

## 2次元高速フーリエ変換を特徴抽出に用いた 知的高速選別システムの開発

佐藤 公信, 竹田 史章, 東 幸靖, 西蔭 紀洋(高知工科大学 工学部 知能機械システム工学科)

### Development of Recognition System for High Speed Intelligent Sorting System using Two Dimension Fast Fourier Transform for Feature Extraction

Hironobu Satoh, Fumiaki Takeda, Yukiyasu Higashi and Toshihiro Nishikage  
(Department of Intelligent Mechanical systems Engineering, Kochi University of Technology)

キーワード: いりこ, ニューラルネットワーク, 知的高速選別, 2次元FFT

#### 1 はじめに

現在, いりこの選別は市場において手作業によって行われている。しかし, いりこの選別は知識および経験また体力などを要する仕事であり, 高齢化や作業員の不足などの問題が滞積している。そこで著者らは, それらの問題を解決するため手作業により選別している工程を自動化し, この選別作業の省力化および高精度化を目的とし研究開発を行ってきた。これまでに, 提案システムの搬送系としてベルトコンベアユニット6機からなる独立駆動系の検証を行った[1]。

本論文では, ニューラルネットワーク(NN)を用いた知的高速いりこ選別システムの構成を示すとともに, 識別率向上手法について種々の検討を行う。まず, 学習サンプルの増加に伴う識別能力の変化について検証を行う。また, これまでの研究[2]において問題とされていた疑似回転補正に代わり2次元高速フーリエ変換(2DFFT)[3]を特徴抽出に用いたシステムについての提案を行う。さらに, 従来の疑似回転補正を用いた識別能力と2DFFTを用いた識別能力との特徴抽出に関する識別能力の比較実験を行い, 2DFFTの有効性を述べる。

#### 2 方法

本章では, いりこ選別システムの構成を述べる。いりこは自然物であるため, 人工物と比べ形状が不安定である。したがって, 提案システムにおいては, いりこの色合いおよびパターンで選別を行うこととしている。この場合, いりこの形状で撮像状態が異なり, いりこの色合いおよびパターンが, 登録時と識別時である程度の差異が生じることが予想される。ゆえに, 汎化能力にすぐれたNN[4]–[9]を魚種の識別に使用する。また, 撮像部でいりこを数匹にし

か分離できず, それ異なるいりこの種類である場合には, 抽出は不十分になる。しかしながら, 再びいりこを搬送系の最初のベルトコンベアに投入する環流を実施し1匹に分離することにより, 再度識別を実施し選別率を向上させることが期待できる[1]。

#### 2.1 システム構成

提案システムのシステム構成は, 搬送系[1], 撮像部, 選別部からなる。搬送系で分離されたいりこを撮像部でカメラを用いて, 1匹毎に撮像する。撮像した画像よりいりこの画像を切り出す画像抽出処理を行う。抽出されたいりこの画像を用いて, 選別部でNNにより魚種の識別を行い選別する。これらの撮像画像を用いた識別は付属のパーソナルコンピュータ(PC)上で行われる。図1に, 本選別システムを実現するため試作した, いりこ選別システムの実験筐体の概観を示す。



図1: いりこ選別実験筐

## 2.2 画像抽出処理

NNを用いて魚種を判定するためには、個々のいりこを撮影した画像より切り出す、画像抽出処理が必要となる。そこで、本システムでは画像抽出処理に米識別の際に使用していた米選別用抽出アルゴリズム[12]~[14]を応用し個々のいりこの画像抽出処理を行う。処理手順としては、まずカメラで撮像したいりこの画像を、閾値を用いて2値化する。その後、近接したいりこを個々に分離するため8-近傍収縮処理[2]を行い、処理した画像を用いてラベリング処理を行う。最後に、求めたラベル領域内の中心位置を求め、その画像よりいりこを1匹ずつ切り出し抽出する。

これまでの研究[13]により、いりこが互いに重なり合っていないければ100%の確率で画像抽出処理が可能であることが確認されている。図2にラベリング処理を行うプログラムのグラフィックユーザインタフェース(GUI)を示す。左のウィンドウはカメラより取り込まれた画像を描写し、右のウィンドウは監視範囲およびラベリング処理結果を描写する。このGUIにより、ラベリング処理が正しく行われていることが確認できる。

