

サーマルカメラで取得した接触履歴を活用した 失くし物検索システムの提案と評価

田仲 百音^{1,a)} 岸野 泰恵^{1,3,b)} 下西 英之^{2,c)}

概要: 我々は失くし物を捜すために多くの時間と労力を割いている。そのため、失くし物を発見する様々なシステムが開発されてきた。例えば、無線タグは屋内環境において有用だが、デバイスの寿命や多数の物に取り付けるにはコストがかかるなどの問題点がある。また、カメラベースのシステムは一度に多数の物体を追跡できる一方、ユーザの周囲に現れる物体すべてを追跡すると、検索候補が膨大な量になってしまう。そこで我々は、可視光カメラとサーマルカメラを用いた紛失物発見支援システムを提案する。提案するシステムでは、可視光カメラによる物体検知とサーマルカメラによる接触検知を組み合わせることで、人が触れた物体に限定して履歴情報を取得し、人の失くし物捜しの支援を行う。さらに本稿では、提案システムの基本的な性能について評価した結果を報告する。サーマルカメラを導入して人が触れた物体を検出することで、カメラによる失くし物捜しの効率を向上できる可能性があることを示した。

1. はじめに

鍵や財布、眼鏡など生活に欠かせないものを紛失した経験は誰もが一度はあるだろう。ある調査によると、家の中で物を失くす回数は1か月に平均3.2回以上だという^{*1}。また、人は失くし物を見つけるために1年間で2.5日を費やしているという調査結果もある^{*2}。このように、人は日ごろから物を頻繁に失くし、それを見つけるために多くの時間と労力を割いている。そのため、失くし物捜しを支援するシステムは、人々の暮らしをより便利にする大きな可能性を秘めている。

物体を捜すシステムとして、これまでに様々な手法が提案されてきた[1], [2], [3]。その一つに、無線タグ[4]やARマーカー[5]などを物体に取り付け、管理する方法がある。この手法では、物体の位置を確実に特定できる一方、タグ付けの手間がかかるため、あらゆる物体を追跡するのは難しく、また、無線タグには電池寿命の問題もある。

Yan らが120人を対象に実施したアンケート調査[6]によると、オフィスなどの公共の場で物を失くす原因として

多く挙げられたのは、「他の人物によって物が動かされたから(58人)」「大事な物ではないため(51人)」「自分で物を動かしたが忘れてしまった(41人)」であった。この結果から、物の移動をきっかけとして失くしてしまうことが多く、また、紛失防止の無線タグを付けない、大切なものほど失くしやすいと推測できる。したがって、失くし物を捜す上で、無線タグを利用するシステムよりカメラベースのシステムの方が有用だと考えられるが、カメラベースのシステムでユーザの周りに現れるすべての物体を追跡すると、検索候補の数が膨大になってしまう。検索候補削減のため、八木ら[7]は、失くし物の多くが携帯可能な物である点に着目した。この研究では、検索範囲をすべての物体ではなく、ウェアラブルカメラを用いることで、手で扱われた物体に限定して失くし物を捜すシステムを実現した。しかし、一人称視点の画像のみを取集するため、複数人が物を動かし得る場合に対応できないという欠点があった。

そこで我々は、これまでに接触履歴情報を活用した失くし物検索システムを提案した[8]。本システムでは、可視光カメラによる物体検知とサーマルカメラによる接触検知を組み合わせることで、人が触れた物体の履歴を取得し、ユーザの失くし物捜しを支援する。本手法では固定の可視光・サーマルカメラを使用しているため、物体の事前登録が不要であり、複数人が物を共有する状況にも対応できる。本稿では、先行研究[8]で示した基本コンセプトを元にした捜し物支援に必要な機能の設計と実装、また実験により提案システムの基本機能を評価した結果を報告する。

¹ 大阪大学大学院 情報科学研究科

² 大阪大学 サイバーメディアセンター

³ NTT コミュニケーション科学基礎研究所

^{a)} tanaka.mone@ist.osaka-u.ac.jp

^{b)} yasue.kishino@ntt.com

^{c)} shimonishi.cmc@osaka-u.ac.jp

^{*1} <https://prtimes.jp/main/html/rd/p/000000211.000022173.html>

^{*2} <https://web.archive.org/web/20171206223019/https://getpixie.com/blogs/news/lostfoundsurvey>



図 1: 提案システムイメージ図. ユーザはカテゴリや時間で検索対象を絞り込むことができる.

