

ポケット内の物体形状認識による ライフログシステムの設計と実装

下鶴 弘大¹ 寺田 努^{1,2} 塚本昌彦¹

概要: ライフログにおいて効率的な振り返りをするためには、その時の行動や状況といった内容を表すキーワードを付与するタグ付けが必要であり、どのようなタグを付けるかが重要である。そこで本研究では、衣服のポケットへの物の出し入れは行動の重要な起点となっている可能性が高いため、いつ何がポケットに入っているかをロギングすることを考える。例えば、鍵がポケットに入っている時間から外出時間がわかり、あるいは切符がポケットに入っている時間から乗車時間がわかる。提案システムでは、格子状に多数配置した赤外線照射部と赤外線受光部をポケットを挟むように向かい合わせに配置することで、赤外線を遮った物体の形状からポケット内の物の種類を認識する。認識精度の評価実験では、携帯電話、切符、鍵を対象に正解率を調査し、平均 91% と高い正解率を得られることがわかった。

1. はじめに

近年、計算機や記憶装置の小型化により計算機を身につけ常時動作させるウェアラブルコンピューティングの発展に伴い、ユーザの過去の体験記憶や、日常の生活記録を蓄積してそれを振り返ることで人の記憶拡張を行おうというライフログが注目を浴びている [1],[2]。ライフログに関する研究は広く行われており、様々なセンサを用いることでユーザの人生の全ての情報を個人の記録として残すことも可能である [3]。これに伴い、個人が扱う情報量が爆発的に増え、これらの情報を効率よく検索する、あるいはこれらに適切なタグを付与する技術が求められている。

タグ付けの研究例として、小林らによるおいセンサを用いた食事、トイレ、喫煙といった状況に基づくタグ付けを行うシステム [4] や、福本らによるフォトリフレクタを用いた笑顔認識に基づく楽しい出来事や面白い出来事に対してタグ付けを行うシステム [5] などがある。このようにタグ付けは、一般に人間の周辺環境や行動に密接に関係したものをセンシングし、その時に何をしていたかというテキスト情報をセンサデータと合わせることにより行われる。

一方で、人間の行動や状況をロギングできる例として物を使うことも挙げられる。例えば、我々がポケットからある物を取り出した時、その時点でそれを使おうとして取り出した可能性が高い。つまり、ポケットの物の出し入れはユーザの行動の重要な起点となる可能性が高く、いつ何が

ポケットから出し入れされたかをロギングすることはライフログとして価値が高い。

そこで本研究では、ポケットに赤外線センサをつけることで、ポケット内の物体を認識するライフログシステムを提案する。提案システムでは、格子状に配置した多数の赤外線 LED とフォトランジスタをポケットを挟むように向かい合わせに装着し、照射されていた赤外線をポケットの中の物体が遮ったときに遮られた赤外線センサの分布からポケット内の物体の形状に基づいて物体を識別する。評価実験では、作製したプロトタイプデバイスを用いて携帯電話、鍵、切符の 3 つの物体に対してポケットへの出し入れを 100 回ずつ行い、提案システムの認識精度を評価した。

以下、2 章では関連研究について述べ、3 章で提案システムの設計について説明する。4 章でシステムの実装、5 章で提案システムの評価と考察について述べ、最後に 6 章で本論文のまとめを行う。

2. 関連研究

2.1 ライフログシステム

タグ付けを行う研究は広く行われている。小林ら [4] は、装着型においセンサを用いて空間に漂うにおいを認識することで、状況識別を行う手法を提案し、加速度センサとおいセンサを組み合わせることで、食事中やトイレ中といったにおいに基づく状況認識を行うことを可能にした。福本ら [5] は、メガネに取り付けたフォトリフレクタを用いて笑顔と微笑みを認識することでユーザにとって楽しい出来事や面白い出来事に対してタグ付けを行った。渡邊ら [6]

¹ 神戸大学大学院工学研究科

² 科学技術振興機構さきかけ

は、マイクと超音波を発する小型スピーカを装着し、これらの距離を表す音量の変化と、ドップラー効果から得られるジェスチャの速度を利用してジェスチャを認識し、9種類の歩行や食事などの日常生活行動をロギングすることを可能にした。これらの研究のように、ライフログは我々の周辺環境や行動に密接に関係したものをセンシングして行われる。

