

家計簿の自動記録のための使用金額認識システム

菲澤賢三^{†1} 志築文太郎^{†1} 田中二郎^{†1}

既存の家計簿には、購買の履歴をユーザが自ら手動記録する必要がある。手動記録は継続性が弱く、家計簿が長続きしない可能性がある。この問題を解決するため、本研究では、ユーザが購買を行った際に、使用金額や費目を自動的に家計簿に記録するシステムを実現する。本稿では、財布の紙幣ポケット部に LED と照度センサを取り付けることにより実現した使用金額認識システムと、その認識実験について述べる。認識実験を行った結果、0 枚から 5 枚と 10 枚の紙幣を 100% の精度にて、6 枚から 9 枚の紙幣を 85 ~ 95% の精度にて認識することに成功した。

Money Recognition System for Automatic Input System of Household Accounts

KENZO NIRASAWA,^{†1} BUNTARO SHIZUKI^{†1}
and JIRO TANAKA^{†1}

We are developing a wallet that records the money the user used automatically. To this end, we embed LEDs and CdS cells in each pocket of the wallet to recognize the number of bills in the pocket. Results of our experiment show that the system shows 100% recognition rate when we insert bills 0 to 5 bills and 10 bills in the pocket, and 85 to 95% recognition rate when we insert 6 to 9 bills in the pocket.

1. はじめに

携帯電話やスマートフォンの普及に伴い、それらの携帯型情報端末上において動作する家計簿アプリケーション（以下携帯家計簿アプリ）が増加し、外出先における家計簿の記入、閲

覧が容易になった。我々も先行研究として、携帯家計簿アプリ上において出金の傾向のプッシュ型提示を行う機能と、出金履歴を地図上で可視化する機能を実装し、評価実験を行った¹⁾。

しかし、携帯家計簿アプリを利用する際には支出、または収入の金額、費目等を入力する必要があり、この動作が手間になること、また、買い物をして入力も忘れてしまうことにより携帯家計簿アプリの記録が継続しないケースがある。実際に、我々の先行研究¹⁾における評価実験の際にも、データの入力が全て手動であったため、面倒になって入力しなかった、というコメントが得られた。家計簿の記録が継続しない場合、入力された情報を分析しても現在の生活に有用な情報を発見できる可能性が低くなる。入力の手間を軽減するために、携帯家計簿アプリとして、レシートをカメラで撮影することにより家計簿の入力を支援する製品がある^{*1}。また、PC ソフトウェアとして、レシートリーダを用いてレシートをスキャンして家計簿に購買履歴を記録する製品もある^{*2}。しかし購買の度にレシートを撮影することは、ユーザにとって手間となり、また、自宅で 1 枚ずつレシートをスキャンすることもユーザの手を煩わせてしまう。また、レシートを用いると、自動販売機等のレシートが発行されない購買の履歴を記録することができない。

そこで本研究では、ユーザが金銭を使用した際に、位置、時刻、金額等の情報を自動的に家計簿に記録するシステムを実装し、このシステムを用いて記録された家計簿の情報を用いて、先行研究において開発したプッシュ型の情報提示を実現する。これにより、ユーザは手間無く家計簿の記録を継続することが可能となる。更に、位置や時刻を家計簿に記録しているため、記録された情報からわかる支出の傾向を、適切な位置、時刻に閲覧することが可能となる。

本研究では、家計簿の記録のためにユーザの手間を無くすことを重用視するため、金額や費目の認識のために財布以外のデバイスをユーザに身につけさせず、財布にセンサ類を組み込むことによって家計簿の自動記録を実現する。使用金額の認識は、金銭を使用した直後に財布の中の金額を計測し、前回計測した際の金額との差分をとることによって行う。

また本研究では、現金の収入、支出を家計簿に記録する対象とする。近年電子マネーが普及しているが、電子マネーにはクレジットカードと同様に使用履歴を閲覧するシステムや利用金額を通知するメールを送信するシステムがあるため、現金と比較して利用金額が把握しやすい。しかし現金を使用した場合、ユーザが自ら家計簿に記録しなければ使用履歴を記録、保存することができない。このことが電子マネーと現金の相違であり、本研究が現金の自動

^{†1} 筑波大学大学院システム情報工学研究科コンピュータサイエンス専攻

Department of Computer Science, Graduate School of Systems and Information Engineering, University of Tsukuba

