

令和 2 年 9 月 15 日現在

機関番号：12612

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K00400

研究課題名(和文)反辞書確率モデルを用いた心電図異常波形検知のための理論とシステム実装

研究課題名(英文) Theory and practice of abnormal electrocardiographic patterns using antictionary probabilistic models

研究代表者

森田 啓義 (Morita, Hiroyoshi)

電気通信大学・大学院情報理工学研究所・教授

研究者番号：80166420

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：人体表面接着型小型無線センサを用いた心電図常時モニタリングシステムの構築ならびに日常生活で自覚症状がなく突発的に発生する不整脈(隠れ不整脈)検知のために、メモリ量が制限された小型通信端末に反辞書確率モデルを用いた符号化法を提案し実装した。提案モデルはデータ系列に出現しないパターンを効率よく登録した反辞書データベースを基に構築されており、観測波形にほとんど出現しない不整脈の検知に適している。研究成果としては、1)システムの実装と評価、2)検知対象となる不整脈タイプの増加、3)小型無線センサと中継ルータにおける通信信頼度向上、4)検知システムの基礎となる反辞書確率モデルの性能向上、が挙げられる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究成果は、これまでデータ圧縮の観点から研究が進められてきた反辞書符号化法において中心的な役割を果たす反辞書確率モデルを適切に用いれば、心電図データに突発的に発生する不整脈(隠れ不整脈)の検知に有効であることを実証したことと、同時に、心電図データの差分化・量子化を行うことにより検知システムをスマートフォンへの実装を可能にした点にある。心電図センサとスマートフォン間のネットワーク通信や検知能力には改善の余地が残されているものの、それらの改良がさらに進めば、日常生活を送る中で心疾患の早期発見に役立ち、利用者のQoL向上に寄与するものと期待される。

研究成果の概要(英文)：In response to the demand of ECG continuous monitoring and hidden arrhythmia detection systems with small wireless sensor attached on human body surface, a coding method is presented and implemented to memory constrained device. The proposed model is constructed based on antictionary database that efficiently represents any patterns which never appear on a given data sequence and is suited to detect arrhythmia that rarely occurs on ECG data. As the results obtained through this research project, we have established 1) system implementation and evaluation, 2) to increase types of arrhythmia to be detected, 3) reliable communication system with a new coding modulation which can adapt to communication between a small sensor and a relay router, and 4) performance improvement of antictionary probability model which is a basis of the detection system.

研究分野：情報理論，計算機科学，統計的信号処理

キーワード：心電図 不整脈 反辞書 極小禁止語 反辞書状態遷移確率モデル 異常データ検出

## 1. 研究開始当初の背景

利用者が日常生活を営みながらの心電図モニタリングは、すでに長時間記録可能なホルター心電計を被験者に装着、記録した後、保存したデータを高速再生しつつ手動もしくは自動で診断する方法が既に広く普及している<sup>(1)</sup>。ただこれらの方法では、基本的には、データの保存・再生という過程を経るので、不整脈の発生をリアルタイムで検知することはできず、被験者本人が症状を予知したり、応急処置によって容態の悪化を未然に防ぐことは難しい。そこで、データ保存・再生を行わず、患部に取り付けた心拍センサで採取した温度や心拍情報を無線で直接携帯端末に送り、リアルタイム診断を可能とする試みもなされてきている<sup>(2)</sup>。

しかしながら、採取した波形データの処理という観点からみると、単位時間あたりの心拍数変化や QRS 波のピークから心拍間隔を計測するといった基本的な処理しか行えておらず、例えば心房細動で発生する P 波の有無や ST 波間隔の乱れなど、より詳細な異常波形を検知するまでには至っていない。また統計分野では異常波形の検知のために主成分分析<sup>(3)</sup> や Wavelet 解析<sup>(4)</sup> の適用が盛んに研究されているが計算コストがリアルタイム処理を阻んでいる。申請者らも反辞書確率モデル法に基づく不整脈検知手法を提案している<sup>(5,6)</sup>。