本研究のように物を使うことに基づいたライフログの例として、牧野ら [7] は、指の爪上に圧電素子を取り付け、指先を通して伝搬する音によって触れたものを認識し、記録するライフログシステムを提案している。この手法では、物体に触れて使用している場合は認識できるが、触れていない場合の認識については論じていない。

ポケット内の物体を認識する方法として、RFID タグを用いたものがある。RFID とは、カード状またはタグ状の媒体に電波を用いてデータの記録または読み出しを行い、アンテナを介して通信を行う方法である。椎尾らは、鍵に RFID タグを付けることで、靴やポケットに入れたままで、オフィスのセキュリティエリアや住宅のドアを入退室できるという利用例 [8] を紹介している。しかし、RFID タグは認識させたいもの全てにあらかじめ取り付ける必要があるため、ポケットの利用として想定される切符や入場券といった使い捨ての物に対して使用し難いという問題点がある。また、文献 [9] によると、RFID タグの情報の読み取りは、アンテナ同士の通信となるため他のアンテナと重なる範囲が多くなるほど読み取り精度が低下してしまうという問題点がある。具体的にはタグとタグの間隔が 2cm 以内でタグの重なりが 2/3 以上となる場合に読み取り精度が低下するということが留意点として挙げられている。ポケット内には複数物体が入ることが想定されるため、ポケット内の物体認識に RFID タグを使用することは現実的でないと考えられる。

2.2 赤外線センサを用いた認識システム

本研究では赤外線センサを用いてポケット内の物体の認識を行う。赤外線センサを用いて認識をする研究には [10], [11], [12] などがあり、これらの研究ではトイレやバスルームにおいてプライバシーの問題からカメラを用いることができない場合や、熱源の位置や移動方向の推定、あるいはクッションやぬいぐるみなどに用いることでインタラクションを行うために赤外線センサが用いられている。

Moeller ら [13] は、ウィンドウの端に赤外線センサを多数配置することで画面全体に赤外線を放射しておき、センサが遮られた場合に画面に触れたと認識する手法を提案している。しかし、本研究のようにポケットでの利用を想定した場合、通常ポケット内の物体の出し入れは手で直接物体を持って行う。よって手が障害となり物体を認識できないという問題点がある。溝口ら [14] は、ロボットハンドが



(a) 縦タイプ

(b) 横タイプ

図 1 一般的なポケットのタイプ

把持した物体を認識するために検出素子としてフォトリフレクタを格子状に配置したネット状近接覚センサを開発している。これは、ロボットの場合は、手先にカメラなどを取り付けることに制限があるため、カメラを用いて数 cm 以内の近距離の計測が困難であるという問題点を解決する手法である。本研究においても、ポケット内にカメラを設置することは難しく、さらに数 cm 以内の近距離の計測を行う必要があるため、フォトリフレクタを格子状に配置して物体の認識を行うこととする。

3. システム設計

本研究では、ポケットの中に複数個の赤外線センサを配置することで、ポケットへの物の出し入れやポケット内の物体を認識し、ライフログや、その状況に応じたサービスの提供を行うシステムの構築を目指す。

3.1 システム要件

2.1 節で述べたように、本研究ではポケットに入る可能性のある物体として、鍵や携帯電話などの常備する物体に加えて切符や入場券といった使い捨ての物体を想定しているため、物体に対してセンサを取り付けるなどの操作は行えない。さらに、何らかの物が入って来たという情報だけでなく、何が入ってきたかも認識する必要がある。

図 3 に一般的なポケットの構造を示す。ポケットの構造は図 1(a) に示すような縦から手をいれるものと図 1(b) に示すような横から手をいれるものが多い。どちらの場合でもポケット内部の構造はほとんど同じ袋状になっている。図 2 にポケットの袋構造の様子を示す。図 2 に示すようにポケットは入口付近でズボンと縫い合わされており、ポケットの本体となる部分は自由に動くようになっている。また、ジーンズのようなズボンが硬い素材で作られるものでも、ポケット部分には物の出し入れがし易いように柔らかく薄い素材が使われているなど、ポケットは物の出し入れのしやすさを考慮して作られている。本研究では赤外線センサをポケットに設置するが、ポケットが本来もつ物の出し入れのしやすさを阻害しないような認識システムが求められる。加えてポケット内は暗く狭いが、そういった状態にも対応できるセンサを用いる必要がある。