## 2.3 選別部

選別部は、抽出されたいりこ画像より特徴抽出を行う疑似回転補正アルゴリズムと魚種の識別を行うNNにより構成される。魚種の識別には、非線形識別が可能な最小構成である3層構造の階層型NNを使用する。柔軟な識別が可能なNNを使用することにより自然物であるいりこを正確に選別することが可能と考えられる。

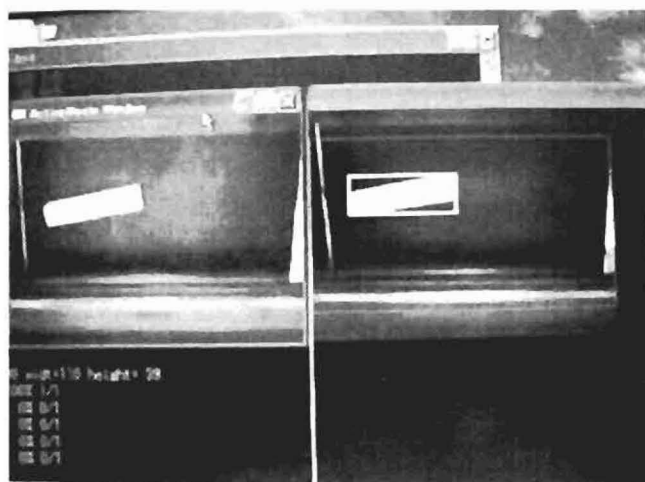


図2：いりこ画像抽出例

選別手順として、まず画像抽出部で抽出したいりこ画像より特徴抽出を行う。特徴抽出には、疑似回転補正アルゴリズム(2次元画像情報を、閾値を用いて1次元ストリング情報に変換する手法[11])を用いる。そして、そのデータを元にスラブ値(NNに入力する値)を作成し、スラブ値をNNに入力する。最後に、NNからの出力値をチェックし魚種を識別し、いりこの魚種による選別を行う。

3章においては、特徴抽出手法である疑似回転補正アルゴリズムに代わり、2DFFTを用いた特徴抽出手法の検討を行い識別率の向上を目指す。

## 2.4 選別試料

選別対象は図3に示す5種類のいりこ(いわし、うるめ、かたくち、きびなご、ほおたれ)である。また、再現性を維持し大きさによるテグロ分類を検証する実験を行うために木材チップを提案する。木材チップには模様が無い。表1に、木材チップ長辺の長さを基準としての3カテゴリ分類表を示す。また、木材チップのサイズがそれぞれのカテゴリに対して $\pm 2\text{mm}$ とする。図4に各カテゴリのサンプルを示す。

