

還流型 ATM 向け海外紙幣汎用識別方式

永吉洋登^{†1} 平松義崇^{†1} 影広達彦^{†1} 長屋裕士^{†2} 酒匂裕^{†1}

還流型 ATM は、利用者が入金した紙幣を識別し、問題のない紙幣については出金用として再利用する。その結果、紙幣の補充頻度を減少することができ、利便性、コストおよびセキュリティの観点から改善が見込まれる。しかし、その実現のためには、高精度な紙幣識別機能が求められる。本報告では、紙幣識別に求められる機能のうち、パターン認識が利用されている部分について解説する。すなわち、紙幣の種類を同定する金種判定、紙幣の真贋を見極める真偽判定、不適切紙幣を他の利用者に出金しないための汚損判定、疑惑紙幣の使用者ログを後からトレースするための紙幣追跡である。これらの手法は、極力人手を介さないパラメータ設定を可能としており、従来数ヶ月かかっていた新規の国・地域の紙幣に対応する紙幣識別の設計を 1/10、新規の偽造紙幣に対する対策時間を 72 時間以内という短時間化に成功した。

Generalized Recognition of World-wide Banknote for Cash-Recycling ATM

Hiroto NAGAYOSHI^{†1} Yoshitaka HIRAMATSU^{†1} Tatsuhiko KAGEHIRO^{†1}
Yuji NAGAYA^{†2} Hiroshi SAKO^{†1}

Generalized recognition of world-wide banknotes for cash-recycling ATMs (Automated Teller Machines) is presented. A cash-recycling ATM accepts banknotes that are deposited by a user and reuses those for dispense. Thereby, cash-recycling is able to reduce a frequency of operations that is filling banknotes to it. That is a merit in terms of both cost and safety. However, the problem is that cash-recycling ATM needs accurate banknote recognition. In this paper, functions that are used in banknote recognition and are related to pattern recognition are discussed. That are, denomination classification, authenticity validation, banknote trace, and fitness validation to prevent spoiled banknote to be withdrawn to another user, and banknote trace to enable to identify a person who deposited a counterfeit banknote afterward. Since these functions are automated in their parameter setting, duration to produce a banknote recognition for new a new country or an area was reduced by 1/10, and duration to enable the banknote recognition that can recognize a new type of counterfeit to within 72 hours.

1. はじめに

本報告では、還流型 ATM(Automated Teller Machine)向けの紙幣識別方式について述べる。本方式は、世界各国・地域の紙幣に対し、汎用的にかつ迅速に対応可能である点の特徴である。

還流型 ATM は、利用者が入金した紙幣を識別し、問題のない紙幣については出金用として利用する ATM のことを言う。その結果、紙幣の補充頻度を減少することができるため、利便性、コスト、セキュリティの点において優れている。日本では、現金による取引が一般的であること、銀行がはやくから ATM の普及に努めたことから、早くから還流型 ATM の製品開発が進み、普及が進んだ[1]。我々は 2000 年頃から、還流型 ATM の強みを武器とし、その海外展開を積極的に推進した。このとき、技術的な課題として挙げてきたのが、次の 2 点であった。

- 1) 迅速かつ手間をかけずに、新しい種類の紙幣に対応できること
- 2) その地域独自の法・基準を満たしていること

1)の課題、新しい紙幣への対応の迅速化の課題については、二通りの状況が考えられる。第一に、新たな国・地域に ATM を対応させる状況、第二に、新たな金種の紙幣が発行された状況である。いずれの場合においても、まずサンプルとなる紙幣を収集し、それらをもとに紙幣識別を設計する必要がある。我々は、紙幣識別に統計的手法を導入することで、紙幣サンプルさえ与えれば、自動的に新たな紙幣に対応できるように紙幣識別のパラメータ設定を行う技術を開発し、その課題に対応した。

2)の課題、その地域独自の基準への対応としては、ユーロ圏の法令 Article6 を挙げることができる。ユーロ圏では、入金可能な ATM に対して、偽造紙幣や汚損紙幣への対応を法令 Article6 にて厳密に定めている。特に偽造紙幣に対しては、紙幣を真正紙幣、紙幣以外、疑惑紙幣、偽造紙幣と分類することを要求している。疑惑紙幣とは、偽造の疑いのある紙幣という意味である。