図 2 ポケットの袋構造

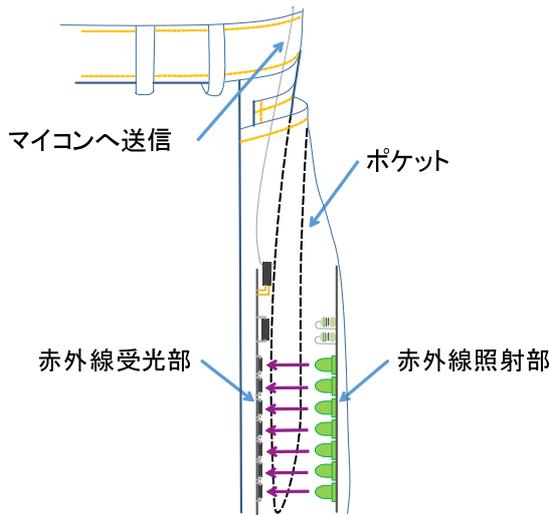


図 3 ポケット断面図

3.2 システム構成

3.1 節で述べたシステム要件を満たすために提案システムでは赤外線センサを用いる。図 3 にシステムを装着したポケットの断面図を示す。図 3 の黒い破線はポケットを表しており、提案システムはポケットの両側を赤外線を照射する赤外線 LED と赤外線を受光するフォトトランジスタで挟み、フォトトランジスタからの情報を有線でつながれたマイコンへ送信する構造になっている。マイコンへ送信された情報はその後 PC へ送信され、PC で認識処理を行う。これにより赤外線は常にポケットの外側から内部を通過し受光部へ届くようになっているため、ポケット内部に入った物体が赤外線を遮ることによって物の出し入れの認識や遮断されたパターンから物体の判別も可能である。さらに、ポケットの内部にはセンサが設置されないため通常のポケットの使用を妨げることなくポケット内の認識が可能である。また、通常赤外線センサは蛍光灯などの外乱光により影響を受けやすいが、ズボンの内部では外乱光による影響を考慮する必要がない。

2.2 節で述べたようにカメラなどが使えない環境では、数 cm 以内の近距離の物体認識には、赤外線センサを格子状に配置する手法が有効であった。そこで、本研究でも赤外線を格子状に配置する手法を用いる。図 4 に本研究で提案す

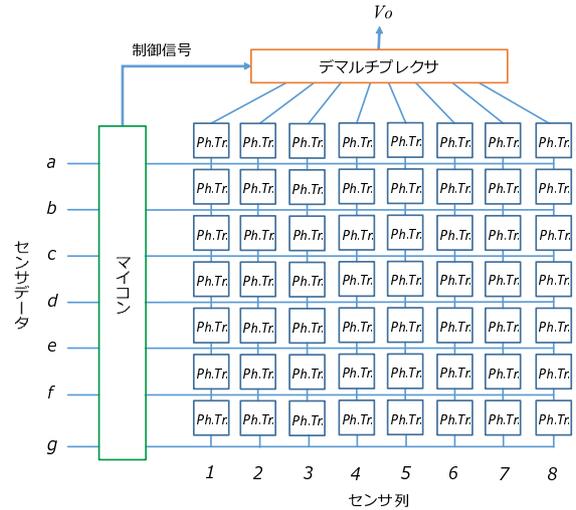


図 4 センサデータの読み取り方法

るセンサデータの読み取りを行う回路を示す。図 4 において格子状に配置された「Ph.Tr.」と書かれた正方形はフォトトランジスタを表し、デマルチプレクサを通して電源 V_0 に繋がっている。マイコンからデマルチプレクサに対して制御信号を送りデマルチプレクサの出力を切り替えることで、電圧が印可されるセンサ列を切り替える。その際にセンサデータを図 4 における a から g へ順に読み取り、次のセンサ列へ切り替える。センサから読み取った値はしきい値により 2 値化し PC に送信する。また、赤外線センサ列は、その面積がポケットの面積の幅よりも大きくなるように配置する。赤外線照射部はフォトトランジスタと対になるように赤外線 LED を格子状に配置し、システムが稼働している間は常時点灯している。赤外線 LED 列はポケットと受光部の大きさより大きくする。照射部と受光部は必ず赤外線が当たっている必要があるため、ずれのないようにする必要がある。

