

平成 30 年 4 月 9 日現在

機関番号：14701

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2017

課題番号：26820145

研究課題名(和文)放送型データ配信のためのユニバーサル可変レートデータ圧縮法の開発

研究課題名(英文)Development of Universal Variable-Length Data Compression Schemes for Broadcasting

研究代表者

葛岡 成晃(Kuzuoka, Shigeaki)

和歌山大学・システム工学部・准教授

研究者番号：60452538

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：放送型データ配信のためのユニバーサル可変レートデータ圧縮法の開発に従事した。ネットワークで動画を配信するためのデータ圧縮問題は、多端子情報理論における有歪み情報源符号化問題として定式化できる。本研究では、一対多の通信用の有歪み情報源符号化問題について研究し、誤り指数に関する定理を証明した。また、観測されたデータそのものではなく、データに対して何らかの処理を施した結果のみが必要とされるケースについて検討した。本研究では、ある種のケースに対して、最適符号化レートを明らかにしている。

研究成果の概要(英文)：In this study, universal variable-length data compression schemes for broadcasting are investigated. Data compression for video distribution on network is formalized as lossy coding problem in the multiterminal information theory. This study investigates the one-to-many lossy source coding with side-information at decoders, and gives general bounds on the error exponents. Further, the problem of distributed data compression for function computation is considered. For functions with certain structures, the optimal rate for computing those functions is characterized.

研究分野：情報理論

キーワード：多端子情報理論 ユニバーサル符号 多端子情報源符号化 多端子仮説検定

### 1. 研究開始当初の背景

近年、ネットワークのブロードバンド化、放送の完全デジタル化などを契機として、ネットワークを介した映像コンテンツ配信技術とそれを活用したビジネスが注目を集めている。そのような背景のもとで、基盤となる通信技術・理論についても、アプリケーションを意識して効率化・改善していくことが求められている。一方、ネットワークを介したコンテンツ配信は、同一のデータを複数の受信者へと送信する「放送型(1対多)通信」であるため、従来の「1対1通信」向けの理論・技術を単に流用するだけでは不十分であり、新たな理論の構築・技術開発が必要となる。データ配信のための重要な技術の一つに、送信する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「データ圧縮技術」がある。

データ圧縮では、データに含まれる冗長な部分を取り除くことによって、データサイズを削減する。特に映像コンテンツの場合は、動画のフレーム間相関が大きいことを利用し、ある時刻でのフレームを利用してその後のフレームを圧縮することが行われる。一方、放送型通信においては、ネットワークの状況によって受信者ごとに過去のデータの受信状況が異なるという問題がある。つまり、パケット損失などによって過去のデータの一部しか受信できていない受信者や、途中から通信に参加したため過去のデータを受信していない受信者などが存在し得る。このような状況に対応するための「放送型通信のためのデータ圧縮法」の開発が求められていた。

### 2. 研究の目的

本研究では、前項で説明したような状況に対応するための「放送型通信のためのデータ圧縮法」の開発を目的とする。具体的には、図1に示す「ネットワークを利用した一対多データ配信」のためのデータ圧縮技術の開発を目的とする。そのために、下記の要件を満たす符号化技術を提案することを目標にする。

それぞれの受信者向けに別々にデータ送信する必要がないこと。

過去のデータをしっかりと受信できている受信者は高品質でコンテンツを復元でき、過去のデータが一部あるいは全部欠損している場合には、受信できているデータだけでも活用してそれなりの品質でコンテンツを復元できること。

### 3. 研究の方法

ネットワークを利用した一対多のデータ配信問題は、近年、情報理論の分野で活発に研究がおこなわれている。本研究では、情報理論における理論研究を深化させるとともに、その成果に基づいて具体的な符号化法を



図1. ネットワークを利用した一対多データ配信問題のモデル

開発する。具体的には、多端子情報理論における有歪み情報源符号化問題に着目する。この問題に対して、ユニバーサル符号化や可変レート符号化について考察するとともに、その成果に基づいてユニバーサル可変レート符号化法の開発を目指す。また、ユニバーサル符号と密接に関係がある仮説検定問題についても考察する。

