

機関番号：16101

研究種目：基盤研究 (B)

研究期間：2007～2010

課題番号：19360175

研究課題名 (和文) 多端子情報理論を柱としたセンサネットワーク理論の構築と応用

研究課題名 (英文) Construction of a Theory of Sensor Networks Based on Multiterminal Information Theory and Applications

研究代表者

大濱 靖匡 (Yasutada Oohama)

徳島大学・大学院ソシオテクノサイエンス研究部・教授

研究者番号：20243892

研究成果の概要 (和文)：

本研究では、多端子情報理論を柱としたセンサネットワーク理論の構築を試み、幾つかの結果を得た。分散型センサネットワークについては、情報源がガウス型の場合について、通信の理論限界を表す領域を部分的に明らかにした。また、縦列型センサネットワークについては、中継通信路の符号化を扱い、通信の効率と安全性のトレードオフを明らかにした。また、応用面として、分散および縦列型通信システムの複合形であるマルチキャスト通信を考察した。この通信システムを用いたメディア配信をオーバーレイ計算機ネットワークにより実現した。さらに実装したシステムにおいて、理論限界を達成する符号化手法の有効性を明らかにした。

研究成果の概要 (英文)：

We tried to built the theoretical frame work of sensor networks based on the multi-terminal information theory. In the distributed type sensor networks we found some parts of the region indicating fundamental theoretical limit of communication in the case of Gaussian information sources. In the cascade type sensor networks we study the relay communication networks to obtain an explicit form of the region indication the trade off between the data transmission rate and the security of communication. As an application, we study multicast communication systems which are a combination of distributed sensor networks and serial sensor networks. We established an implementation of this communication networks using overlay networks. In the constructed overlay multicast networks we demonstrated that the coding methods that attain fundamental theoretical limit have also achieve good performance of communication.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,400,000	720,000	3,120,000
2008年度	2,100,000	630,000	2,730,000
2009年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2010年度	1,700,000	510,000	2,210,000
年度			
総計	7,800,000	2,340,000	10,140,000

研究分野：電気電子工学

科研費の分科・細目：通信・ネットワーク工学

キーワード：情報理論

1. 研究開始当初の背景

多数のセンサデバイスをネットワークで結んだ通信システムを用い、情報センシング

や遠隔制御の高度化を図る技術は、センサネットワークと総称されている。環境測定、セキュリティ、知的空間の構築、大災害時の

救助活動など多方面へのセンサネットワークの応用が検討されている。

センサネットワークの要素技術の関与する学術研究分野は、センシング、信号処理、統計学、情報理論、通信理論、ネットワーク工学、人工知能、制御理論、システム理論など極めて多分野にわたる。各分野の既存成果の組み合わせにより、センサネットワークを設計、構築して提供する研究開発が精力的に進められている。しかし、これだけでは、提供されるシステムの性能の客観的評価は得られない。主にセンサネットワークの設計、構築に携わる現場の技術者から、設計、構築の指針となるような通信システムの理論限界の解明が求められている。このような限界の解明のためには、センサネットワークを取り扱う理論的枠組を確立し、その枠組においてシステムの限界と可能性を数理的に解析する必要がある。

一方、2端子通信システムにおいて、シャノンが提示した理論限界を達成する符号として、低密度パリティ検査 (LDPC) 符号、ターボ符号といった符号化手法が注目されている。これらの符号の出現により、多端子情報理論の提示した理論限界を達成する通信システムの実現への期待が急速に高まってきている。特に、欧米を中心として、多端子情報理論の様々な理論成果を再検討し、これを現実の情報通信システムの設計に採り入れようとする研究が活発に行われている。

センサネットワークを扱う理論的枠組の構築、その枠組における理論限界の解明、および理論限界に近づく通信システムの実現は、情報通信分野において早急に取り組むべき主要課題の1つである。

2. 研究の目的

本研究では、4年の研究期間において、センサネットワークを取り扱う理論的枠組を構築し、その枠組みにおいて理論限界を解明する。また応用として、明らかにされた理論限界に近づく通信システムの実現を試みる。

現実のシステムに基づき、多端子情報理論的立場からセンサネットワークの理論的モデルを構築し、得られたモデルに対し、通信の理論限界を数理的に明らかにする。

応用として、センサネットワークシステムを計算機上で実現し、通信実験を行い、得られた結果と理論限界との差異を明らかにする。モデル化のためのセンサデバイスからの情報信号解析やシステム実現の部分では、実際のセンサデバイスを用いた実験研究も行う。

