

令和 6 年 5 月 30 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2022

課題番号：18H01436

研究課題名(和文) 準瞬時FV符号およびその拡張符号に対する理論および応用に関する研究

研究課題名(英文) Research on the theory and applications of AIFV codes and their variants

研究代表者

山本 博資 (Yamamoto, Hirotsuke)

東京大学・大学院新領域創成科学研究科・名誉教授

研究者番号：30136212

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,000,000円

研究成果の概要(和文)：準瞬時(AIFV)符号に関して次の研究成果を得た。最適なAIFV符号を得るための繰返し最適化手法の提案とその最適性の証明。動的AIFV符号の構成法とその性能評価。アルファベッティクAIFV符号の構成法とその性能評価。2元AIFV符号木の数え上げとその符号化法。AIFV-m符号の最悪冗長度の評価。AIFV符号に基づくユニバーサル符号とその性能評価。最適な2元アルファベッティクAIFV-m符号の構成法とその性能評価。離散情報源と有限状態無雑音通信路に対するAIFV符号化法を用いた同時符号化法とその性能評価。不均一な符号ビットコストに対して2ビット復号遅延を持つAIFV符号の構成法とその性能評価。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ハフマン符号は平均符号長を最小にする最適な符号として知られていたが、準瞬時FV(AIFV)符号では複数の符号木を同時に使うことで、ハフマン符号よりさらに短い平均符号長を達成することができる。本研究ではAIFV符号の最適な構成法やAIFV符号の拡張法(動的符号、アルファベッティク符号、ユニバーサル符号、情報源と通信路の同時符号化、符号語ビットが不均一コストを持つ場合符号化など)を示すことで、それらの従来知られていた符号よりもさらに小さい平均符号長を達成できることを明らかにした。これらの符号を利用することで、さまざまな通信システムや記録システムの符号化効率を改善することができる。

研究成果の概要(英文)：Concerning AIFV (Almost Instantaneous Fixed-to-Variable Length) codes, we obtained the following results. An iterative algorithm to construct an optimal AIFV code for a given source and the proof of the optimality of the algorithm. Construction and evaluation of a dynamic AIFV codes. Construction and evaluation of alphabetic AIFV codes. Enumeration and coding of AIFV code trees. Evaluation of the worst case redundancy of AIFV-m codes. Construction and evaluation of a universal code based on AIFV codes. Construction and evaluation of an optimal binary alphabetic AIFV-m code. Joint coding for a finite discrete source and a finite state noiseless channel based on the AIFV coding strategy. Construction and evaluation of an AIFV code with 2-bit decoding delay and unequal bit costs.

研究分野：情報理論

キーワード：準瞬時FV符号 AIFV符号 AIFV符号 無歪みデータ圧縮 繰返し最適化手法 通信路-情報源同時符号化
アルファベッティク符号 アルファベッティクAIFV符号 動的AIFV符号

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1 研究開始当初の背景

無歪みデータ圧縮符号において、固定長の情報源シンボル列を可変長の符号語に符号化する場合を FV 符号化 (Fixed-to-Variable length coding) と言い、可変長の情報源シンボル列を固定長の符号語に符号化する場合を VF 符号化 (Variable-to-Fixed length coding) という。これらの符号に関して長年に渡って、最小の符号化レート達成できる FV 符号と VF 符号は、それぞれハフマン符号とタンストール符号であると信じられていた。しかし、これらは 1 つの符号木 (coding tree) を用いる FV 符号や 1 つの分節木 (parsing tree) を用いる VF 符号の場合であり、複数の符号木や複数の分節木を用いて若干の復号遅延や符号化遅延を許すことで、ハフマン符号やタンストール符号より圧縮性能のよい符号を構成できることを、研究代表者の山本らが明らかにしていた [1]–[3]。そのような符号は、準瞬時 FV 符号 (Almost Instantaneous FV code, AIFV 符号) および準瞬時 VF 符号 (AIVF 符号) と呼ばれるが、それらの最適な符号の構成法・AIFV 符号および AIVF 符号の性能解析・AIFV 符号および AIVF 符号の拡張などに関して、まだ十分な研究がなされていなかった。

