

研究種目：若手研究（スタートアップ）

研究期間：2007～2008

課題番号：19860051

研究課題名（和文）センサネットワーク向けの効率のよいデータ圧縮法の開発

研究課題名（英文）Efficient data compression schemes for sensor networks

研究代表者

葛岡 成晃（SHIGEAKI KUZUOKA）

和歌山大学・システム工学部・助教

研究者番号：60452538

研究成果の概要：

補助情報が存在する場合のデータ圧縮問題に対して、線形符号を用いて効率的な符号化法を実現するための研究に取り組んだ。本研究では、従来研究の成果を拡張することで、より現実のセンサネットワークの環境に近い理論モデルの下でも、LDPC符号を利用して最適な符号化法を実現できることを明らかにした。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,290,000	0	1,290,000
2008年度	860,000	258,000	1,118,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,150,000	258,000	2,408,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学 ・ 通信・ネットワーク工学

キーワード：多端子データ圧縮，線形符号，補助情報を用いた符号化

1. 研究開始当初の背景

近年、「補助情報源を用いた符号化問題」に関する情報理論の研究結果が、センサネットワーク向けの符号化法の重要な基礎理論として注目を集めている。情報理論においては、補助情報が1つだけでなく多数ある場合の研究、復元されるデータに歪みを許すことでさらに圧縮率をよくする研究など、多くの成果が得られている。これらの情報理論の成果をセンサネットワークに適用することは、センサネットワークの発展ために重要な課題である。しかしながら、センサネットワークへの情報理論の応用は、最近になってよう

やく本格的に取り組まれ始めたため、解決すべき問題は数多く残されている。なかでも、以下の2つの問題の解決が重要な課題として残されていた。

1つ目の問題は、観測されるデータの統計的な性質に関する仮定である。従来の理論研究では、データが定常無記憶情報源や定常エルゴード情報源からの出力であると仮定されることが多かった。しかしながら、センサネットワークで観測されるデータは、センシング対象領域の環境変化などに影響されるため、定常性を仮定することは現実的ではない。理論の成果を実際にセンサネットワークに適用するには、理論モデルの拡張が必

要となる。

2つ目の問題は、符号化法の具体的アルゴリズムとその計算量である。従来の理論研究では、実用的な符号化・復号化アルゴリズムについては十分に検討されていなかった。特に復号化については、最尤復号などの膨大な計算量を必要とする処理が利用できると仮定されていた。理論の成果を実際にセンサネットワークに適用するには、低計算量で符号化・復号化が行える、補助情報を用いた符号化アルゴリズムが必要となる

2. 研究の目的

本研究では、前節で述べた2つの問題に対して解決策を与えることを目的とする。

まず、補助情報を用いた符号化問題の従来の成果を、観測データに対して統計的な性質を仮定しない場合に拡張することにより、1つ目の問題（データの統計的な性質に関する仮定）の解決を図る。

また、2つ目の問題（低計算量アルゴリズムの必要性）の解決のため、補助情報を用いた符号化に対して線形符号、とくに低密度パリティ検査符号（LDPC符号）と呼ばれる符号を応用する。

3. 研究の方法

「Slepian-Wolf 符号化問題」、すなわち、主情報だけでなく、補助情報も復号する場合の問題と、「部分補助情報を用いた符号化問題」、すなわち、補助情報の一部しか復号器が利用できない場合の問題を主に考察する。

2つの問題それぞれについて、符号器において LDPC 符号による符号化を行った場合に達成可能な符号化率の限界を理論的に明らかにする。特に、Slepian-Wolf 符号化問題については、情報源の統計的性質を仮定しない極めて一般的な仮定の下で研究する。

また、適宜計算機実験を行うことにより、LDPC 符号を利用した符号化法の実際の性能を評価し、よい圧縮率を達成できる符号の条件などについて知見を実験的に得ることで、効率的に研究を進める。

4. 研究成果

(1) 部分補助情報を用いた符号化問題

図1に示す「部分補助情報を用いた符号化」の問題について考察した。

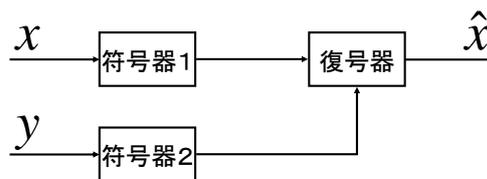


図1. 部分補助情報を用いた符号化

この問題では、符号器1と2がそれぞれ情報 x と y を観測し、符号化したデータを復号器へと送る。復号器では、送られたデータを元に、主情報 x を復元する。

この問題については、Wynerによって理論的に達成可能な最適符号化率が明らかにされている。一方、最適符号化率を達成するための具体的かつ効率的な符号化法に関する研究は十分行われていなかった。

