

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 4月30日現在

機関番号：14701

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010～2012

課題番号：22760278

研究課題名（和文） センサネットワーク向けのユニバーサルなデータ圧縮法の開発

研究課題名（英文） Construction of universal data compression schemes for sensor network

研究代表者

葛岡 成晃（KUZUOKA SHIGEAKI）

和歌山大学・システム工学部・講師

研究者番号：60452538

研究成果の概要（和文）：一般情報源のクラスに対してユニバーサルな Slepian-Wolf 符号が存在するための条件について研究し、符号器と復号器が共通の補助情報を利用できる場合にユニバーサルな符号を構成できるのであれば、ユニバーサルな Slepian-Wolf 符号も構成できることを明らかにした。また、符号語長が有限の場合の誤り確率と符号化率とのトレードオフに関する解析も行った。更に、対数型歪み測度の下での Heegard-Berger 符号化問題について考察し、その特別な場合である補完情報伝送問題に対する達成可能領域を明らかにした。

研究成果の概要（英文）：A condition for the existence of a universal Slepian-Wolf code for general sources is investigated. Our results show the following fact: Assume that we can construct a universal code for a set of general correlated sources, provided that not only the decoder but the encoder also has access to the side information. Then, even when the side information is not available to the encoder, we can construct a universal Slepian-Wolf code for the set of sources. Moreover, we also investigate the trade-off between the error probability and the coding rate in finite regime. Further, we investigate the Heegard-Berger coding problem under the logarithmic distortion measure. Especially, our results give a tight bound for the achievable rate-distortion region for a special case known as the complementary delivery coding problem.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	600,000	180,000	780,000
2011年度	500,000	150,000	650,000
2012年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	1,600,000	480,000	2,080,000

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：情報源符号化，多端子情報理論，ユニバーサル符号

1. 研究開始当初の背景

データ圧縮技術は、送信するべきデータ量を削減して通信を効率化するために必要不可欠な技術である。一方最近は、情報通信技

術の発展により、複数の送受信者がネットワークを介して通信を行うことが一般的になってきている。そのため、複数の送受信者による通信のためのデータ圧縮法が重要になってきている。例えば、複数の離れた場所で

観測されたデータを、それぞれの場所で独立に符号化し、中央の情報センターに伝送する問題を考える。このとき、各データを個別に符号化するよりも、データの相関を利用した符号化を行うことで、より効率的なデータ圧縮が可能となる。しかし、符号化は離れた場所で行われるため、符号器どうしが直接協力してデータ圧縮することはできない。そのため、各場所で独立に符号化しても優れた符号化率を達成できる「分散データ圧縮」の技術が必要になる。

分散データ圧縮は、情報理論の分野では多端子情報源符号化とも呼ばれ、盛んに研究が進められている。とくに最近では、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も注目を集めている。しかしながら、現実のネットワーク通信に情報理論の研究成果を応用するためには、多くの課題が残っている。とくに、情報源の性質に関する仮定が問題となる。一般的に、最適な符号の構成法は、情報源の統計的パラメータを含んでいる。したがって、性能のよい符号を作るためには、圧縮すべきデータの統計的性質をあらかじめ丹念に調査しておかなければならない。しかし、このような調査は現実には大変難しい。

この問題を解決するために、情報源の統計的性質が未知の場合でも符号化・復号化が行え、しかも最適な符号化率を達成できる「ユニバーサル符号」の開発が求められている。

2. 研究の目的

本研究の目的は、ネットワーク通信を効率化するための多端子情報源符号化法の開発である。とくに、圧縮すべきデータの統計的性質が未知の場合でも符号化・復号化が行え、しかも最適な符号化率（データ圧縮率）を達成できる「ユニバーサル符号」を開発するための理論的な研究を行う。具体的な課題と目標は以下の通りである。

(1) 定常性やエルゴード性を仮定しない一般的な情報源のクラスに対して、ユニバーサル符号が存在するための条件を明らかにする。特に、ユニバーサルな Slepian-Wolf 符号が構成できるための条件を明らかにしたうえで、ユニバーサル符号の構成法を与える。