*1 撮って家計簿 <http://www.isp21.co.jp/products/kaakeibo.html>

*2 やさしく家計簿 <http://mediadrive.jp/products/ykakeibo/>

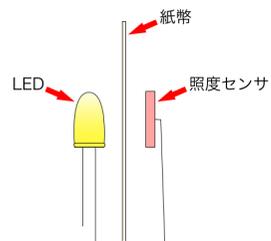


図1 枚数認識機構の模式図

Fig. 1 Schematic diagram of a number of bills recognize system

記録を対象とする理由である。

本稿では、紙幣の枚数認識機構の実装とその認識実験について述べる。まず本研究において提案する枚数認識機構とそれを財布に組み込んだプロトタイプを示し、次にプロトタイプを用いて行った認識実験について述べる。紙幣の認識実験の結果、初期のプロトタイプにおいて紙幣の枚数の増加による認識率の低下が見られた。この問題を解決するために、ハードウェアや認識アルゴリズムを変更しながら複数回認識実験を行い、認識精度の向上を図ったので、それらの実験についても述べる。

2. 紙幣の認識機構

既存の紙幣判別機や紙幣計数機には、精算機や両替機に搭載されているものやハンディタイプのもがある。紙幣識別機は、紙幣の物理的な大きさ、色彩、磁性体の有無や磁性の強弱によって真贋判定と券種の識別を行っている。また、計数機は回転するローラーによって枚数を実測するものが多い。例えば実際に自動販売機に用いられている紙幣識別機には、85×164×180mmのものがあるが、これは財布に組み込むのに適した大きさではない。

我々は、財布に組み込み可能な紙幣の枚数認識機構として、LEDと照度センサを用いた機構を開発した。この機構は、LEDと照度センサを向かい合わせに設置してその間に紙幣を挟み、計測された照度によって紙幣の枚数を認識する(図1)。LEDを紙幣の中央の透かし部分を照らす様に設置し、照度センサをその対面に設置する。透かし部分は表裏や上下が揃わずとも光の透過に大きな影響は無いため、財布の中でも安定して枚数の認識を行うことが可能であると考えられる。LEDと照度センサの間に紙幣を挿入した様子を図2に示す。

紙幣の識別については、財布の中にセンサを組み込む場合、物理的に狭い点と紙幣が混在

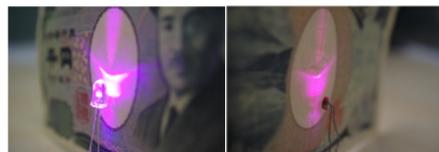


図2 紙幣を挿入した図

(左) LED側から撮影 (右) 照度センサ側から撮影
Fig. 2 Insert a bill between LED and CdS
(Left) captured by LED side (Right) captured by sensor side

する点から、既存の手法を用いることは困難である。そこで本研究では、財布に複数用意されている紙幣ポケット毎に券種を分け、各ポケットに挿入されている紙幣の枚数を認識する。

本研究において扱う券種は10000円紙幣、5000円紙幣、1000円紙幣の3種である。現在日本にて流通している紙幣には10000円、5000円、1000円、2000円の4種類がある。一方、紙幣ポケットが4つある財布は一般的ではないため、全ての紙幣を扱うには今回の手法は適さない。そのため、発行枚数が最も少ない2000円紙幣は扱わないこととした。

3. プロトタイプの実装

実際に市販の財布にセンサやモジュールを取り付けて、プロトタイプを作成した(図3)。

3.1 プロトタイプの大きさと重量

図3のGPSモジュールとマイコンが設置してあるブレッドボードとバッテリー部(以下、回路部)の大きさは90mm×160mm×25mmであり、財布の裏に貼付けている。なお、回路部の重量は約90gである。

現在はブレッドボードを財布の外側に貼付けているが、将来的には基盤に実装し、財布の中に基盤を隠すことによって、一般的な財布と外見も使用感も変わらないシステムを実現する予定である。

3.2 プロトタイプの構成

プロトタイプは、市販の長財布に財布の開閉検出機構、使用紙幣認識機構、GPSモジュールを組み込み、それらを制御するためのマイコン(Arduino Pro Mini)と、電源としてリチウムイオンポリマー電池(2000mAh)を取り付けて構成されている。今回の実装では、照度センサにはCdSセルを用いた。なお財布には、市販の長財布を用いた。この財布は紙幣ポケット3つとカードポケット、小銭入れを有する。

3.3 財布の開閉検出機構

本研究では、ユーザが財布を開き、金銭を取り出し、財布を閉じるという一連の動作を行った後にLEDを点灯させ、照度センサの値(以後、照度)を計測する。具体的には、財布を開けて閉じた際にLEDを点灯させ、一定時間後に照度を計測し、LEDを消灯する。財布を閉じた瞬間は財布を押しつぶす力がかかっており照度が安定しないため、照度を計測する際に一定時間間をおくこととする。今回は、財布の開閉を検出するため、開閉検出機構を実装した。プロトタイプ作成に用いた財布には開閉用の金属製のボタンが取り付けられている(図4)。このボタンに導線を取り付けることにより、通電/非通電の状態によって財布の開閉を検出可能となる。