3. 研究の方法

一般的なセンサネットワークは、非常に複雑であり、そのままの形での取り扱いが困難

である。そこで本研究では、センサネットワークを次の3つのタイプ：分散並列型システム、縦列接続型システム、中継通信路型システムに分けて議論する。各タイプに対する研究結果の組み合わせにより、かなり一般的なシステムに対する結果を得ることができる。

本研究では、上記の3タイプのセンサネットワークについて、符号化問題を定式化、考察し、通信の理論限界を明らかにする。各タイプに対する符号化問題の中には、多端子情報理論の符号化問題として既に定式化されたものや、部分的解決が得られているものもあるが、その殆どは未解決である。未解決の問題については、問題の難しさがどこに起因するのかを調べる。また、実際のセンサデバイスの得る情報信号の性質を調べることに より、より現実的な仮定を問題設定の中に採り入れることが可能かどうか、可能な場合に、それが問題の困難部分を解決する鍵になり得るかどうかを検討する。このように理論部分の研究は、理論的モデルの定式化と理論限界の解明を相互に関連させながら並行して進めていく。

理論限界が明らかになった場合、次の段階として、符号理論、誤り訂正技術の手法を用いて、理論限界に近づく符号器および情報処理センターにおける信号解析システムの設計問題を考察する。

4. 研究成果

理論面：

(1) 分散並列接続型ネットワークの研究に関して、特に情報源が Gauss 形である Gauss CEO 問題について、情報信号がベクトル型の場合については、以下に示す幾つかの重要な結果を得た。

① ベクトル型 Gauss CEO 問題において、通信の理論限界を表す許容伝送率領域を計算可能な形で、特徴付ける問題が、最も基本的かつ重要な問題である。この問題に関しては、既に研究代表者の以前の研究により、領域の内界と外界が得られている。この内界と外界のギャップは、非常に小さく、ある場合には、この2つの領域は一致する。この一致するための十分条件も研究代表者が最初に与えたが、これは、非常に厳しい条件であった。本研究では、この一致条件の研究を推し進め、最初に与えたものよりもかなりゆい条件を与えた。

② ベクトル型の CEO 問題を一般化して、 K 次元の情報信号が $K \times L$ 行列 A により線形変換され、雑音により汚されて L 個の観測ノードに受信される場合を考察した。これまでの研究では、 $K=L$ 、 A が単位行列の場合を扱ったものである。一般化された CEO 問題について、許容伝送率領域の非常にギャップの小さい内

界と外界を与えた。

- ③2つの相関を持つガウス情報源に対する多端子伝送率・ひずみ問題について、Wagnerらは、2008年の発表論文で、Berger and Tungのレートと和の部分の最適性を証明した。彼らは、研究代表者がガウスCEO問題において1998年、2005年に得た結果を証明の本質的な部分で利用している。一方、彼らの証明は、情報源の数が2であることに強く依存した証明であったため、情報源の数が3つ以上の場合については、極めて特別な場合にしか結果がなかった。本研究では、情報源の数が3つ以上の場合の伝送率・ひずみ領域の決定問題に取り組み、重要な部分的解決を与えた。まず、多端子伝送率・ひずみ領域の決定問題が、発生信号がベクトル型の場合のガウスCEO問題に帰着されることを示した。この事実と、発生信号がベクトル型の場合のガウスCEO問題に対して、①の研究で得た結果より、多端子伝送率・ひずみ領域の内界と外界を導いた。得られた内界と外界のレートと和の部分は、情報源が2つの場合に一致することが計算により示せる。これは、情報源が2つの場合のレートと和の最適性について、Wagnerらの証明とは異なる証明を与えたことを意味する。

- ④次のジグザグ型の符号化システムを考える。3つの情報源A, B, Cからの出力列のうちBからの出力列は符号化されて復号器1, 2へ送られ、Cからの出力列は符号化され復号器2へ送られる。復号器1は情報源Aの出力列と符号化データからBの出力列の推定値を出力し、復号器2は2つの符号化データからCの出力列の推定値を出力する。Bからの出力列は、復号器1では復元すべき主情報、復号器2では、Cの出力列の補助情報という2つの異なる役割を同時に果たす。本研究では、情報源がガウス型で推定誤差を2乗平均誤差で測る場合について、伝送率・ひずみ領域を決定した。

- ⑤発生信号が2値無記憶情報源からの出力列で、この出力列を独立同一の2値対称無記憶通信路を通して得られる信号が各分散センサーで観測される場合を考える。この場合のCEO問題をBinary CEO問題とよぶ。本研究では、Binary CEO問題について、この場合の特殊性を利用して信号圧縮と推定誤差の理論限界を表す領域のより具体的な内界と外界を得た。