2 研究の目的

前節で述べた背景の下、AIFV 符号および AIVF 符号の性能評価・符号の拡張・準瞬時符号に関連して用いられる数理的手法の拡張や一般化などを目的に本研究を行った。具体的には次のような目的で本研究を実施している。

- (1) 与えられた情報源の確率分布に対して、平均符号長が最小となる最適な AIFV 符号を構成するための繰返し最適化手法の確立。その手法の最適性の証明。最適化手法の一般的なマルコフチェインの平均性能の最適化への拡張。
- (2) AIFV 符号の性能評価。
 - ① 最適な AIFV 符号の最悪冗長度の評価。② AIFV 符号木の数え上げとその符号化。
- (3) AIVF 符号の拡張。
 - ① 動的 AIVF 符号の構築。② アルファベッティック AIVF 符号の構築。③ AIVF 符号化手法を用いた情報源符号化と通信路符号化の同時符号化。④ 不均一な符号ビットコストに対する AIVF 符号の構築。
- (4) AIVF 符号の拡張
 - ① 最適な AIVF 符号の構成法の確立。② AIVF 符号の原理に基づくユニバーサル符号の構築。

3 研究の方法

本研究は主に理論研究であるが、その理論の検証や性能評価の一部として、計算機実験による評価も行っている。AIFV 符号と AIVF 符号およびその拡張符号などに関するアイデア・理論評価・アルゴリズムなどの検討は、項目ごとに研究代表者または研究分担者の一方が主に行い、他方がその内容の正しさの検証を行った。また、得られた研究成果は国内の学会で発表すると共に、情報理論分野で最も権威のある国際会議 (IEEE International Symposium on Information Theory (ISIT), IEEE Information Theory Workshop (ITW)) で発表を行った [5]–[15]。これらの発表を通じて、他の研究者と議論を行い、考案した理論やアルゴリズムの正しさを確認すると共に、さらなる改良を行ってきた。

また、本研究成果の一部を電子情報通信学会誌の解説論文として掲載し、情報理論分野の研究者だけでなく、他の分野の研究者にも分かりやすく AIFV 符号とその関連研究の紹介を行った [16]。さらに、最適な AIFV 符号を求めるための繰返し最適化手法に関しても、他分野の研究者に対して詳しい解説を行った [17]。

4 研究成果

本研究では、次のような研究成果を得ている。なお、以下では情報源アルファベットを S で表し、その生起確率分布を $\{p(s), s \in S\}$ 、 S 上の確率変数を S で表す。また、情報源のエントロピーを $H(S) = \sum_{s \in S} -p(s) \log_2 p(s)$ で表す。

- (1) 繰返し最適化手法の一般化 [6][8]。
 - 2本の符号木を用いる場合に、研究代表者の山本らが提案した繰返し最適化手法を用いることで、最適な

AIFV 符号木を構築することができる [2]. しかし, m 本の符号木を用いる AIFV- m 符号の場合に, 最適な AIFV- m 符号木を求める方法は知られていなかった. 本研究では, 最適な AIFV- m 符号を構築できる繰返し最適化手法を与えると共に, 任意の有限状態マルコフチェーンの平均性能の最適化を行うための, 一般的な繰返し最適化手法を提案し, その最適性の証明を与えた.

(2) 最適な AIFV 符号の最悪冗長さの評価 [11].

