and the system capacity, and show that large-scale lossy aggregation can outperform lossless aggregation above a critical level of observation noise. Further, we show that universal results for scaling and critical value of noise can be obtained when the system capacity increases toward infinity. These results are obtained by applying the large deviation theory in the spirit of statistical mechanics.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
18年度	2,000,000	0	2,000,000
19年度	2,800,000	0	2,800,000
20年度	2,800,000	0	2,800,000
21年度	2,000,000	0	2,800,000
年度			
総計	9,600,000	0	9,600,000

研究分野：情報統計力学

科研費の分科・細目：情報学・知能情報学

キーワード：情報統計力学，大偏差理論，相転移，センサーネットワーク

1. 研究開始当初の背景

(1) 半導体技術の革新による無線センサー端末の劇的な低価格化と，それに起因するセンサーネットワークの広域化・高密度化の進展が期待されている。

(2) 近未来には巨大なネットワークシステムで天文学的分量のセンサー情報がやりとりされることが常態化し，従来型の情報統合の枠組が破綻する可能性が高い。

2. 研究の目的

(1) 本研究の主目的は，不可逆データ圧縮の情報理論的分析に基づき，センサー数が飛躍的に増加してもシステムが処理するセンサー情報の合計量が一定になる枠組を提案することである。

(2) そして，計測におけるノイズレベルとネットワークが許容する合計通信量に対応して，センサーネットワークには最適なシステムサイズが存在する事実を一般的な枠組で検証する。

(3) 最終的には，大規模システムのロバストな制御を可能とする数理的構造の抽出と，その知見に基づくソフトウェア基盤の構築を目指していく。

3. 研究の方法

(1) 本研究計画では，センシングと通信の相乗効果を情報理論の立場から分析していく過程で，システムの非自明な数理的構造の抽出を目指していく。

(2) そのため，平均場理論に属する計算技術を性能評価の「ツール（道具）」として利用するだけでなく，システムの普遍的構造を記述する物理学的諸概念をその理解に援用できる可能性が高い。情報理論に対するこのようなアプローチはきわめて独創的であり，学術的にも資料価値が高い研究成果につながると期待される。

(3) センシングと通信の相乗効果をシステムが実際に享受できるには，レート・歪み関

数に漸近する性質を持つ実用的な不可逆圧縮の方法が必要である。本研究課題では，LDPC 行列を逆問題的に利用したデータ圧縮（低密度符号）に注目しており，その性能評価にはスピングラス理論におけるレプリカ法が援用できる。一般的に，レプリカ法の具体的例題に対する適用には高度な学識を要するが，当該領域の田中和之氏，田中利幸氏，井上純一氏，西森秀稔氏，岡田真人氏，及び樺島祥介氏などから適切なアドバイスを受けられる。また，符号化の実用的手段を与えるビリーフ・プロパゲーションの研究では，当該分野の専門家である和田山正氏の学識が不可欠である。

4. 研究成果

(1) 本計画研究では，計測機器と無線回路が実装されたセンサー端末が大規模に相互接続している計測・通信システムが次世代の社会基盤となると予想し，そこに立ち現れる協同現象の発見と解明，及びその工学的応用に資するソフトウェア基盤の構築を目指した。

(2) ここでは情報理論の定式化を援用し，有限の電力消費と計測ノイズの存在に対応した数学的抽象化を実施した。さらに，各センサーに計測データの不可逆な分散符号化を行う自由度を与えた実装を提案することで，センサー集団の現実的システム化における「計測」と「通信」の干渉メカニズムを解明することを狙った。

(3) そして，この現実的な状況設定では，センサーの数とデータの圧縮率の間に情報理論的な意味でのトレード・オフの関係が存在することを発見した。これは，不可逆データ圧縮による分散符号化を行うことで，システム全体の情報利得を最適化できることを意味する。

(4) さらに，シャノン限界を達成する最良符号の適用を前提に，計測・通信システムが普遍的に持つべき数学的構造の抽出を試みた。この結果，計測ノイズのレベルに対応した固有のデータ圧縮率が存在し，この圧縮率での協同センシングが情報理論的には最適な方法であるという理論的予想 (conjecture) を提出した。特に，外部環境要因による計測ノ

イズにある臨界値が存在し、それを越えたノイズ領域では最適データ圧縮率の値が限りなく小さくなるという発見は顕著である。

(5) 最終年度には、この理論的予想の正当性を数値実験等により検証し、近似理論の適用限界を指摘している。

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 4 件)

- ① T. Murayama and P. Davis, Statistical mechanics of sensing and communications: Insights and techniques, Journal of Physics: Conference Series 95, refereed article, 2007, pp. 012010.
- ② T. Murayama and P. Davis, Universal behavior in large-scale aggregation of independent noisy observations, EPL, refereed article, 87, 2009, pp. 48003.
- ③ 村山立人, センシングと符号化の統計力学, 統計数理, 査読有, 第 57 巻, 第 2 号, 2009, pp. 221-232.

[学会発表] (計 10 件)

- ① T. Murayama and P. Davis, A Scaling Theory for Distributed Sparse Matrix Coding in the CEO Problem, IEEE International Symposium on Information Theory, July 2006, Seattle, USA.
- ② T. Murayama, On the Scaling Properties of Rate Distortion Codes in Sensor Networks, Statistical Physics and its applications to complex problems in communication, March 2007, Eilat, Israel.
- ③ T. Murayama and P. Davis, Large-scale Sensor Networks as Collective and Frustrated Systems, IEEE Symposium on Computational Intelligence, April 2007, Honolulu, USA.
- ④ T. Murayama, Sensor Networks, Rate Distortion Codes, and Spin Glasses, Seminar-04 of the Program 'Collective Dynamics in Information Systems', The Kavli Institute for Theoretical Physics China at the Chinese Academy of Sciences, March 2008, Beijing, China.

[その他]

ホームページ等

<http://www.kecl.ntt.co.jp/as/members/murayama/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

村山 立人 (MURAYAMA TATSUTO)

日本電信電話株式会社 NTT コミュニケーション科学基礎研究所・メディア情報研究部・研究主任

研究者番号 : 80360650

(2) 研究分担者

()

研究者番号 :

(3) 連携研究者

()

研究者番号 :