2. 関連研究

失くし物を探すための研究は盛んに行われており、無線タグや固定カメラ、ウェアラブルカメラを用いた手法などさまざまな方法がこれまでに提案されている. RFID タグは屋内環境で用いる場合に有効であるが、物体が探索範囲外に持ち出された場合、物体の位置を特定することができない. 探索範囲を広げるために、市販の製品では Bluetooth と GPS を組み合わせたシステムが採用されている (例: AirTag^{*3}). これらの無線タグを利用したシステムは、物体の位置を提供することができるが、すべての物にタグをつけるのは現実的ではない. 一方で、カメラベースのシステムは無線タグを必要とせず、多数の物を追跡できるという利点がある.

上岡ら [9] は可視光カメラと赤外線カメラを搭載したヘッドマウントデバイスを利用して、ユーザが事前に登録した物体を認識・記録する「I'm here!」システムを提案した. 対象の物体が最後に撮影された時点での動画をヘッドマウントディスプレイに表示し、ユーザが失くし物进行搜索するのを補助する.

八木ら [7] は失くし物の多くが手で扱われる物であることに注目し、ウェアラブルカメラを用いて、過去に把持した物体の発見を支援する「GO-Finder (Generic Object Finder)」を提案した. GO-Finder は物体の画像を検索クエリとすることで物体を登録する手間を省き、任意の物体を追跡する. 追跡した物体が最後に確認された瞬間の画像をユーザに提示し、失くし物発見の支援を行う. 被験者実験では、支援なしの状況と比較して心理的負担を軽減する効果があることが確認された. しかし、GO-Finder は一人称視点の画像を収集してログを取得するため、複数人が物を共有して利用するシーンには対応していない.

これに対し Yan ら [6] は、顔認識と物体検知を組み合わせることで、多人数に対応した失くし物捜しのシステム

「CamFi」を提案した. CamFi は、固定カメラで物体検知し、最後に対象の物体に触れた人物、もしくは対象の物体と同時に撮影されている回数が最も多い人物についての情報を提供することで、複数人が共有する場所における失くし物捜しを支援する. ユーザ実験では、被験者 12 人のうち 9 人が有用なシステムであると回答している一方、人物の顔を撮影することを前提とするシステムであるためプライバシー上の懸念も指摘されている.

3. 接触検知

本章では、サーマルカメラで撮影した画像を用いた接触検知と、素材別の予備実験について述べる.

3.1 サーマルカメラを用いた接触検知

通常、人の体温は環境表面の温度より高く、人が物に触れるとその表面に人の手の熱が残る (図 2)、これは熱痕跡と呼ばれる. 図中では、人の手が電卓から離れた後も電卓の上に熱痕跡が残っていることが確認できる. 熱痕跡を利用した研究はこれまでも行われており、特にインタラクションの分野では熱痕跡を入力インターフェースとして利用する試み [10], [11] がなされてきた. 一方で、熱痕跡を継続的に取得し、接触履歴として活用した研究は少ない.

我々の所属する研究グループでは、感染症予防を目的として、サーマルカメラを用いて人の触れた箇所を可視化する研究 [12] を実施した. この研究では、背景差分画像処理を用いて、人が物を触れた後の物体の温度と触れる前の温度を比較して熱痕跡を検出し、人の物体への接触を検知する. 具体的には、固定カメラを設置した場所の定常状態を背景画像とし、背景画像と現在の画像の差分画像に処理を加えることで接触を判定した. 本研究ではこの技術を活用し、人が触れた箇所の情報を用いて、可視光カメラ内に撮影された多数の物体から、検索範囲を人が触れた物に限定すること試みる. サーマルカメラで熱痕跡を検出し、同時に可視光カメラで物体の場所に変化があった場合、温度変化があった部分は確実に人が触れて物の移動があったと考

^{*3} <https://www.apple.com/jp/airtag/>



図 2: 熱痕跡の例

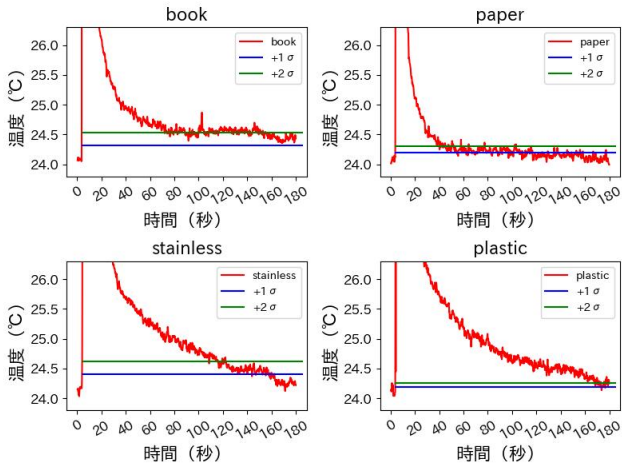


図 3: 素材ごとの温度変化

えられる．そのため，単純に物体検出した結果を元に物体を捜す方法と比較して，大幅に失くし物の検索範囲を絞り，より簡単に失くし物に関する情報にたどり着けると期待できる．