情報源 S を FV 符号で符号化したときの平均符号長を $L(S)$ とすると, その冗長さ $r(S)$ は $r(S) = L(S) - H(S)$ で定義されるが, ハフマン符号の最悪冗長度は 1 であることが知られている. これに対して, m 本の符号木を用いる AIFV- m 符号の最悪冗長度は $m = 2, 3, 4$ の場合に $1/m$ となる [3]. しかし, $m \geq 5$ の場合の最悪冗長度は知られていなかった. 本研究では, $m = 3, 5$ の場合に対して, $p_{\max} = \max_{s \in S} p(s)$ をパラメータとして, 冗長さ $r(S)$ の詳しい上界を求めると共に, $m = 5$ のときの最悪冗長度が $m = 2, 3, 4$ の場合と同様に $1/m$ になることを証明した.

(3) 動的 AIFV 符号とその性能評価 [7].

データ系列内の文字の出現頻度分布を用いて, 逐次的にハフマン符号木を更新しながら圧縮符号化する手法に動的ハフマン符号があるが, その最悪冗長度はハフマン符号と同じく 1 となる. AIFV 符号に動的符号化を導入することは非常に難しい問題となるが, 簡易な手法として下記の方法で動的 AIFV 符号化が実現できることを示した. この動的 AIFV 符号化法を用いれば, 最悪冗長度を 0.5 に減らすことができる.

「① 動的ハフマン符号木 T_H を出現文字の頻度に基づき更新する. ② T_H から, AIFV 符号木 (T_0, T_1) を構築する. ③ (T_0, T_1) を用いて次の文字を AIFV 符号化し, ①に戻る。」

(4) アルファベティック AIFV 符号とその性能評価 [5][12].

情報源シンボル系列のアルファベット順と符号語系列のアルファベット順が一致する符号を, アルファベティック符号という. 単一の符号木を用いる場合は, その最悪冗長度は 2 となることが知られている. これに対して, 3 本の符号木を用いれば 2 ビットの復号遅延を許すアルファベティック AIFV 符号を構築できることを示し, その最悪冗長度が 1 に減少することを証明した [5]. さらに, AIFV- m 符号の拡張として, $2m - 1$ 本の符号木と m ビットの復号遅延を許して, アルファベティック AIFV- m 符号を構成する手法を提案した [12].

(5) AIFV 符号木の数え上げとその符号化 [9].

ハフマン符号木の種類の総数は Catalan 数で与えられることが知られている. これに対して, 2 つの符号木を用いる AIFV 符号木の総数は, Schröder 数で与えられることを研究代表者の山本らが明らかにしていた [4]. この結果に基づき, コンパクトな AIFV 符号木を数え上げるアルゴリズムを与えると共に, AIFV 符号木の情報を効率よく符号化する手法を与えた.

(6) AIVF 符号に基づくユニバーサルデータ圧縮符号の構築とその性能評価 [10].

任意の情報源に対して同一のアルゴリズムで効率よく圧縮できる符号はユニバーサル符号と呼ばれ, その一つとして LZW (Lempel-Ziv-Welch) 符号が知られている. 本研究では, AIVF 符号で用いられる効率のよい分節木の構成法のアイデアを応用したユニバーサル符号を提案した. また, Cantabery Corpus や Large Corpus などに対する圧縮率の評価より, 提案したユニバーサル符号が LZW 符号より性能のよい圧縮率を実現できることを明らかにした.

(7) 繰返し最適化手法と動的計画法に基づく AIVF 符号の構築 [13].

AIVF 符号に関して, 文献 [1] の符号木構成法の無駄を改良する方式を Dubé-Haddad が提案していたが, 我々は (1) で述べた繰返し最適化手法と動的計画法を用いることで, さらに効率のよい AIVF 符号を構築できることを示した.

例えば, 情報源が $S = \{a, b, c\}$ で, 生起確率分布が $p(a) = 0.6, p(b) = 0.3, p(c) = 0.1$, 符号語数が 7 の場合, Dubé-Haddad の手法では冗長度が 0.0544975 であるのに対し, 提案手法の冗長度が 0.0383312 となり, 性能を大きく改善できることを示した.

(8) 離散情報源と有限状態通信路に対する同時符号化 [14].