さらに、疑惑紙幣と偽造紙幣に対しては、中央銀行へいったん送ることを義務付けている。中央銀行ではそれらの紙幣を精査し、その結果、偽造紙幣と確定されたものについては、その紙幣の使用者を明らかにすることを求めている。紙幣の出所を追跡することから、この機能は「紙幣追跡」と呼ばれている。これら Article6 で定められた機能に

^{†1}(株)日立製作所 ^{†2}日立オムロンターミナルソリューションズ
Hitachi Ltd. Hitachi-Omron Terminal Solutions Corp.

対して、我々はそれぞれ対応する機能を開発した。また、それらの機能についても、統計的手法を適用し、1)の課題に対応させた。

本報告では、紙幣識別に求められる機能のうち、画像認識が利用されている部分について解説する。すなわち、紙幣の種類を同定する金種判定、紙幣の真偽を見極める真偽判定、疑惑紙幣の使用者ログを後からトレースするための紙幣追跡、汚損のある紙幣を他の利用者に不出金しないための汚損判定である。

2. 紙幣取扱いの流れ

図1は、還流型ATMに用いられる紙幣識別モジュールおよび紙幣の取り扱いの様子を示す。以降、特に注釈のない場合、ATMは還流型ATMを指す。図1(a)は、紙幣の入出金を受け持つ紙幣取り扱いモジュールであり、ATMの内部に格納されている。図1(b)は、入金時の様子を示しており、まず、ATMの利用者が紙幣を入出金口に投入すると、まず、紙幣の計数処理が開始される。これは、いずれの金種が何枚投入されたかを明確にするための処理である。ここで金種とは、千円、一万円といった紙幣の種類を指す。