図3 作成したプロトタイプの外観
Fig.3 An outward appearance of prototype we implemented



図4 財布に備え付けのボタン
Fig.4 Buttons stitched to wallet



図5 ポケット内部の拡大図
Fig.5 Enlarged view of inside of pocket

3.4 紙幣認識機構

財布に組み込んだ紙幣認識機構を図5に示す。紙幣ポケットは紙幣の大きさに合わせて作られているため、ポケットの中央部にLEDとセンサを配置して紙幣を挿入すると、ユーザが紙幣の挿入の仕方を工夫せずとも、LEDの光は透かし部分に当たる。

3.5 GPSモジュール

位置、時刻を取得するため、GPSモジュールを取り付けた。今回用いたGPSモジュールはSparkFun Electronics社のLS20031である。このモジュールから得られたGPS情報から、緯度経度、時刻を抽出する。家計簿に購買履歴を記録する際は、ドコイク?^{*1}等のWeb APIを用いて緯度経度から店舗情報を取得し、時刻と共に記録する予定である。

4. 予備実験

実装した紙幣認識機構において計測された照度がどのような要因に影響を受けるかを検証するため、実際に紙幣を挿入して照度を計測した。3種類の実験を行い、紙幣の新旧の違い、券種の違い、照光条件の違いによる照度への影響を調査した。

4.1 紙幣の新旧による照度への影響の調査

4.1.1 実験方法

紙幣には新券と非新券の1000円紙幣それぞれ10枚ずつを用い、以下の手順に沿って照度を計測した。

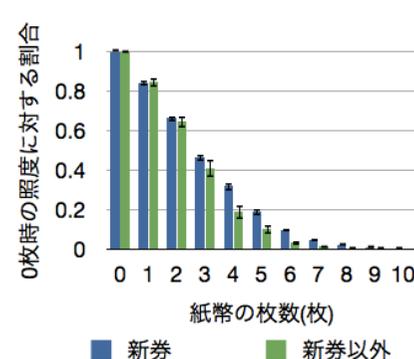


図6 紙幣の新旧に関する予備実験の結果
Fig.6 Result of pilot study about relation between bill's newness and brightness value

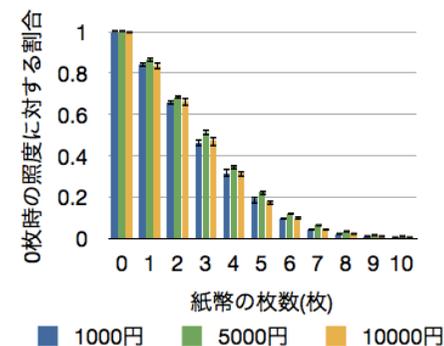


図7 紙幣の種類に関する予備実験の結果
Fig.7 Result of pilot study about relation between bill's categories and brightness value

- (1) 財布に紙幣を挿入する。この際、向きや順番をランダムにする
- (2) 財布を閉じてから2秒間待ち、その後1秒おきに5回照度を計測する
- (3) 財布から紙幣を取り出す

以上の手順を1試行とし、各枚数毎に10試行ずつ行った。なお、新券のみの場合と非新券のみの場合の2パターンに分けて実験を行った。

4.1.2 結果と考察

実験結果のグラフを図6に示す。このグラフは、新券条件と非新券条件をそれぞれ青と緑で表しており、各枚数5×10回ずつ計測した際の、紙幣0枚の平均照度を1としたときの、それぞれの枚数における平均照度の割合を示している。エラーバーは標準偏差を示す。

この結果から、新券条件及び非新券条件の両者において、枚数が増加するにつれて照度が減少することがわかる。また、非新券条件の標準偏差が、新券条件よりも大きい。ただし、財布の中の紙幣が全て新券もしくは非新券に統一されていると仮定した場合、十分に大きな照度を得られている0から6枚目までは標準偏差を鑑みても他の枚数の場合と平均値が重なることは無い。従って、照度を事前に計測しておき、認識時に計測した照度とのマッチングをとることによって認識可能になると期待できる。しかし、非新券4枚と新券5枚の場合の照度の平均値がほぼ同一になっている。この事例は6枚目以上においても見られ、照度は紙幣の新旧によって影響を受けると考えられる。ただ、日常生活において、財布の中の紙幣が全て新券であることは少ない。少ない枚数ならば全て新券になることはあり得るが、3枚ま

*1 <http://webservice.recruit.co.jp/doko/>

では新券の値と非新券の照度に大きな差異はなく、新券のみの場合も正しく認識できると考えられる。また、新券と非新券を混ぜた状態において事前に照度を計測しておくことにより認識可能性は向上するとも考えられる。

4.2 券種による照度への影響調査

4.2.1 実験方法

実験は 4.1.1 節に示した手順に従って行った。今回は、1000 円紙幣、5000 円紙幣、10000 円紙幣の新券をそれぞれ 10 枚用いて実験を行った。

4.2.2 結果と考察

実験結果のグラフを図 7 に示す。このグラフは、1000 円紙幣、5000 円紙幣、10000 円紙幣をそれぞれ青、緑、黄で表しており、各枚数 5×10 回ずつ計測した際の、紙幣 0 枚のときの平均照度を 1 としたときの、それぞれの枚数における平均照度の割合を示している。エラーバーは標準偏差を示す。