離散情報源出力を有限状態無雑音通信路を通して送信する場合, 情報源符号化と通信路符号化を別々に行う

のではなく、同時に符号化することで、送信効率をよくできることが知られている。従来の同時符号化では、符号語の始まりと終りが同一の状態になるような符号が用いられていた。これに対して、我々は、符号語の始まりと終わりを任意の状態に取れるようにした同時符号化法を提案し、(1)の繰返し最適化手法を用いた最適な符号の構成法を示した。

例えば、情報源が $S = \{a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_7, a_8\}$ で、生起確率分布が $p(a_1) = 0.3, p(a_2) = 0.2, p(a_3) = 0.15, p(a_4) = 0.1, p(a_5) = 0.08, p(a_6) = 0.07, p(a_7) = p(a_8) = 0.05$ 、通信路が (1,3) 制約通信路の場合、従来知られている最も性能の良い Karp や Golin-Rote の符号化法による平均符号長が 5.02 であるのに対して、提案した符号化法では $4697/950 \approx 4.94421$ の平均符号長を達成でき、シャノン限界の 4.93318 にかなり近い値を実現することができることを示した。

(9) 不均一符号語ビットコストに対する 2 ビット復号遅延を許す AIFV 符号 [15].

2 元符号語のビット 0 とビット 1 のコストが等しい場合は、FV 符号の性能は平均符号長で評価できる。これに対して、ビット 0 とビット 1 のコストが異なる場合は、その異なるコストを考慮した平均コストで符号の性能を評価する必要がある。従来の符号では単一の符号木を用いて構成されていたが、本研究では複数の符号木と 2 ビットの復号遅延を許して符号を構成する手法を提案すると共に、コストが整数値の場合に対して (1) の繰返し最適化手法を用いた最適な符号の構成法を示した。

例えば、情報源が $S = \{a, b, c, d, e\}$ で、生起確率分布が $p(a) = 0.36, p(b) = 0.23, p(c) = 0.21, p(d) = 0.13, p(e) = 0.07$ で、ビット 0 と 1 のコストが 1 と 3 の場合、従来知られている最も性能の良い Karp や Golin-Rote の符号化法で達成できる平均コストが 3.91 であるのに対して、提案した符号化法では $171803516/44091125 \approx 3.8966$ の平均コストを達成でき、シャノン限界の 3.8847 にかなり近い値を実現することができることを示した。