- (2)縦列接続型ネットワークに関しては、中継通信路の符号化の研究に取り組んだ。ここでは、特に、情報セキュリティの観点も考

慮し、中継者が協力者であると同時に盗聴者にもなりえる場合を考察し、いくつかの主要結果を与えた。

- (3)分散して得られる乱数データを一箇所に集めてさらに高品質の乱数を得るといふ、新しい乱数生成の枠組みを定式化した。これは、大域通信網が発達した現代の情報化社会に適合した乱数技術の基本的枠組みを示したものである。定式化された問題において、通信の伝送率と、乱数の品質との間の関係を示す領域を導出し、理論限界を明らかにした。

応用面：

- (1)画像信号、音声信号の分散符号化の研究を行った。複数の分散マイクロフォンからの音声データの取得システム、カメラセンサーネットワークによる情報処理システムを構築し、センサネットワーク研究のための実験環境を構築した。

- (2)並列、縦列の混合型の通信ネットワークをオーバーレイネットワークにより構成するシステムを構築した。構築したシステムを用いて、通信のボトルネック部分において効果を発揮するネットワーク符号化を実装し、その有効性を検証した。具体的には、オーバーレイネットワークにおけるマルチキャスト画像配信システムを考察し、従来のネットワーク符号化手法にデータの相関を考慮した新たな予測符号化手法を組み合わせた。次に、提案手法を実装して通信実験を行い、従来のネットワーク符号化のみを用いる手法に比べて通信効率の向上がもたらされることを確認した。

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15件、すべて査読あり.)

- ① “Gaussian Zig-Zag Source Coding Problem,” Yasutada Oohama, IEICE Transactions on Fundamentals, Vol.E 93-A, No. 11, pp. 1889-1903, Nov. 2010.
- ② “Distributed Source Coding of Correlated Memoryless Gaussian Observations,” Yasutada Oohama, Proceedings of the 2010 IEEE International Symposium on Information Theory (ISIT 2010), Austin, USA, pp. 51-55, June 13-18, 2010.
- ③ “Distributed Source Coding System for Correlated Gaussian Observations,” Yasutada Oohama, Proceedings of the IEEE Information Theory Workshop, pp. 193-197-193-197,

2009年10月12日.

- ④“情報センシングと多端子情報源符号化,”
大濱 靖匡, 統計数理, Vol. 57, No. 2,
pp. 233-251, 2009年10月1日.
- ⑤“Intrinsic Randomness Problem in the
Framework of Slepian-Wolf Separate
Coding System,” Yasutada Oohama, IEICE
Transactions on Fundamentals of
Electronics, Communications and
Computer Sciences, Vol. 90, No. 7,
pp. 1406-1417, 2007年7月1日.
- ⑥“Capacity Theorems for Relay Channels
with Confidential Messages,” Yasutada
Oohama, Proceedings of the 2007 IEEE
International Symposium on Information
Theory, pp. 926-930, 2007年6月26日.

[学会発表] (計12件, 査読なし, 招待講演
2件, 依頼講演1件を含む.)

- ①“通信ネットワークの限界と可能性の追求-
ネットワーク情報理論からのアプ
ローチ-,” 大濱 靖匡, 第254回くまもと技術
革新・融合研究会(RIST)フォーラム, 熊本市,
2010年12月16日.
- ②“ネットワーク符号化および予測符号化を
用いた画像のマルチキャスト通信,” 伊藤
勉士, 白石 善明, 大濱 靖匡, 第32回情報
理論とその応用シンポジウム(SITA 2009)
予稿集, pp. 497-502, 山口県湯田温泉,
2009年12月3日.
- ③ “情報センシングと多端子情報源符号
化,” 大濱 靖匡, DEX-SMIチュートリ
アル, 仙台市, 2008年10月28日.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

大濱 靖匡 (OOHAMA YASUTADA)
徳島大学・大学院ソシオテクノサイエンス
研究部・教授
研究者番号 : 20243892

(2) 研究分担者

毛利 公美 (MOHRI MASAMI)
岐阜大学・総合情報メディアセンター・准
教授
研究者番号 : 50281697

得重 仁 (TOKUSHIGE HITOSHI)
徳島大学・大学院ソシオテクノサイエンス
研究部・講師
研究者番号 : 50336921

渡辺 峻 (WATANABE SHUN)
徳島大学・大学院ソシオテクノサイエンス
研究部・助教

研究者番号 : 70546901
(3) 連携研究者
()

研究者番号 :