

機関番号：34419

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間：2007~2010

課題番号：19500245

研究課題名 (和文)  $\alpha$  次エントロピーなど拡張型エントロピーによる近代的信号・画像解析

研究課題名 (英文) Modern signal and image analysis by generalized entropy

研究代表者

吉川 昭 (KIKKAWA SHO)

近畿大学・生物理工学部・研究員

研究者番号：30075329

研究成果の概要 (和文)：(1)相互情報量基準による、隠れ変数を用いた混合分布推定と閾値決定法を提案した。(2)Renyi のエントロピーを ICA の周辺分布の「幅」評価基準として提案し、直観的かつ簡易な ICA 法を得た。(3) 正值時間一周波数解析のため、ペリオドグラム不等間隔平滑化法を提案した。また、インパルス列の時間一周波数解析のため、逆関数領域 IPFM の復調法と、客観的復調精度評価法を提案した。さらに、信号の時間一周波数的特徴を考慮した、移動体間距離推定法を提案した。

研究成果の概要 (英文)：(1) We proposed a new mutual information criterion for deciding an optimal mixture distribution and an optimal threshold. (2) We proposed the usage of Renyi 's alpha-entropy as a measure of width of marginal distribution and obtained very intuitive new and simple ICA methods. (3) We proposed an adaptive method for smoothing the periodogram for positive time-frequency representation. For impulse train time-frequency analysis, we proposed an inverse domain demodulation method of IPFM and an objective evaluation method for demodulators. Further, we proposed distance estimation method exploiting time-frequency feature of reflected signal from a moving object.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2008 年度	700,000	210,000	910,000
2009 年度	800,000	240,000	1,040,000
2010 年度	700,000	210,000	910,000
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：情報工学

科研費の分科・細目：情報学・統計科学

キーワード： $\alpha$  次エントロピー、画像閾値決定、信号解析、独立成分分析、生体信号解析、相互情報量、IPFM、移動体間距離推定

## 1. 研究開始当初の背景

それまで必ずしも十分でなかった画像・信号解析への情報論的ダイバージェンスの積極的利用について研究を進めていた本研究代表者と分担者は、この考えをさらに推し進め、種々の情報理論的概念を画像・信号解析へ積極的に適用することを目指した。本研究

はこのような考えから、情報論的エントロピー (特にダイバージェンス、相互情報量)、および Reniy の情報利得 ( $\alpha$  次エントロピー) のような拡張型エントロピーを用いた画像と信号解析の各種の新しい解析法を開発しようとした。

## 2. 研究の目的

本研究の目的はおおきく次の3つ、(1)、(2)、(3)に分けられた。

(1) **情報論的画像閾値決定基準**：画像閾値決定には、従来はたとえば、ダイバージェンス法などが用いられてきた。しかし、情報理論の立場から見てこれらは必ずしも画像濃度データを十分に利用していない。そこで本研究では、新たに相互情報量基準を提案し、理論的実験的検討を行う。

(2) **拡張型エントロピーによる独立成分分析 (ICA)**：ICAにおけるエントロピー基準は本来相互情報量基準であるが、これは必ずしも簡単でなくかつ個別問題に特化した効果的方法ではない。本研究ではこれらの問題を改善すべく、 $\alpha$ 次エントロピーを用いた方法を提案する。

(3) **時間一周波数解析と応用**：①正值時間一周波数分布 (TF 分布) で重要なスペクトル周辺分布推定のためのペリオドグラム不均衡平滑下法を提案する。② TF 分布上で瞬時帯域幅を追跡するため、本研究では $\alpha$ 次エントロピーを用いた瞬時帯域幅追跡法を提案する。③インパルス列の TF 解析は非常に困難である。本研究では神経変調方式の IPFM に注目し、IPFM 復調波に対して TF 解析を行うことを考え、IPFM の復調精度評価法理論を展開する。④移動体から能動的あるいは受動的に発せられる音信号の TF 的特徴を捉えかつ利用する移動体検出法の理論的実験的検討を行う。