この結果から、どの紙幣においても、枚数による照度値の減少の傾向に差異はないことがわかる。この結果と考察より、以降の枚数認識実験においては全て 1000 円紙幣のみを用いる。

4.3 照光条件による照度への影響調査

4.3.1 実験方法

晴れた日に、プロトタイプを屋内（屋内条件）、屋外の日陰（日陰条件）、屋外の日向（日向条件）に置き、各場所毎に照度を 1 秒に 1 回、計 10 回得た。なお、本実験においては、4.1 節の予備実験において標準偏差が最も高くなった、非新券の 1000 円紙幣 3 枚をプロトタイプに入れた状態で照度の計測を行った。

4.3.2 結果と考察

実験結果のグラフを図 8 に示す。横軸は計測回数を、縦軸は紙幣 0 枚のときの平均照度を 1 としたときの照度の割合を示している。

グラフを見ると屋外の日向条件での照度が他の条件と比較して小さい。しかし、4.1 節における非新券の 1000 円紙幣 3 枚の場合、50 回計測した照度の割合の最大値と最小値の差はおよそ 0.2 であり、今回得られた割合は全てこの中に収まっている。つまり、照光条件による照度値への影響は、紙幣の新旧による影響よりも小さいと考えられ、本手法を用いた紙幣の枚数認識が屋内において可能ならば、照光条件の異なる場所においても同じく可能であると考えられる。以降、枚数認識実験を全て屋内において行うこととする。

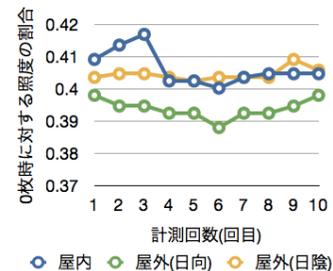


図 8 照光条件の違いに関する予備実験の結果

Fig. 8 Result of pilot study about relation between illuminating condition and brightness value

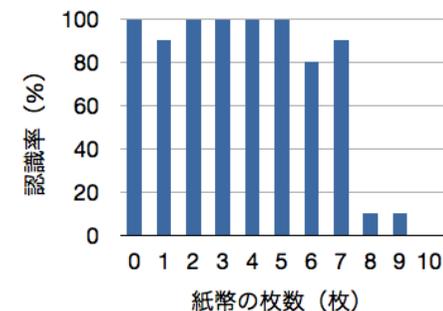


図 9 枚数認識実験の認識率

Fig. 9 Correct rate of experiment

5. 紙幣の枚数認識実験

どの程度の枚数認識率が得られるかを確かめるため、標準偏差の大きい非新券を用いて紙幣の枚数認識アルゴリズムを実装し、枚数認識実験を行った。

5.1 枚数認識アルゴリズム

まず事前準備として、予備実験の結果を基に、紙幣 0 枚の平均照度に対する各枚数の平均照度の割合 R_n を計算しておく。例えば、紙幣が 0 枚の場合の平均照度を B_0 、1 枚の場合の平均照度を B_1 、1 枚の場合の照度の割合を R_1 とすると、 $R_1 = \frac{B_1}{B_0}$ となる。枚数認識時には、得られた照度を B_0 で割り、最も近い R_n を算出して枚数を決定する。

今回の実験では、4.1 節における実験にて得られた非新券の照度を用いて R_n を算出した。

5.2 実験方法

実験を以下の手順に沿って行った。

- (1) 紙幣の向きや順番をランダムにし、財布に挿入する
- (2) 財布を閉じてから 2 秒後に、照度を 1 回取得し、枚数を認識
- (3) 財布から紙幣を取り出す

以上の手順を 1 試行とし、各枚数毎に 10 試行ずつ行った。紙幣には、非新券の 1000 円紙幣 10 枚を用いた。

5.3 結果と考察

認識率のグラフを図 9 に示す。このグラフを見ると、7 枚目までは期待された程度に高い認識率（80%以上）が得られている。一方、8 枚以上では、大幅に認識率が低くなる（0~



図 10 白色チップ LED
Fig. 10 White chip LED

10%)。また、今回の実験において行った全 100 試行の合計の認識率は 70.9%であった。

日常の購買を家計簿に記録していく場合、70%の認識率では十分に正確であるとは言えない。我々は今回の実験から、認識率を向上させるための手段を以下の様に考察した。

- (1) LED の輝度の変更
- (2) 認識アルゴリズムの改良
- (3) LED とセンサの増設

(1) について、8 枚以上の場合は認識精度が著しく低くなった。しかし予備実験から、8 枚以上でも枚数の増加につれて照度が少しずつではあるが小さくなるのがわかっている。今回用いた LED の輝度は 4000mcd である。より輝度の高い LED を用いる、または LED を複数個用いる等の手段を用いて紙幣を照射する光の明度を高くすることにより、8 枚以上でも枚数間の照度の差が大きくなり、認識が可能になると考えられる。