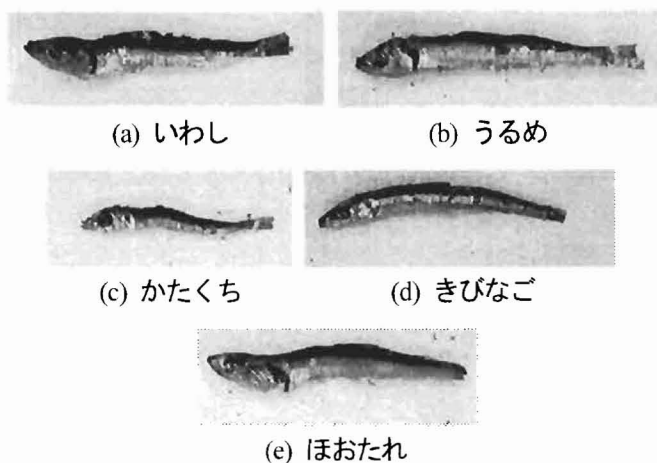


図3：選別対象

表1：木材チップカテゴリ分類

カテゴリ	長さ
S	45mm
M	50mm
L	60mm

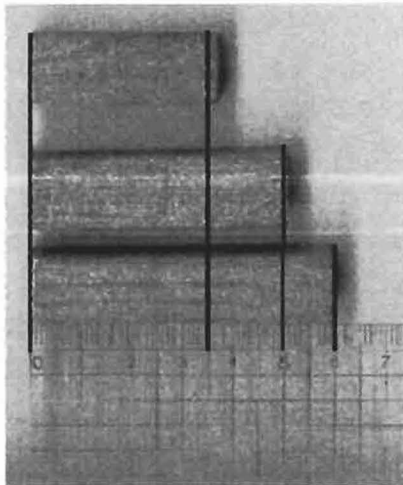


図4：木材チップ

### 3 識別能力実験

本章では、システムの現状の選別能力を確認するためNNによる選別能力確認実験をおこなう。また、2DFFTを用いた特徴抽出についての検討を行う。

#### 3.1 NNによる識別能力の検討

いりこの回転を考慮せず選別システムの識別率を検証する。したがって、いりこの頭を左に向ける形で一方向に重ねずに並べた画像を識別の対象とし、実験を実施する。

実験手順として、まず5種類全てのいりこに対してそれぞれ10匹を学習し、未学習の50匹の画像を用いて識別を行う。次に、学習サンプルを20匹および30匹に増やし、学習サンプルの増加に伴い、識別率の変化を検証する。式(1)に識別率の計算式を示す。

$$\text{識別率} = \frac{\text{評価母数} - \text{識別失敗数}}{\text{評価母数}} \times 100 \quad (1)$$

実験結果として、表2に示すように学習サンプル数が10匹の場合の識別率の平均は38.8%、20匹の場合の平均は36.8%、30匹の場合の平均は46.8%である。きびなごとほおたれ以外は学習サンプル数が10匹の場合と比較して、それぞれ識別成功率の向上が見られた。

実験結果より、学習サンプルが増加するに伴い、平均識別率が上昇することがわかった。一方、学習サンプルが20匹の場合での識別率と10匹の場合とを比較すると、きびなごとほおたれの識別率が大きく低下している。そこで、ほおたれ2匹のスラブ値を比較したところ、図5に示すようなばらつきが見られた。原因としては、提案手法に問題が

表2：実験結果

いりこの種類	学習サンプル毎の識別率 (識別成功数/評価母数)			
	10匹	20匹	30匹	
いわし	28% (14/50)	30% (15/50)	48% (24/50)	↗
うるめ	24% (12/50)	50% (25/50)	44% (22/50)	↗
かたくち	20% (10/50)	22% (11/50)	32% (16/50)	↗
きびなご	58% (29/50)	38% (19/50)	62% (31/50)	↘
ほおたれ	64% (32/50)	44% (22/50)	48% (24/50)	↘
平均	38.8%	36.8%	46.8%	↗

矢印は前回の識別率の向上を示す。

↗：向上    ↘：低下

あり、個々のいりこの特徴量が2次元から1次元に変換する場合の閾値の問題で十分に抽出できていないと考えられる。これにより、本システムによる識別において、その有用性が十分でないと推測される。提案システムでは、当初特徴抽出に回転の影響を避けるため、擬似回転補正を採用している。この擬似回転補正は、米監査システムにおいて米の回転に対して有効な特徴抽出として用いられていたアルゴリズムである[11]–[13]。

本システムにおいては、いりこに適した大きさの入力画像に変更し、抽出部のアルゴリズムとしている。図6に擬似回転補正のアルゴリズムを示す。入力画像をブロック化して、加算平均を行う。次に、図6に示す番号順に走査する(矢印の方向)。加算平均値が閾値を超える場合でのブロックの値(加算平均値)を1次元の配列に左詰めで格納し、NNに入力するスラブ値とする。図7に示すように、米の