これに対して、本研究では、LDPC 符号を用いた符号化法を提案し、かつ、LDPC 符号を用いた符号化法で最適な符号化率を達成できることを明らかにした。

提案法は、以下のように符号化を行う。まず、符号器1では、線形符号のパリティ検査行列を用いて、符号化するべき情報 x のシンδροームを計算する。この演算は線形演算であるため、簡単な計算で符号化を行うことができるという利点がある。符号器2は、情報 y を有歪み符号化法によって圧縮したデータ z を計算する。復号器では、送信された2つのデータ、すなわち、 x のシンδροームと z を用いて x を復号する。復号器では、 z を条件として、最尤復号を行う。

本研究の主成果は、上述の符号化法を用いたとき、以下の2つの条件が満足されるならば、符号長が十分大きいとき、復号器が情報 x を誤りなく復元できることを示している。

- 条件1. 符号化率が Wyner によって示された達成可能な符号化率の条件を満足していること。
- 条件2. 用いる線形符号のアンサンブルが、(A) パリティ検査行列の列の置換に対して不変であること、(B) 符号の重み分布が、ある一定の条件を満足していること、の2つの条件を満足していること。

特に、条件2を満足する線形符号として、LDPC 符号を用いることができる。LDPC 符号を用いる利点は、復号器の計算量を削減できるという点にある。理論的な解析では、復号器は最尤復号を行うと仮定した。しかしながら、現実の計算機の能力では、符号長が大きいときに最尤復号を行うのは現実的ではない。一方、LDPC 符号を用いた場合には、

sum-product 復号法など、現実的な計算量で実行可能で、かつ、最尤復号に近い復号性能を達成する復号法を用いることができる。

まとめると、本研究の成果は、LDPC 符号とその復号法、そして有歪み符号化法という既存の技術を組み合わせることで、Wyner によって示された最適な符号化率を達成するための符号を構成することができる、ということを実験的に明らかにした。

この成果は、電子情報通信学会の英文論文誌に掲載された。

(2) Slepian-Wolf 符号化問題

図 2 に示す「Slepian-Wolf 符号化問題」について考察した。

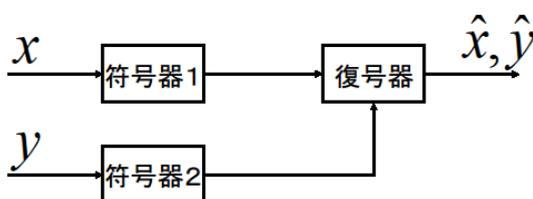


図 2. Slepian-Wolf 符号化問題

この問題では、符号器 1 と 2 がそれぞれ情報 x と y を観測し、符号化したデータを復号器へと送る。復号器では、送られたデータを元に、 x と y 、2 つの情報両方を復元する。特に、本研究では、符号化するべきデータ x と y の統計的な性質（定常性やエルゴード性など）を一切仮定せず、極めて一般的な問題を考察した。

情報源が定常無記憶である場合については、Slepian と Wolf によって理論的に達成可能な最適符号化率が明らかにされている。また、符号化するべきデータの統計的な性質を一切仮定しない場合については、Ziv や Dueck と Wolters による先行研究がある。一方、最適符号化率を達成するための具体的なかつ効率的な符号化法に関する研究は十分行われていなかった。

これに対して、本研究では、LDPC 符号を用いた符号化法を提案し、かつ、LDPC 符号を用いた符号化法で最適な符号化率を達成できることを明らかにした。

以下のように符号化を行う。まず、符号器 1 と 2 では、それぞれ線形符号のパリティ検査行列を用いて、符号化するべき情報のシンδροームを計算する。復号器では、送信された 2 つのデータ、すなわち、 x と y の 2 つのシンδροームを用いて x と y を復号する。復号器では、最大エントロピー復号を行う。

本研究の主成果は、上述の符号化法を用いたとき、以下の 2 つの条件が満足されるならば、符号長が十分大きいとき、復号器が情報

x と y を誤りなく復元できることを示している。

- 条件 1. 符号化率が Dueck と Wolters によって示された達成可能な符号化率の条件を満足していること。
- 条件 2. 用いる線形符号のアンサンブルが、(A) パリティ検査行列の列の置換に対して不変であること、(B) 符号の重み分布が、ある一定の条件を満足していること、の 2 つの条件を満足していること。