3.2 予備実験

熱痕跡が残る時間は，物体の熱容量や，素材の熱伝達率などさまざまな条件によって異なる．そこで，熱痕跡の挙動を調査し，熱痕跡取得時の適切な閾値について検証するため予備実験を行った．実験では本，紙，ステンレスのコップ，プラスチックのボトルを使用し，5 秒程度手を触れ，手を離してから物体の温度が定常状態に戻るまでの温度変化を調査した．また，熱の観測値は常にわずかに変動しているため，定常状態における温度の平均 μ ，標準偏差 σ を用いて正規分布を求め， $\mu + 1\sigma$ や $\mu + 2\sigma$ といった一般的な統計処理で用いられる基準値と比較して，定常状態に戻るまでの温度変化を観察した．

結果を図 3 に示す．この図では，各物体の温度についてはそれぞれの最低温度を 24°C として補正した．横軸が時間，縦軸が温度を，赤色の線で人が接触した箇所の温度変化（10 フレームごとの温度の移動平均）を示している．温度が 10 秒～20 秒付近で大きく上昇しているのは物体に接触した人の手が撮影されていた区間である．また，青線が定常状態の $\mu + 1\sigma$ ，緑線が定常状態の $\mu + 2\sigma$ を表す．温度が $\mu + 2\sigma$ を上回っている場合は，明らかに温度差が生じていると考える．

手を触れ，離してから $\mu + 2\sigma$ 以下の温度に戻るまでの

表 1: 物体検知と接触検知の関連

物体検知	熱画像に変化なし	熱画像に変化あり
開始	継続して存在	配置・使用した (熱痕跡の検出)
終了	他の物体による遮蔽	持ち去り (または人による遮蔽)

時間はそれぞれ，本が 50 秒，紙が 30 秒，ステンレスが 90 秒，プラスチックが 150 秒ほどであった．この結果から，30 秒程度のオクルージョンであれば，ほとんどの物体に対して問題なく熱痕跡を取得できることが分かった．さらに，本や紙は，ステンレスやプラスチックと比較して，熱の残る時間が短かったが，YOLO によって検知された物体が，この実験での本や紙のように熱が残りにくい物体であれば二値化の閾値を下げる，といった方法で，熱痕跡を長時間検出できる可能性がある．

4. 提案手法

1 章で言及したように，複数人が共有するスペースで物を失くすのは物の移動をきっかけとすることが多い．物が移動するときは人が手で持ち運ぶことがほとんどであるため，人が触れた物の履歴を取得することができれば，失くし物捜しを支援できると考え，3 章で述べたようにサーマルカメラに着目した．提案システムの構成を図 4 に示す．本研究で想定しているのは数人から十数人程度が共有している屋内スペースである．提案システムではまず，可視光・サーマルカメラによって人が触れた物体を検出し，接触物体ログをデータベースに保存する．次に，保存した接触物体ログから，人が触れた物の情報を接触履歴としてまとめる．さらに接触履歴情報を，Web ページに表示して，ユーザが共有スペースで利用した物が最後に触れられた時の写真を表示し，失くし物捜しの支援を行う．Web ページには，先行研究 [6], [7] を参考として，物体のみを切り抜いたサムネイル，物体が最後に確認された時の画像，その他の詳細情報を表示する．これによりユーザは，失くし物を捜すときに，最後に確認された時の画像を見ることで，いつどこに捜している物が置かれたか簡単にわかるようになる．特に複数人の共有スペースで，いつの間にか誰か他の人が物を移動させて見当たらなくなった場合に効果的だと考えられる．

我々の提案システムは，従来提案されてきたシステムと比較して，熱画像の変化の有無を検索キーとして活用できるという特長をもつ．表 1 は，物体検知と接触検知の関連についてまとめたものである．熱画像に変化がない場合，物体は移動しておらず，その場に留まっていると考えられる．一方，熱画像に変化があった場合には，物体の移動があったと考えられる．したがって，熱画像の変化の有無に注目し，変化があった場合を検索キーとすることで，紛失