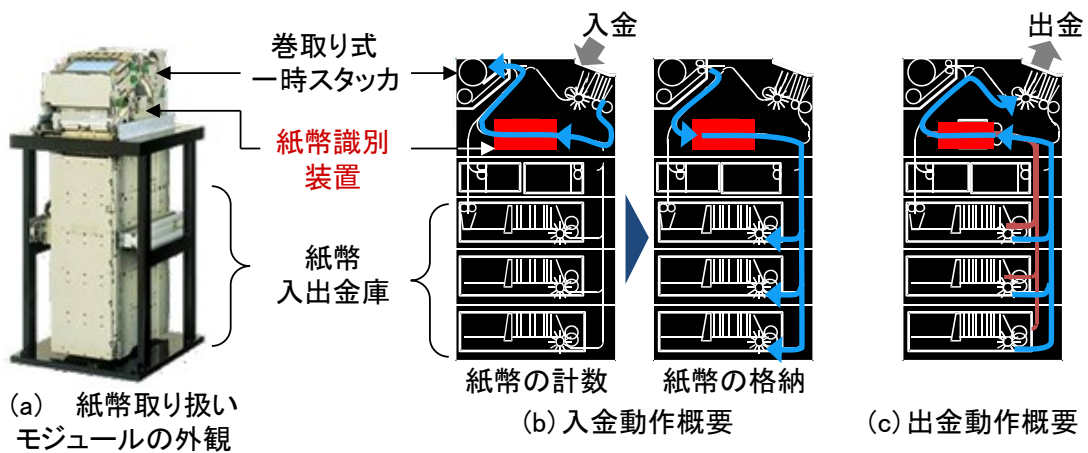


図1 紙幣識別モジュールと入金/出金動作

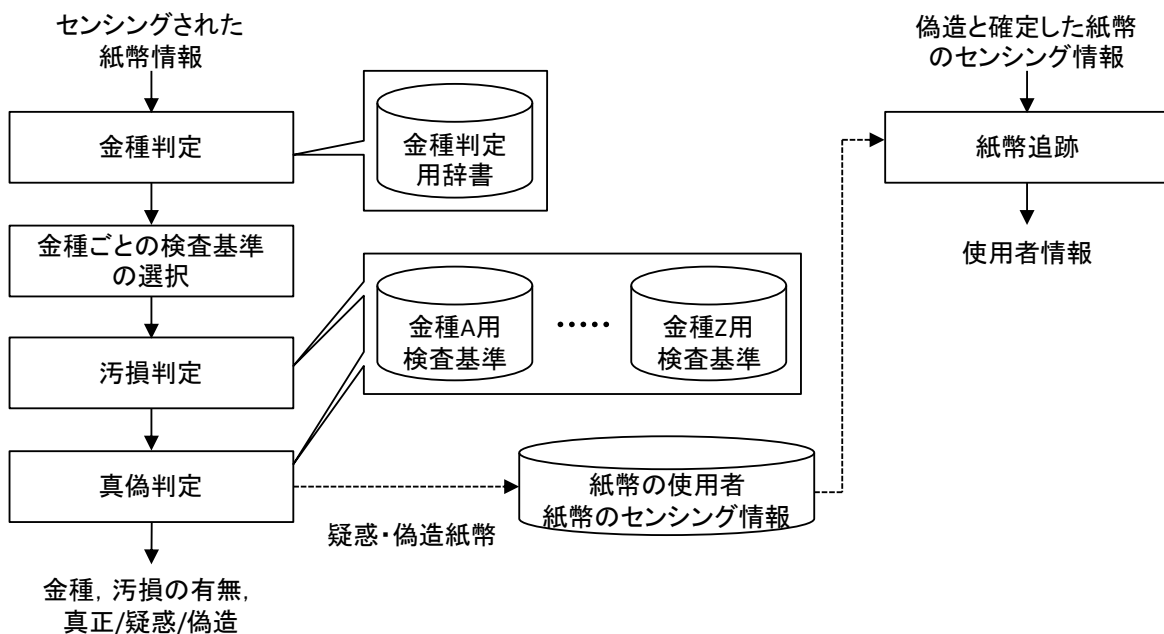


図2 紙幣識別の流れ

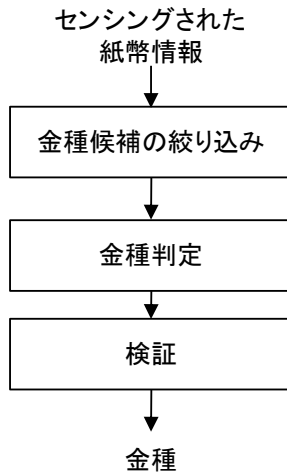


図4 金種判定の流れ



図5 汚損の例

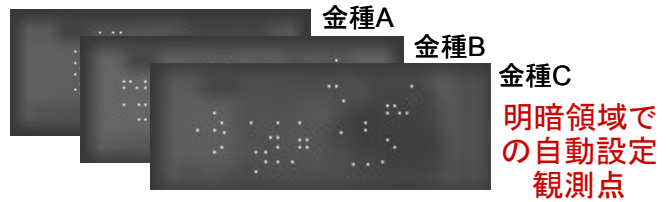


図3 汚損判定の検査箇所例

金種が判定できなかった紙幣および真正紙幣と判定できなかった紙幣は入金口に戻され、問題のない紙幣は、巻き取り式一時スタッカに巻き取られる。金種が判定できなかった紙幣は、例えば、ATMが対応していない国・地域の紙幣や、ただの白紙といった紙幣以外の紙片である。真正紙幣と判定できなかった紙幣は、いわゆる偽造紙幣である。

利用者の操作によって取引が進行すると、巻き取り式一時スタッカに巻きとられた紙幣は、再度紙幣識別装置を通過し、金庫へ格納される。このときの動作を、紙幣の格納と呼んでいる。このときの識別で、問題があるとされた紙幣は還流機能のない金庫に格納され、問題のない紙幣は、還流機能のある金庫に、金種毎に格納される。ここで、問題のある紙幣とは、おもに、汚損度合の強い紙幣である。

3. 紙幣識別

3.1 紙幣識別の機能

紙幣識別のフローを図2に示す。最初に行われる金種判定は、紙幣の金額のほかに、場合によっては新券/旧券の違いも判定する。続いて、判定結果をもとに、金種に応じた検査基準が読み出される。この検査基準は、真正紙幣の特徴ベクトルの確率分布として表現されている。それを利用して、汚損判定、真偽判定が実行される。