(2) について、今回用いた認識アルゴリズムは、計測した照度と前もって計測した照度の近似を単純に計算して枚数を計測しているだけである。このアルゴリズムでは、ある枚数と他の枚数の照度の境界、例えば 2 枚と 3 枚の場合の照度の境界の値を計測した場合に、正しい認識結果が得られない場合がある。そのため、得られる照度の分散を考慮に入れ、さらに条件を変えて複数回計測した結果を用いて認識を行うことが有効であると考えられる。

(3) について、今回の実験で 6 枚以降の認識率が低下している原因として、紙幣の枚数が増加する際、紙幣の皺や汚れが重なることによる照度の低下が考えられる。これは透かし部分を照らす LED とセンサを増設し、複数の値を取得した上で枚数認識を行うことによって解決可能だと考えられる。

6. LED の変更と紙幣の枚数認識実験

5.3 節の考察を受けて、認識機構に使用する LED を変更して再び紙幣の枚数認識実験を

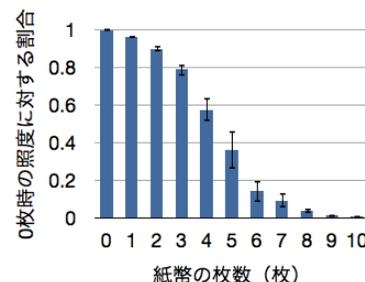


図 11 チップ LED1 枚点灯時の照度のグラフ
Fig. 11 Brightness graph (1 chip illuminated)

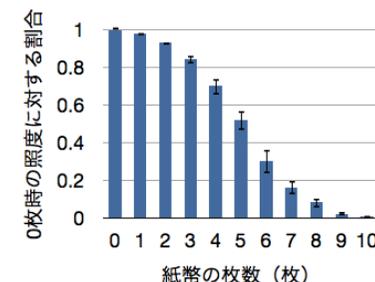


図 12 チップ LED3 枚点灯時の照度のグラフ
Fig. 12 Brightness graph (3 chips illuminated)

行った。

6.1 LED の変更

5 節に述べた実験においては 8 枚以上の紙幣を認識することは困難であった。しかし日常生活において、購買の際の釣り等で財布内の 1000 円紙幣の数が 8 枚以上になることがあり得る。そこで、8 枚以上の紙幣を正しく認識するために、LED をより高輝度なものに変更した。使用した LED を図 10 に示す。この LED はチップ LED3 枚から構成されており、1 枚ずつ点灯 / 消灯を制御することが可能である。5 節の実験の際に用いた LED の輝度が 4000mcd であるのに対し、今回利用した LED の輝度は全てのチップを点灯させた状態で 5400mcd である。更に、点灯している面を照度センサに向けて設置するため、得られる照度も大きくなり紙幣の枚数が多くても正しく認識できると考えた。

このことを確認するために、紙幣の枚数を認識するため、高輝度の LED を財布に取り付け、照度を取得した。中のチップ LED を 1 枚点灯させたときと 3 枚点灯させたときの照度を計測した。照度の計測方法は 4.1.1 節にて述べた方法と同一である。なお、今回は各枚数毎に 20 回ずつ照度の計測を行い、新券と非新券紙幣を 5 枚ずつランダムに混ぜている。図 11 と図 12 に、0 枚のときの平均照度を 1 としたときの、それぞれの枚数における平均照度の割合のグラフを示す。図 6 のグラフと比較すると、少ない枚数における枚数毎の差分が小さくなっており、枚数が多い場合の枚数毎の差分は大きくなっている。これにより、5 節にて用いた LED よりも紙幣の枚数が多い場合の認識精度の向上が見込めると考えられる。また、少ない枚数では標準偏差がごく小さな値であるため、照度の差が小さくても認識は可能であると考えられる。この結果を踏まえ、再び紙幣の枚数認識実験を行った。

なお、本節における実験においては、より日常生活に近い状況を再現するため、新券と非新

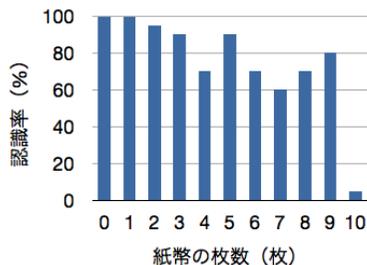


図 13 チップ LED1 枚点灯時の認識率
Fig. 13 Recognition rate(1chip illuminated)