## 3. 研究の方法

(1) **情報論的画像閾値決定基準案**：従来の最適閾値決定法としての大津の判別閾数法、誤り率最小基準、最大エントロピー基準、Renyi の  $\alpha$ -E による Kapur の方法の拡張法、ダイバージェンス基準などは、いずれも、データの持つ情報を十分生かし切れていない。ここでは、新たに相互情報量基準を提案し、その理論検討と実験的検討を行う。

(2) **拡張型エントロピーによる独立成分分析 (ICA)**：①確率密度の Hermite 展開により、 $\alpha$ 次エントロピーの高次キュムラント近似法を提案し、理論検討を行う。②より簡単に問題に特化した ICA を目指し、0次エントロピーによる ICA (確率分布の range を用いた ICA) と $\infty$ 次エントロピーによる ICA (確率分布の peak、最頻値、を用いた ICA) を提案し、理論検討と実験的検討を行う。

(3) **時間一周波数解析と応用**：① Copula など正值 TF において重要な周波数周辺分布の推定に対し、ペリオドグラムの階段状スペクトル近似とスプラインによる補間を用いる方法を提案し、理論的実験的検討を行う。② TF 分布上での瞬時帯域幅として通常用いられるはその正值性が保証されない。本研究で

は2次エントロピーによる瞬時帯域幅追跡法を提案し、理論的実験的検討を行う。③インパルス列の TF 分布表現のため、IPFM を利用することとし、汎用的かつ客観的 IPFM 復調評価法を提案する。④刻々変化する移動体間の TF 解析は重要である。ここでは、可聴音によるケプストラム形の距離推定法と自然界のコウモリなどのエコーロケーション法を習った FM 形信号による距離推定を考え、理論的実験的検討を行う。

## 4. 研究成果

### (1) 情報論的画像閾値決定基準：

濃度変数  $x$  の観測分布 (ヒストグラム) を  $h(x)$  とする。相互情報量基準による最適閾値決定を以下のように提案する。①  $x$  上の適当な値  $T$  とし、 $h(x)$  を  $R_1 = [0 \leq x \leq T]$  と  $R_2 = (T < x \leq x_{\max})$  に分割する。② 領域  $R_i$  ( $i = 1, 2$ ) における濃度確率密度を  $h_i(x) = h(x)/\alpha_i$  ( $x \in R_i$ ) とする。ただし、 $\alpha_i$  は  $R_i$  におけるヒストグラムの面積。③  $h_i(x)$  の平均  $\mu_i$  と分散  $\sigma_i^2$  とし、 $\alpha_1, \alpha_2$  ( $\alpha_1 + \alpha_2 = 1, 0 \leq \alpha_1, \alpha_2 \leq 1$ ) と  $\theta = (\alpha_1, \alpha_2, \mu_1, \mu_2, \sigma_1, \sigma_2)$  に対し正規分布、

$$p(x, C_i | \theta, T) = \alpha_i p(x | \mu_i, \sigma_i, T) \quad (i = 1, 2) \quad (3)$$

を結合モデル分布と考える。 $C = \{C_1, C_2\}$  は分類されるべき2つのクラスを表す隠れ変数。

④ このとき、混合正規分布モデル  $p(x, C_i | \theta, T)$  の周辺分布および  $x$  を条件とする  $C$  の条件付き分布は次のように求まる。

$$p(x | \theta, T) = \sum_{i=1}^2 \alpha_i p(x | \mu_i, \sigma_i, T) \quad (4)$$

$$P(C_i | x, \theta, T) = \frac{p(x, C_i | \theta, T)}{p(x | \theta, T)} = \frac{\alpha_i p(x | \mu_i, \sigma_i, T)}{\sum_{k=1}^2 \alpha_k p(x | \mu_k, \sigma_k, T)} \quad (i = 1, 2) \quad (5)$$