反辞書とは与えられたデータ列に出現しないすべてのパターンを表現したデータベースである。もし正常な心電図データから反辞書データベースを作れば、それを用いて、普段は出現しない不整脈に含まれるパターンが検知できるという着想に基づき、従来のシステムと同等の不整脈検知力が得たが、実験結果はすべて計算機シミュレーションであり、システム実装は試みられておらず、またシステムの省電力化という観点からの考察も十分ではない。これらの課題を解決することが実用化に向けて差し迫った課題となっていた。

## 2. 研究の目的

反辞書確率モデル法の実用化にむけて不整脈検出精度の向上と計算量・メモリ量の低減に加え、システムの省電力化ならびに小型化を同時に達成するコストパフォーマンスの高いシステム実装を目指す。具体的には、

- (1) 複数の不整脈タイプを検知する反辞書確率モデルの構築手法の確立
- (2) 反辞書不整脈検出法のスマホ端末への実装
- (3) 検知システムの計算コストと検知結果の評価

を実施する。

## 3. 研究の方法

最初に本研究で構築した不整脈検知システムを図 1 に示す。人体表面に取り付けた GM3 社製心電センサ (RF-ECG2) と WiFi ルータからなる ECG データ発信部と提案する不整脈検知アルゴリズムをアプリとしてインストールしたスマホ端末もしくはパソコン部分からなる。提案アルゴリズムはさらに受信した ECG データの差分を取り量子化する部分と反辞書確率モデルによって不整脈検知を行う部分からなる。

### (1) 反辞書確率モデル

反辞書確率モデルは、心電図データ圧縮のために申請者らによって提案された<sup>(5)</sup>。正常な心電図には現れない極小長さの禁止パターン (Minimum Forbidden Word, 以下では MFW と略す) に基づく情報源モデルである。MFW の例として、簡単のため、0 と 1 をとる 2 元データ  $x = 01011$  の MFW をすべて列挙すると、00, 100, 111, 1010 となる。これらの MFW は元のデータ  $x$  には現れないが、自身の左端または右端のシンボルを一つ削除すると、 $x$  に現れるという意味で極小である。反辞書はこれら MFW の集合である。通常、データ列の辞書とは、データ列に現れる部分列すべてが含まれるため、辞書の大きさはデータ長の二乗に比例する。一方、反辞書の大きさはデータ長に比例するので、辞書よりコンパクトであり、より効率的にパターン検索できるという特徴をもつ。

つぎに反辞書から、反辞書に含まれる MFW を受理するオートマトンを作成する。上で例示した  $x = 01011$  の反辞書 {00, 100, 111, 1010} のうち、二つの MFW, 00 と 1010 から生成された反辞書オートマトンを図 2 に示す。この反辞書オートマトンに適当な 2 元データ (学習データ) を入力すると、初期ノード S0 から 0 と 1 でラベル付けられた枝を辿りながら内部ノードを遷移する。図中の 2 重円は MFW に対応した受理ノードであり、通常の場合、どんな入力データでもこれらの受理ノードに到達した時点で、オートマトンは停止する。しかし、このオートマトンでは、受理ノードからも枝 (赤色) が出ており、データを入力し終えるまで遷移を繰り返す。このとき、各ノードを訪問し

