

テクニカルノート

不可視マーカを用いた実世界物体の認識

能田 雄規^{†1} 河野 恭之^{†1}

本稿では不可視マーカを用いた実世界物体の認識手法を示す。透明な再帰性反射材を用いてビジュアルマーカを構成することで外観を損なわずに対象物の実世界認識を容易に行える。本研究で用いるカメラデバイス ObjectCam2 は、レンズ周辺に装備した赤外線 LED 照明をシャッタと同期して点滅させることで実世界映像と不可視マーカ画像の取得を 1 つの光学系で行える。最後に不可視マーカを用いた対象物の認識手法を用いたコンテンツ提示システムの提案を行う。

A Real-world Objects Recognition System Employing “Invisible” Visual Markers

YUKI NOTA^{†1} and YASUYUKI KONO^{†1}

This paper describes a vision-based method for detecting and identifying real-world objects in front of the users. We use invisible markers splayed with lucent and retro-reflective paint to detect objects. This marker is invisible from users but visible from the ObjectCam2, our camera device. The ObjectCam2 is equipped with IR LEDs around the lens that blink synchronously with the image capture, and can capture both visible and IR light range. UbiComp applications can be implemented without suffering from the power supply problem nor intrusive visual markers.

1. はじめに

本稿では実世界物体の表面に不可視なビジュアルマーカを付与し、頭部装着カメラ ObjectCam2¹⁾ で撮影認識することによって実世界物体の認識を行う手法と認識物体情報を

いたアプリケーションを提案する。

コンピュータの小型化軽量化にともないウェアラブル・モバイルデバイスを用いて実世界環境でユーザ支援を行う研究が進んでいる。日常生活の中でユーザの状況に応じた支援を行うにはコンピュータに対しユーザの位置や周辺状況をデータとして与える必要がある。ユーザの位置・姿勢情報を用いた手法として GPS や PlaceEngine のような広範囲測位システムとジャイロセンサなどを組み合わせた手法が提案されている²⁾。このような位置情報を用いる手法ではユーザの場所に応じた情報支援を行うことが可能である。しかし日常生活の環境内に存在する個々の物体に応じた情報支援を行うには環境内の全物体をあらかじめ登録しておく必要があり、固定した環境でしか使用できない。実世界において人は膨大な量の物に囲まれて生活しており、ユーザの周囲にある物の位置や量は時々刻々と変化していくためこれらの手法は実環境への適用が難しい。実世界にある物体を同定し、ユーザの周囲にある物に関する情報をそのつど得ることで、物が移動しても位置情報を必要とせずに実世界ユーザ支援システムが構築できる。

実世界物体を同定する手法として実世界物体に情報を埋め込んだタグを付与する方法がある。実世界の物体にタグを付与する手法は大きく 3 つに分けられる。1 つ目は赤外線ビーコンのような電源を要するデバイスを環境内に配置する方法^{3),4)} である。これらの手法では環境内に電源を必要とするタグを多数配置しなければならず、移動する物体に対してタグを付与することが困難である。2 つ目は無電源な RFID タグなどを用いた手法⁵⁾ である。これらの手法ではタグ情報を読み出すにはリーダを数十 cm まで近づけなければならないという問題がある。そのためユーザの体が触れたものしか認識できず取得できる情報の範囲が限られてしまう。また上記の 2 つの手法は環境の構築にコストがかかるという問題もある。3 つ目の手法はビジュアルマーカを用いた手法である。ビジュアルマーカは安価な対象同定手法として提案されている⁸⁾。ビジュアルマーカを用いた手法は物体の表面にマーカを印字するため紙や布など電子デバイスの付与に適さない様々な実世界物体に適用できる。しかしビジュアルマーカはコントラストの高い白黒パターンを用いているものが多く、実世界の物体の表面に直接付与するには景観的な問題が大きい。そこで本研究では、透明な再帰性反射材を用いて作成した人の目には不可視なマーカを物体表面に直接付与し、赤外照明を点滅させて不可視マーカの検出認識と可視画像の取得を同時に行う手法を提案する。提案システムによりユーザはマーカの存在に気付くことなく、また付加的なカメラデバイスの装着を必要とせずに実世界物体の同定が行える。本手法を用いることで実世界物体情報を用いたコンテンツ提供システムが実現できる。