⑤ クラスに関する観測条件付き分布を

$$f(C_i | x) = P(C_i | x, \theta, T) \quad (i = 1, 2) \quad (6)$$

と置くと観測結合分布は次で与えられる。

$$f(x, C_i) = h(x) \frac{\alpha_i p(x | \mu_i, \sigma_i, T)}{\sum_{k=1}^2 \alpha_k p(x | \mu_k, \sigma_k, T)} \quad (7)$$

⑥ このとき、 $f(x, C_i)$  の周辺分布  $f(C_i)$  は

$$f(C_i) = \int h(x) P(C_i | x, \theta, T) = \alpha_i \quad (i = 1, 2) \quad (8)$$

を満たすから、式(7)を上式に代入すると

$$\int h(x) \frac{p(x|\mu_i, \sigma_i, T)}{\sum_{k=1}^2 a_k p(x|\mu_k, \sigma_k, T)} dx = 1 \quad (9)$$

を得る。この解 $\alpha_i$ を $\alpha_i(T)$  ( $i = 1, 2$ )と置く。  
 ⑦  $\alpha_i = \alpha_i(T)$  ( $i = 1, 2$ )として濃度変数 $x$ とクラス変数 $C$ の相互情報量

$$\begin{aligned} I(X, C|T) &= \int \sum_{i=1}^2 f(x, C_i) \log \frac{f(x, C_i)}{f(x)P(C_i)} dx \\ &= \int \sum_{i=1}^2 \alpha_i(T) \phi(x|\mu_i, \sigma_i, \alpha(T)) h(x) \\ &\quad \cdot \log \phi(x|\mu_i, \sigma_i, \alpha(T)) dx \end{aligned} \quad (10)$$

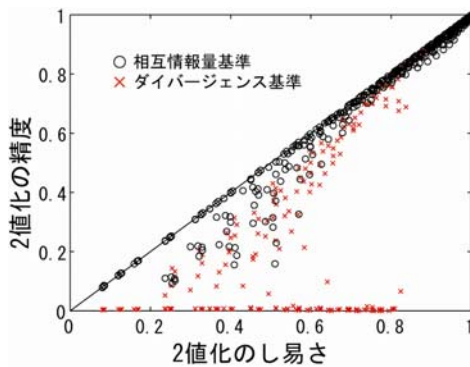
を求める。ただし、 $\alpha(T) = (\alpha_1, \alpha_2)$ 、

$$\phi(x|\mu_i, \sigma_i, \alpha(T)) = \frac{p(x|\mu_i, \sigma_i, T)}{\sum_{k=1}^2 a_k p(x|\mu_k, \sigma_k, T)} \quad (11)$$

⑧ 可能な全ての分割値 $T$ の中で $I(X, C|T)$ を最大にするものを最適閾値 $T_{opt}$ とする。

$$T_{opt} = \arg \max_T I(X, C|T) \quad (12)$$

下の図は従来のダイバージェンス基準と今回提案した情報量基準による画像2値化精度を比較したものである。図で45度の点線が可能な精度の最大値を示している。本図により、提案基準は従来のダイバージェンス基準より勝ることが分かる。

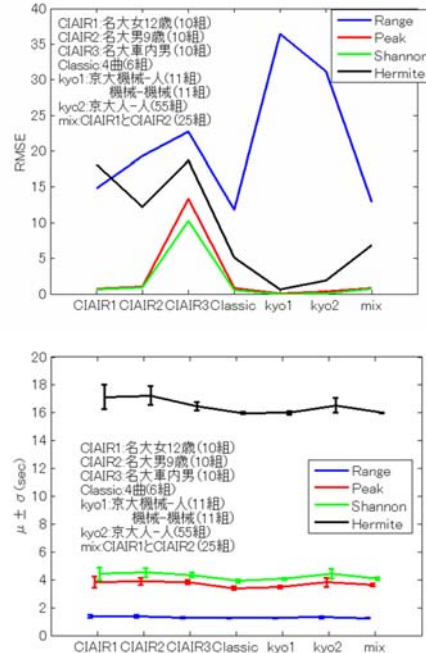


相互情報量基準と従来の方法との2値化精度の比較

## (2) 拡張型エントロピーによる独立成分分析(ICA) :

① ICAにおいてシャノンのエントロピーをHermite展開し有限次数で近似する方法がよく使われる。ここでは、 $\alpha$ 次エントロピーを用いたICAが可能であることを示し、 $\alpha$ 次エントロピーのHermite展開公式を導いた。これにより $\alpha$ 次エントロピーによるICAの高速演算への道を開いた。② 主成分分析と分散の正規化操作後の独立性尺度としてシャノンの相互情報量が本質的である。このとき、