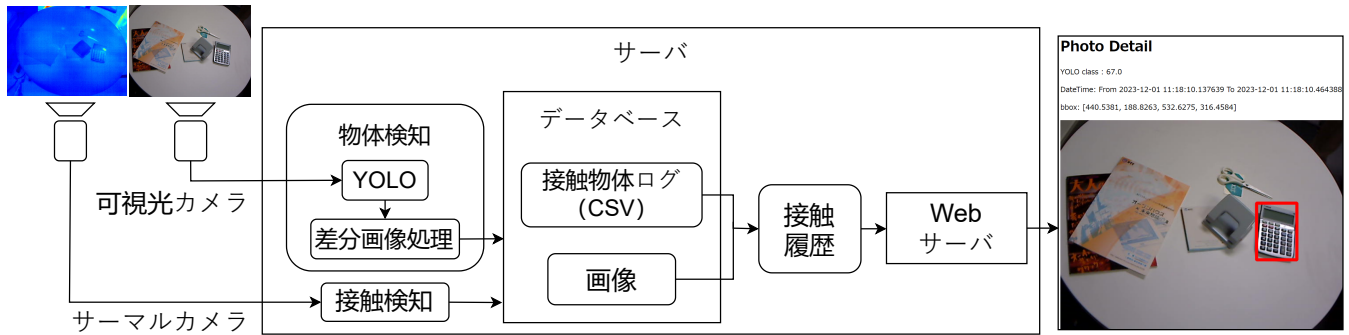


図 4: 提案システムの構成

のきっかけとなる物の移動を捉えられると考えた。現段階では配置・使用のみを検索キーとして使用しており、持ち去りについても検索キーとする方法については今後の課題としたい。

4.1 触れた物体の検出

次に、可視光カメラとサーマルカメラで撮影した画像を用いた人が触れた物体の検出方法について説明する。まず、可視光画像に対して YOLOv8 [13] を用いて物体検知を行い、検知した物体クラスラベル名とバウンディングボックスを取得する。YOLO のクラスラベルに存在しない物体については、差分画像処理による物体検知を行う。具体的には、まず初期状態、すなわち机の上に何も置かれていない状態を背景とし、現在のフレームとの差分画像を取得する。得られた差分画像について二値化処理を行い、YOLO によって検知された物体の領域を除外した上で、二値化画像の輪郭を抽出する。最後に、輪郭の座標からバウンディングボックスを求め、YOLO のバウンディングボックスと同様に扱う。この際、YOLO で認識できない物体のクラスラベルはすべて unknown とした。次に、サーマル画像に対して熱痕跡検出を行い、検出した熱痕跡が、可視光画像から検知した物体のバウンディングボックス内にあれば、この物体は人が触れた物であるとして接触物体ログとして保存する。熱痕跡は、定常状態のサーマル画像である背景画像との差分を取り、二値化等の処理を行い、一定上の温度差がある箇所を抽出している。抽出した熱痕跡に対しては、熱痕跡の輪郭から重心を求め、熱痕跡の重心が可視光画像のバウンディングボックス内にあれば、その物体に接触していると判定する。

以上の処理を行った後、YOLO のクラスラベル、検出時刻、バウンディングボックスの座標を、接触物体ログとして記録する。同時に、フレーム画像全体、および物体のみをバウンディングボックスで切り抜いたサムネイル画像・熱痕跡画像もデータベースに保存する。

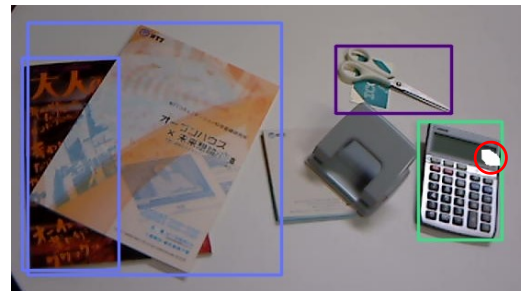


図 5: 触れた物体の検出。電卓のバウンディングボックス内に検出した熱痕跡を強調表示している。

4.2 接触物体ログから接触履歴への統合

次に上記の方法で収集した接触物体ログを、人が触れた物の情報である接触履歴に変換する方法について述べる。前節のステップでは、人が触れた物体を自動で検出し検索候補として収集するが、それぞれは独立したログであるため、一連の接触履歴として統合する必要がある。ここで、接触物体ログから接触履歴に統合する際に、ログに記録された物体が過去に登録された物体と同一の物が判定する。判定には、HSV 色空間における Hue チャンネルのヒストグラムと、バウンディングボックスの IoU (Intersection over Union) を用いる。Hue を使用するのは、明度に左右されない値であり、照明による影響を受けにくいためである。過去に登録された物体について、ヒストグラムの比較結果と、バウンディングボックスの IoU の値の和が閾値以上であれば、同一物体とする。なお、ヒストグラムの値を算出する際には、手で持っている途中の画像を誤認識しないよう、サーマルカメラによって人の手の部分を除去するマスク画像を生成し、可視光画像にマスクをかけ物体部分のみのヒストグラムを計算している。接触物体ログから接触履歴への統合は以下の 3 ステップで行う。