また、ユーロ圏で導入された法令 Article6 に対応するため、真偽判定で疑惑紙幣または偽造紙幣と判定されたものについては、後から使用者を追跡するため、該当紙幣のパターン情報と、使用者情報をリンク付けし、保存しておく。のちに、該当紙幣が偽造であると判明した場合、その紙幣

を再度 ATM に投入し、前述の紙幣情報とマッチングすることで、使用者情報を得ることができる。

以降、各機能について概略を説明する。

3.2 金種判定

金種判定のための特徴として使えるものには、様々なものがある。寸法、印刷されたパタン、触れることで金種を区別できるようにした凹凸、透かし、ホログラムなどである。いずれの国・地域でも対応できる汎用性を重視する場合、印刷パタンを用いた手法が適しており、我々はそれを採用している。以下、その手法を説明する。

印刷パタンを用いて金種判定を行う場合、紙幣上の、どの位置の情報を用いて金種判定を行うかが、精度の点でも高速性の点でも重要である。そこで我々の方法[2]では、多数の紙幣サンプルの撮像画像から平均画像を作り、各金種、各姿勢間で、互いに対応する画素値の差分の絶対値を累積する。累積値の大きい位置から、既に選択された位置の近傍は除いて順に選択することで、金種判定に有効な検査箇所が明らかとなる。検査箇所を決定したら、多数の学習用サンプルを用いてベクトル量子化を行い、マルチクラスの識別器を構成する

なお、紙幣の投入方向には、表裏、天地方向によって4通りの方向があるが、金種判定ではその投入方向も判定する。そのおかげで、後段の判定では、紙幣の投入方向を意識せずに、判定処理を行うことができるようになる。

金種判定を行う際の流れを図4に示す。高速化のため、判定は二段階とした。まずは、選択された全ての検査箇所を使うのではなく、一部のみを用いて、金種の候補を絞り

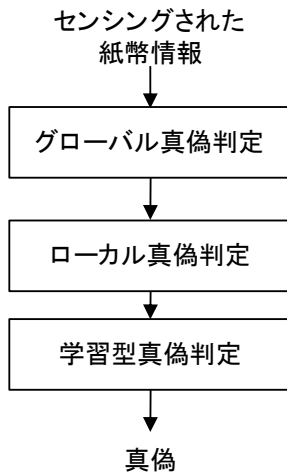


図6 真偽判定の構成

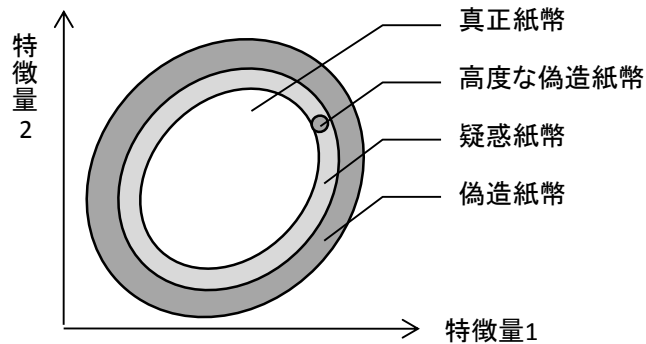


図7 紙幣の分類

込む。絞り込まれた候補に対して、今度は全ての検査箇所を用いて二回目の金種判定を行い、候補から一つを絞る。最後に、上記とは異なる基準で選択された検査箇所を用いて、検証を行う。米国ドルを用いた実験では金種判定の誤認識は、 10^{-8} 以下と非常に低い値となった。

3.3 汚損判定

図5に紙幣の汚損の例を示す。経年劣化は、特に明確な汚れはないが、多数の利用を経て、色がくすんでしまう変化を指す。日本ではあまり見られないが、しみや油污れは、海外の紙幣では頻繁に発生する。

汚損判定では、こういった汚損紙幣を判定するが、その目的は、二つある。第一は、還流型 ATM から他の利用者へ、汚損紙幣を出金するのを防ぐという目的である。第二の目的は、ユーロ法令 Article6 への適合である。Article6 では、汚損紙幣の判定機能を ATM に持たせることを義務付けている。