3.3 物体の認識手法

ポケットに入ってきた物体の認識アルゴリズムには、テンプレートマッチング [15] を用いる。テンプレートマッチングは、特定のパターンを検出するためのテンプレートを事前に用意しておき、そのテンプレートと被探索箇所を比較する手法である。被探索箇所とはマイコンで赤外線受光部から得られた情報をフォトトランジスタの配置通りに配置し 2 次元の情報としたものである。テンプレートとはマイコンで、あらかじめ認識する物体をセンサ上にかざしてその時のセンサ値をセンサの配置通りに 2 次元の情報としたものである。本研究ではテンプレートは 1 つの物体に対して複数用意しておく。

図 5 に本研究で用いる被探索箇所とテンプレートを示す。テンプレートの幅を M 、高さを N とし、テンプレートと被探索箇所を照合したときの各センサ値の誤差の絶対値の総

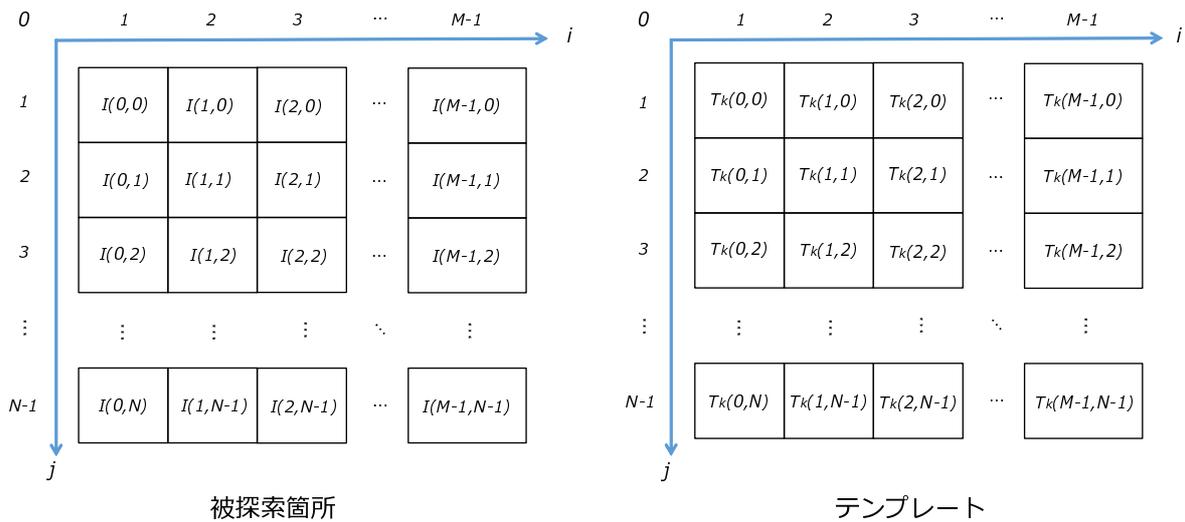


図 5 テンプレートマッチングに用いる被探索箇所およびテンプレート

和 (SAD: Sum of Absolute Difference) をを求める. テンプレートの総数を S とし $k(1 \leq k \leq S)$ 枚目のテンプレートと比較するとき, 座標 (i, j) におけるテンプレートのセンサ値を $T_k(i, j)$, 被探索箇所のセンサ値を $I(i, j)$ と表すとすると, k 枚目のテンプレートと被探索箇所との SAD, $R_{SAD}(k)$ は式 (1) で表される.

$$R_{SAD}(k) = \sum_{j=0}^{N-1} \sum_{i=0}^{M-1} |I(i, j) - T_k(i, j)| \quad (1)$$

式 (1) を他のテンプレート全てに対して適用し, その最小値 d_{min} を求める. d_{min} は式 (2) で与えられる.

$$d_{min} = \min_{1 \leq k \leq S} R_{SAD}(k) \quad (2)$$

d_{min} が閾値を下回れば, d_{min} を与えるテンプレートと一致する物体がポケット内にあるとし, 閾値より大きい場合は未知物体があるとする. 本研究ではしきい値を 6 とした.