特に、条件 2 を満足する線形符号として、LDPC 符号を用いることができる。部分補助情報を用いた符号化問題でも述べたとおり、LDPC 符号を用いた場合には、sum-product 復号法など、現実的な計算量で実行可能で、かつ、最尤復号に近い復号性能を達成する復号法を用いることができるという利点がある。

本研究の成果については、国際会議での発表が、IEEE IT Society Japan Chapter Travel Support Award for Young Researchers を受賞した。

(3) 補完情報伝送問題への応用

(1)、(2) で述べたとおり、本研究では、補助情報を用いた符号化問題について取り組んだ。その研究を通して、他のネットワーク符号化問題についての成果もあげることができた。とくに、図 3 に示す「補完情報伝送問題」についての成果が得られた。

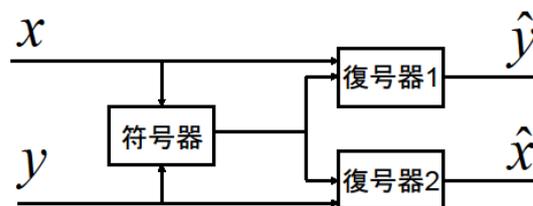


図 3. 補完情報伝送

この問題は、1 つの符号器と 2 つの復号器による 1 対 2 の符号化問題である。符号器は、2 つの情報 x と y を観測する。一方、復号器 1 と 2 は、それぞれ x と y の片方の情報のみを観測する。符号器は、 x と y から送信するべきデータを計算し、復号器 1 と 2 に共通のデータを送信する。2 つの復号器は、それぞれ送られたデータから、観測していないもう一方の情報を復元する。

本研究では、この補完情報伝送問題に対して、以下の成果を得た。まず、Slepian-Wolf 符号化問題のための符号化法を応用することで、補完情報伝送問題のための符号化法を構成できることを明らかにした。この成果と上で述べた (2) の成果とを組み合わせること

で、補完情報伝送問題に対して、LDPC 符号を用いた具体的な符号化法を構成することが可能になる。また、復号器において復号される情報が、元の情報とは異なる場合、つまり符号化・復号化の過程で歪みが生じることが許容する場合についての研究も行った。

以上の成果については、国際会議で発表を行った。

(4) 線形有歪み符号化に関する結果

(1)の符号化法の説明の箇所で述べたとおり、線形符号のシンδροームを利用した符号化法は、符号器における演算が線形演算となるため、簡単な計算で符号化を行うことができるという利点がある。本研究では、符号化・復号化の過程で歪みが生じることが許容する符号化、すなわち「有歪み符号化」に対して、線形符号のシンδροームを利用する符号化法を適用するための研究を行った。この研究は送信すべき情報が複数ある場合の有歪み符号化の前段階としての研究であった。

本研究の成果は、符号器で線形演算のみしか行わない場合には、符号化によって生じる歪みと符号化率との最適なトレードオフを達成する符号化はできない、という事実を明らかにした。この成果は、歪みを許容する場合に最適な符号を構成するには、符号器が線形演算以外の演算をしなければならないことを示している。

本研究の成果は、電子情報通信学会の英文論文誌に掲載された。

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 2 件)

- ① S. Kuzuoka, ``On the suboptimality of linear lossy codes,`` IEICE Trans. Fundamentals, vol. E91-A, no. 10, pp. 2868--2869, Oct. 2008. 査読有
- ② S. Kuzuoka, ``An application of linear codes to the problem of source coding with partial side information,`` IEICE Trans. Fundamentals, vol. E91-A, no. 8, pp. 2151--2158, Aug. 2008. 査読有

[学会発表] (計 2 件)

- ① S. Kuzuoka, ``An application of linear codes to Slepian-Wolf coding of individual sequences,`` in Proc. of 2008 International Symposium on Information Theory and its Applications (ISITA2008), pp. 1609--1614, Auckland, New Zealand, December 7--10, 2008.
- ② S. Kuzuoka, A. Kimura, and T. Uyematsu, ``Universal coding for lossy complementary delivery problem,`` in Proc. of 2008 IEEE International Symposium on Information Theory (ISIT2008), pp. 2177--2181, Toronto, Ontario, Canada, July 6--11, 2008.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

葛岡 成晃 (SHIGEAKI KUZUOKA)
和歌山大学・システム工学部・助教
研究者番号：60452538

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者