汚損判定においても、金種判定と同様、検査箇所の選択が重要である。図3には、主に経年劣化を対象にした検査位置の例を示している。最適な検査箇所を選ぶには基準が二つあり、ひとつめは画素値のばらつきが少ない箇所を選択する、というものである。二つ目の基準としては、選択された検査箇所が、紙幣の明るい部分から暗い部分まで均等に分布するように設定する、というものである。

汚損判定実行時には、それらの検査箇所のピクセル値を、改良型マハラノビス距離[3]を用いて判定している。冗長な検査箇所を減らすことで、8枚/秒の搬送速度に対応する高速処理が可能である。

2006年3月3日にドイツ連邦銀行における試験で検査基準(95%以上の正判定率)を達成し、Article6 (Fitness) が認定された。

3.4 真偽判定

真偽判定は、還流型 ATM で最も重要なもので、目的は ATM に投入された紙幣が真紙幣か偽造紙幣かを高精度に識別することである。技術課題としては、紙幣個々の高精度識別はもとより、海外市場の拡大のため新しい紙幣にも即応できることである。

構成としては、図6に示す三段階となっている。はじめに、検査箇所の自動選択、検査基準の自動学習が可能なグローバル真偽判定である。基本的にどの国・地域の紙幣であっても汎用的に動作することを目的に、設計されている。二番目のローカル真偽判定は、紙幣で使われる様々な特殊セキュリティに対応した手法群である。セキュリティの種類毎に、異なる手法が使われる。最後の学習型真偽判定は、高度な偽造紙幣の対応を目的とした手法である。新規の高度な偽造紙幣が出現した場合に、そのパターンを学習して判定を追加する機能である。その対応時間は72時間/紙幣であり、犯罪の拡大の防止において役立っている。ここでは、一段目のグローバル真偽判定の概要を説明する。

グローバル真偽判定においても、金種・汚損判定と同様に、まずは検査箇所の自動選択を行う。まずは一定量のサンプル紙幣から、紙幣識別モジュール内の複数センサで複数の物理量のパターンを取り込む。そのパターンの分布を用いて、一紙幣表裏合わせて約100ブロック毎に、偽造紙幣判定用の最適な検査箇所を決定する。決定された各検査箇所から各物理量を抽出し、複数の物理量を統合することで特徴ベクトルを算出する。その特徴ベクトルに対して、真正紙幣の持つばらつきを考慮し、真正紙幣とどれだけ異なっているかを判定するための検査基準を設定する。

判定処理時には、検査箇所から物理量を取り込み、とりこんだ物理量を統合して、上記検査基準を用いて判定する。このとき、検査基準への適合度から、その紙幣の真正紙幣

への近さを評価することができる。その結果、Article6で規定されている、真正、疑惑、偽造紙幣のクラス分けが可能となる。もう一つの紙幣以外というクラスについては、前述の金種判定で判定され、計4種類のクラス分けが全て可能となった。

図7に紙幣の分布の模式図を示した。縦軸横軸は、ある特徴量を示し、その中で各クラスの紙幣が分布していることを示す。疑惑紙幣は、真正紙幣と偽造紙幣の間に分布していると考えられる。また、我々の学習型真偽判定が対応する高度な偽造紙幣は、疑惑紙幣に相当し、さらに実物の存在が確認されたものと位置づけられる。

従来は、紙幣を識別するための特定部位や測定物理量を人が手動で決めていたため、量産化に時間がかかっていた。グローバル真偽判定の導入により、量産化が1週間/国・地域で可能となった。真偽判定全体での流通真紙幣の受取率は99.7%以上で、利用者が投入する真紙幣のリジェクトは殆どない。一方、公的機関からの借用偽造紙幣でのテストでは偽造紙幣取込はない。真偽判定の処理時間は30ミリ秒/枚であり、高速に紙幣の取り扱いが可能である。