4. 実装

3章のシステム設計に基づいて, ポケット内の物体を認識するシステムのプロトタイプを実装した. 図 6 に実装したプロトタイプデバイスを示す. プロトタイプデバイスは PC, マイコン, 赤外線照射部, 赤外線受光部およびモバイルバッテリーから構成されている. PC は LENOVO 社の ThinkPad X220i (CPU: Corei3 2.10GHz, メモリ: 4GB), マイコンは, Arduino nano[16], 赤外線照射部の電源には, 19V 出力のモバイルバッテリー Energizer[17] を 12V 出力に変換し使用した. ポケットに使用した素材は綿 100% で, PC 上の認識ソフトウェアの開発は Windows7 上で Processing[18] を使用して行った. さらに, 図 4.1 に赤外線照射部と赤外線受光部の基板を示す. 図 7(a) の赤外線 LED

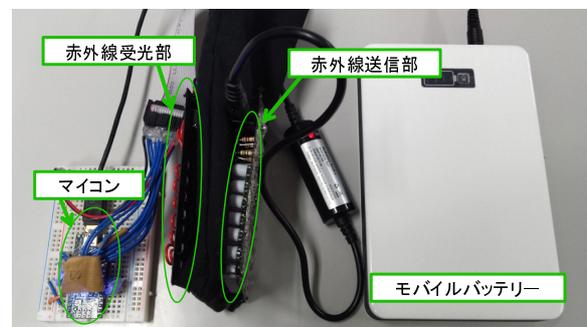


図 6 プロトタイプデバイス

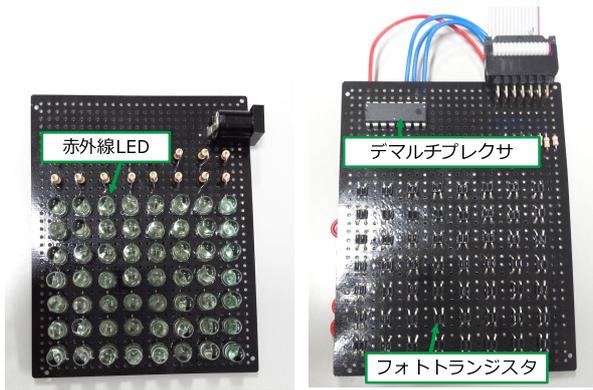
は 5mm 赤外線 LED OSI5LA5113A (放射強度 55mW/sr @50mA) を使用した. フォトトランジスタは, フォトリフレクタ (反射タイプ) TPR-105F のフォトトランジスタ部分のみ使用し, アレイ構造にした.

4.1 赤外線センサ

プロトタイプデバイスは赤外線照射部と赤外線受光部に分けられ, 図 6 に示すようにポケットを間に挟み, 対に配置する.

赤外線照射部は, 図 7(a) に示すように 7×8 の格子状に配置された赤外線 LED で構成されており. 隣接する赤外線 LED の距離は約 1cm である. 基板の大きさは 9cm \times 7cm で, そのうち赤外線 LED の占める面積は, 5.8cm \times 5cm である. 赤外線 LED1 個の強度はポケットを透過した後, 最短位置とその周りのセンサを含めて 1 から 3 個反応する強さである. また, 赤外線 LED1 個からの赤外線は, ポケット内部が最大約 3cm 開いた状態でもフォトトランジスタは検出可能である.

赤外線受光部は, 図 7(b) に示すように 7×8 に格子状に配置されたフォトトランジスタとデマルチプレクサにより構成される. 隣り合うセンサ間の距離は約 1cm である.