Step 1: 接触物体ログの物体ラベルが過去に確認されていないラベルであれば、新たな接触履歴として登録する。

Step 2: 既に登録されているラベルであれば、過去に登録された物体と同一であるかを、ヒストグラムとバウンディングボックスの IoU を用いて判定する。同一物

体でないと判定されれば、新たな接触履歴として登録し、同一物体であると判定されれば、接触ログは該当の接触履歴情報の一部であったと判定し、接触履歴情報のバウンディングボックスの平均値、最後に確認された時間を更新する。

Step 3: 最後に物体が確認されてから、一定時間（例えば今回の実装では 30 秒）が経つと、接触履歴情報の最終確認時間とバウンディングボックスの平均値を確定させる。なお、物体が検出されたフレーム数が閾値（今回の実装では 25 フレーム）以下の場合、誤検出の可能性が高いので記録しない。

これらの処理によって、ユーザがカメラ画像内に置いた物体に対する接触履歴情報として保存する。

4.3 検索インターフェース

検索対象となる物体を名称や ID で管理すると、事前登録の手間がかかりユーザの負担になってしまう。そこで、物体の事前登録が不要で、ユーザが捜している物体が一目でわかるよう、サムネイル画像が一覧で表示される形式の検索インターフェースを採用、物体が撮影されている可能性が高い画像を提示し、その中から検索対象の画像を確認してユーザが物体を捜すこととした。また、失くし物を捜す上で、物体が最後に置かれた場所はユーザにとって重要な情報である。そのため、サムネイル画像の中から捜している物体の画像を選択すると、物体が最後に確認された際の画像を確認できるようにした。

実装した検索インターフェースを図 1 に示す。この検索インターフェースでは前節までで作成した接触履歴の情報をを用いて、これまでにユーザが触れた物体の写真などの情報を提示する。ユーザは、カテゴリーや日付、時間帯で検索対象を絞り込むことができ、捜したい物をクリックすると、対象物が最後に確認された時の画像、YOLO のラベル、記録された時間、バウンディングボックスの座標といった詳細情報が表示される。現状の実装では、YOLO によらず差分画像処理によって検出した物体には unknown のラベルが付与されている。これらの物体に対しては、将来的には具体的なカテゴリ名にすることを検討しているが、現状の実装ではこのように unknown カテゴリとして扱われる。対象物が最後に確認された時の画像上では、対象物体を赤枠で囲って表示する。赤枠はログに保存されている複数のバウンディングボックスの平均値をもとに描画する。

これにより、ユーザは漠然とした、「ここに置いたはずの本」といった情報から、物体のカテゴリや、最後に置いたはずの時刻などを指定して、失くし物が最後に置かれたときの画像を確認できるようになる。



図 6: 左：実験に使用したカメラ，右：実験の様子。

5. 実験

ここまでで述べた、サーマルカメラを失くし物捜し支援に導入したことによる効果を検証するため、我々は提案システムの機能性能を調査する以下の 3 つの実験を行った。

実験 1：基本性能と同一物体判定性能

提案システムによる接触物体検出の基本性能および、同一物体判定機能の性能を評価する。提案システムでは、YOLO で同一クラスに分類された物体に対しては、ヒストグラムとバウンディングボックスの IoU を用いて、同一物体かを判断する。実験では、この機能によって、検索候補が正しく列挙されるかを調査した。

実験 2：検索候補の削減数

サーマルカメラを導入した提案手法によって、可視光カメラのみを使ったシステムと比較して、検索候補をいくつ削減できたかを調査した。

実験 3：差分画像処理による物体検出

YOLO のクラスラベルに存在しない物体について、差分画像処理による検出を試みた。YOLO で検出できなかった物体のうち、差分画像処理によって何個の物体を検出できたか調査した。

この他、接触検知結果を用いることで、物体認識の実行回数を削減できる効果については、すでに [8] で報告した。

5.1 実験環境

実験には、解像度 480×640 の可視光カメラ（GAZO MCM-303NIR）、解像度 512×640 のサーマルカメラ（FLIR Boson640R）を用いた。図 6 に実験の様子を示す。なお、可視光・サーマル画像同士の位置合わせをアフィン変換によって行った上で、サーマル画像の不要な部分を切り落とし、可視光カメラと座標・サイズを合わせている。ここで、サーマルカメラにはレンズの端にゆがみがあり、画像の四隅はアフィン変換によって可視光・サーマル画像同士の位置合わせをすることができなかったが、四隅には物体も配置されなかったため、システムにおける画像処理範囲外とした。