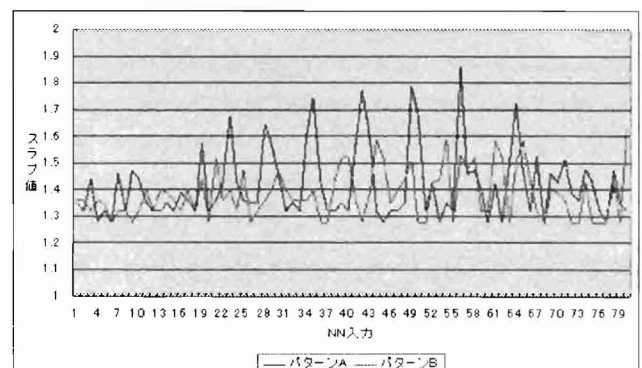
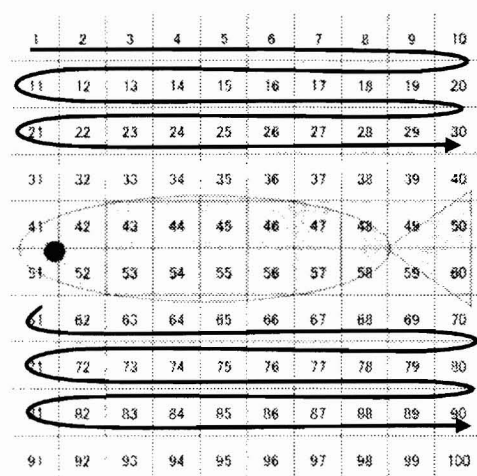


図5：ほおたれスラブ値



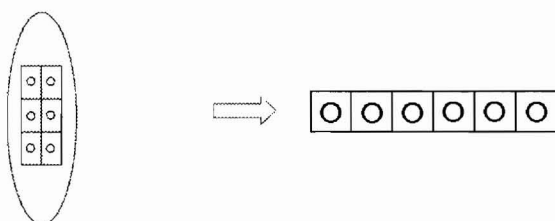
画素値が閾値を超えた場合、左詰にする

33	34	35	36	40	...	...	...	0	0	0	0	0
----	----	----	----	----	-----	-----	-----	---	---	---	---	---

図6：疑似回転補正アルゴリズム



(a) 米水平疑似回転補正



(b) 米垂直疑似回転補正

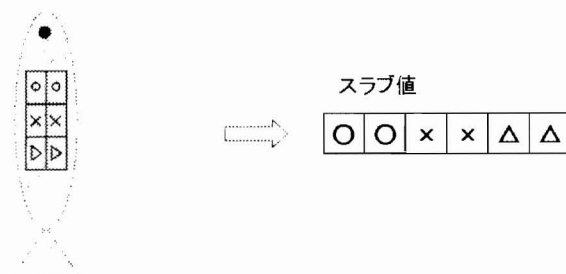
図7：米選別における疑似回転補正

表面には模様が無いため、回転が発生した場合においても正常米の特徴抽出は問題なく、同一スラブ値が得られる。したがって、2次元情報である入力画像を1次元に置き換えることが可能であった。

一方、実験筐体の場合においては、搬送時にいりこが種々の方向に回転する。図8に示すように、いりこには模様があるため、いりこが回転することにより1次元配列に格納される値の並びが大きく異なることとなる。これは、スラブ値が異なることを意味し、異種の魚として選別される可能性が考えられる。それゆえ、疑似回転補正アルゴリズムでは正しく特徴抽出することができず、これ以上の識別能



(a) いりこ水平疑似回転補正



(b) いりこ水平疑似回転補正

図8：いりこ選別における疑似回転補正



(a) エッジ抽出成功例 (b) エッジ抽出失敗例

図9：いりこのエッジ抽出例

力の向上を期待できない。また、図5についての検討として、いりこのエッジ抽出が正しくいりこを特定できず、同種類のいりこにおいてスラブ値が異なる問題点がある。図9にいりこのエッジ抽出の失敗例と成功例を示す。そこで、個々のいりこの特徴量が正しく抽出でき、回転に対しても不変な特徴抽出として2DFFTを検討する。

### 3.2 2DFFTによる特徴抽出

本節では、2DFFTを特徴抽出に導入し検証実験を行う。また、従来の疑似回転補正を特徴抽出に用いた検証実験を行い、選別性能の比較検討を行う。いりこの回転に対して不変な特徴抽出として、2DFFTを検討する。入力画像を周波数領域に変換することにより、いりこの回転に不変な特徴量として算出可能なことを期待する。2DFFTを用いた特徴抽出は、まず、2DFFT入力画像(256×256ピクセル)に対して、従来の疑似回転補正用の閾値を用いて、処理開始前に背景部を黒(0x00)で塗りつぶし2DFFTによる周波数解析処理を行う。