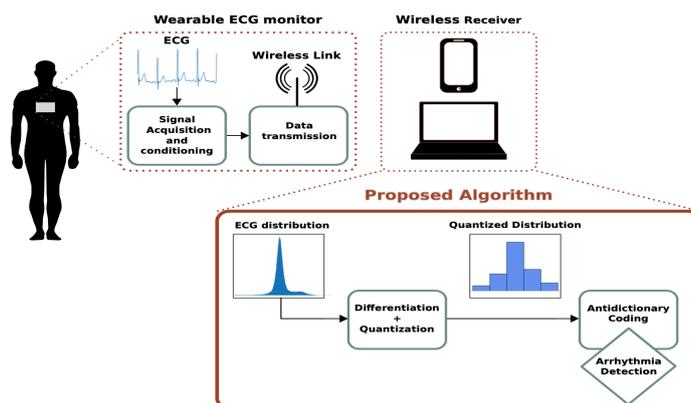


図 1: 不整脈検知システムの全体図

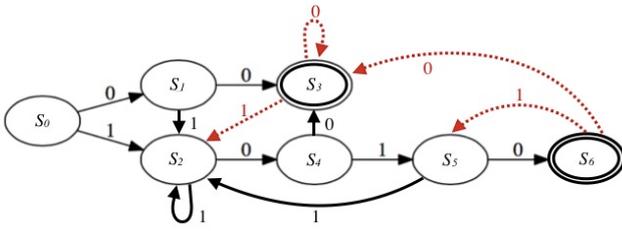


図 2: 反辞書オートマトンの例

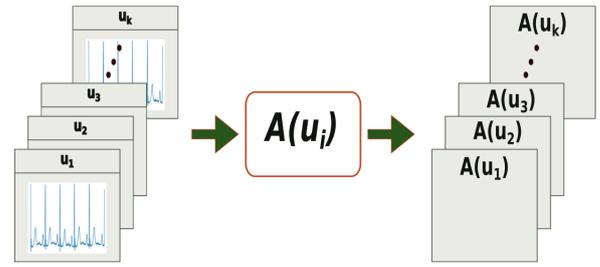


図 3:  $k$  本の訓練データから  $k$  個の反辞書を作成

た頻度とそのノードから出ている各枝を辿った頻度を求めておき、データ入力終了した時点で、これら頻度から計算される条件付き確率を各ノードに付与したものが反辞書確率モデルである<sup>(5)</sup>。

一般に、 $\mathbf{x}$  の MFW がオートマトンを構成したものは別の学習データに部分列として含まれる回数のごく僅かであればその出現確率も小さい。そしてデータ圧縮では、出現確率が小さい部分系列ほどより長い符号語が割り当てられるので、普段はほとんど発生しない MFW が発生すると圧縮効果は局所的に劣化する。この劣化によって異常波形の発生を判別するのが本提案法の最大の特色である。

### (2) 共通反辞書の作成

準備実験として、MIT-BIH 不整脈データベースに登録されている ECG データから反辞書確率モデルの構築を行った。これらの ECG データはさまざまな被験者から採取した 30min の心電図波形を 360 samples/sec, 11-bit/サンプルにデジタル化したものである。また、採取された ECG データには専門医による不整脈判定が付与されているので、本研究において検知アルゴリズムの検知性能を調べるためにも利用している。

モデル生成のために、まず、心疾患を ECG データの先頭部分を 5 拍ごとに区切って短い訓練データ  $\mathbf{u}_1, \dots, \mathbf{u}_k$  を用意し、それぞれから反辞書  $A(\mathbf{u}_i), (1 \leq i \leq k)$  を作成する (図 3 参照)。実験では  $k$  の値は 50 と設定した。これらの反辞書に共通して含まれる MFW を取り出し、それらから反辞書オートマトンを作成する。

### (3) スコア値の定義

つぎに、作成した反辞書オートマトンにすべての訓練データ  $\mathbf{u}_i (1 \leq i \leq k)$  を一列にならべた  $\mathbf{x} = x_1 x_2 \dots x_n$  の各シンボル  $x_i (1 \leq i \leq n)$  を順に入力すると、反辞書オートマトンの内部状態は初期状態  $s_0$  から始まり、 $s_{i-1}$  から  $s_i$  に変化していく。このとき、入力アルファベット  $\mathcal{A}$ 、内部状態集合  $\Sigma$  に対して、状態遷移頻度

$$N(c|s) = |\{i | (x_i, s_{i-1}) = (c, s), 1 \leq i \leq n\}|, c \in \mathcal{A}, s \in \Sigma$$