<引用文献>

- [1] H. Yamamoto and H. Yokoo, "Average-sense optimality and competitive optimality for almost instantaneous VF codes," IEEE Trans. on Inform. Theory, vol. 47, no. 6, pp. 2174–2184, Sep. 2001
- [2] H. Yamamoto, M. Tsuchihashi, and J. Honda, "Almost instantaneous fixed-to-variable length codes," IEEE Trans. on Inform. Theory, vol. 61 no. 12, pp. 6432–6443, Dec. 2015.
- [3] W. Hu, H. Yamamoto, and J. Honda, "Worst-case redundancy of optimal binary AIFV codes and their extended codes," IEEE Trans. on Inform. Theory, vol. 63, no. 8, pp. 5074–5086, Aug. 2017.
- [4] K. Sumigawa and H. Yamamoto, "Coding of Binary AIFV Code Trees," Proc. of 2017 IEEE Int. Symp. on Inform. Theory (ISIT2017), pp. 1152–1156, Aachen, Germany, June, 2017.
- [5] T. Hiraoka and H. Yamamoto, "Alphabetic AIFV codes Constructed from Hu-Tucker Codes," Proc. of 2018 IEEE Int. Symp. on Inform. Theory (ISIT2018), pp. 2182–2186, Vail, Colorado, USA, June 17–22, 2018.
- [6] R. Fujita, K. Iwata and H. Yamamoto, "An Optimality Proof of the Iterative Algorithm for AIFV- m Codes", Proc. of 2018 IEEE Int. Symp. on Inform. Theory (ISIT2018), pp. 2187–2191, Vail, Colorado, USA, June 17–22, 2018.
- [7] T. Hiraoka and H. Yamamoto, "Dynamic AIFV Coding," Proc. of 2018 Int. Symp. on Inform. Theory and its Appli. (ISITA2018), pp. 577–581, Singapore, Oct. 28–31, 2018.
- [8] R. Fujita, K. Iwata and H. Yamamoto, "An Iterative Algorithm to Optimize the Average Performance of Markov Chains with Finite States," Proc. of 2019 IEEE Int. Symp. on Inform. Theory (ISIT2019), pp. 1902–1906, Paris, France, July7–12, 2019.
- [9] K. Hashimoto, K. Iwata and H. Yamamoto, "Enumeration and Coding of Compact Code Trees for Binary AIFV Codes", Proc. of 2019 IEEE Int. Symp. on Inform. Theory (ISIT2019), pp. 1527–1531, Paris, France, July7–12, 2019.
- [10] H. Yamamoto, K. Imaeda, K. Hashimoto, K. Iwata, "A Universal Data Compression Scheme based on the AIFV Coding Techniques," Proc. of 2020 IEEE Int. Symp. on Inform. Theory (ISIT2020), pp.2378–2382, Los Angeles, USA (Virtual Conference), June 21–26, 2020.
- [11] R. Fujita, K. Iwata, H. Yamamoto, "On a Redundancy of AIFV- m Codes for $m = 3, 5$," Proc. of 2020 IEEE Int. Symp. on Inform. Theory (ISIT2020), pp.2373–2377, Los Angeles, USA (Virtual Conference), June 21–26, 2020.
- [12] K. Iwata and H. Yamamoto, "An Algorithm for Constructing the Optimal Code Trees for Binary Alphabetic AIFV- m Codes," Proc. of 2020 IEEE Inform. Theory Workshop (ITW2020), pp.261–265, Riva de Garda, Italy (Virtual Conference), April 11–15, 2021 (postponed from 2020 to 2021).
- [13] K. Iwata and H. Yamamoto, "AIFV Codes Based on Iterative Algorithm and Dynamic Programming," Proc. of 2021 IEEE Int. Symp. on Inform. Theory (ISIT2021), pp.2018–2023, Melbourne, Victoria, Australia (Virtual Conference), July 12–20, 2021.
- [14] K. Iwata and H. Yamamoto, "Joint Coding for Discrete Sources and Finite-State Noiseless Channels," Proc. of 2022 IEEE Int. Symp. on Inform. Theory (ISIT2022), pp.3340–3345, Helsinki, Finland, June 26–July 1, 2022.