^{†1} 関西学院大学大学院理工学研究科

School of Science and Technology, Kwansai Gakuin University

2. 関連研究

中里らは不可視マーカを用いた位置検出手法を提案している⁶⁾。この手法では半透明な再帰性反射材で構成したビジュアルマーカを天井に多数配置し、上方に向けて頭部に装着した赤外線カメラを用いてマーカ認識し実世界でのユーザの位置を同定している。この手法ではマーカ検出用の赤外線カメラに加えて AR 映像提供用のカラーカメラを装着する必要がある。これらの 2 台のカメラは光軸が一致しておらずビジュアルマーカを用いた AR 構築には適さない。また天井にマーカを配するために高輝度の半透明な再帰性反射素材を用いており、日常生活物体の表面に付与することは景観上の問題が発生する。また Hanhoon らの手法⁷⁾では可視光と赤外光を分光するコールドミラーを用いている。この手法に用いられているカメラの構造は筆者らが提案したもの探し支援システム I'm Here⁹⁾でかつて用いていたカメラ ObjectCam に類似しており、実世界カラー画像と視差のないマーカ認識を実現している。しかしマーカ検出用と AR 用の 2 台のカメラと光軸を一致させるためのコールドミラーを必要とするため身体装着使用には不向きである。そこで本手法では ObjectCam の後継として開発された ObjectCam2 を用いることで身体装着に適した不可視マーカ認識手法を提案する。ObjectCam2 はレンズ周辺に赤外線 LED を備えておりフレーム取得と同期させ LED を点滅させることで通常カラー画像と赤外反射光を含むカラー画像を取得する。そのため 1 台の小型カメラデバイスで不可視マーカの認識と実世界の記録を行うことができる。また透明な再帰性反射材を用いてマーカを実装しており、図 1 のように様々な物体に対し付与することができる。図 1 (a) 左は左上から光沢紙で作成されたチラシ、壁紙、ナイロン製のマウスパッド、布製のランチョンマットの LED 消灯時の画像、(b) は同じものの LED 点灯時の画像である。このように様々な素材に対して不可視なマーカ付与が可能である。

3. 不可視マーカを用いた実世界物体の同定

実世界の物体に付与された不可視マーカを認識することにより物体認識を行う。再帰性反射材は光を入射方向に反射する性質があるため、ObjectCam2 のレンズ周辺から照射された赤外光はマーカによってレンズ方向に反射される。この反射光を撮影することによりシステムは肉眼では見えないマーカをとらえることができる。また、人の目は赤外線を視認できないため、LED 照明による対象物の「見え」は影響を受けない。



図 1 実世界物体へのマーカの付与例
Fig. 1 Real-World object annotated by invisible markers.

3.1 ObjectCam2

本研究ではマーカを撮影するためのカメラとして、入力画像から背景領域を取り除いた近接物体領域画像を実時間で抽出する機能を持つカメラ ObjectCam2 を用いる。ObjectCam2 は受光素子に赤外光カットフィルタが付加されていない 90 fps の高速 CMOS センサを用いており、可視光領域の光に加えて赤外光領域の光も感知することができる。ObjectCam2 はレンズ周辺に 32 個の赤外 LED が配置されており、フレーム取得と同期させ LED を点滅させることにより図 2 に示すように LED 消灯時には通常カラー画像 (図 2 内 frame4) を、LED 点灯時には赤外光を含む 2 枚のカラー画像 (図 2 内 frame5, 6) をそれぞれ 30 fps で撮影することができる。図 2 内の frame5 と frame6 の平均画像を点灯時の赤外反射光を含むカラー画像として用いる。消灯時と点灯時の画像の明度を差分することによって赤外反射光のみを抽出する。ObjectCam2 はこれらの処理を FPGA 上で行っており、低負荷で差分画像を取得することができる。また上記の構成により赤外光を含む間接光の差し込む屋内においても安定して反射光を抽出することができる。

3.2 不可視マーカの認識

本手法では透明な再帰性反射材を用いて作成したビジュアルマーカを用いる。図 2 (a) は不可視マーカが付与された美術展のチラシである。このようにマーカは人の目には確認できない。3.1 節に示した構成と処理により通常時のカラー画像 (図 2 (b)) と点灯時の反射光を含むカラー画像 (図 2 (c))、および図 2 (d) のような照射赤外光に対する反射成分を抽出した画像が得られる。差分画像を閾値で 2 値化し雑音を除去すると図 2 (e) のような画像が得

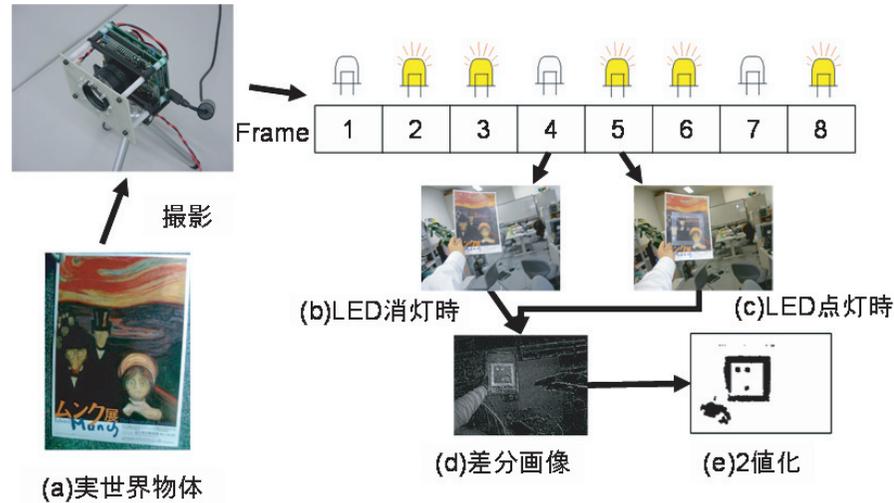


図 2 不可視マーカ認識処理の流れ
Fig.2 System diagram.