(a) 赤外線照射部 (b) 赤外線受光部

図 7 赤外線センサ

	テンプレート数	大きさ [cm ²]
携帯電話	1	14cm × 7cm
切符	153	5.5cm × 3cm
鍵	112	6.2cm × 2cm

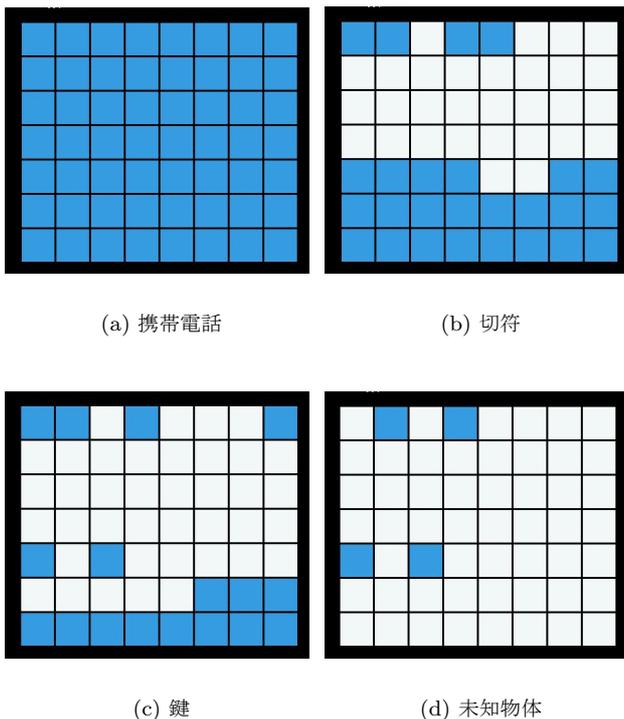


図 8 アプリケーション画面

デマルチプレクサによって高速にフォトトランジスタアレイの各列への電源を切り替えることにより、すべてのセンサのデータを約 1.7kHz で取得している。また、赤外線照射部および赤外線受光部の基板には、ポケットの柔軟性を妨げないフレキシブル基板を使用する。

4.2 認識に用いるテンプレート

各物体のテンプレート数とその大きさを表 1 に示す。図 8 に各テンプレートにおけるセンサのパターンの一例を示す。図 8 において白色の正方形は赤外線が透過しているセンサを表し、青色の正方形は赤外線が遮られているセンサを表している。テンプレートデータは、赤外線を常時当てておき、ポケット内に携帯電話、切符、鍵の各物体を入れたときに各物体が遮ったセンサの分布を 1,0 の二値で取得し csv 形式で保存した。また、テンプレートデータはそれぞれの物体の回転した状態でのテンプレートも取得しており、さらに各物体が最も分布しやすいポケット底部においてデータを重点的に取得した。アプリケーションは最初に PC に csv 形式で保存されたテンプレートリストを読み込み、携帯電話、切符、鍵の順にテンプレートとセンサデータに対してテンプレートマッチングを約 1kHz で常時行い、物体を判定する。ここで、携帯電話が 1 サンプルなのは、図 8(a) に示すように携帯電話は回転を考慮してもセンサ全体を覆っており、複数必要がないからである。

5. 評価実験

提案システムの認識率を調査する評価実験を行った。各物体に対してポケットへの出し入れを 100 回行い、その時にどれに分類されるかを評価した。認識させた物体はテンプレートに登録されている携帯電話、切符、鍵の 3 種類およびテンプレートに登録されていない物体としてリップクリームと手の 2 種類を用い、合計 5 種類の物体を用いた。

提案手法の正解率を表 2 の Confusion Matrix に示す。表 2 より、本評価実験による正解率は、携帯電話 100%、切符 91%、鍵 82% であった。正解データのない物体の正解率は、リップクリーム 96%、手 98% であった。また、システムの平均正解率は 91% であった。携帯電話と切符に関しては、それぞれ 100% と 91% と高い正解率を達成できており、認識がうまく行えた事がわかる。他と比べ、鍵が 82% と正解率が低くなったのは、ポケット内のセンサ部に物体がしっかりと入らず部分的にしか赤外線を遮らなかった場合や、入ってきた物体の周辺に正解データであるテンプレートが少なかった場合であった。しかし、ポケットに物体が半分以上入っていれば物体は認識できていたため、提案アルゴリズムは物体を正しく判定できていたと言える。手を入れた場合も 98% の精度で未知物体であると認識できた。ポケット内部をほとんどすべて覆った場合は、携帯電話と誤認識することがあった。切符と鍵を同時に入れた場合、携帯電話 0%、切符 67%、鍵 4%、未知物体 29% と認識した。この結果から、2 つ以上の物体を入れた場合、ほとんどの場合大きさの大きな物体に判定結果が偏るか判定できないことがわかった。

本実験により、提案システムは 1 つの物体に対して、ライフログで利用するにあたって十分な認識精度を備えてい

表 2 プロトタイプデバイスを用いた正解率 [%]

		認識データ				正解率 [%]
		携帯電話	切符	鍵	未知物体	
正解データ	携帯電話	100	0	0	0	100
	切符	0	91	3	6	91
	鍵	0	2	82	17	82
	リップクリーム	0	2	2	96	96
	手	1	1	0	98	98
	切符と鍵	0	67	4	29	71

るが2つ以上の物体に対しては認識精度が下がるということがわかった。

6. まとめ

本論文では、ポケットへ出入りする物体に着目したライフログシステムを設計、実装した。赤外線センサを用いて、赤外線をポケットの外側から照射しポケット内部を透過させ、逆の外側でセンサにより受光することにより、物体にセンサを付けずに物体認識を行った。認識精度の評価実験では、1つの物体に対して、ライフログで利用するにあたって十分な認識精度を備えていることがわかった。