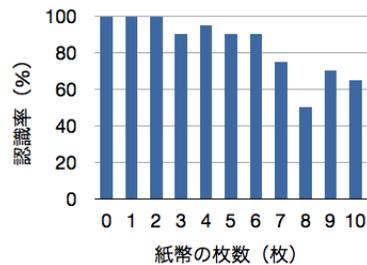


図 14 チップ LED3 枚点灯時の認識率
Fig. 14 Recognition rate(3chips illuminated)

券の 1000 円紙幣をそれぞれ 5 枚ずつをランダムに混ぜて用いている。

6.2 チップ LED の点灯を変化させた紙幣の枚数認識実験

チップ LED を 1 枚点灯させた場合と 3 枚点灯させた場合、それぞれについて紙幣の枚数認識実験を行った。

6.2.1 実験方法

実験方法は 5 節と、認識アルゴリズムは 5.1 節と同一である。また、今回は各枚数毎に 20 回ずつ認識を行った。

6.2.2 結果と考察

チップ LED1 枚点灯時の認識率のグラフを図 13 に、3 枚点灯時の認識率のグラフを図 14 に示す。

予想に反して、紙幣が 8 枚と 9 枚のときの認識結果が、チップ LED を 1 枚点灯させた場合の方が 3 枚点灯させた場合より高かった。しかし、チップ LED1 枚点灯時は、紙幣が 4, 6, 7, 8 枚の認識率が低い。また、チップ LED3 枚点灯時は、紙幣が 6 枚以下の場合比較的認識率が高いが、7 枚以上は認識率が低下する。なお、今回行った全 200 試行における認識率は約 84.1%であり、5 節の実験よりも認識率が向上していることがわかる。

結果より、LED の輝度を上げることによって紙幣の枚数認識率は向上したが、特に 7 枚以上の枚数の認識率は依然低いままであった。

6.3 枚数認識アルゴリズムの変更

LED を高輝度にするによって認識率は向上したが、さらに認識率を向上させるため、5.3 の (2) にて述べた認識アルゴリズムの変更を行った。

認識アルゴリズムに尤度を用いることとした。まず、照度は正規分布に従うこととし、事

前準備として、照度を測定し、正規分布の確率密度関数を作る。平均を μ 、分散を δ としたときの正規分布の確率密度関数 $f(x|\theta)$ は $f(x|\theta) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\delta}} \exp(-\frac{(x-\mu)^2}{2\delta^2})$ と表される。ただし、 $\theta = (\mu, \delta^2)$ とする。枚数認識時には、チップ LED を 1 枚点灯させた場合と 3 枚点灯させた場合のそれぞれの $f(x|\theta)$ を計算し、尤度関数に代入する。尤度関数 $L(\theta)$ は、 $L(\theta) = \prod_{i=1}^n f(x_i|\theta)$ と表される。今回、チップ LED を 1 枚点灯させた場合と 3 枚点灯させた場合の、紙幣 0 枚時の照度に対する照度の割合をそれぞれ x_1, x_2 とした。

尤度関数を用い、点灯パターンを変更することにより、5.3 にて述べた、ある枚数と他の枚数との照度の境界の照度を取得した場合も正しく枚数の認識が可能になると期待できる。

6.4 尤度関数を用いた紙幣の枚数認識実験

6.4.1 実験方法

実験手順は以下の通りである。

- (1) 向きや順番をランダムにした紙幣を財布に挿入する
- (2) 財布を閉じてから 1 秒間待ち、その後 0.1 秒おきに LED3 枚点灯時のセンサの値と 1 枚点灯時の照度をそれぞれ 3 回ずつ計測し、尤度を計算して枚数を認識
- (3) 財布から紙幣を取り出す

以上の手順を 1 試行とし、紙幣 0 枚から 10 枚まで、それぞれ 20 試行ずつ行った。なお、本アルゴリズムは 2 パターンの点灯について照度を計測するため、5 節と同じ条件で行うと、認識に多くの時間を要する。従って今回は、照度の計測間隔を、照度センサの応答速度によって照度に影響が出ない程度の 0.1 秒に短くした。

6.4.2 結果と考察

認識結果のグラフを図 15 に示す。図 15 より、枚数が増えるにつれて認識率が下がっている。また、誤認識となった試行を分析すると、実際に挿入した枚数よりも多くの枚数として認識される、つまり、照度が小さくなるという結果が得られた。なお、今回の実験にて行った全 200 試行における認識率は約 89.1%であり、5 節における実験よりも認識率が向上している。

尤度を用いた認識を用いることによって認識率は向上したが、7 枚以上の場合の認識率はほとんど向上していない。この原因として、5.3 節において述べた皺や汚れによる照度の低下が考えられる。更に、LED の指向性と透かし部分の模様が照度センサに届く光量に影響を与えていると考えられる。今回の実装では、LED の点灯する面と照度センサが向かい合わせであるために指向性が強くなっている。そのため、LED が透かし部分 (図 16) のヒゲや眉毛などの黒い部分を照らした状態で紙幣が複数枚重なった場合、計測できる照度が低くなると考えられる。これらの問題は、LED と照度センサを複数設置し、それらから得られる照度