(2) Slepian-Wolf 符号化問題のみならず、歪みを許容する場合の多端子情報源符号化や、符号長が有限の場合についても研究を行う。

3. 研究の方法

ユニバーサルな多端子情報源符号化法を開発するために以下の研究を行う。

(1) まず、ユニバーサル符号が存在するための条件を明らかにする。特に、定常性やエルゴード性を仮定しない一般情報源のクラスに対するユニバーサル符号が存在するための条件を検討する。

(2) 実用的な符号を構成するためには、符号長が有限の場合の解析が必要になる。そのため、多端子情報源符号化問題の有限長解析を行う。

(3) 復号器が情報源出力を忠実に復号することを要求せず、一定の歪みを許容する場合の多端子情報源符号化問題を研究する。特に、最も基本的な有歪み多端子情報源符号化問題である Wyner-Ziv 符号化、および、Wyner-Ziv 符号化を特別な場合として含む Heegard-Berger 符号化問題を研究する。

4. 研究成果

多端子情報源符号化問題について研究し、下記の成果を得た。

(1) 一般情報源のユニバーサル符号化に関する成果

センサーネットワークで扱われる、時々刻々と変化するデータをモデル化するためには、定常性やエルゴード性を満たさない情報源モデルを考えることが必要になる。そこで、本研究では定常性やエルゴード性を仮定しない一般的な情報源に対するユニバーサル符号が存在するための条件について研究した。

情報源が1つだけの場合については、定常性やエルゴード性の仮定を外すと、従来は同等と考えられてきたユニバーサル性の定義の違いが重要になり、ユニバーサル符号が構成できるための条件はその定義に依存することを明らかにした。また、可変長のユニバーサル符号が存在すれば、それを利用して固定長のユニバーサル符号を構成できることを明らかにした。

(2) Gray と Wyner による情報源ネットワークに対する符号化問題の達成可能領域に関する成果

全ての復号器が必要な情報を正しく復元するためには、各符号器がどれだけ符号化率で情報を送る必要があるかを示すのが、達成可能領域である。多端子情報源符号化問題については、達成可能領域は一般的に未解決であるもの、無歪み符号化の場合については、

Han と Kobayashi によって、一般的な情報源ネットワークに対する達成可能領域の内界が得られている。Han と Kobayashi の結果は多くの既存研究を特別な場合として含む一般的な結果であるものの、Han と Kobayashi の結果を直接適用はできない符号化問題も存在する。

Han と Kobayashi の結果を直接適用はできない符号化問題の中でも重要なのが、Gray と Wyner によって考察された情報源ネットワークの符号化問題である (図 1)。本研究では、Gray と Wyner の符号化問題を、図 2 に示す等価な多端子情報源符号化問題に変換することにより、Han と Kobayashi の結果を適用できることを示した。本研究の成果は、Han と Kobayashi の結果は、Gray と Wyner の結果も特別な場合として導出できる、きわめて一般的な結果であることを示している。

(3) 一般情報源に対するユニバーサル Slepian-Wolf 符号の構成法に関する成果

Slepian と Wolf によって研究された、復号器が補助情報を利用できる場合の情報源符号化問題 (図 3) は、多端子情報源符号化問題の最も重要かつ基本的な問題である。ユニバーサルな Slepian-Wolf 符号を構成するための研究は活発に行われているが、既存研究では定常性やエルゴード性を仮定することが一般的であった。これに対して、本研究では、センサーネットワークで扱われるデータのモデルとしてより適切な、定常性やエルゴード性を仮定しない一般情報源を取り上げ、一般情報源に対するユニバーサルな Slepian-Wolf 符号を構成するための手法を与えた。