を求め、これらから、条件付き確率

$$P(x_{i+1}|s_i) = N(x_{i+1}|s_i) / \sum_{c \in \mathcal{A}} N(c|s_{i+1}), 0 \leq i < n$$

を求める。さらに、ある自然数  $d$  に対して、

$$(1 \leq i \leq d \text{ の場合}) \quad R_i = -\frac{1}{d} \sum_{j=i-d+2}^{i+1} \log_2 P(x_j|s_{j-1}) \quad \text{または} \quad (i > d \text{ の場合}) \quad R_i = -\frac{1}{i} \sum_{j=2}^{i+1} \log_2 P(x_j|s_{j-1})$$

を求める。ここで、 $-\log_2 P(x_j|s_{j-1})$  は情報源符号化理論では状態  $s_{j-1}$  の下で入力シンボル  $x_i$  を算術符号化した場合の瞬時圧縮率に対応しており、 $R_i$  は幅  $d$  のスライド窓内に含まれる最大  $d$  個のシンボルに対する瞬時圧縮率を移動平均した値であり、以下ではスコア値と呼ぶ

あらかじめ定めたしきい値  $T$  に対して、スコア値が  $T$  を越えたところで不整脈が発生したと判定する。図 4 はその一例を示しており、PVC 発生時点でスコア値が大きく変化していることが分かる。

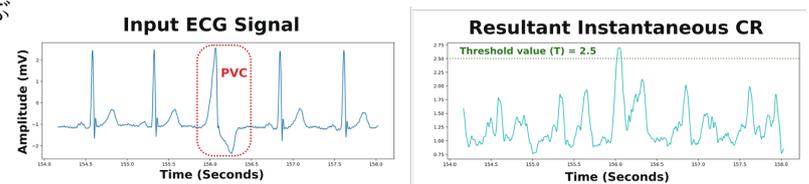


図 4: スコア値の変化と不整脈の出現位置の関係

### (4) 検出性能の評価尺度

提案手法の不整脈検出性能を評価する尺度としては、疾病検査などでよく用いられる感度 (Sensitivity) と特異性 (Specificity) という二つの尺度を使用する。

$$\text{感度} = \frac{\text{真の不整脈波形の数}}{\text{不整脈と検知器が判定した波形数}} \quad \text{特異度} = \frac{\text{真の正常波形の数}}{\text{正常波形と検知器が判定した波形の数}}$$

不整脈の真偽は 3.(2) で述べた MIT-BIH 不整脈データベースの ECG データに専門医が付与した診断結果に基づく。

表 1. 提案法と従来法との検知性能の比較結果<sup>(J3)</sup>

Algorithm	Sensitivity	Specificity
提案方式	<b>97.53</b>	<b>93.89</b>
(Ota et al, 2013) <sup>(6)</sup>	97.9	98.6
(Ittatinut et al, 2013)[?]	91.05	99.55
(Adnane et al, 2013)[?]	97.21	98.67
(Alajlan et al, 2014)[?]	100	93.71