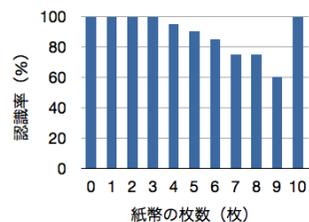


図 15 尤度を用いた認識結果のグラフ
Fig. 15 Recognition rate using likelihood



図 16 1000 円紙幣の透かし部分
Fig. 16 A watermark of 1000 yen bill

新たに設置したセンサとLEDの位置



これまで設置していたLEDとセンサの位置
図 17 LED と照度センサの位置
Fig. 17 Positions of LEDs and CdSs

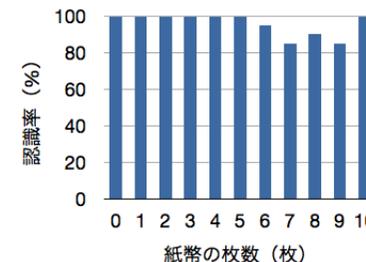


図 18 LED を 2 つ用いた認識結果のグラフ
Fig. 18 Recognition rate using two LEDs

のうち最も高い値を紙幣の枚数認識に利用することによって解決できると考えられる。

6.5 LED と照度センサの複数設置

考察を踏まえて、LED と照度センサの設置箇所を増やした。これまでは図 17 の下部の円の部分にのみ LED とセンサを設置していたが、新たに図 17 の上部の円の部分にも LED とセンサを設置した。新たに LED とセンサを設置した位置は、紙幣を正体して挿入した場合は模様が無い部分であり、光が透かし部分の模様によって減衰しづらい部分である。

6.6 LED と照度センサを複数用いた紙幣の枚数認識実験

これまで利用してきた LED と照度センサに加えて、6.6 節にて新たに設置した LED とセンサも利用して紙幣の枚数認識実験を行った。

6.6.1 実験方法

この実験は、6.4 節と同一の手順にて行った。また、紙幣の認識に用いる照度として、6.4.2 節を踏まえ、2 つの照度センサから得られる値を比較して、より大きい値を用いた。

6.6.2 結果と考察

認識率のグラフを図 18 に示す。グラフより、6 枚から 9 枚は正しく認識できないケースが見られるが、5 節における実験結果と比較すると認識率が向上していることが見て取れる。なお、全 200 試行における認識率は約 95.9%を示した。

従って、LED とセンサを複数用いる手法は枚数認識に有効であると考えられる。計測時に利用した紙幣を観察したところ、透かしの中央部に皺が多く、透かしの上部には皺が少ないものがあつた。このような紙幣は、LED と照度センサが 1 つずつの場合は正しく認識できないが、皺が少ない部分を照らす LED と照度センサがあれば正しく認識することが可能である。更に LED とセンサを増やすことにより、6 枚～9 枚の認識率の更なる向上が見込める。

6.7 使用金額認識

LED を 2 つ設置した機構を用いて、使用金額の認識実験を行った。

6.7.1 実験方法

0 から 10 までの乱数を 30 個用意し、財布の中の紙幣の枚数が用意した乱数と一致する様に紙幣の挿入、抜去を 30 回繰り返した。例えば乱数が 2, 4, 9, 3 であった場合は、財布に 2 枚紙幣を挿入し、次に 2 枚挿入、次に 5 枚挿入し、6 枚抜去する、という手順になる。挿入、抜去を行って財布を閉めた際に、6.6 節と同様に紙幣の枚数を認識する。これを 1 試行とし、直前の試行によって認識された枚数と現在の試行によって認識された枚数の差分を取ることで、使用金額を認識した。なお、紙幣には非新券 1000 円紙幣を 10 枚用いた。

6.7.2 結果と考察

30 回の試行の認識率は 86.7%であった。誤認識となった 4 試行を分析すると、財布に 9 枚紙幣が入っているときに 8 枚と認識された試行が 2 回観察され、そのため使用金額の認識が 4 回失敗している。これは、6.6 節にて用いた 2 つの照度のうち大きい方の値を採用するという手法が正しい手法でないことを示している。そのため、認識に用いる照度の選択について、より認識精度を高める手法を検討する必要がある。

7. 関連研究

紙幣の表面画像を入力として用いた券種識別が研究されている²⁾⁻⁶⁾。これらの研究では、ニューラルネットワークによる学習によって求められたパターンとのテンプレートマッチングを行うことによって金種を識別している。これらの研究は紙幣を 1 枚ずつ認識しており、複数重なった紙幣を 1 枚ずつ識別することはできない。



図 19 スライド式コインケース
Fig. 19 Slide type coin case



図 20 コイン近接センサ
Fig. 20 Coin proximity sensor

金額の認識に関する研究としては、古賀らがチェックライタの金額文字列を認識する研究を行っている⁷⁾。この研究もカメラから得られる画像を用いており、紙幣が複数枚重なり合う財布の中に応用するのは困難である。