3.5 紙幣追跡

ユーロ法令 Article6 は、還流型 ATM のユーロ市場投入のための必須条件として、上記に述べた汚損判定、紙幣のク

ラス分け機能のほかに、中央銀行や警察で鑑定された、鑑定済み偽造紙幣の使用者を追跡する機能を要求している。そのため、ATM は、疑惑紙幣と偽造紙幣と判定された紙幣のパタン情報とその使用者情報を蓄積する必要がある。

紙幣追跡全体の手順を図8に示した。前述のように、まず疑惑/偽造と判定された紙幣が投入された時の入金情報と、その紙幣のパタン情報を保持する(図8(1))。ここで、入金情報にはその紙幣の使用者を特定できるIDが含まれる。続いて、疑惑/偽造と判定された紙幣は、銀行から中央銀行・警察に送られ、そこで詳細な科学的な鑑別が行われる(図8(2))。そこで偽造紙幣と鑑定された紙幣は(鑑定済み偽造紙幣)銀行に戻され、ATMに再度投入される(図8(3))。ATMでは、疑惑/偽造紙幣と判定した紙幣のパタン情報の蓄積情報と、投入された鑑定済み偽造紙幣のパタン情報とを照合し、鑑定済み偽造紙幣の使用者を特定する。

紙幣追跡の課題は、紙幣固体が同じであっても、入金時の一回目の撮像と、鑑定済み偽造紙幣として銀行に戻ってきたからの二回目の撮像とで、パタンが微妙に異なることである。すなわち、いかにしてその差を排除するかが課題となる。パタンの違いは、センサ特性の変化、搬送状態の違いなどで生ずるため、それに対処するために、紙幣の複数姿勢かつ複数回の撮像、画素値の安定した検査箇所

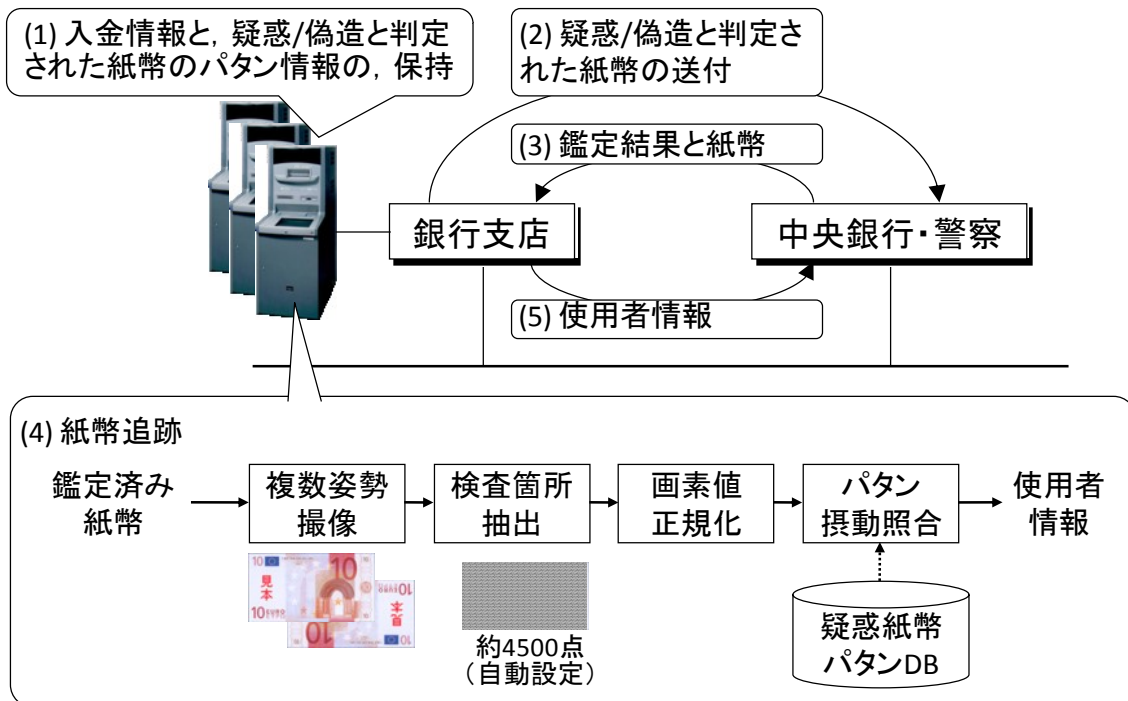


図8 Article6をもとにした紙幣の追跡方法

用、画素値の正規化、パタン摂動照合を行っている。

まず、複数姿勢の撮像が必要な利用について述べる。前述の通り、紙幣の投入方向は、表裏と天地の4通りの組み合わせが存在する。この4姿勢それぞれを撮像することが重要であることは、実験により判明した。この原因については、我々は次のように推測している。