### 4. 研究成果

#### (1)ユニバーサル Wyner-Ziv 符号化

多端子情報理論における有歪み情報源符号化問題のなかで、最も基本的かつ重要な問題が、Wyner と Ziv によって研究された復号器補助情報を伴う有歪み符号化問題である。既存研究では、送信するべきデータと補助情報との相関が既知であることが前提とされていた。本研究では、受信者が持つデータの違いに対応するため、相関が未知であっても符号化・復号を行える「ユニバーサル符号」の開発を検討した。その結果、ユニバーサルな Wyner-Ziv 符号を構成できる条件と、その縫合が達成できるレート・歪みのトレードオフを明らかにした。この結果は主に下記論文にまとめられている：

S.Watanabe and S. Kuzuoka, "Universal Wyner-Ziv coding for distortion constrained general side-information," IEEE Trans. Inform. Theory, vol. 60, no. 12, pp. 7568--7583, Dec. 2014.

#### (2)有限長の Wyner-Ziv 符号化

情報理論における符号化定理は、漸近的な状況下で達成可能な最適レートを明らかにするものが一般的である。しかしながら、具体的な符号構成のためには、符号語長が実用的な範囲内、すなわち有限長での解析が必要になる。本研究では、Wyner-Ziv 符号化問題に対する有限長解析を行い、達成可能なレートを示すとともに、そのための符号構成に関する知見を得ている。この結果は主に下記論文にまとめられている：

S.Watanabe, S. Kuzuoka, and V.Y.F. Tan, "Non-asymptotic and second-order achievability bounds for coding with side-information," IEEE Trans. Inform. Theory, vol. 61, no. 4, pp. 1574--1605, April 2015.

### (3)誤りを許容する可変長 Slepian-Wolf 符号化

実用的な符号化アルゴリズムの開発のためには、符号化レートを柔軟に変化させる「可変レート符号」が必要になる。本研究では、誤りを許容する Slepian-Wolf 符号化問題（これは Wyner-Ziv 符号化で一致関数を歪み尺度とした場合と見なせる）について考察し、可変レート符号で達成可能な最適レートを明らかにするとともに、最適レートを達成する符号の構成法を明らかにした。この結果は主に下記論文にまとめられている：

S. Kuzuoka and S. Watanabe, "An information-spectrum approach to weak variable-length source coding with side-information," IEEE Trans. Inform. Theory, vol. 61, no. 6, pp. 3559--3573, June 2015.

### (4)分散関数計算のための符号化

Wyner-Ziv 符号化の特殊例として、分散符号化問題がある。これは、データ配信にあたって、観測データそのものではなく、データから得られる何らかの計算結果を復号側で得られればよいという問題である。この問題に対して、本研究では、Slepian-Wolf 符号によって最適な符号を達成できる条件を明らかにしている。Slepian-Wolf 符号の構成法に関して多数の研究があるので、これらの結果を分散関数計算に適用した場合の最適性を保証する本研究の成果は、符号化法の開発において重要な知見を与えるものである。この結果は主に下記論文にまとめられている：

S. Kuzuoka and S. Watanabe, "A dichotomy of functions in distributed coding: An information spectral approach," IEEE Trans. Inform. Theory, vol. 61, no. 9, pp. 5028--5041, Sept. 2015.

および

S. Kuzuoka and S. Watanabe, "On Distributed Computing for Functions with Certain Structures," IEEE Trans. Inform. Theory, vol. 63, no. 11, pp. 7003--7017, Nov. 2017.

### (5)多端子仮説検定の誤り指数に関する研究

ユニバーサル符号化問題と統計的推定・検定問題とは密接な関係があることが知られている。本研究では、多端子情報源符号化におけるユニバーサル符号の開発のための研究を通して、多端子情報理論における仮説検定問題に対しても新たな結果を得ることができた。具体的には、多端子仮説検定における誤り指数に関して、既存研究よりも弱い条件の下で、同様の結果が得られることを証明した。この結果は主に下記論文にまとめられている：

M. Ueda and S. Kuzuoka, "The error exponent of zero-rate multiterminal hypothesis testing for sources with common

information," IEICE Trans. Fundamentals, vol. E98-A, no. 12, pp. 2384--2392, Dec. 2015.