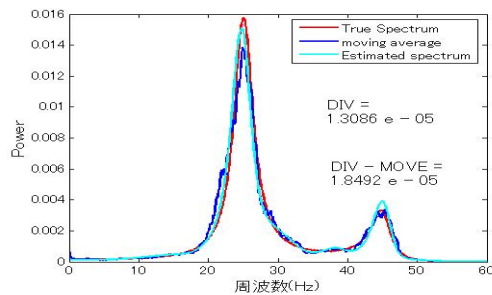
実際必要なのは、変数の周辺エントロピーである。ここではエントロピーを「幅」の尺度と理解し、その「幅」尺度として $\alpha$ 次エントロピーを提案した。 $\alpha = 0$ と置けば、この幅尺度は周辺分布の台 (range)、 $\alpha = \infty$ と置けば、分布のpeak値 (mode) の逆数となる。つまり、データのrangeあるいは分布のpeak値を知るだけでICAが可能となる。ここでは前者をrange尺度、後者をpeak尺度という。これら尺度は非常に簡単に理解模しやすく、かつ計算負荷も軽い。Range尺度は有限台の分布を持つ全ての信号に対して適用可能であり、ずんぐりした分布に強い。一方、peak尺度は音声信号などピーキーな分布を持つ信号に向いている。ここではpeak尺度によるICAの精度と計算コスト評価について示す。下図は8種類の音声信号合計107組とクラシック音楽6組の各組に対するICA離実験結果である。データは名古屋大学音声CIAIRデータベース情報サイト (<http://db.ciair.coe.nagoya-u.ac.jp/>) ならびに、文部省科学研究費補助金重点領域研究音声対話コーパス京大収録分 (<http://winnie.kuis.kyoto-u.ac.jp/taiwa-corpus/>) によった。下図上段より、ピーク尺度の精度はほぼシャノンエントロピー尺度に匹敵することが分かる。また、下図下段は平均計算時間を示しており、ピーク尺度はシャノン基準に勝ることが分かる。



## (3) 時間一周波数解析と応用 :

① Copula などによる正值 TF 分布において、周辺スペクトル分布推定は重要であり、スペクトルの局所的特徴を保存するため、ペリオドグラムの不当間隔平滑化によるスペクトル推定を提案した。そこでは、平滑化の評価

基準としてダイバージェンス、クロスバリデーションなどを採用した。下図は帯域の異なる2つのピークを持つスペクトル推定の結果であり、移動平均に比べ、本方法は急峻なピ



ークによく追従している。②Renyi の 2 次エントロピーが単位時間あたりの 2 次自由度 (スペクトルの等価帯域幅) に当たることを研究代表者は既に示している。この尺度は TF 分布においても決して負にならない時変等価帯域幅として使えることを示し、生体信号の特徴を時間的に追跡することに成功した。③ IPFM 復調法にはまだ決定打がない。本研究では信号の積分関数を考え、その逆関数領域における復調法を提案している。この領域では完全な復調条件を示すことができ、その条件を満たせば、シャノンの標本化定理により復調が可能である。また、従来の方法も含め、多くの復調法を客観的に比較評価できる方法を提案し、現在投稿中である。④ 移動体間の信号の授受は時間-周波数的特徴を捉えることが重要である。本研究ではこのような立場から移動体間の距離推定や話者位置推定に関し、ケプストラム法、位相干渉法、定在波法などを提案した。また、TF 表現の Hyperbolic class との関連したリニアチャープ信号による方法も提案している。この方法は自然界におけるコウモリやいるかななどの Doppler 型エコーロケーションとも関連し興味深い。