この場合、表3に示すスペックのPCにおいて、256×256ピクセルの画像に対しFFT次数256で2DFFTを施した場合、1220[msec]の処理時間であった。この処理時間では、リアルタイム選別(2秒/匹)には適当でない。そこで、256×

表3：PC スペック

CPU	Celeron 2GHz
Memory	512MB
OS	WindowsXP Home edition SP1

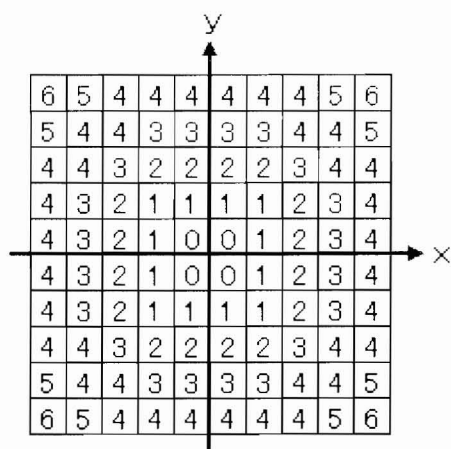


図10：同心円状ブロック化

256 ピクセルの入力画像を 128×128 ピクセルに縮小し、FFT 次数を 128 にすることで時間短縮を図る。入力画像サイズが 128×128 ピクセルで、FFT 次数 128 での処理時間は 320[msec]であった。そこで、FFT 次数 128 で周波数解析を行うこととする。

次に、処理されたデータを NN の入力に適する値に変換するため、いりこ画像を 2DFFT で処理し、その 2 次元データを同心円状にブロック化を行う。図 10 に示す同じ番号のブロックを加算平均し正規化を行い、入力層の各細胞に入力するスラブ値とする。また、2DFFT から得られる成分の有効な領域が 64×64 であるため、スラブ値は 64 個とする。

次に、提案する特徴抽出法を用いた識別能力確認実験を行う。ここでは、擬似回転補正および 2DFFT における回転に対する識別能力の比較を行うことを目的とする。そこで、識別対象としては、木材チップを用いる。図 11 に示すように、各カテゴリのそれぞれ 1 個のサンプルに対して、4 通り（水平方向より 0 度、45 度、90 度、135 度）の静止状態での画像採取を行い学習に用いる。表 4 に各カテゴリより学習に使用していないサンプルを 5 個選択し、1 つのサンプルに対して 10 回の評価を行った結果を示す。各カテゴリの識別率は式(1)で算出する。

誤識別の最大の要因は搬送面に均等に光が当たっていないことに起因すると考えられる。図 12 に撮像部において撮

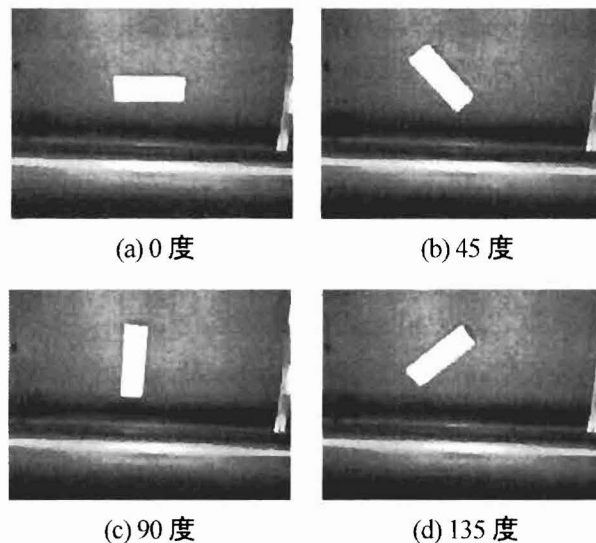


図11：学習サンプル例

表4：提案特徴抽出法における実験結果

カテゴリ	識別率（識別成功数/評価母数）
S	94% (47/50)
M	62% (31/50)
L	86% (43/50)
平均	80.7%

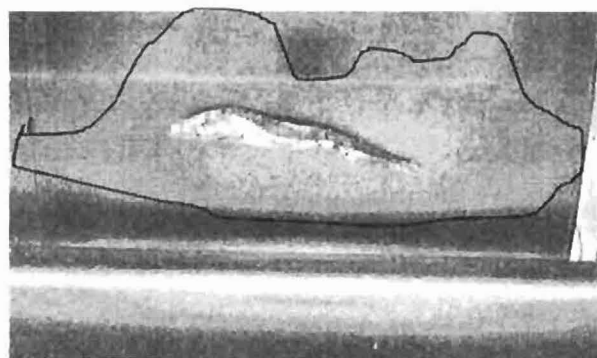


図12：明るさ斑

影された写真を示す。この写真の実線で示した境界線を挟んで明るさが異なることが分かる。

次に、従来の擬似回転補正を特徴抽出として用いた識別システムの識別能力を、2DFFT を導入し行った実験と同じ条件で行う。学習は、各カテゴリに属するサンプル各 5 個を搬送し、各カテゴリごとに 23 個の学習サンプルを用い



表5：疑似回転補正における実験結果

カテゴリ	識別率 (識別成功数/評価母数)
S	82% (41/50)
M	60% (30/50)
L	82% (41/50)
平均	74.7%

表6：変更後PCスペック

CPU	Pentium4 3GHz Hyper-Threading
Memory	1024MB
OS	WindowsXP Home edition SP2

て学習を行った。各カテゴリの識別率は式(1)で算出する。表5に、各カテゴリに属するサンプルより5個を選択し、10回ずつ搬送させた場合の識別結果を示す。

表4および表5に示す識別結果より、2DFFTによる前処理を適応した場合(平均識別率 80.7%)、疑似回転補正による前処理(平均識別率 74.7%)に比べて高い識別能力が得られることが確認できた。これにより、提案する特徴抽出手法を用いたシステムが識別能力が優れていることが確認できた。本研究において、以降は提案する特徴抽出手法を用いることとする。

しかし、表2に示すスペックのPCにおいて2DFFTを導入した場合には、疑似回転補正を特徴抽出に用いた場合より、処理時間が増大(2DFFTの処理時間は320ms)した。この処理速度では、搬送時間に遅延が発生するため、手作業による選別と格差をつけることができない。そこで、遅延無くリアルタイム選別を実現するため変更を行う。表6に示すスペックのPCに変更したところ、2DFFTの処理時間は30ms以下となった。2DFFTを用いた場合においても、CUPスペックを変更することで、リアルタイム処理が可能であると考えられる。

本実験により、新たに提案する2DFFTを特徴抽出に用いたシステムが、識別能力が優れていることが確認できた。本研究において、以降は提案する特徴抽出手法を用いることとする。また、今後は選別対象とされる5種類のいりこを用いて2DFFTを特徴抽出に用いたシステムの有用性を示す必要があると考えられる。

## 5 まとめ

本論文では、高速知的選別システムを提案した。まず学習サンプル数の変化に伴う識別能力の検証を行い、学習サ

ンプルを増やすことによって、識別能力の向上が確認された。さらに識別能力向上のため、疑似回転補正の特徴抽出に関する問題を提起し、性能の検討を行った。これにより、疑似回転補正では、いりこの識別能力の向上が期待できないと結論した。そこで、疑似回転補正に代わり、特徴抽出に2DFFTの導入の検討を行った。2DFFTを採用したシステムの構築を行い、木材チップを対象として選別システムの能力の確認実験を行った。その結果、提案する特徴抽出手法を用いたシステムが識別能力が優れていることが確認できた。今後は、模様を有するいりこに対して選別システムの回転不変性も含めた識別能力の有用性を確認する予定である。

## 参考文献

- [1] 佐藤公信, 竹田史章, 香川真也, “知的高速選別システムの独立駆動系による搬送系の実現”, 高速信号処理応用技術学会論文誌, 2006年6月号掲載予定
- [2] 東幸靖, 香川真也, 猿渡勇, 竹田史章, “ニューラルネットワークを用いたいりこ選別システムの選別部の開発”, 第49回システム制御学会研究発表講演会講演論文集, pp515-516, 2005
- [3] 安居院猛, 長尾智晴, “C言語による画像処理入門”, 昭晃堂, pp21-50, 2000
- [4] 竹田史章, 西蔭紀洋, “紙幣用ニューロテンプレートマッチング識別手法の開発”, 電気学会論文誌C 第121巻 第1号, pp196-205, 2001
- [5] 竹田史章, 西蔭紀洋, “自己学習型ニューロ紙幣識別ボードの開発とその汎用展開”, 電気学会論文誌C 第121巻 第2号, pp357-365, 2001
- [6] 竹田史章, 中原昌樹, “ニューラルネットワーク応用による筋活動電位パターン識別”, 高速信号処理応用技術学会春季研究会講演論文集, pp67-68, 2002
- [7] 竹田史章, 中原昌樹, 中浦一浩, 山本祥弘, “筋活動電位を用いた手首動作のニューロパターン認識システム”, 高速信号処理応用技術学会論文誌(電子技術:日刊工業) 第44巻第11号, pp.17-24, 2002
- [8] Y. Matsumura, Y. Mitsukura, M. Fukumi, N. Akamatsu, F. Takeda, “Recognition of EMG Signal Patterns by Neural Networ”, 7th International Conference on Knowledge-Based Intelligence Information Engineering Systems, pp 623-630, 2003
- [9] H. Satoh and F. Takeda, “Development of a Intelligent input Interface using EMG for MobileTerminal”, International Simulation and Gaming Association, pp.1078-1088, 2003
- [10] 竹田史章, 猿渡勇, “ニューラルネットワークを用いたいりこ選別システムの開発”, 日本ファジィ学会第14回インテリジェント・システム・シンポジウム講演論文集, pp77-79, 2004

- [11] 香川真也, 東幸靖, 猿渡勇, 竹田史章, “いりこ用知的高速選別システムの搬送系の開発”, システム制御情報学会第 49 回研究発表講演会講演論文集, pp529-530, 2005
- [12] 長友克介, 竹田史章, “ニューラルネットワークを用いた落下米監査システムの開発”, 電気学会研究会資料産業計測制御学会研究発表講演会講演論文集, pp53-58, 2003
- [13] 竹田史章, 一柳賀子, “ニューロテンプレートマッチング識別手法を用いた米用色彩選別機の開発”, 高速信号処理応用技術学会 2001 年秋季研究会論文集, pp81-pp86, 2001
- [14] 竹田史章, 一柳賀子, “落下米の監査システムの開発と DSP ボードへの実装の検討”, 計測自動制御学会 SI 部門学術講演会, pp487-488, 2001

#### 著者紹介

佐藤 公信(学生員)



1980. 04. 28 生. 高知工科大学大学院工学基盤専攻博士前期課程(2004)現在, 高知工科大学研究生. 工学修士. 日本ファジィ学会 FAN インテリジェントシンポジウム(ベストプレゼンテーション賞)受賞.

竹田 史章(正員)



1958. 04. 27 生. 徳島大学大学院工学研究科博士後期課程(1994) 豊田中央研究所 (1984) : ロボット制御の研究, グローリー工業株式会社 参事補グループマネージャー(1986) : 貨幣識別の研究・開発. 現在, 高知工科大学知能機械システム工学科教授. 工学博士. 現在, 自己学習型知的貨幣識別手法の研究とその実システムへのインプリメンテーションの研究, 生体情報を用いた個人認証システムの研究とそのプロトタイプの開発, ニューラルネットワークを用いた画像認識による食事摂取状態のレベル分類システムの研究と開発, 紙幣の汚れ・劣化メカニズムの解析とモデリングおよびその判定システム構築の研究に従事. 日本機械学会関西支部賞(研究賞), 計測自動制御学会論文賞, 高度自動化技術振興財団 研究業績表彰(本賞), 新技術開発財団 市村学術賞(功績賞), システム制御情報学会産業技術賞受賞. 日本機械学会, 電気学会, 計測自動制御学会, IEEE, システム制御情報学会, 情報処理学会, 電子情報通信学会等会員.

東 幸靖(学生員)



1983. 05. 11 生. 現在 高知工科大学工学部知能機械システム工学科在学中.

西陰 紀洋(正員)



1969. 01. 02 生. 電気通信大学大学院電気通信学研究科博士前期課程(1994). 現在 高知工科大学総合研究所知的認識システム開発センター助手. 工学修士現在, 紙幣識別に関する研究開発に従事. 電子情報通信学会会員