上に述べた研究は、紙幣やチェックライタの金額を1枚ずつ認識するアプローチを採用しているが、財布に挿入された紙幣は複数枚重なっており、これら既存の手法では金額の認識は困難である。一方、複数枚重なった紙の枚数を検出する研究としては、坂本らの研究が挙げられる⁸⁾⁻¹⁰⁾。坂本らは、自動販売機等で見られる、ローラーを用いた紙幣搬送機にマイクを取り付け、紙幣が搬送された際の音響を解析して、複数枚重なった紙幣の枚数を検出している。この研究では、財布の様に多くの枚数が重なっている場合は想定されていないため、実験は紙幣3枚の場合までしか行われていない。また、財布を用いる場合は環境音等によるノイズが多くなるため、ロバストな認識を行うことが難しいと考えられる。

8. まとめと今後の課題

本稿では、家計簿の自動記録を実現するための財布のプロトタイプの実装と、紙幣枚数認識機構を用いた予備実験、更に紙幣の枚数認識実験について述べた。プロトタイプは、財布に開閉検知機構、紙幣の枚数認識機構、GPS モジュール等を組み込むことにより実装した。紙幣の枚数認識は、LED と照度センサを向かい合わせに設置し、紙幣の透かし部分を透過した光の照度を計測することによって実現した。

今後の課題として、まず、硬貨の枚数認識機構を実現する。一般的な財布の大きさを維持した上で、硬貨の種類や枚数を認識する方針として、硬貨を種類別に収納させる、および、収納ポケットを一つに統一して一枚ずつ収納と取り出しを行わせる、という2種類を考えている。前者の場合は、図19に示す、硬貨を種類別に収納できるコインケースを用いて、各スロッ

トに距離センサ等のセンサを設置して認識する手法が考えられる。また、後者の場合は、硬貨の磁性を用いる認識手法が考えられる。例として、図20に示すコイン近接センサ^{*1}や、硬貨が一对のコイルを通過した際に生じる磁束変化を用いて、一般的な財布の大きさを維持したままの硬貨の認識が実現できると期待される。

更に、硬貨の認識機構を組み込んだプロトタイプを用いて実際に生活し、位置、時刻と共に買物のログを取り貯め、家計簿の自動記録の実現を目指す。

参 考 文 献

- 1) 葦澤賢三, 志築文太郎, 田中二郎: マネーフローコンテキストを利用した携帯家計簿システム, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2010) シンポジウム論文集, 情報処理学会, pp.1166 - 1174 (2010).
- 2) 竹田史章: ニューラルネットワークを用いた高速搬送紙幣の識別, 電学論 C, Vol.112, No.4, pp.249-258 (1992).
- 3) 福田重明: 時系列データを用いた日本円紙幣の識別, 電気学会論文誌 C, Vol.115, No.3, pp.354-360 (1995).
- 4) 竹田史章, 西蔭紀洋: ニューラルネットワークによる多金種紙幣同時識別の一構成法, 日本機械学会論文集. C 編, Vol.66, No.648, pp.2653-2659 (2000).
- 5) 横田雅和, 小坂利寿, 大松 繁: ニューロパターン認識による米ドル紙幣の識別, 電気学会論文誌. C, 電子・情報・システム部門誌, Vol.115, No.3, pp.361-366 (1995).
- 6) 小坂利寿, 竹谷紀和, 大松 繁: 競合型ニューラルネットワークによるイタリア紙幣の識別, 電気学会論文誌. C, 電子・情報・システム部門誌, Vol.119, No.8, pp.948-954 (1999).
- 7) 古賀昌史, 嶺 竜治, 安江 司, 酒匂 裕, 藤澤浩道: チェックライタ金額文字列認識の一手法, 電子情報通信学会論文誌. D-II, 情報・システム, II-パターン処理, Vol.86, No.6, pp.836-845 (2003).
- 8) 坂本秀一, 一宮亮一, 太田雄三: 音響を利用したシートの枚数検出法, 日本機械学会論文集. C 編, Vol.59, No.559, pp.819-826 (1993).
- 9) 坂本秀一, 一宮亮一, 太田雄三: 音響を利用したシートの枚数検出法: 第2報, シート移動状態での検出, 日本機械学会論文集. C 編, Vol.60, No.571, pp.994-999 (1994).
- 10) 坂本秀一, 一宮亮一, 太田雄三, 宮本賢一: 音響を利用したシートの枚数検出法: 第3報, 伝達関数の位相による紙および布の検出, 日本機械学会論文集. C 編, Vol.61, No.584, pp.1516-1521 (1995).

*1 センサテック株式会社 形 MDS-C10-5 コイン検出近接センサ
<http://www.sensatec.co.jp/seihin/mdsc105.html>