表 2: 実験 1, 2 の結果

	YOLO 接触検知	YOLO 同一物体判定	YOLO 同一物体判定 接触検知
検知成功	6	11	10
検知漏れ	5	0	1
誤検知（複数回認識）	0	5	0
誤検知（分類誤り）	2	0	0

次に実験用に撮影した動画の詳細について述べる．実験 1, 2 では検索対象物体として，YOLO のクラスラベルに含まれる，雑誌，ハサミ，電卓，スマートフォン，イヤホンケース，布製の筆箱，水筒，ペットボトル，化粧品ボトルの，9 種類，合計 11 個の物体を用意した．それぞれの物体を机の上に置く，移動する，取り除くなどの作業を繰り返し行い，撮影された画像を用いて検証した．約 3 分 30 秒の動画で，フレーム数は 6070，フレームレートは 30fps だった．

実験 3 では検索対象物体として，13 種類，合計 27 個の物体を使用した．YOLO のクラスラベルに含まれる物として，リモコン，ハサミ，ペットボトル，本，雑誌，コップ，スマートフォンを用意し，YOLO のクラスラベルに含まれない物として，鍵，財布，ペン，イヤホンケース，メモ帳，書類を用意した．実験 1, 2 と同様に，それぞれの物体を机の上に置く，移動する，取り除くなどの作業を繰り返し行い，撮影された画像を用いて検証した．約 3 分の動画で，フレーム数は 5849，フレームレートは 30fps だった．

5.2 結果

実験の結果は以下の通りであった．

実験 1：基本性能と同一物体判定性能

実験の結果を表 2 に示す．YOLO と接触検知のみを用いた 1 列目の結果と，同一物体判定を用いた提案手法の 3 列目の結果を比較する．同一物体判定を YOLO のクラスラベルのみを用いて行った場合，接触検知できなかったハサミを除いて，継続的に接触検知された物体のうち，正しく検索候補に挙げられた物体が 6 個，誤ったラベルを付与された物体が 2 個，検索候補に挙げられなかった物体が 4 個であった．図 7 にいくつかの例を示す．一方で，ヒストグラムとバウンディングボックスの IoU を用いて物体を区別する提案手法の場合，ハサミ以外の，継続的に接触検知された物体 10 種類すべてを検索候補に挙げることができた．これは，ヒストグラムの比較結果とバウンディングボックスの IoU の値によって，過去の接触ログと一貫性が保たれないログが除去されたことによる効果であると考えられる．ハサミの接触検知に失敗した理由については，物体表面が光を反射しやすい素材であり，今回の実験で使った熱痕跡二値化の閾値が素材に不適切であったためと考え



図 7: 実験中の検出結果の一例．左 2 枚：誤ったラベルを付与された検索候補，右 2 枚：YOLO において bottle とラベル付けされた化粧品ボトルとペットボトル．同じ bottle クラスの水筒と混同され，検索候補に挙げられなかった．

られる．

実験 2：検索候補の削減数

表 2 の，サーマルカメラによる接触検知を用いず，YOLO と同一物体判定のみを用いた 2 列目の結果と，接触検知を用いた提案手法の 3 列目の結果を比較する．可視光カメラで収集した画像のみを使用して，画面内に現れた物体全てを記録した場合，YOLO で継続的に検知された物体すべてが検索候補に挙げられた．一方，提案手法で同一物体が再び検索候補に挙げられることはなかったが，接触検知を行わず物体検知のみを行った場合，同一物体のサムネイル画像が表示された回数は 5 回であった．これは，物体ログから物体の履歴へ統合する中で，物体が最後に確認されてから一定時間（今回の実装では 30 秒）を超えると履歴を確定する処理を行っているため，遮蔽されていた物体が再び検知された際に，新たに出現した物体として登録されたことが原因と考えられる．

実験 3：差分画像処理による物体検出

表 3 に実験結果を，図 8 に認識した画像の例を示す．差分画像処理による物体検知を行うことで，YOLO で検知できなかった物体 16 個中，7 個の物体を検知することができた．YOLO，差分画像処理のどちらでも検知できなかった物体は，白い机の背景に対し，白い表紙のメモ帳を置いたときや，白地の書類を置いたときなど，背景との差分が小さい場合であった．