本研究の成果は、復号器のみならず符号器も補助情報を利用できる場合 (図 4) にユニバーサルな符号化を行うことができるならば、それを利用して、ユニバーサル Slepian-Wolf 符号を構成できることを示している。特に、ゼロレートに漸近的十分統計量が存在する情報源のクラスに対して、ユニバーサル Slepian-Wolf 符号を構成できることを示している。

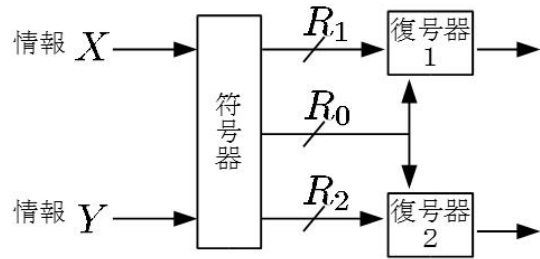


図 1 : Gray-Wyner 符号化問題

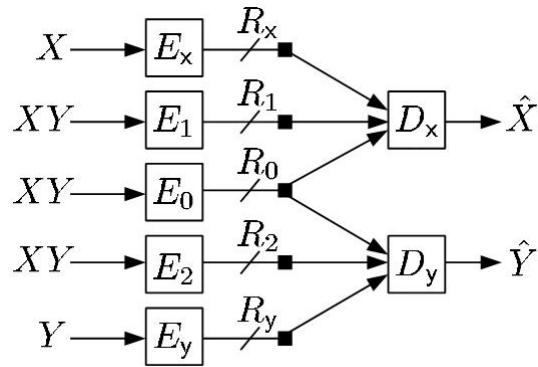


図 2 : Gray-Wyner 符号化問題と等価な多端子情報源符号化問題

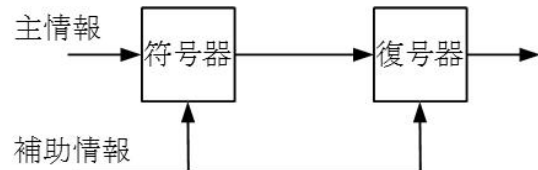


図 3 : Slepian-Wolf 符号化問題

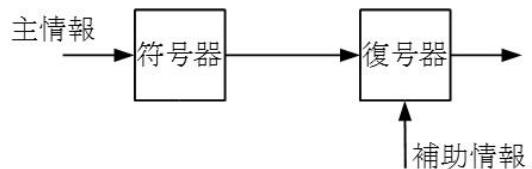


図 4 : 符号器も補助情報を利用できる場合の情報源符号化問題

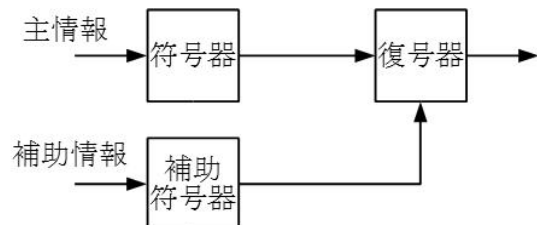


図 5 : 符号化された補助情報を伴う情報源符号化問題

(4) 補助情報を伴う情報源符号化の冗長度解析に関する成果

実用的な符号を構成するためには、符号長が有限の場合における誤り確率の評価が重要になる。そこで、本研究では、符号化・復号化によって生じる誤り確率と符号長とのトレードオフを明らかにするための指標である冗長度の解析を行った。とくに、2対1のネットワーク通信における情報源符号化の冗長度について検討し、以下の成果を得ている。

- ① 片方の符号器の符号化レートが十分に大きい場合に相当する、Slepian-Wolf 符号化について検討し、Han らによって確立された情報スペクトル的手法に Bernstein による確率論の結果を組み合わせるだけで、冗長度に関するタイトな上界を与えることができることを明らかにした。
- ② 片方の符号器がヘルパーとして働く場合、すなわち、符号化された補助情報を伴う情報源符号化 (図5) について検討し、主情報を符号化する符号器の冗長度およびヘルパーの冗長度に対する理論的な上界を与えた。