まず、表裏によるパタンの違いは、そもそも表裏で別センサを用いていることから説明できる。次に天地方向の違いによるパタンの違いであるが、これは紙幣が高速搬送されていることが原因のひとつと推測されている。高速搬送される紙幣には無視できない空気流の影響が発生し、振動を起こす。この振動は、紙幣の進行方向側、逆側とで、同じには成りえないため、天地方向の違いが、撮像された紙幣パタンに偏りのある変動を及ぼすと考えられている。

また、毎回の撮像パタンに重畳されるランダムな変動に対処するためには、複数回の撮像による平均化効果が効果的であった。

同様に、紙幣追性における検査箇所は、事前に画素値が安定している箇所が自動的に決められており、さらにパタン摂動照合によって微小の位置ずれも吸収される。

これらの手法によって、追跡精度 99.8% (1000 枚試行で 998 枚成功)、検索時間 0.75 秒/枚という性能を達成している。その結果、2006 年 3 月 3 日にドイツ連邦銀行において Article6 (紙幣追跡機能) が認定された。

4. まとめ

冒頭に述べたように、我々の考えていた課題は、以下の二点であった。

- 1) 迅速かつ手間をかけずに、新しい種類の紙幣に対応できること
- 2) その地域独自の法・基準を満たしていること

課題 1) については、従来数ヶ月かかっていた新規国の紙幣に対するパタン検査開発期間を 1/10、新規の偽造紙幣に対する対策時間を 72 時間以内という短時間化に成功した。その結果、短時間での即応量産が開始できるようになり、

海外新市場への展開が加速した。2008 年当時の状況では、海外 30 ヶ国以上、200 金種以上に対応した。

課題 2) については、主にユーロ法令 Article6 への対応に成功したことを述べた。紙幣のクラス分け (真正、紙幣以外、疑惑紙幣、偽造紙幣) については、金種判定、グローバル真偽判定により対応し、汚損紙幣への対応、紙幣追跡の対応に関しても、それぞれ対応する技術について述べた。各技術は、検査箇所や検査基準の自動化により、いずれも人手のかからないパラメータ設定が可能である。

各機能の性能・処理時間を表 1 にまとめた。安全性の高い還流型 ATM の提供により、安全で安心、そして便利な経済活動に貢献していると考えている。

参考文献

- 1) 菅原 尚雄, “中国の金融自動機市場における日・米・韓企業の競争力,” オイコノミカ, vol. 第 45 巻, no. 第 3・4 合併号, pp. 87-102, 2009.
- 2) T. Kagehiro, H. Nagayoshi, and H. Sako, “A Hierarchical Classification Method for US Bank-Notes,” *IEICE-Trans. Inf. Syst.*, vol. 89, no. 7, pp. 2061-2067, 2006.
- 3) 加藤寧, 安倍正人, 根元義章, “改良型マハラノビス距離を用いた高精度な手書き文字認識,” 電子情報通信学会論文誌 -II 情報・システム II-情報処理, vol. 79, no. 1, pp. 45-52, 1996.

表 1 検査項目と精度・性能

| 検査項目 | 精度・性能 |
|------|---|
| 真偽判定 | ・流通紙幣受付率: 99.7%以上、偽造紙幣取込率: 0.0%以下 ・パタン検査処理速度: 30 ミリ秒以内 |
| 汚損判定 | ・経年劣化、しみ、油汚れなどを検出可能 (EU Article6 / Fitness 規格) |
| 紙幣追跡 | ・追跡精度 99.8% (1000 枚試行で 998 枚追跡成功) ・追跡時間 0.75 秒 (100 画像中 1 画像を追跡するとき) |