一方，誤って検索対象ではない物体を検出した回数は 9 回であり，物体や人による影による差分が反映されたことが原因であると考えられる．また，同一の物体が分離されて表示される場合や，一度は YOLO で検知された物体が，差分画像処理によって再度検知された場合もあった．差分画像処理による物体検知を行う上で，YOLO によって検出された物体の領域は除外しているが，YOLO による物体検知が不十分であったり，本来の物体の領域より狭い部分のみを検知したりしたことが一因であると考えられる．以上より，一定の改良の余地は残るが，差分画像処理を導入することで，YOLO のクラスにない物体であっても検索候補として扱えるようになることが確認できた．



図 8: 差分画像処理による物体検知の例。左: 物体検知の成功例。中央: 差分画像処理による物体検知に失敗し、影を物体と誤認識。右 2 枚: 同一物体が分離して検知された例。

表 3: 実験 3 の結果。括弧内の数字は、接触検知に成功したものの、同一の物体が分離して表示されたり、同一物体が再び検索候補に挙げられたりなど、問題があった検索候補の数を示す。

(a) YOLO+接触検知			
正解			
認識結果		接触	非接触
	接触検知	14 (5)	0
	接触非検知	16	N/A

(b) YOLO+差分画像処理+接触検知			
正解			
認識結果		接触	非接触
	接触検知	21 (10)	9
	接触非検知	9	N/A

6. 議論

6.1 提案システムの有用性

本稿では、固定の可視光カメラとサーマルカメラを用いて、人が触れた物体に検索候補を限定した失くし物探しシステムを提案した。可視光画像を用いて物体検知のみを行いユーザの周囲に現れる全ての物体を記録するシステムと比較して、物体検知と接触検知を組み合わせ、人が触れた物体のみを履歴に残す提案システムでは、ユーザが目的の物体のサムネイル画像を発見しやすくなると考えられる。実際に実験 2 では、提案システムを用いることで、物体検知のみを行うシステムと比較して、ユーザに提示する不要な検索候補を削減できることを確認した。今回は 3 分 30 秒程度の動画を使用した。長時間での運用となると、履歴に残る物体の数が増えるため、可視光カメラのみを用いたシステムと比べて目的の物体のサムネイル画像を容易に発見できると考えられる。

実験 3 では、差分画像処理によって、YOLO で検知できなかった物体 16 個中 7 個を検知することができた。差分画像処理による物体検知は、YOLO の追加学習が不要で、様々な形状の物体に対応可能であるという点で有用だといえる。特に、鍵や財布など、YOLO のクラスラベルに存在しない、日常生活に必要不可欠な物体に対して効果が大きい

きいと考えている。また、差分画像処理を用いても検知できなかった物体 9 個のうち、4 個は紙や書類であり、背景画像の白いテーブルとの差分が大きくなかったことが原因であると考えられる。この点については、書類の検索を扱った先行研究 [11] などを活用することで補えると思われる。

6.2 制限と今後の展望

差分画像処理による物体検知では、人や物体の影が原因で検知に失敗する例が多く発生した。影の影響を完全に除外することは難しいが、影はサーマル画像では撮影されないことを活かして画像処理手法を改良する、あるいは今後インターフェースを通して不要なデータを削除できるよう改善する、といった方法で対処する予定である。

今回の評価実験では、机の上に置かれた物体を対象として画像処理の性能を調査したが、接触検知を組み込むことの効果が確認できたため、部屋の中の棚といった他の場所に物を配置した場合についても、今後性能を確認していく予定である。より複雑なさまざまなものが存在するような状況であっても、サーマルカメラによる接触検知を活用することで、画像処理の軽量化や、ユーザに提示する画像の枚数を削減する効果を期待している。また、触れた物だけに絞って情報を提示することによって、実際に失くし物を探す時間を節約できるのか、ユーザの心理的負担を軽減できるのか、といった被験者実験については今後実施する予定である。サーマルカメラ画像を用いた接触検知により、失くし物を探す際に確認しなければならない画像の枚数を大幅に削減することができるため、時間の節約や心理的負担の軽減に効果があることを期待している。

提案手法のように固定カメラを用いると、ウェアラブルカメラのアプローチと比較して、共有されているスペースを利用する人のすべてを対象として、誰かが物体に触れて移動したことを検出し、失くし物探しに役立てることが期待できる。一方で、遮蔽や画角の外での物体接触は検出できない。複数人が共用する机の上や棚といった共用スペースが限られるような状況では、本アプローチは有効だと考えられるが、部屋全体を対象とするような状況では複数のカメラを設置するなどの対応が必要となる。