## 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 13 件)

- ① 吉田久, 吉川昭, Copula に基づく時間-周波数表現とその応用、数理解析研究所講義録, 1684, 1-12, 2010, 査読無
- ② 英慎平, 中山雅人, 中迫昇, 篠原寿広, 上保徹志, リニアチャープ信号を用いた干渉に基づく音響測距法-移動物体の追跡への試み-, 電子情報通信学会技術報告, EA-2010, 119-124, 2011, 査読無
- ③ K. Kawanishi, N. Nakasako, T. Shinohara and T. Uebo, Distance Estimation Method Measurable from Om Based on Standing Wave Using

Band-limited Sound with Uniform Amplitude and Random Phase, Proc. of 2010 International Symposium on Communications and Information Technologies, 164-169, 2010, 査読有

- ④ M. Nakayama, S. Hanabusa, N. Nakasako and T. Uebo, Robust Acoustic Distance Measurement Method Based on Interference in Noisy Environments, Proc. of 2010 International Symposium on Communications and Information Technologies, 176-181, 2010, 査読有
- ⑤ 中山雅人, 中迫昇, 篠原寿広, 上保徹志, 可聴音の送信波と反射波の位相干渉に基づく話者位置推定、電気学会論文誌 C 部門, 130(11), 1994-2000, 2010, 査読有
- ⑥ H. Yoshida, T. Higuchi, K. Shirasawa and S. Kikkawa, Analysis of Desynchronized Brain Activity in Wakefulness Maintenance State against Sleepiness by Instantaneous Equivalent Bandwidth, Proceedings of the 6th International Workshop on Biosignal Interpretation, 38 388-391, 2009/6, 査読有
- ⑦ 英慎平, 中迫昇, 篠原寿広, 上保徹志, 土田悠太, 可聴音リニアチャープ信号の干渉を利用した距離推定法、電気学会論文誌 C 部門 129(11), 2027-2033, 2009, 査読有
- ⑧ H. Yoshida, I. Fujimoto and S. Kikkawa, "A spectral estimation method by non-equinterval smoothing of log periodogram," Proceedings of SPIE, Vol. 7074, 2008/9, 査読有
- ⑨ H. Yoshida, I. Fujimoto, S. Kikkawa, A spectral estimation method by non-equinterval smoothing of log periodogram, Proceedings of SPIE, 7074, 707411-1, 707411-8, 2008, 査読有
- ⑩ N. Nakasako and T. Uebo, N. Omata, Fundamental consideration on distance estimation using acoustical standing wave, IEICE Trans. Fundamentals, E-91-A, (4), 1218-1221, 2008, 査読有
- ⑪ 上保徹志, 中迫昇, 大亦紀光, 板垣英恵, 帯域雑音信号による複数対象物の距離推定、電気学会論文誌 C 部門 128(7), 1117-1122, 2008, 査読有
- ⑫ H. Yoshida, H. Kuramoto, Y. Sunada and S. Kikkawa, EEG Analysis in Wakefulness Maintenance State against Sleepiness by Instantaneous Equivalent Bandwidths, Proc. 29<sup>th</sup> Ann. Int. Conf. IEEE EMBS, 19-22, 2007, 査

読有

- ⑬ N. Nakasako, H. Yoshida, and N. Yamawaki, EEG analysis based on Independent Component Analysis and positive time-frequency distribution, Memoirs of the School of Biology-Oriented Science and Technology of Kinki University, 19, 22-35, 2007, 査読有

〔学会発表〕(計 14 件)