- [15] K. Iwata, K. Hashimoto, T. Wakayama, and H. Yamamoto, "AIFV Codes Allowing 2-bit Decoding Delays for Unequal Bit Cost," Proc. of 2024 IEEE Int. Symp. on Inform. Theory (ISIT2024) (to appear).
- [16] 山本博資, "準瞬時 FV 符号 (AIFV 符号) —ハフマン符号に勝る圧縮率を達成する符号—," 電子情報通信学会誌, vol. 104, no. 1, pp. 35-42, 2021. (招待論文).
- [17] 岩田賢一, 藤田龍星, 山本博資, "AIFV 符号の構成法および有限マルコフ状態における平均性能の最適化法," 電子情報通信学会技術報告 (フォトニックネットワーク研究会), PN2020-3, pp. 15-21, 2020. (招待講演).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12件（うち査読付論文 11件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Ken-ich Iwata, Kengo Hashimoto, Takahiro Wakayama, Hirosuke Yamamoto	4. 巻 1
2. 論文標題 AIFV Codes Allowing 2-bit Decoding Delays for Unequal Bit Cost	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Proceedings of 2024 IEEE International Symposium on Information Theory	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Ken-ichi Iwata, Hirosuke Yamamoto	4. 巻 1
2. 論文標題 Joint Coding for Discrete Sources and Finite-State Noiseless Channels	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of 2022 IEEE International Symposium on Information Theory	6. 最初と最後の頁 3340-3345
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/ISIT50566.2022.9834437	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Ken-ichi Iwata, Hirosuke Yamamoto	4. 巻 1
2. 論文標題 AIVF Codes Based on Iterative Algorithm and Dynamic Programming	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of 2021 IEEE International Symposium on Information Theory (ISIT2021)	6. 最初と最後の頁 2018-2023
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/ISIT45174.2021.9518033	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Ken-ichi Iwata, Hirosuke Yamamoto	4. 巻 1
2. 論文標題 An Algorithm for Constructing the Optimal Code Trees for Binary Alphabetic AIFV-m Codes	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of 2020 IEEE Information Theory Workshop (ITW2020)	6. 最初と最後の頁 261-265
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/ITW46852.2021.9457572	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 山本博資	4. 巻 104
2. 論文標題 準瞬時FV符号 (AIFV符号) ハフマン符号に勝る圧縮率を達成する符号	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 電子情報通信学会誌	6. 最初と最後の頁 35-42
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hirosuke Yamamoto, Koki Imaeda, Kengo Hashimoto, Ken-ichi Iwata	4. 巻 1
2. 論文標題 A Universal Data Compression Scheme based on the AIVF Coding Techniques	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of 2020 IEEE International Symposium on Information Theory (ISIT2020)	6. 最初と最後の頁 2378-2382
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ISIT44484.2020.9173982	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ryusei Fujita, Ken-ichi Iwata, Hirosuke Yamamoto	4. 巻 1
2. 論文標題 On a Redundancy of AIFV-m Codes for $m = 3, 5$	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of 2020 IEEE International Symposium on Information Theory (ISIT2020)	6. 最初と最後の頁 2373-2377
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ISIT44484.2020.9174219	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ryusei Fujita, Ken-ichi Iwata, Hirosuke Yamamoto	4. 巻 1
2. 論文標題 An Iterative Algorithm to Optimize the Average Performance of Markov Chains with Finite States	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of International Symposium on Information Theory	6. 最初と最後の頁 1902-1906
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ISIT.2019.8849856	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kengo Hashimoto, Ken-ichi Iwata, Hirotsuke Yamamoto	4. 巻 1
2. 論文標題 Enumeration and Coding of Compact Code Trees for Binary AIFV Codes	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of International Symposium on Information Theory	6. 最初と最後の頁 1527-1531
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ISIT.2019.8849775	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ryusei Fujita, Ken-Ichi Iwata, Hirotsuke Yamamoto	4. 巻 1
2. 論文標題 An Optimality Proof of the Iterative Algorithm for AIFV-m Codes	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of 2018 IEEE International Symposium on Information Theory	6. 最初と最後の頁 2187-2191
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ISIT.2018.8437861	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Tomotaka Hiraoka, Hirotsuke Yamamoto	4. 巻 1
2. 論文標題 Alphabetic AIFV Codes Constructed from Hu-Tucker codes	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of 2018 IEEE International Symposium on Information Theory	6. 最初と最後の頁 2182-2186
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ISIT.2018.8437915	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Tomotaka Hiraoka, Hirotsuke Yamamoto	4. 巻 1
2. 論文標題 Dynamic AIFV Coding	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of 2018 International Symposium on Information Theory and Its Applications	6. 最初と最後の頁 577-581
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.23919/ISITA.2018.8664267	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計13件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 若山貴洋, 橋本健吾, 岩田賢一, 山本博資
2. 発表標題 符号ビットのコストを考慮した2ビットの復号遅延を許容するAIFV符号
3. 学会等名 第46回情報理論とその応用シンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 植田大智, 岩田賢一, 山本博資
2. 発表標題 Nビットの復号遅延を許すアルファベティック符号の構成法
3. 学会等名 電子情報通信学会技術報告（情報理論研究会）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 植田大智, 岩田賢一, 山本博資
2. 発表標題 3ビット復号遅延を許すアルファベティック符号の構成法
3. 学会等名 第45回情報理論とその応用シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中村優太, 植田大智, 岩田賢一, 山本博資
2. 発表標題 2元AIFV-m符号の最悪冗長度が $1/m$ である予想の反例と改良
3. 学会等名 電子情報通信学会技術報告（情報理論研究会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 藤田龍星, 岩田賢一, 山本博資
2. 発表標題 AIFV-m符号の冗長度について ~ m=3,5の場合 ~
3. 学会等名 電子情報通信学会技術報告 (情報理論研究会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岩田賢一, 藤田龍星, 山本博資
2. 発表標題 AIFV符号の構成法および有限マルコフ状態における平均性能の最適化法
3. 学会等名 電子情報通信学会技術報告 (フォトニックネットワーク研究会) (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大西源太, 橋本健吾, 岩田賢一, 山本博資
2. 発表標題 2元AIFV-m符号における符号木の列挙と符号化
3. 学会等名 電子情報通信学会技術報告 (情報理論研究会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山本博資, 橋本健吾, 今枝弘貴, 岩田賢一
2. 発表標題 AIFV符号化テクニックに基づくユニバーサルデータ圧縮符号
3. 学会等名 第11回シャノン理論ワークショップ
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 牧野楓也, 藤田龍星, 岩田賢一, Danny Dube, 山本博資
2. 発表標題 平均性能最適化の繰り返しアルゴリズムによるAIVF符号の改良
3. 学会等名 第42回情報理論とその応用シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K.Hashimoto, K.Iwata, and H.Yamamoto
2. 発表標題 Enumeration of Compact Trees of AIFV codes
3. 学会等名 International Symposium on Information Theory and Its Applications (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 吉田崇裕, 山本博資
2. 発表標題 不均一コストに対する2元AIFV符号の簡易構成法
3. 学会等名 電子情報通信学会情報理論研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 橋本健吾, 岩田賢一, 山本博資
2. 発表標題 元AIFV符号におけるコンパクト符号木の列挙と符号化
3. 学会等名 第41回情報理論とその応用シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 河井貴哉, 藤田龍星, 岩田賢一, 山本博資
2. 発表標題 最適な2元AIFV-m符号の構成法の実装例
3. 学会等名 第41回情報理論とその応用シンポジウム
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	岩田 賢一 (Iwata Ken-ichi) (80284313)	福井大学・学術研究院工学系部門・准教授 (13401)	2019年度 - 2022年度
研究分担者	阪井 和男 (Sakai Kazuo) (50225752)	明治大学・法学部・専任教授 (32682)	2018年度