7. おわりに

本稿では、可視光カメラとサーマルカメラを用いた失くし物探しシステムを提案した。提案するシステムは、可視光カメラによる物体検知とサーマルカメラによる接触検知を行い、ユーザが過去に触れた物体の履歴情報を作成して保存する。提案システムを用いると、ユーザは失くし物をした際、失くした物を最後に置いた時の写真を検索して、効率よく失くし物を探すようになる。さらにサーマルカメラによる接触情報を活用することで、カメラ内に現れた物体すべてを対象とするのではなく、実際に触れた物に

絞って情報を確認し、より効率よく捜せるようになることが期待できる。

また、実験ではシステムの性能について評価を行い、ヒストグラムとバウンディングボックスによる同一物体判定機能の導入によって検索候補を正しく列挙できること、サーマルカメラの導入によって検索候補を効率的に削減できること、差分画像処理によって YOLO で検知できない物体をある程度検知できることを確認した。今後、リアルタイムでの接触物体の検出や、実環境に近い状況での被験者実験による評価を行っていく計画である。

参考文献

- [1] Nakada, T., Kanai, H. and Kunifuji, S.: A support system for finding lost objects using spotlight, *Proceedings of the 7th International Conference on Human Computer Interaction with Mobile Devices & Services*, MobileHCI '05, p. 321–322 (2005).
- [2] Fukui, R., Sunakawa, T., Kousaka, S., Watanabe, M., Sato, T. and Shimosaka, M.: TansuBot: A drawer-type storage system for supporting object search with contents' photos and usage histories, *2013 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, IEEE, pp. 2703–2709 (2013).
- [3] Oshimi, H., Perusquía-Hernández, M., Isoyama, N., Uchiyama, H. and Kiyokawa, K.: LocatAR: An AR Object Search Assistance System for a Shared Space, *Proceedings of the Augmented Humans International Conference 2023*, pp. 66–76 (2023).
- [4] Huynh, S. M., Parry, D., Fong, A. and Tang, J.: Novel RFID and ontology based home localization system for misplaced objects, *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, Vol. 60, No. 3, pp. 402–410 (online), DOI: 10.1109/TCE.2014.6937324 (2014).
- [5] Butz, A., Schneider, M. and Spassova, M.: Searchlight—a lightweight search function for pervasive environments, *Pervasive Computing: Second International Conference, PERVASIVE 2004, Linz/Vienna, Austria, April 21–23, 2004. Proceedings 2*, Springer, pp. 351–356 (2004).
- [6] Yan, G., Zhang, C., Wang, J., Xu, Z., Liu, J., Nie, J., Ying, F. and Yao, C.: CamFi: An AI-driven and Camera-based System for Assisting Users in Finding Lost Objects in Multi-Person Scenarios, *CHI Conference on Human Factors in Computing Systems Extended Abstracts*, pp. 1–7 (2022).
- [7] Yagi, T., Nishiyasu, T., Kawasaki, K., Matsuki, M. and Sato, Y.: GO-finder: a registration-free wearable system for assisting users in finding lost objects via hand-held object discovery, *26th International Conference on Intelligent User Interfaces*, pp. 139–149 (2021).
- [8] 田仲百音, 下西英之, 岸野泰恵: サーマルカメラによる接触履歴情報を活用した失くし物検索システム, 第 28 回一般社団法人情報処理学会シンポジウム INTERACTION2024 (2024).
- [9] Ueoka, T., Kawamura, T., Kono, Y. and Kidode, M.: I'm here!: A wearable object remembrance support system, *Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services: 5th International Symposium, Mobile HCI 2003, Udine, Italy, September 2003. Proceedings 5*, Springer, pp. 422–427 (2003).
- [10] Larson, E., Cohn, G., Gupta, S., Ren, X., Harrison, B., Fox, D. and Patel, S.: Heatwave: thermal imaging for surface user interaction, *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 2565–2574 (2011).
- [11] Iwai, D. and Sato, K.: Document search support by making physical documents transparent in projection-based mixed reality, *Virtual reality*, Vol. 15, pp. 147–160 (2011).
- [12] 岸野泰恵, 白井良成, 柳沢 豊, 菅原 光, 尾原和也, 水谷 伸: Alertable Surfaces: 人の接触と消毒を認識しウイルスの付着を警告する実環境, 第 30 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 (WISS 2022).
- [13] Jocher, G., Chaurasia, A. and Qiu, J.: YOLO by Ultralytics, <https://github.com/ultralytics/ultralytics> (2023). 閲覧日: 2023 年 12 月 17 日.