### (6)多端子情報理論における一対多の有歪み符号化および仮説検定問題を包括する一般論の検討

上述のとおり、本研究では多端子情報理論における有歪み符号化問題、および、関連する仮説検定問題に取り組んできた。その結果、これらの研究を通して、有歪み符号化問題や仮説検定問題を含み一般的な問題に対して統一的なアプローチで取り組むための手法を確立することに成功した。具体的には、多端子のデータ圧縮が関係する問題に対して、誤り指数の一般式を得るための手法を示し、その応用例として、一対多の有歪み符号化および仮説検定問題の誤り指数に関する一般式を導出している。この結果は、主に下記のとおり国際会議にて発表されている：

S. Kuzuoka, "A unified approach to error exponents for multiterminal source coding systems," 2017 IEEE International Symposium on Information Theory (ISIT2017)

### 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6件)

S. Kuzuoka and S. Watanabe, "On Distributed Computing for Functions with Certain Structures," IEEE Trans. Inform. Theory, vol. 63, no. 11, pp. 7003--7017, Nov. 2017. (査読あり) DOI 10.1109/TIT.2017.2749234

M. Ueda and S. Kuzuoka, "The error exponent of zero-rate multiterminal hypothesis testing for sources with common information," IEICE Trans. Fundamentals, vol. E98-A, no. 12, pp. 2384--2392, Dec. 2015. (査読あり) DOI 10.1587/transfun.E98.A.2384

S. Kuzuoka and S. Watanabe, "A dichotomy of functions in distributed coding: An information spectral approach," IEEE Trans. Inform. Theory, vol. 61, no. 9, pp. 5028--5041, Sept. 2015. (査読あり) DOI 10.1109/TIT.2015.2458871

S. Kuzuoka and S. Watanabe, "An information-spectrum approach to weak variable-length source coding with side-information," IEEE Trans. Inform. Theory, vol. 61, no. 6, pp. 3559--3573, June 2015. (査読あり) DOI 10.1109/TIT.2015.2424406

S. Watanabe, S. Kuzuoka, and V.Y.F. Tan, "Non-asymptotic and second-order

achievability bounds for coding with side-information," IEEE Trans. Inform. Theory, vol. 61, no. 4, pp. 1574--1605, April 2015. ( 査読あり ) DOI 10.1109/TIT.2015.2400994

S. Watanabe and S. Kuzuoka, "Universal Wyner-Ziv coding for distortion constrained general side-information," IEEE Trans. Inform. Theory, vol. 60, no. 12, pp. 7568--7583, Dec. 2014. ( 査読あり ) DOI 10.1109/TIT.2014.2358682

[学会発表](計20件)

S. Kuzuoka, "A unified approach to error exponents for multiterminal source coding systems," 2017 IEEE International Symposium on Information Theory (ISIT2017), 2017年.

S. Kuzuoka, "On universal FV coding allowing non-vanishing error probability," 10th Asia-Europe Workshop on Information Theory (AEW10), 2017年.

S. Kuzuoka, "Variable-length coding for mixed sources with side information allowing decoding errors," 2016 International Symposium on Information Theory and its Applications (ISITA2016), 2016年.

S. Kuzuoka and S. Watanabe, "On distributed computing for functions with certain structures," 2016 IEEE Information Theory Workshop (ITW2016), 2016年.

S. Kuzuoka, "On the smooth Renyi entropy and variable-length source coding allowing errors," 2016 IEEE International Symposium on Information Theory (ISIT2016), 2016年.

葛岡成晃, "関数計算のためのデータ圧縮 -- 関数の二分法によるアプローチ --," 電子情報通信学会情報理論研究会, 2016年. [招待講演]

S. Kuzuoka and S. Watanabe, "A dichotomy of functions in distributed coding: An information spectral approach," 2015 IEEE International Symposium on Information Theory (ISIT2015), 2015年.

M. Ueda and S. Kuzuoka, "The error exponent of zero-rate multiterminal hypothesis testing for sources with common information," 2014 International Symposium on Information Theory and its Applications (ISITA2014), 2014年.

S. Kuzuoka and S. Watanabe, "An information-spectrum approach to weak

variable-length Slepian-Wolf coding," 2014 IEEE International Symposium on Information Theory (ISIT2014), 2014年.

## 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・准教授  
研究者番号: 60452538