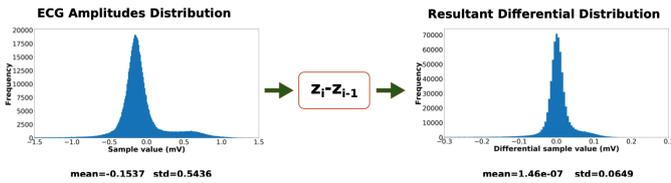


図 5: 心電図データとその差分データの頻度分布

#### 4. 研究成果

##### (1) 心電図データの差分化による分布変換

正常な心電図波形は一般にどれもよく似た形状をしているが、どれ一つとっても同じ形状の単なる繰り返しではなく、心拍間隔も一定ではない概周期波形であることがよく知られており、振幅値の頻度分布も図5左のグラフに示すように中央に大きなピークをもつ非対称な分布になる。そこで、心電図データのサンプル列  $z_0 = 0, z_1, z_2, \dots$  の差分値  $z_i - z_{i-1} (i \geq 1)$  の頻度分布を調べてみると、図5右のグラフに示すように、差分値0が最もよく現れ、0から離れるにつれ、頻度値が急激に減する傾向が見られた。この頻度分布は、統計学でよく知られたラプラス分布に近い。従来、音声・画像信号データの差分データはラプラス分布で近似されることはよく知られていたが、本研究において、心電図データに対しても同様の傾向が成り立つことを明らかにした<sup>(C3)</sup>。

##### (2) 差分データの量子化による心電図データ次元の削減

(1)の結果から、心電図差分データは時間によらずほぼ定常な形状をしたラプラス分布として近似できることが判明したので、量子化の構成を簡略化することが可能になった。実際に行った実験では量子化レベル数  $Q$  を3から11までの奇数ととり、不整脈の検出実験を行い、従来法との検知性能の比較実験を行ったところ、 $Q = 7$ と選んだ場合、オリジナル心電図データのアルファベットサイズを1/250程度に削減しても、異常波形検知はほとんど変わらないことが示せた<sup>(J3)</sup>。

##### (3) 反辞書確率モデルに基づく不整脈検知システムの実装と評価

提案システムをC++で開発し、実行アプリとしてスマホ端末に実装した(図6参照)。このアプリには、反辞書確率モデルを用いた不整脈検知プログラムも組み込み込んでおり、MIT-BIH心電図データベースを用いた実験から、提案手法は心室性期外収縮(PVC)を平均感度97.5%で検出することとともに、スマホ端末エミュレータによる計測では、実装アプリの使用メモリ量が約30Mバイト、CPU占有率も全体の65%となり、十分実用に耐えることが確認された<sup>(J3, C1)</sup>。

##### (4) 新たに発展した研究成果

###### ① 小型無線センサと中継ルータにおける通信信頼度の向上

電力利用効率のよい小型通信機器に適した変調符号化方式の提案と性能評価を行い、人体に装着したセンサと中継ルータ間のアンテナ間の電波通信環境の動的モデルによる解析に適用し、消費電力量が従来法に比べ1/3以下に抑えられることを明らかにした<sup>(J2, J4, J7)</sup>。

###### ② 不整脈から構築した反辞書データベース

これまで未検出が多かった心房性期外収縮(PAC)の検出に対して、PAC不整脈から反辞書を作成すること、すなわち不整脈に出現しない波形データを確率的に表現する反辞書確率モデルを、正常不整脈から構築した反辞書確率モデルと組み合わせることによって70%を超える検出精度を達成した<sup>(C2, C4)</sup>。

###### ③ 反辞書確率モデルの理論解析と2次元への拡張

実験的にはよい圧縮性能を持つことが示されているにも拘らず、反辞書確率モデルは特別な情報源に対する漸近的最良性を持つことしか示されていなかった。そこで、情報源の種類を定常エルゴード情報源にまで拡張して、反辞書符号化法の漸近的最良性を示した<sup>(J5, J6, J9, C5)</sup>。その過程で、反辞書確率モデル

と既存の部分列数え上げ符号化法の確率モデルが同型であることを明らかにした<sup>(J1, C6)</sup>。さらに、反辞書の概念を2次元データに拡張した符号化法を考え、その符号化性能を評価した<sup>(J8)</sup>。