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	平岡 知隆 (Hiraoka Tomotaka)	東京大学・大学院情報理工学系研究科・大学院生	
研究協力者	吉田 崇裕 (Yoshida Takahiro)	東京大学・大学院情報理工学系研究科・大学院生	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	河合 貴哉 (Kawai Takaya)	福井大学・大学院工学研究科・大学院生	
研究協力者	橋本 健吾 (Hashimoto Kengo)	福井大学・大学院工学研究科・大学院生 (13401)	
研究協力者	藤田 龍星 (Fujita Ryusei)	福井大学・大学院工学研究科・大学院生 (13401)	
研究協力者	牧野 楓也 (Makino Fuya)	福井大学・大学院工学研究科・大学院生	
研究協力者	今枝 弘貴 (Imaeda Hiroki)	福井大学・大学院工学研究科・大学院生 (12601)	
研究協力者	大西 源太 (Onishi Genta)	福井大学・大学院工学研究科・大学院生	
研究協力者	中村 優太 (Nakamura Yuta)	福井大学・大学院工学研究科・大学院生	
研究協力者	植田 大智 (Ueda Daichi)	福井大学・大学院工学研究科・大学院生	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	若山 貴洋 (Wakayama Takahiro)	福井大学・大学院工学研究科・大学院生	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関