今後の課題としては、データロガーの設計や認識率の向上が挙げられる。本研究で実装したプロトタイプはPCベースのシステムであり、PCが必要であるが、この問題を解決するために、スタンドアロンのシステムを実装する必要がある。認識に関しては、小さな物体ほど認識率が下がってしまう点や1つの物体のみしか認識できないという問題点がある。この問題を解決するために、センサの密度を増やしテンプレートの解像度をあげることで鍵のような小さな物体でも正確な物体認識を行うことや、2つ以上の物体がポケットに入っている際の認識手法も検討していく。

参考文献

- [1] 河村竜幸, 河野恭之: ウェアラブルコンピューティングによる記憶拡張, システム/制御/情報, Vol.50, No. 1, 特集「体験の記録・利用とその意義」解説記事, pp. 23-28 (Jan. 2006).
- [2] 中村 聡史: ライフログによる記憶拡張のための探索手法とその実践, 第 21 回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ, pp. 103-108 (Dec. 2013).
- [3] MyLifeBits, <http://research.microsoft.com/en-us/projects/mylifebits/>.
- [4] 小林泰貴, 寺田 努, 塚本昌彦: においに基づくコンテキストウェアシステム, コンピュータソフトウェア (日本ソフトウェア科学会論文誌) インタラクティブソフトウェア特集, Vol. 29, No. 4, pp. 324-334 (Dec. 2012).
- [5] K. Fukumoto, T. Terada, and M. Tsukamoto, A Smile/Laughter Recognition Mechanism for Smile-based Life Logging, *Proc. of the 4th Augmented Human Conference 2013 (AH2013)*, pp. 213-220 (Mar. 2013).
- [6] H. Watanabe, T. Terada, and M. Tsukamoto, Ultrasound-based Movement Sensing, Gesture-, and Context-recognition, *Proc. of 17th International Symposium on Wearable Computers (ISWC2013)*, pp. 57-64 (Sep. 2013).
- [7] Y. Makino, M. Murao, and T. Maeno: Life Log System Based on Tactile Sound, *Haptics: Generating and Perceiving Tangible Sensations.*, Vol. 6191, pp. 292-297, (July 2010).
- [8] 椎尾一郎, 早坂 達: モノに情報を貼りつける: RFID タグとその応用, 一般社団法人情報処理学会, Vol. 40, No. 8, pp. 846-850 (Aug. 1999).
- [9] 辻 雅寛: 図書館システムにおける RFID 技術の適用, 技術情報誌 (ITJ), Vol. 4, pp. 74-79 (Jan. 2005).
- [10] 齊藤光俊, 北園優希, 芹川聖一: 赤外線センサを格子状に配置した人物状態推定センシングシステムの開発, 電気学会論文誌 E (センサ・マイクロマシン部門誌), Vol. 128, No. 1, pp. 24-25 (Jan. 2008).
- [11] 河本 満, 池田 剛, 幸島明男, 車谷浩一: 焦電型赤外線センサアレイを用いた位置測位方法, 情報処理学会研究報告, Vol. 2010-UBI-26, No. 6, pp. 1-8 (Dec. 2010).
- [12] G. Kakehi, Y. Sugiura, A. Withana, C. Lee, N. Nagaya, D. Sakamoto, M. Sugimoto, M. Inami, and T. Igarashi: FuwaFuwa: Detecting Shape Deformation on Soft Object Using Directional Photorefectivity Measurement, *Proc. of the 38th International Conference and Exhibition on Computer Graphics and Interactive Techniques (SIGGRAPH2011)*, No.5, p. 1 (Aug. 2011).
- [13] J. Moeller and A. Kerne, ZeroTouch: An Optical Multi-Touch and Free-Air Interaction Architecture, *Proc. of 30th the ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI2012)*, No. 10, pp. 2165-2174 (May 2012).
- [14] 溝口善智, 多田隈建二郎, 長谷川浩章, 明 愛国, 石川正俊, 下條 誠: 近接・触・すべり覚を統合したインテリジェントロボットハンドの開発, 計測自動制御学会論文集, Vol. 46, No. 10, pp. 632-640 (Oct. 2010).
- [15] テンプレートマッチング, <http://kszkaivdm.doorblog.jp/archives/21182999.html>.
- [16] Arduino, <http://www.arduino.cc/>.
- [17] energizer, <http://www.energizer.com/Pages/default.aspx>.
- [18] processing, <http://processing.org/>.