(5) 対数型歪み測度の下での Heegard-Berger 符号化問題に関する成果

Slepian-Wolf 符号化で、復号器が元の情報源出力を忠実に復号することを要求せず、一定の歪みを許容する場合については、Wyner と Ziv によって研究が行われ、Wyner-Ziv 符号化問題と呼ばれる。更に Wyner-Ziv 符号化問題を特別な場合として含む多端子情報源符号化問題が Heegard と Berger によって研究されている (図6)。

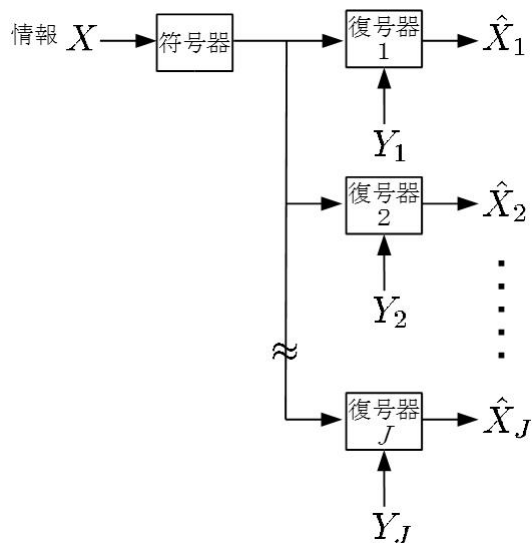


図6 : Heegard-Berger 符号化問題

本研究では、対数歪み測度の下での Heegard-Berger 問題を研究し、達成可能領域の内界を与えた。更に、補完情報伝送問題と呼ばれる特別な場合については、達成可能領域を完全に決定した。

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)

[学会発表] (計9件)

- ① S. Kuzuoka, ``On the redundancy of variable-rate Slepian-Wolf coding,`` 2012 International Symposium on Information Theory and its Applications (ISITA2012), October 28--31, 2012, Hawaii, USA.
- ② S. Kuzuoka, ``On properties of logarithmic distortion measure,`` 電子情報通信学会情報理論研究会, July 2012年7月19日--20日, 豊田工業大学 (愛知県) .
- ③ S. Kuzuoka, ``A simple technique for bounding the redundancy of source coding with side information,`` 2012 IEEE International Symposium on Information Theory (ISIT2012), July 1--6, 2012, Cambridge, MA, USA.
- ④ S. Kuzuoka, ``On the Heegard-Berger coding problem under logarithmic distortion measure,`` 電子情報通信学会情報理論研究会, 2012年5月25日, 福岡県立飯塚研究開発センター (福岡県) .
- ⑤ S. Kuzuoka, ``On the error probability and the redundancy of source coding with helper,`` 第34回情報理論とその応用シンポジウム (SITA2011), 2011年11月29日--12月2日, ホテル森の風鶯宿 (岩手県) .
- ⑥ S. Kuzuoka, ``Universal Slepian-Wolf source coding for general sources,`` 7th Asia-Europe Workshop on Concepts in Information Theory (AEW7), July 27--29, 2011, Boppard, Germany.
- ⑦ S. Kuzuoka, ``A simple technique for bounding the redundancy of Slepian-Wolf coding,`` 電子情報通信学会情報理論研究会, 2011年7月21日--22日, 岡山大学 (岡山県) .

- ⑧ S. Kuzuoka, ``Han-Kobayashi rate region for Gray-Wyner source coding system,`` 電子情報通信学会情報理論研究会, 2011年3月3日--4日, 大阪大学 (大阪府) .
- ⑨ S. Kuzuoka, ``On the universality of fixed-to-fixed length source codes,`` 第33回情報理論とその応用シンポジウム (SITA2010), 2010年11月30日--12月3日, 信州松代ロイヤルホテル (長野県) .

6. 研究組織

(1) 研究代表者

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

(2) 研究分担者

()

研究者番号:

(3) 連携研究者

()

研究者番号: