

紙幣識別の識別式決定に対するエキスパートシステム†

竹 田 史 章^{††} 大 松 繁^{††} 井 上 卓^{†††}

近年、エキスパートシステムの実システムへの応用に関して、多数の報告がなされている。とくに、実用レベルでのエキスパートシステムには、対象の特徴を活用した知識表現と推論システムが不可欠である。本論文では、紙幣識別の分離関数の一種である識別式決定にエキスパートシステムを応用するものである。一般に、紙幣識別機開発の分野では、識別式群の決定作業は設計者の経験とノウハウに大きく依存している。それゆえ、紙幣識別の識別式群決定において、作業の標準化と短縮を図ることが強く要求されている。本論文では、設計者を代行あるいは支援する識別処理手続きに最も適した固有の設計型エキスパートシステムの構築法を提案する。まず、現在の製品に使用されている紙幣識別用の識別式群決定法について述べ、その問題点を指摘する。つぎに、ここで提案するエキスパートシステムの基本思想とその目的を示す。つづいて、紙幣識別分野に限定した独自のエキスパートシステムの構成法を提案する。とくに、本システムの各基本モジュールが、紙幣識別を前提として拡張性、使いやすさ、処理に対する設計者の介入と確認を容易にする独自の機構を有していることを述べる。最後に、従来手法である設計者のノウハウと経験による手作業で決定する識別式群と本システムが出力する識別式群とを性能評価指標である鑑別率と信頼性およびその作成時間の点から考察し、本システムの有効性を検証する。

1. はじめに

近年、エキスパートシステムの実システムへの応用に関して多数の報告がなされている。とくに、設計型エキスパートシステムの構築では対象によってルール、フレーム、意味ネットワーク、それらのハイブリッドなどにみられるように対象システムの特徴を活用した知識表現と推論システムが必要である^{1),2)}。本論文では、紙幣識別用のエキスパートシステムの構築法を提案し、実際の紙幣識別へ応用し、その有効性を検討する。従来から、紙幣識別問題に対しては、通常の画像処理あるいは多変量解析手法を用いて紙幣データから代表値を求め、基準パターンの代表値と照合・比較する手法が提案されている^{3),4)}。

他方、紙幣識別に関する他のアプローチとして、著者らは紙幣識別システムへのニューラルネットワークをすでに応用し、その性能における有効性を検証した^{5),6)}。しかしながら、現在のところ紙幣識別機に利用可能なソフトウェアおよびハードウェアをそのまま用いて、ニューラルネットワークによる紙幣識別を行うには至っていない。一般に、紙幣識別機において市場ニーズとしては一秒間に10枚以上の紙幣を識別す

る能力、さらに、製品としてはハードウェアの低コスト化と装置のコンパクト性が要求されている。このため製品化においてはアルゴリズムそのものを演算量の少ない単純なものにすることが必要である。このような理由で画像処理あるいは多変量解析を用いたパターンマッチング処理を採用した紙幣識別機はほとんど製品化されていなかった。それゆえ、紙幣識別機開発の分野では以前から独自の識別式が考案され、この方式による製品化が行われてきた。この識別式は基本的に加算、減算、比較の各演算子を用いて紙幣の特徴を表現したものである^{3),4)}。しかしながら、識別式を構成するパラメータを、設計者は金種の違い、データ採取時の紙幣の回転、位置ずれ、起伏によるデータ変動を想定して決定している。この方法ではパラメータの組合せ数が非常に多く、得られた組合せが最適であるか否かの保証はなされていない。したがって、設計目標に到達したか否かという指標に基づいてのみ開発を行っているのが現状である。さらに、設計者のノウハウおよび経験である紙幣識別に関する知識は個々の単発的な処理手続きであり、パラメータ決定を行う際には一貫した処理フローを作成するのが困難である。これらの観点からエキスパートシステムはつぎのような特徴を有し、紙幣識別のための識別式のパラメータ決定作業を自動化する上で有効な手法と思われる。

(1) 経験則を知識データとして表現し、管理できる^{1),7)}。

(2) 識別式のパラメータ決定の処理フローを推論過程で動的に決定できる^{1),7)}。

† An Expert System for Determining the Discriminative Functions for Bill Money Recognition by FUMIAKI TAKEDA, SIGERU OMATU (Department of Information Science and Intelligent Systems, Faculty of Engineering, University of Tokushima) and TAKASHI INOUE (Development Section1, Development Department, GLORY Ltd.).

†† 徳島大学工学部知能情報工学科

††† グローリー工業(株)開発部開発一課

(3) 識別式のパラメータ決定に至る個々のデータの処理手続きをイベントという単位で取り扱うことができ、設計者とのマンマシンインタフェース（以後 MMI と略記する）をこのイベントに連携させて動作させることができる⁶⁾。

本論文では、紙幣識別に設計型エキスパートシステムを応用し、紙幣識別に用いる識別式群を相反する制約条件（目標）のもとで決定するルールベースのプロダクションシステムを構築する^{1), 2), 7)}。とくに、本システムの設計では設計者固有の知識（ノウハウ、経験）を整理・体系化し、従来では設計者が手作業で行っていた識別式群決定作業を非線形最適化問題として定式化する。まず、従来の識別式決定法について述べ、その問題点を指摘する。つぎに、本論文で提案するエキスパートシステムの基本設計思想と目的について述べる。さらに、識別用設計型エキスパートシステムの新しい構成を提案する。最後に、本システムを用いて決定した識別式群を従来の手法で決定した識別式群と比較検討し、ここで提案したシステムの有効性をシミュレーションにより定量的に検証する。

2. 従来の識別式決定手法

従来の設計者による紙幣識別のための識別式群を決定する作業は以下のようにになっている⁶⁾。まず、紙幣を識別するためのポイント（識別点）群を各種センサの紙幣時系列データから抽出する。抽出された識別点群から特徴抽出関数を決定し、この関数により得られる紙幣代表値を用いて識別式を決定する。これらの識別式群を用いて紙幣識別が実行される。

図1はセンサデータ波形と、識別点、それに識別式の関係を示しており、横軸は紙幣搬送方向、縦軸はセンサ値である。ここで、センサデータ波形とは、紙幣の特定部位をセンサで一定間隔にサンプルした時系列データのことである。また、図1の識別点探索は、識別紙幣である目的モードと被識別紙幣である排除モードの識別点群（A, B）と特徴量抽出関数によるそれぞれの紙幣代表値（A 値, B 値）を表している。この場合、目的モードのセンサ値の平均値を用いると A 値-B 値として160が得られる。一方、排除モードからは同様に、A 値-B 値として-50 が得られる。したがって、しきい値を

仮に100に設定すると、目的モードの紙幣と排除モードの紙幣が分離できる。なお、ハッチング部分は紙幣の搬送などによって生ずるセンサデータ波形のばらつきを表している。

2.1 特徴抽出関数

ここではまず、前述した紙幣代表値を得るための特徴抽出関数について述べる。特徴抽出関数は、以下の(1)式で与えられ、紙幣のセンシング時系列データの二次元形状特徴である凸凹（山谷）パターンのうち、分離能力に応じて抽出した識別点群より構成される関数である。これらの識別点群は、識別紙幣と被識別紙幣の間で決定され、また、識別点の位置と数は識別紙幣と被識別紙幣との間で固有のものである。

$$f_i = f_i(a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{im}, b_{i1}, b_{i2}, \dots, b_{in}),$$

$$a_{ij} \in A, b_{ik} \in B \quad (1)$$

$$i=1, 2, \dots, l, j=1, 2, \dots, m, k=1, 2, \dots, n$$

ここに、 l : 特徴量抽出関数の個数, m, n : 識別点

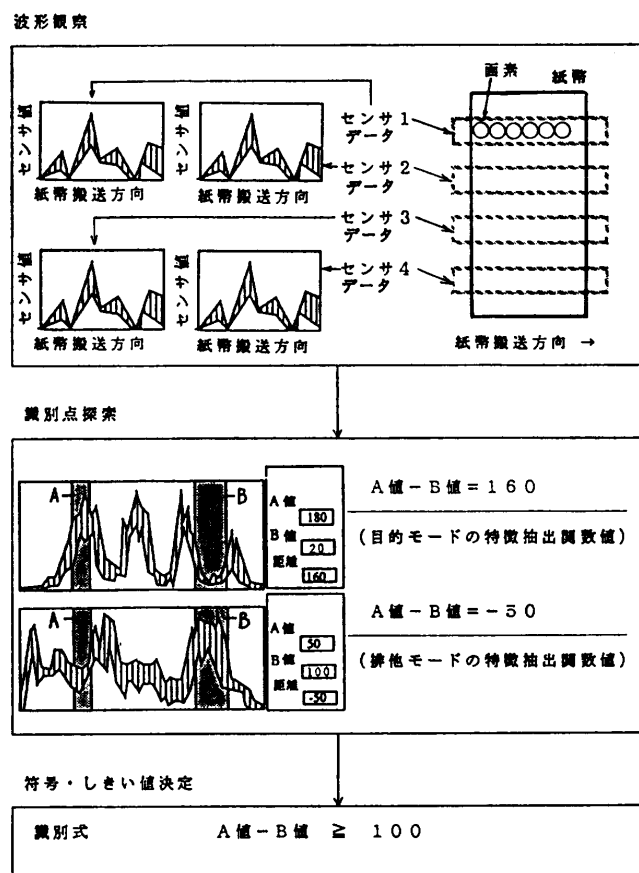


図1 センサデータ利用による識別式決定
Fig. 1 Decision of discrimination function by use of sensing data.

数で i に依存, A, B : 識別点群, a_{ij}, b_{ik} : 識別点
以下では, この特徴抽出関数を用いた紙幣識別のた
めの識別式について述べる.

2.2 識別式

識別式は, 以下の(2)式で与えられ, 特徴抽出関数
にしきい値を付加した不等式である.

$$f_i = f_i(a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{im}, b_{i1}, b_{i2}, \dots, b_{in}) \\ \geq \theta_i, a_{ij} \in A, b_{ik} \in B \quad (2) \\ i=1, 2, \dots, l, j=1, 2, \dots, m, k=1, 2, \dots, n$$

ここに, θ_i はしきい値を示し, それ以外の変数は(1)
式と同じものを意味している. 紙幣の時系列データを
このような不等式で評価することにより, 識別紙幣と
被識別紙幣を分離することができる.

なお, (2)式の不等式は, 特徴抽出関数に従属する
ものであり, 識別紙幣と被識別紙幣との間で固有のも
のであることに注意されたい.

2.3 識別式群決定の評価

識別式群の性能評価に対しては, 以下に定義する鑑
別率と信頼性の二つの評価指標が従来から経験的に用
いられている.

2.3.1 鑑別率

これは, 目的紙幣的中率を示す指標で次式で定義
される⁹⁾.

$$E1 = \frac{(\text{目的の金種として識別された枚数})}{(\text{全紙幣評価枚数})} \times 100 \quad (3)$$

2.3.2 信頼性

これは, 目的外紙幣の排除率を示す指標で次
式で定義される⁹⁾.

$$E2 = \int_{-\infty}^{\theta} \frac{1}{(2\pi)^{1/2}\sigma} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right) dx \quad (4)$$

ここに, x : 排除紙幣の紙幣代表値, σ : 排
除紙幣の紙幣代表値の標準偏差, μ : 排除
紙幣の紙幣代表値の平均値, θ : 目的紙幣
と排除紙幣の紙幣代表値間のしきい値

従来の設計者による作業は, 識別紙幣と被識
別紙幣間で分離するのに必要な識別式のパラ
メータ (a_{ij}, b_{ik}, θ_i) と識別式の数 (l) を評価指
標 (鑑別率 $E1$, 信頼性 $E2$) に応じて決定す
るものである. しかしながら, 評価指標の値を
用いていかに識別式のパラメータを調整するか
は, 設計者のノウハウと経験に依存しており,
作業の体系化と標準化が不可能であった. ま

た, 従来の識別式決定においては, 数か月に及ぶ作業
工数を要していた. 図2に従来の設計者による識別式
群決定作業のブロック図を示す. 知識1, 2, 3は,
センサ情報を観察するノウハウ, 識別式のパラメータ
である識別点探索のノウハウ, しきい値と不等号探索
のノウハウをそれぞれ示し, 作業過程で設計者によっ
て随意使用される.

3. 設計の基本思想と目的

待来, 設計者が行っていた識別式群の決定作業にお
いては, データの観察, 識別点の抽出, しきい値の設
定などが試行錯誤的に行われている. そのために識別
式探索において, 設計者により決定された識別式を用
いて紙幣データを評価した場合, 識別式の評価指標
(設計目標)である鑑別率と信頼性の値が得られる.
これらの評価値に基づいて, さらに優れた識別式を得
るための探索をいかに行うかは, 個々の設計者が有す
るノウハウおよび経験に大きく依存している.

本論文では, 識別式決定において作業の標準化と短
縮を図るため, 設計者を代行あるいは支援する識別処
理手続きに最も適した固有の設計型エキスパートシス
テムを構築することを目的としている. ここで提案す
るシステムの設計は, 従来の設計者の手作業による作
業フローを踏襲し, 設計者の確認・介入を許容する協
調推論システムとする. したがって, 本システムで

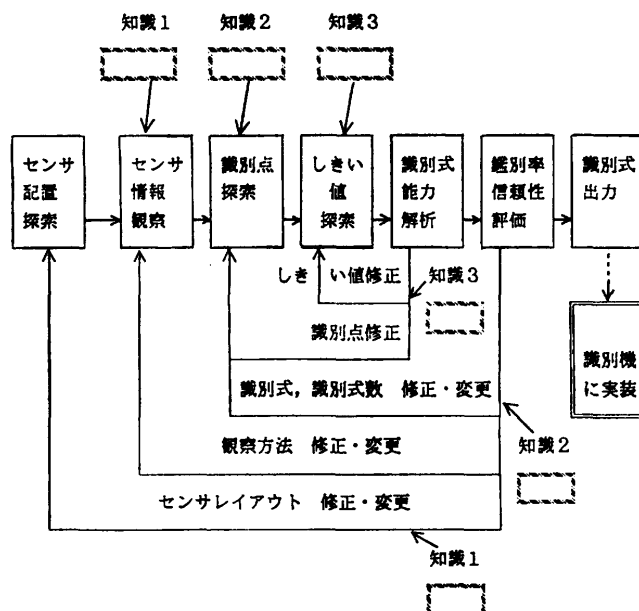


図2 識別式群決定ブロック図

Fig. 2 Block diagram of decision procedure of discrimina-
tion functions.

は、データ観察から識別式評価までをエキスパートシステムで構築する。とくに、処理過程における確認と介入において、以下の視点からシステムを構成する。

- (1) 識別式のパラメータ決定の必要情報の提示。
- (2) 最適パラメータ決定へのガイドラインの設定とその経緯の提示。
- (3) システムの可調整。

まず、従来のエキスパートシステム構築ツールを用いて、エキスパートシステムを構築する際の問題点をシステムへの知識移植を行う場合を例にとり以下に述べる。

一般に、プリミティブなエキスパートシステム構築ツールとしてはLISPとPROLOGがあり、また、これらの機能を高めたオブジェクト指向型のOPS5あるいはOPS83などが考えられる。これらのAI言語でシステムを構築する場合、知識の細かい記述が可能である。しかし、知識をそのシステムへ移植する場合、それぞれの言語のフォーマットで知識を記述しなければならない。したがって、エンドユーザである設計者はこれらの言語に十分精通することが要求される。一方、SUPER-BRAINS, Eshell, EXCORE, ES/KERNELなどの汎用シェルでシステムを構築する場合、これらの汎用シェルは、知識表現法としてフレーム、ルール、意味ネットワーク、さらに一部には、ディビジョンテーブルを有している。これらの汎用シェルの知識表現法を用いた場合、そのインタフェースは、上述のAI言語のフォーマットよりは設計者にとってシステムへの知識の移植の容易さの点で優れている。ところで、紙幣識別の知識表現法としてはルールが代表的なものとして考えられる。しかし、上述の汎用シェルはあくまで汎用性に比重をおいている。それゆえ、紙幣識別に固有の処理手続きをルールとして

表現し、その知識をシステムに移植するには限界がある。また、汎用シェルは推論実行中における知識のデバッグにおいても十分な機能を有してはいない。そこで本論文では、紙幣識別分野に限定し、AI言語のような細かい知識表現と汎用シェルのようなシステムへの知識移植を容易にするMMIが充実したドメインシェルを構築する。

4. システムの動作原理

4.1 紙幣識別に関する知識とその管理

本システムでは、(2)式で得られる識別式

$$f_i = f_i(a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{im}, b_{i1}, b_{i2}, \dots, b_{in}) \geq \theta_i$$

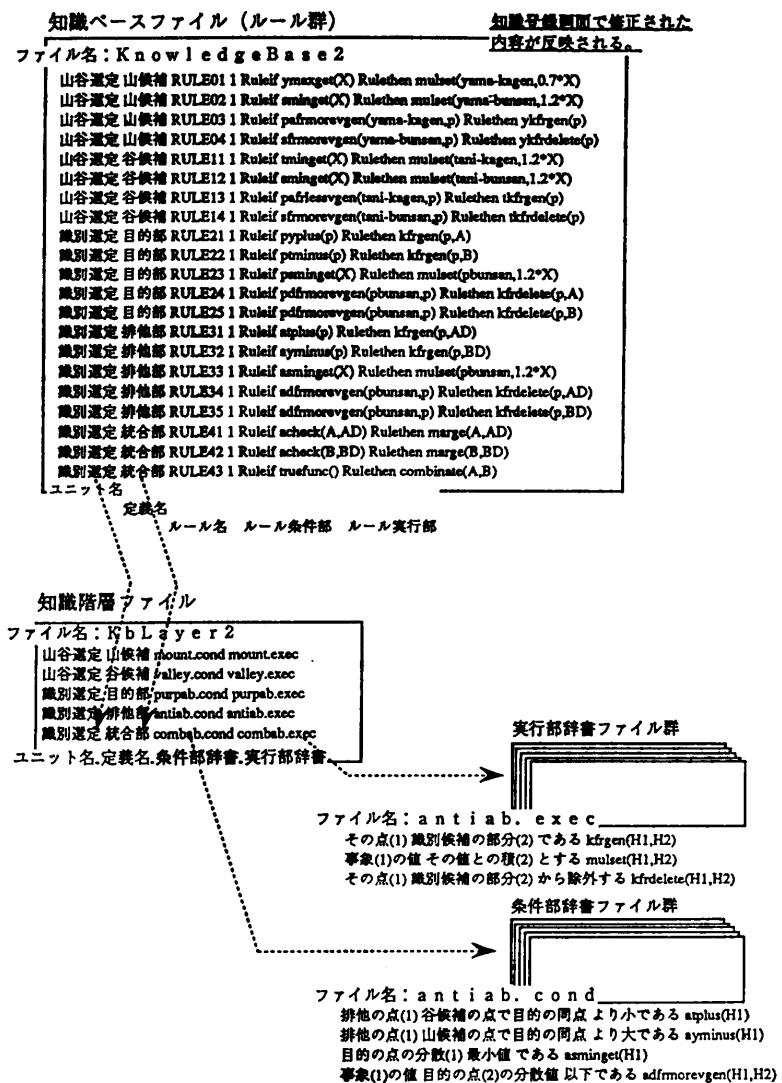


図 3 知識管理ファイルの関係

Fig. 3 Relation of knowledge management files.

の a_{ij} , b_{ik} , および θ_i , i, m, n をシステムの設計パラメータとしている。ただし、システム管理者が識別式の関数形 f_i をシステムに与えるように設計されている。本論文で適用する識別式の関数形は、従来の手作業による手法と同じ関数形 f_i を採用し、 a_{ij} の総和から b_{ik} の総和を差し引くものとする。したがって、(2)式から実際の識別式は以下になる。

$$\sum_{j=1}^m a_{ij} - \sum_{k=1}^n b_{ik} \geq \theta_i \quad (5)$$

提案するシステムでは、上述の識別式のパラメータの探索を行うために種々の知識が必要である。すなわち、一つは紙幣時系列データの形状の特徴である山部(凸部)と谷部(凹部)を選定する山谷選定知識である。他の一つはこれらの山部または谷部が識別点になり得るかを判定し、種々の識別点の組合せを決定する識別選定知識である。山谷選定知識は山候補選定知識と谷候補選定知識よりなる。また、識別選定知識は目的とする紙幣側から識別点を選定する目的部選定知識と排除される紙幣側から識別点を選定する排他部選定知識よりなる。それぞれの知識は、ルールとして表現され、そのルールは一つ以上の条件部と一つの実行部で構成される。さらに、知識はシステムによって知識ベースファイルと知識階層ファイルおよび辞書ファイルの三つのファイルによって管理される。知識ベースファイルでは、知識がルールとして記述され、そのフォーマットは(ユニット名/定義名/ルール名/ルール条件部/ルール実行部)となっている。ただし、ルールの条件部および実行部のどちらも文書ではなく、システムが直接操作できる関数名であり、設計者はこの部分を意識する必要はない。

また、知識階層ファイルでは知識をユニット名/定義名/条件部辞書名/実行部辞書名の構造によりディレクトリ構造として管理している。辞書ファイルにはルールの条件部と実行部の命題文書とこれに対応する関数名が記述されて

いる。設計者は知識編集メニューによりルールの命題文書を編集する。システム側では命題に対応する関数が連動し、ルールを文書レベルで編集することができる。以上の具体例を図3に示す。図中の矢印が各知識管理ファイルの関係を示している。知識編集の場合、設計者はこれらのファイルを直接操作するのではなく、知識編集メニューでマウスとキーボードから間接的に各ファイルの内容を更新する。図4はこれを具体的に示したものであり、知識階層に表示されたルール(図中の右上側)を指定した場合の条件部と実行部を表示している(図中の左下側)。たとえば、Rule1の条件部の命題を指定した場合、その命題が主語/目的語/述語に分解され、それに対応した関数名も表示される(図中の右下側)。この図の右下側の命題編集メニューにおいて矢印をマウスで指示することにより、辞書に登録された単語が規定された組合せにより表示される。意図する命題が決定すれば、設計者は条件部あるいは実行部にこの命題を組み込み、日本語文書レベルで容易に知識を編集することが可能となる。ま

図4 知識編集画面
Fig. 4 Window for editing knowledge.

た、新たな単語を必要とする場合は、システム管理者が辞書を含めた知識管理ファイルにその単語と組合せ情報およびデータ処理関数を登録する。

4.2 紙幣識別用知識の選定

本システムではシステムの推論効率を高めるために、識別式のパラメータ探索処理に関する知識作成においては、その知識がどのような分類に属する知識であるかを可能なかぎり考慮しなければならない。つまり、前述したようにパラメータ探索処理の経験とノウハウを表す知識は if-then 形式の文書（ルール）として作成することができる。作成された知識を既存の知識群のどの分類に挿入あるいは追加するかに関しては、メタ知識のような上位の知識を用いしないで、設計者が直接決定する構造となっている。もちろん、分類内においては、処理のシーケンスはシステムにより動的に決定されるため、設計者は知識の発火シーケンスを考慮する必要はない。また、推論状態表示メニューにより推論実行中に知識全体がディレトリ構造で表示され、さらに、動的にルールの発火が表示される。この機能により新しい知識の分類に関する挿入あるいは追加位置の良否が判定でき、そのときのデータ処理状態もウィンドウにより確認することができる。したがって、設計者はこれらのシステムの知識獲得に関するデバッグ機能を使用することによって、知識の選定と推論の効率化を行うことが可能となっている。

4.3 設計パラメータ候補の絞り込み

本システムは識別式のパラメータ群の候補を設計目標である鑑別率と信頼性への達成率に従い上位から順序付けを行う。ただし、目

標への達成率は（個々の目標に対する識別式の実績）/（目標値）×100 で算出している。さらに、この目標への達成率に重み付けを行い、鑑別率優先あるいは信頼

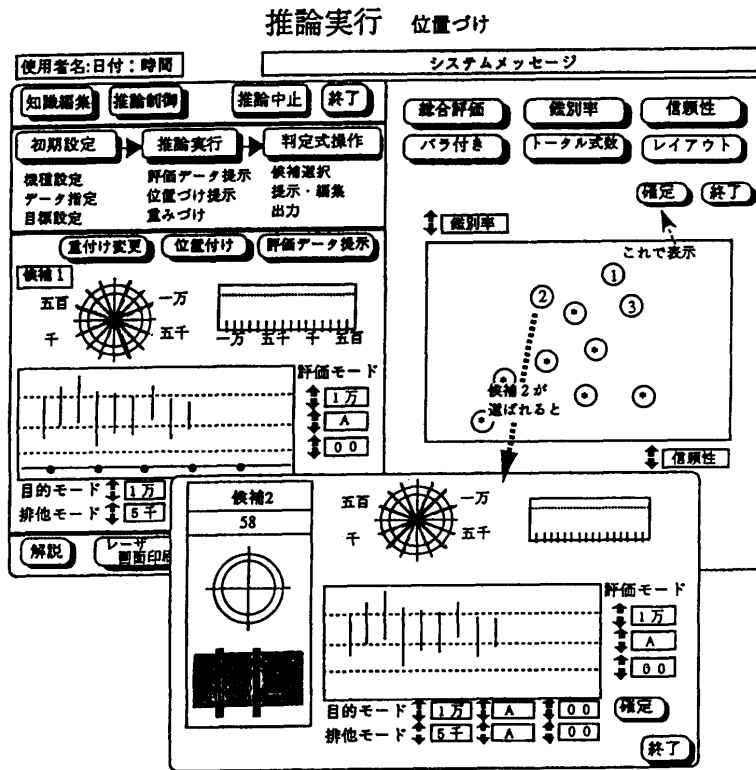


図 5 候補選定画面

Fig. 5 Window for selecting parameter candidate.

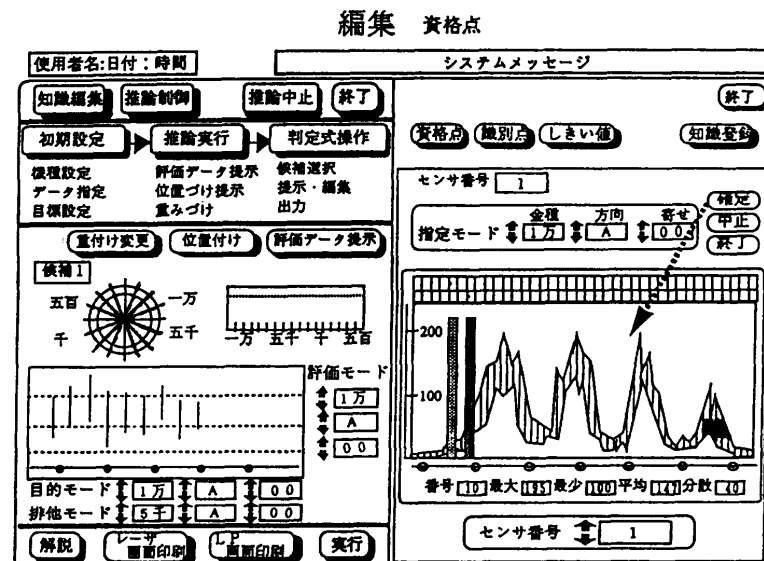


図 6 資格点変更画面

Fig. 6 Window for changing qualified points.

性優先の順序付けにより、候補の絞り込みを行うことが可能となっている。システムはこれらの順序付けられた候補を管理し、設計者の意図により特定の目標間で位置付けを行い、設計者の確認を得て、一組の識別式群を出力する。以上を図5に示す。この図は複数の候補を鑑別率と信頼性で位置付けし、候補2の識別性能を確認している状況を示している。ただし、ここで図中の目的モードおよび排除モードはそれぞれ識別紙幣と被識別紙幣を示している。また、評価モードはシステムで評価される紙幣データの種類の意味している。

4.4 システムに対する設計者の介入

設計者が介入する場面は二つあり、一つは推論実行中の動的場面であり、一つは推論終了後の静的場面である。動的場面では、ルールの各命題に対応した関数を用いて処理されたデータの処理結果が表示され、システムは必要に応じて設計者の確認を待つ。また、推論実行中に複数の候補から決定される識別式の性能が目標に達しない場合、システムは識別式の候補のパラメータ変更を設計者に求める。とくに、これらの候補のパラメータの変更においてシステムは、専用のウィンドウにより紙幣時系列データや中間情報をグラフと数値で表示する。設計者はマウスとキーボードから容易にパラメータ変更を行うことができ、また、即時に変更結果を確認することができる。これらの設計者の変更データに基づいてシステムは推論を継続する。図6は前述の動的場面においてシステムが選定した谷部（図中の方形部分）を第1センサから得られる時系列データに対して表示している。設計者は、谷部として適当でないと判断すればマウスで直接谷部の位置を変更することができる。ただし、図中で指定モードとは表示された時系列データの種類（金種、搬送方向など）を表している。

また、静的場面では、設計者は推論終了後に複数の識別式候補を直接指定し、その識別能力を確認することができる。動的場面と同様に指定した識別式のパラメータを直接変更し、即時に変更後の識別式の能力を

確認することができる。図7は決定された識別式のしきい値を目的モードである1万円のデータと排除モードである5千円のデータを用いて調整する状況を示している。図の左側のヒストグラムが5千円を示し、右側のものが1万円を示す。さらに、中央の実線がしきい値を示している。ただし、ここで式番号とは識別式の番号を示している。また、図中のメッシュは紙幣を

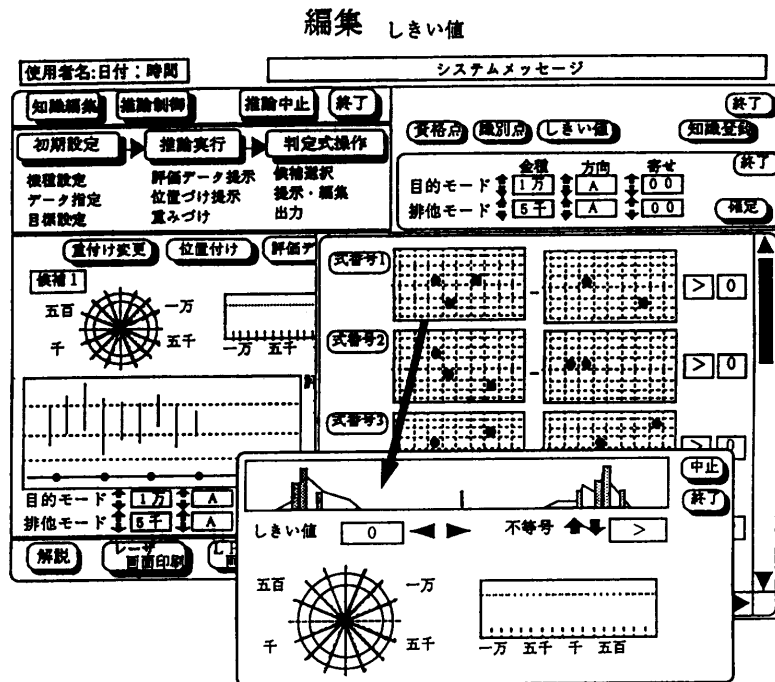


図7 しきい値変更画面

Fig. 7 Window for changing threshold values.

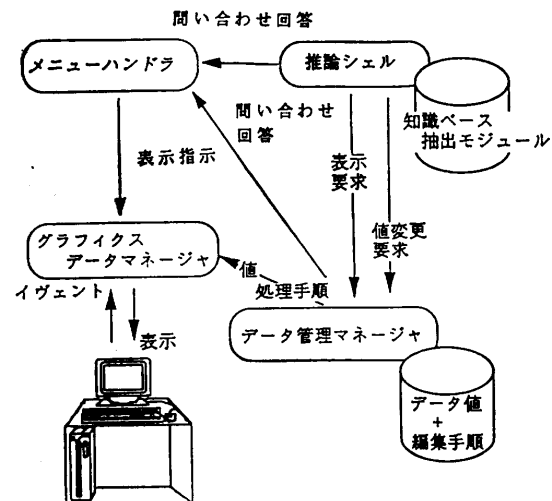


図8 全体的なシステム構成

Fig. 8 Total system construction.

示し、左側のメッシュは前述の(5)式の識別点 a_{ij} を、右側のメッシュは b_{ij} をそれぞれ示している。以上の工夫点をシステムで実現するための各基本モジュールの機能の概要を以下で述べる。

5. システムの構成

提案するシステムは、通常のエキスパートシステムと同様な基本構成からなっている^{2),8)}。その主な構成要素は、データ管理マネージャ(DCM)、グラフィックスデータマネージャ(GRM)、知識ベース実行マネージャ(KBM)という三つの基本モジュールとそれらのMMIのエントリ部となるメニューハンドラ(MH)である。図8に全体的なシステム構成を示し、各基本モジュールとMHの関係を示す。また、図9にシステムの実行手順と画面構成を示す。さらに、画面の具体例として本システムの“初期設定”画面を図10に示す。ここで設計者は、推論や知識の編集の対象となる紙幣識別機の機種とセンサ配置を設定する。目的とするエキスパートシステムにおいては、紙幣識別に関して特有な知識表現ならびにシステムへの知識移植法、さらに、設計者とのMMIの設計法などの種々の工夫を必要とする。

以下では、紙幣識別を意識したドメインシェルを構築するための個々のモジュールについて述べる。

5.1 データ管理マネージャ(DCM)

紙幣データは、紙幣一枚につき数キロバイトから数十キロバイトの容量を有している。したがって、大量の紙幣データを扱う場合、システムのアクセスを迅速か

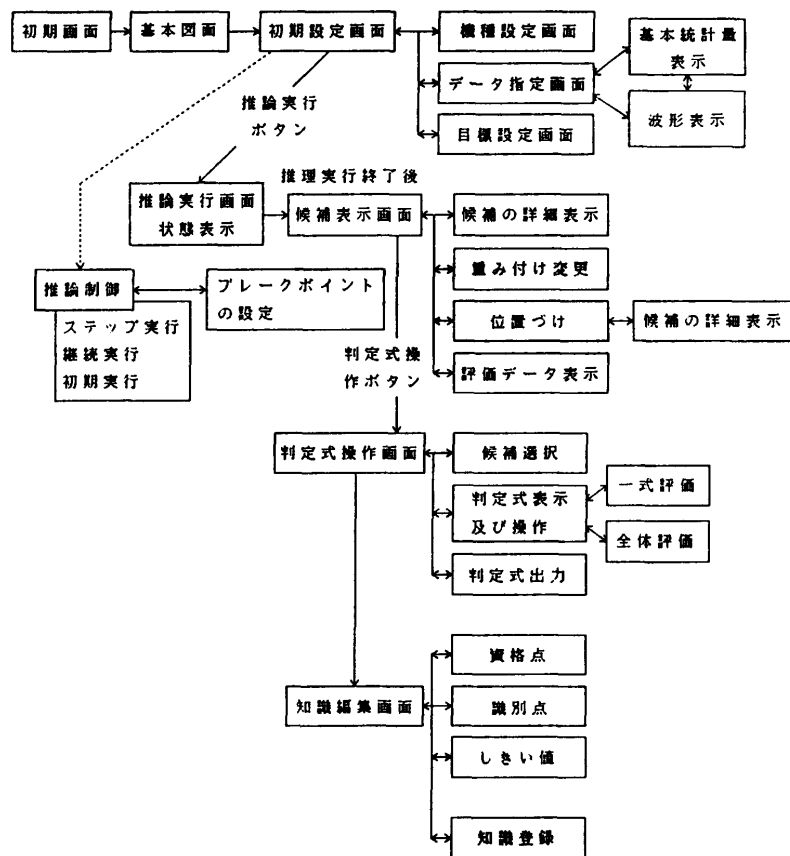


図9 システムの実行手順と画面構成

Fig. 9 System execution procedure and window construction.

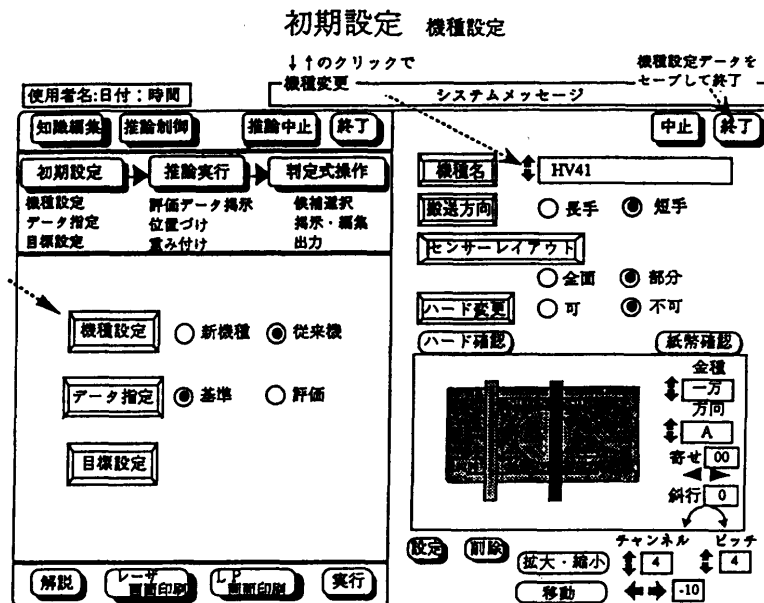


図10 初期設定画面

Fig. 10 Window for setting initial values.

つ容易にする必要がある。そこで、紙幣データをその実情報とそれを管理する管理情報とに分け、リレーショナルデータベースを導入し、紙幣のデータ構造を階層構造とする。また、システムは目的モード、排除モード、サンプル、レイアウトごとに識別点を保有する必要がある。本システムではこれらのプロセス情報のデータ構造も階層構造としている。

5.2 グラフィックスデータマネージャ (GRM)

本システムはブラックボックスとして扱われるのではなく、あくまで設計者の介入および確認を許容し、最終判定を設計者にゆだねるシステムとして構築されている。したがって、識別式群決定プロセスでは設計者との対話を重視した強力な MMI が与えられている。とくに、MMI は処理フロー情報を絶えず設計者に与える静的メニュー画面と設計者の意図に随時呼応して発生・動作する動的メニュー画面から構成されている。前者はタイリングメニューで、後者はポップアップメニューで実現されている。これらのメニュー画面は、識別式群決定のノウハウの一部つまり決定処理シーケンスそのものを具体化したものである。ただし、データ処理の手続き自体は関数処理であるが、メニュー画面の生成・消滅は処理結果と設計者の意図に依存させて柔軟性をもたせてある。

5.3 知識ベース実行マネージャ (KBM)

識別式群決定に至る推論のフローを識別用知識で詳細に制御するために、識別式群決定の知識をルールとして表現する。設計型エキスパートシステムとして候補となる推論方式には、前向き推論および前向きと後ろ向きのハイブリッド推論方式がある⁷⁾。ハイブリッド推論方式を採用した場合、知識の前後関係をあまり把握せず、単発的なデータ処理の手続きのみを意識して作成した知識でもシステムは解を得ることが可能である。しかしながら、その解は目標に到達できない識別式のパラメータ候補ばかりとなる可能性がある。これを避けるためにここでは単純な前向き推論を採用する。それゆえ、ルール作成において、知識は処理結果に対し必要かつ十分なものでなければならない。そこで、本論文では、日本語文書による知識獲得を可能にするために識別用のテンプレート機能を有する知識エディタの開発を行う。つまり、前述したように紙幣識別に関する知識はルールとして表現されるが、このルールは条件部と実行部より構成されている。条件部は一つ以上の条件命題よりなり、実行部は一つの実行命題よりなっている。それぞれの命題は、日本語文書

で表現され、そのフォーマットは主語/目的語/述語となっている。システムは知識としてこの文書を取り込むのではなく、命題文書に1対1に対応しているデータ処理関数を取り込んでいる。それゆえ、命題文書は、関数のラベルとして活用される。したがって、設計者は知識をシステムに移植する際、上述の関数を直接扱うのではなく、それに付随する命題文書を扱うことになる。このように、本システムでは命題単位の編集が関数単位の編集になり、これにより知識の編集を行うことができる。とくに、この命題文書の主語/目的語/述語は辞書ファイルに登録され、これらの単語の組合せも知識ベースファイルに登録されている。設計者は知識編集メニューにおいて、マウスとキーボードから辞書ファイルに存在する許容可能な組合せの単語により、命題文書を編集することが可能となる。つぎに、ルールの発火プロセスは、以下に示す条件部処理と実行部処理からなっている。

(1) 条件部処理 本処理は、条件部に含まれる複数条件をすべてマッチングさせた結果と各条件間の複合命題演算子をテンポラリデータとして残す。この処理は、条件部に含まれるすべての条件を探索するまで継続される。処理内容は、条件部に付加された関数と引き数リストから決定される。

(2) 実行部処理 本処理は、テンポラリデータを調査し、条件部がすべて成立すれば実行部を実行する。処理内容は、実行部に付加された関数と引き数リストから決定される。

5.4 メニューハンドラ (MH)

本モジュールは、設計者とシステムの MMI を実現し、同時にシステムの状態監視を行っている。また、このモジュールは、基本操作時（システムの起動、推論の中断、ルールの編集、推論終了など）におけるコマンド操作をプルダウンメニュー²⁾により提供し、GRM を起動する。本モジュールによるコマンド要求は、状態に応じてそれに対応する実行モジュールに引き継がれる。

5.5 システム環境

本システムでは、カーネル部である KBM は COMMON-LISP 言語で記述され、他の実行処理モジュールはC言語で記述されている。また、MMI は、Xウィンドウシステムを用いて構築されている。本論文で構成したシステム規模は、ルール数 30、プログラムサイズは約2万ステップである。システム本体は、UNIX ワークステーション上で動作し、紙幣データ

は UNIX ミニコンピュータにて管理されている。本システムは、ETHERNET を介してミニコンピュータの紙幣データをアクセス可能である。

6. 実験結果と考察

6.1 推論結果

図 11 は本システムの推論結果画面を示している。本システムは決定された識別式群の上位 3 候補の目標(鑑別率, 信頼性) 達成率をレーダチャートによって表示する。レーダチャートは中心から半径方向に外向かうほど達成率が良いことを示している。ここでは二次目標である許容できるデータのばらつきと計算時間を考慮して達成率を表示している。また、達成率の最も良い候補 1 の鑑別率, 信頼性の数値を図中の上側に同時に表示する。実験では、上位 3 候補とも同じとなり、目標に到達していることが観察される。

6.2 評価指標による考察

本システムを用いて入力紙幣を 3 金種 (1 万円, 5 千円, 千円) とし、それぞれ 400 枚を与え、識別式群を出力させた。出力した識別式群と従来の手作業で決定した識別式群とを別の紙幣 3 金種 (1 万円, 5 千円, 千円) 各 800 枚で評価した。評価指標は、鑑別率 E1, 信頼性 E2 を用いた。この評価結果により、手作業で決定した識別式群の鑑別率は 1 万円, 5 千円, 千円に対し、それぞれ, 100%, 100%, 99.9% であった。一方、本システムで決定した識別式群の鑑別率は 1 万円, 5 千円, 千円に対し、それぞれ, 99.6%, 100%, 99.9% でほとんど同等であった。

また、図 12 に信頼性の比較を示す。図の横軸の誤鑑パターンとは、たとえば (万→五千) は 1 万円を 5 千円に誤識別することを意味している。実験より、(万→5 千), (5 千→万), (千→万), (千→5 千) に誤識別する場合の信頼性は手作業で決定した識別式群とシステムとでは、ほぼ同等であった。しかしながら、(万→千) に誤識別する場合の信頼性は、手作業で決定した識別式群のほうがシステムで決定した識別式群より優れていた。また、(5 千→千) に誤識別する場合の信頼性は、逆にシステムで決定した識別式群のほうが優れていた。このことは手作業で

決定した識別式群において、千円に関する固有のノウハウが含まれていることに起因している。したがって、本論文で提案したシステムの知識データにこれらのノウハウを追加することによって、識別能力をさらに向上させることができると予想される。

なお、本システムを用いて識別式群を出力するのに設計者が介入せずに動作した場合、4.5 時間を要した。設計者による従来の手作業では、6 か月から 7 か月を要していることを考慮すると本システムの有効性が検証された。

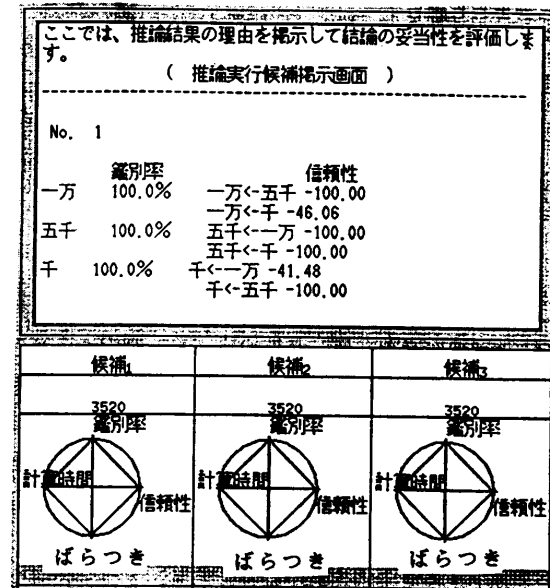


図 11 推論結果画面

Fig. 11 Inference result.

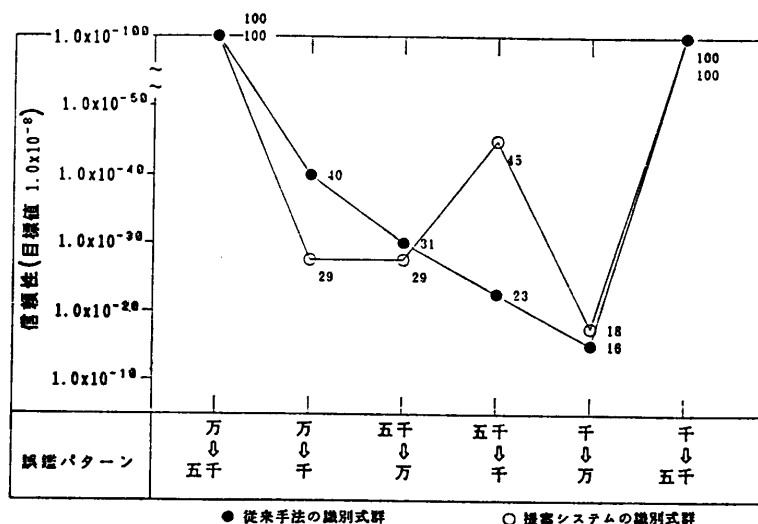


図 12 信頼性の比較

Fig. 12 Comparison of reliability.

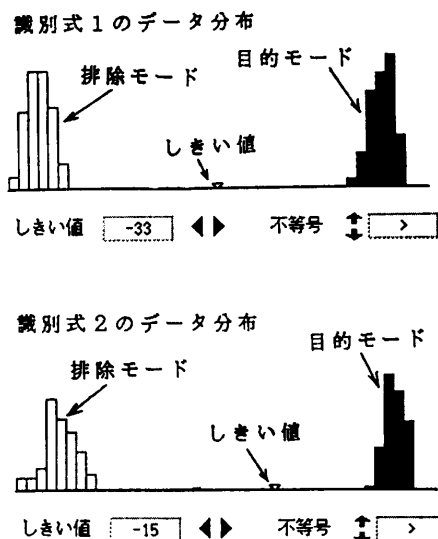


図 13 目的モードと排除モードのヒストグラム
Fig. 13 Histogram between purpose mode and anti mode.

6.3 特徴量抽出関数の分離能力による考察

特徴量抽出関数を用いた目的モードと排除モードの実験による紙幣のヒストグラムの例（1万円と5千円の違い）を図 13 に示す。紙幣一枚分のデータが特徴量抽出関数により、ヒストグラムの度数 1 になる。上記の場合と同様に、他のいずれのモードにおいてもデータ分布はあまりクロスしておらず、システムによって選定された識別式群のしきい値は、すべて標準偏差の 6 倍以上に設定可能であった。設計者が設計した従来のしきい値は、標準偏差の 3 倍から 8 倍と偏った識別式となっていた。したがって、本システムで開発した識別式群は、従来手法で開発した識別式群よりもしきい値のばらつきが小さく、優れた識別点が得られていることが分かる。

7. おわりに

本論文では、設計者のノウハウと経験に基づいた識別式群を作成するために識別用設計型エキスパートシステムを構築した。このシステムを用いることにより、設計者がルーチンワークを経て作成したこれまでの識別式群と同等の性能を有する識別式群を自動的に得ることが可能となった。また、作成時間においては、従来月単位であったものを時間単位に短縮することができた。さらに、識別式自体は従来の手法で開発したものよりもしきい値のばらつきが小さく、優れた識別点が得られた。現在、ルールは 30 個であり、一

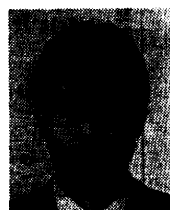
連の推論プロセスにおいてすべて発火している。ここで使用したルールは、知識獲得段階で識別式作成に至るまでのデータの観察方法、データのばらつきなどを考慮したものであった。しかしながら、本ルール以外にも局所的な最適ルールが存在することもすでに実験において判明しており、現在これらの局所的ルールをシステムに移植中である。さらに、本システムは識別機の各種センサレイアウト（全面スキャン、部分スキャン、紙幣長手搬送、紙幣短手搬送）に即時に対応でき、これらの機種への展開は現在試行中である。

参考文献

- 1) 大須賀節雄：知識ベース入門，オーム社（1986）。
- 2) ICOT-JIPDEC AI センター：知的情報処理システムに関する調査研究報告書（全 5 分冊），63-A 001～63-A 005（1989）。
- 3) 奥野忠一，久米 均，吉沢 正，芳賀敏郎：多変量解析法，日科技連（1984）。
- 4) 長尾 真：パターン情報処理，電子情報学会，コロナ社（1986）。
- 5) Fukumi, M., Omatu, S., Takeda, F. and Kosaka, T.: Rotation-Invariant Neural Pattern Recognition System with Application to Coin Recognition, *IEEE Trans. Neural Networks*, Vol. 3, No. 2, pp. 272-279 (1992)。
- 6) 竹田史章，大松 繁，井上 卓，尾波幸三，小西健一：ニューラルネットワークを用いた高速搬送紙幣の識別，電気学会論文誌 C 分冊，Vol. 112, pp. 249-258 (1991)。
- 7) 田中幸吉：知識工学，朝倉書店（1989）。
- 8) 増位庄一：エキスパートシステム技術の応用に関する新しい動向，電気学会論文誌 C 分冊，Vol. 110, No. 9, pp. 450-454 (1990)。
- 9) 志村利雄，安岡善則，鈴木七緒：確率と統計演習，共立出版（1979）。

（平成 3 年 12 月 18 日受付）

（平成 4 年 6 月 3 日採録）



竹田 史章

昭和 33 年 4 月 27 日生。59 年 3 月名古屋工業大学大学院工学研究科修士課程修了。59 年 4 月豊田中央研究所入社。61 年 9 月グローリー工業（株）入社。紙幣識別に関する研究開発に従事。平成 3 年 4 月より徳島大学大学院工学研究科博士課程に在学。貨幣識別へのニューラルネットワーク，エキスパートシステムの応用について研究。システム制御情報学会，電気学会各会員。



大松 繁 (正会員)

昭和21年12月16日生。49年3月
大阪府立大学大学院工学研究科博士
課程修了。工学博士。同年徳島大学
工学部情報工学科助手。63年6月知
能情報工学科教授。ニューラルネッ
トワークおよび分布系のシステム制御の研究に従事。
平成3年電気学会論文賞受賞。共著: Distributed
Parameter Systems: Theory and Applications (Ox-
ford University Press). IEEE, 計測自動制御学会,
システム制御情報学会, 電気学会各会員。



井上 卓

昭和28年2月15日生。52年3月
信州大学大学院繊維学研究科修了。
52年(株)大気社入社。技術研究所動
務。熱・流体の数値解析, 制御の研
究に従事。62年1月グローリー工業
(株)入社。紙幣識別に関する研究開発に従事。

複写をされる方に

本誌(書)に掲載された著作物は、政令が指定した図書館で行うコピーサービスや、教育機関で教授者が講義に利用する複写をする場合等、著作権法で認められた例外を除き、著作権者に無断で複写すると違法になります。そこで、本著作物を合法的に複写するには、著作権者から複写に関する権利の委託を受けている次の団体と、複写をする人またはその人が所属する企業・団体等との間で、包括的な許諾契約を結ぶようにしてください。

学協会著作権協議会内日本複写権センター支部
〒107 東京都港区赤坂 9-6-42-704
Phone 03 (3475) 4621・5618
Fax 03 (3403) 1738

Notice about photocopying

In the U. S. A., authorization to photocopy the copyrighted publication or parts thereof for internal or personal use, or the internal or personal use of specific clients, is granted by [copyright owner's name], provided that designated fees are paid directly to Copyright Clearance Center. For these organizations that have been granted a photocopy license by CCC, a separate system of payment has been arranged.

Copyright Clearance Center, Inc.
27 Congress St.
Salem, MA 01944
Phone (508) 744-3350
Fax (508) 741-2318

論文誌編集委員会

委員長	村岡 洋一				
副委員長	土居 範久				
委員	有川 節夫	石畑 清	伊藤 潔		
	岩間 一雄	魚田 勝臣	浮田 輝彦		
	大岩 元	大田 友一	勝野 裕文		
	菅 隆志	小池 誠彦	島崎 眞昭		
	白井 良明	白鳥 則郎	杉原 正顕		
	高橋 延匡	田中 譲	徳田 雄洋		
	富田 眞治	永田 守男	日高 達		
	益田 隆司	三浦 孝夫	三井 斌友		
	毛利 友治	山下 正秀	吉原 郁夫		