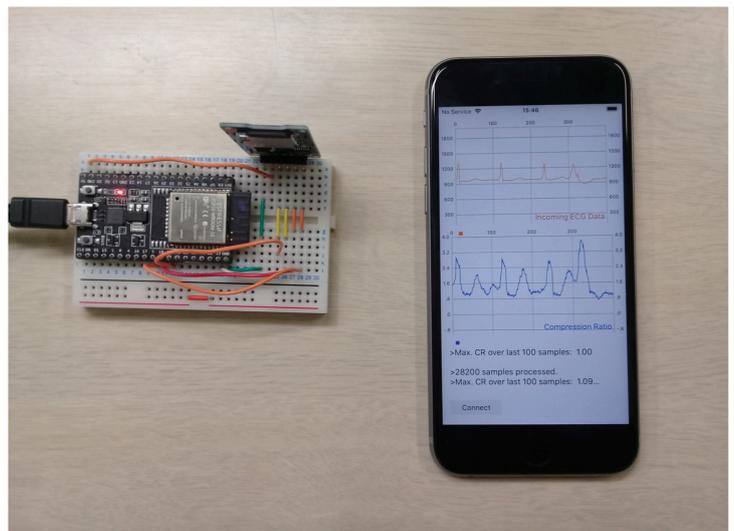


図 6: 反辞書確率モデルを実装したスマホ端末

## <引用文献>

以下に掲げる論文以外に、本研究報告の「5. 主な発表論文等」からの引用は、上記の文章中において、括弧で囲んだ(英文字付き数字)で記した。英文字 J は [雑誌論文]、また C は [学会発表] の区分を示し、数字はそれぞれの区分における先頭からの順位を表す。

- (1) E. J. da S. Luz, W. R. Schwartz, G. Cámara-Chávez, and D. Menotti, “ECG-based heart beat classification for arrhythmia detection: A survey,” *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 127 pp. 144-164, 2016.
- (2) V. Pathangay and S. P. Rath, “Arrhythmia Detection in Single-lead ECG by Combining Beat and Rhythm-level Information,” *Proc. 36th Annual International Conf. of the IEEE Eng. Med. Biol. Soc.*, pp.3236-3239, Chicago, USA, 26-30 Aug. 2014.
- (3) F. Castells, P. Laguna, L. Sörnmo, A. Bollmann, and J. M. Roig, “Principal Component Analysis in ECG Signal Processing,” *EURASIP J. Advances in Signal Processin 2007* (DOI: 10.1155/2007/74580).
- (4) C. Saritha, V. Sukanya, Y. Narasimha Murthy, “ECG Signal Analysis Using Wavelet Transforms,” *Bulg. J. Phys.*, vol. 35, pp. 68–77, 2008.
- (5) 太田隆博, 森田啓義, “反辞書を用いた心電図データの1パス無歪み圧縮,” *信学論 vol.J87-A*, no. 9, pp. 1187–1195, 2004.
- (6) T. Ota, H. Morita, A. J. de Lind van Wijngaarden, “Real-Time and Memory-Efficient Arrhythmia Detection in ECG Monitors Using Antidictionary Coding,” *IEICE Trans. Fundamentals*, vol. E96-A, no.12, pp. 2343-2350, 2013.
- (7) S. Ittatirut and A. Lek-uthai and A. Teeramongkonrasmee, “Detection of Premature Ventricular Contraction for real-time applications,” *2013 10th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology*, pp. 1-5, 2013.
- (8) M. Adnane and A. Belouchrani, “Premature ventricular contraction arrhythmia detection using wavelet coefficients (inproceedings) Author,” *2013 8th International Workshop on Systems, Signal Processing and their Applications (WoSSPA)*, pp. 170-173, 2013.
- (9) Alajlan, Naif and Bazi, Yakoub and Melgani, Farid and Malek, Salim and Bencherif, Mohamed A, “Detection of premature ventricular contraction arrhythmias in electrocardiogram signals with kernel methods (article) Author”, *Signal, Image and Video Processing*, Vol. 8, pp.931-942, 2014.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 9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 Takahiro OTA, Akiko MANADA, and Hiroyoshi MORITA	4. 巻 E.103-A
2. 論文標題 Compression by Substring Enumeration Using Sorted Contingency Tables	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEICE Transaction on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences	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 北原裕久, 森田啓義, 眞田亜紀子	4. 巻 J103-B
2. 論文標題 六角形格子上の積符号を用いた符号化変調方式によるPAPRの低減	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 電子情報通信学会論文誌	6. 最初と最後の頁 184-197
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 Gilson FRIAS, Hiroyoshi Morita, and Takahiro Ota	4. 巻 1
2. 論文標題 Arrhythmia Detection with Antidictionary Coding and Its Applications to Mobile Platforms	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 BODYNETS 2019, Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Soical Informatics and Telecommunicaitons Engineering	6. 最初と最後の頁 50-67
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） <a href="https://doi.org/10.1007/978-3-030-34833-5.5">https://doi.org/10.1007/978-3-030-34833-5.5</a>	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 Hiroyoshi MORITA	4. 巻 1
2. 論文標題 Double Nearest-Neighbor Error Correcting Codes on Hexagonal Signal Constellation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedingf 2019 International Symposium on Information Theory	6. 最初と最後の頁 1617-1621
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/ISIT.2019.8849777	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 Takahiro OTA, Hiroyoshi MORITA, and Akiko MANADA	4. 巻 E102.A
2. 論文標題 A Universal Two-Dimensional Source Coding by Means of Subblock Enumeration	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences	6. 最初と最後の頁 440-449
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/transfun.E102.A.440	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 Takahiro OTA, Hiroyoshi MORITA, and Akiko MANADA	4. 巻 1
2. 論文標題 Compression by Substring Enumeration with a Finite Alphabet Using Sorting	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 587-591
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 Hirohisa Kitahara, Hiroyoshi Morita, and Akiko Manada	4. 巻 1
2. 論文標題 Analysis of Walking Body Using Kinect2 and Application of Integer Code to WBAN	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proc. of 13th EAI International Conference on Body Area Networks	6. 最初と最後の頁 1/1 - 1/7
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 Takahiro Ota and Hiroyoshi Morita	4. 巻 1
2. 論文標題 Two-dimensional Source Coding by means of Subblock Enumeration	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proceedings of 2017 IEEE International Symposium on Information Theory	6. 最初と最後の頁 311-317
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 Takahiro Ota and Hiroyoshi Morita	4. 巻 EA-100
2. 論文標題 A Compact Tree Representation of an Antidictionary	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Science	6. 最初と最後の頁 1973-1984
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 -