- ① 中山雅人、太田将史、篠原寿広、中迫昇、上保徹志、2ch 音響測距法と CSP 法を統合した話者位置推定法の検討、日本音響学会研究発表会、2010 年 9 月 15 日、関西大学(吹田市)
- ② 河西慶治、中迫昇、篠原寿広、上保徹、距離 0m から測距可能な位相干渉に基づく 2ch 音響測距法の検討、日本音響学会研究発表会、2010 年 9 月 15 日、関西大学(吹田市)
- ③ 中迫昇、篠原寿広、英慎平、上保徹志、中山雅人、既知信号の減算を利用した位相干渉に基づく音響測距法の検討、日本音響学会研究発表会、2010 年 9 月 15 日、吹田市
- ④ 英慎平、中迫昇、篠原寿広、上保徹志、移動物体に対する時間幅を持つ送信波の位相干渉に基づく音響測距法の基礎的検討、日本音響学会研究発表会、2010 年 9 月 15 日、吹田市
- ⑤ 樋口拓哉、吉田久、田中達郎、小濱剛、眠気に抗した覚醒維持状態の客観的評価とその解析、日本生体医工学会生体医工学シンポジウム、2010 年 9 月 10 日、北海道大学
- ⑥ 藤本勲、吉川昭、吉田久、不等間隔平滑化によるスペクトル推定、平成 21 年電気関係学会関西支部連合大会、2009 年 11 月 7 日、大阪大学(大阪市)
- ⑦ 中迫昇、英慎平、篠原寿広、上保徹志、定在波理論に基づく白色雑音入力下の距離推定(送信音および測定系の周波数-振幅特性の除去による計測回数の低減)、日本音響学会研究発表会、2009 年 9 月 16 日、日本大学工学部(郡山市)
- ⑧ 中迫昇、英慎平、上保徹志、篠原寿広、可聴音の送信波と反射波の位相干渉に基づく距離推定-送信音および測定系の周波数-振幅特性の影響除去の一試み-、電子情報通信学会応用音響研究会、2009 年 9 月 16 日、県立広島大学(広島市)
- ⑨ 藤本勲、吉川昭、吉田久、スプライン補間を用いた対数ペリオドグラムによる不等間隔平滑化によるスペクトル推定、平成 20 年電気関係学会関西支部連合大会、2008 年 11 月 8 日、京都

- ⑩ 吉田久、吉川昭、情報論的ダイバージェンスによる等価帯域幅の提案と生体信号への応用、第 18 回インテリジェント・システムシンポジウム(FAN 2008)、2008 年 10 月 23、24 日、広島
- ⑪ 矢野朋史、白澤香苗、砂田祐輔、倉本晴香、吉田久、吉川昭、眠気に抗した覚醒維持状態における脳波解析---瞬時等価帯域幅による解析---、平成 19 年電気関係学会関西支部連合大会、平成 19 年 11 月 18 日、神戸
- ⑫ 藤本勲、石田一博、吉田久、吉川昭、確率過程における時間一周波数分布の周辺分布推定、平成 19 年電気関係学会関西支部連合大会、平成 19 年 11 月 18 日、神戸
- ⑬ 佐藤雄治、吉田久、吉川昭、Renyi のエントロピーから導かれる Range 尺度及び Peak 尺度の計算コストと分離性能---ICA 簡素化と高速化に向けて---平成 19 年電気関係学会関西支部連合大会、平成 19 年 11 月 18 日、神戸
- ⑭ 塚本祐一、谷紳也、橋爪辰徳、吉田久、吉川昭、IPFM モデルにおける変調信号各種復調法の比較、平成 19 年電気関係学会関西支部連合大会、平成 19 年 11 月 18 日、神戸

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

吉川 昭 (KIKKAWA SHO)  
近畿大学・生物理工学部・研究員  
研究者番号：30075329

### (2) 研究分担者

吉田久 (YOSHIDA HISASHI)  
近畿大学・生物理工学部・准教授  
研究者番号：50278735

中迫 昇 (NAKASAKO NOBORU)  
近畿大学・生物理工学部・教授  
研究者番号：90188920

### (3) 連携研究者

橋本 周司 (HASHIMOTO SHUJI)  
早稲田大学・理工学術院・教授  
研究者番号：60063806