〔学会発表〕 計6件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 1件)

1. 発表者名 Hiroyoshi Morita
2. 発表標題 Overviews: Antidictionary and Its Applications
3. 学会等名 The 11th Asian-Europe Workshop on Information Theory and Communications (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 笹沢 昂生, 太田 隆博, 森田 啓義
2. 発表標題 反辞書確率モデルを用いた不整脈の分類手法について
3. 学会等名 2019年度電子情報通信学会信越支部大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Gilson Frias, Hiroyoshi Morita, Takahiro Ota
2. 発表標題 Anomaly detection on quantized ECG signals by the use of Antidictionary Coding
3. 学会等名 第41回情報理論とその応用シンポジウムシンポジウム予稿集
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高松 聖, 太田 隆博, 森田 啓義, 野瀬 裕昭
2. 発表標題 反辞書確率モデルによる不整脈検出手法を利用した機械学習教育用ツールの検討
3. 学会等名 2018年度教育システム情報学会北信越支部学生研究発表会予稿集
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 太田隆博, 森田啓義
2. 発表標題 多値アルファベットに対する部分列数え上げ符号化法の圧縮率改良
3. 学会等名 電子情報通信学会情報理論研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 太田隆博, 眞田亜紀子
2. 発表標題 ソーティングを用いた部分列数え上げ符号化法
3. 学会等名 電子情報通信学会情報理論・情報セキュリティ・ワイドバンドシステム合同研究会
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	太田 隆博  (Ota Takahiro)  (60579001)	長野県工科短期大学校・情報技術科・教授    (83602)	