られ、この画像からマーカを認識する。本研究ではマーカの認識にビジュアルマーカを用いた拡張現実感ツールキットである ARToolKit⁸⁾ を用いた。

4. 周辺物体情報を用いた実世界システムへの応用

不可視マーカは透明で無電源であるため日常生活環境にある様々なものに直接付与が可能である。ユーザには視覚的に知覚させることなく付与したマーカからユーザの周辺物体の情報を得ることができる。このユーザの周辺物体情報を用いることにより様々な実世界情報提示アプリケーションの構築を行うことができる。

不可視マーカの実用性を示すために 1 辺 10 cm のマーカを白色の壁紙、コルクボード、光沢紙パンフレットに対し付与し認識実験を行った。表 1 にその結果を示す。身体に装着したカメラから約 1 m の距離にあるマーカを 10 回撮影しマーカ全体がフレームインしてからマーカが安定して認識される（連続する 10 フレームの認識結果が 100% 正解となる）までの時間を調べた。コルクボードのように表面が凹凸な素材では認識が安定するまでの時間がかかることがあったが、各素材は平均すると 50 msec 以下の時間で安定して認識できた。以上から不可視マーカは実世界情報提示システムに用いるのに十分な速度と精度で認識で

表 1 認識時間実験

Table 1 Marker detection time.

	平均認識時間 [msec]	最短認識時間 [msec]	最長認識時間 [msec]
壁紙	33.9	28.8	37.7
コンクリート	43.5	22.2	74.4
パンフレット	37.3	30.0	51.1



図 3 実世界物体からのコンテンツ提示
Fig.3 Exsample of AR application.

きているといえる。以下、提案システムの応用例を示す。

- AR アプリケーション

本研究ではマーカ認識部に ARToolKit を用いており、AR 空間の提供が可能である。図 3 は展示会のチラシに付与されたマーカを認識し展示会に関連する絵を提示した様子である。このように不可視マーカを用いることでビジュアルマーカを用いた従来のマーカと違い一見何もない場所に対象に応じた CG コンテンツを登場させることが可能である。また ObjectCam2 は 1 つの光学系でマーカ認識用画像と AR 構築用画像を撮影しているため容易に AR 構築手法の特徴である幾何学的整合性を保った CG の重畳表示を行うことができる。不可視マーカを用いることで SCE 製のゲーム「THE EYE OF JUDGMENT」¹⁰⁾ のようにプレイヤーの操作するカードから CG キャラクタが飛び出ることによってカードゲームをユーザにマーカ存在に気付かせることなく実現できる。

- 実世界物体からのコンテンツ提示

不可視マーカは透明であるため本や雑誌広告などの上に直接重ね書きできる。カメラを

ユーザの視野に合わせて装着することで視線映像が得られ、その映像に含まれる不可視マーカを認識することでユーザが見ているものが分かる。一定以上の面積で撮影されたマーカを認識しマーカ ID に対応付けられたコンテンツの表示を行うことでユーザの興味に応じて情報提示を行うことが可能である。図 3 はチラシに付与された不可視マーカを認識することでその美術展に関連する画像を重畳表示した例である。このように本アプリケーションを用いることでユーザは雑誌などを見るだけで関連する音楽や写真や動画などのコンテンツを利用することができる。

● ゲーム性を付加した館内ナビゲーション

美術館などで用いられる館内ナビゲーションも不可視マーカを用いることで実現可能である。館内の展示物の上に不可視マーカが付与されているとする。ユーザが展示物を閲覧しているときに同時にマーカをコンピュータに認識させることができる。したがってユーザに意識させることなく館内のコンテンツ閲覧履歴を得ることができるため、閲覧中のコンテンツや履歴に応じた情報提供が可能である。また不可視マーカはユーザにはどこに存在しているか分からない。そのため不可視なマーカを館内に配置しユーザにマーカを探させるような形でゲーム性を加えることができる。ユーザに対しヒントを与え次のヒントや答えをマーカとともに隠すことで宝探しのようなアプリケーションを構築することができる。

5. おわりに

本稿では透明な不可視マーカを用いて実世界物体の認識を行う手法を提案し、実世界ユーザ支援システムへの適用例を示した。不可視マーカは透明であり付与対象の表面の反射特性を変えるだけで実装できるため、実世界環境の多くのものに付与可能である。またマーカの形状は従来提案されてきたビジュアルマーカを使用することができるため従来のビジュアルマーカの認識アルゴリズムを使用可能である。そのため従来のビジュアルマーカを用いてアノテーションを行っていた実世界情報支援システムへ適用が可能である。また不可視という特徴を活かす、すなわちユーザに探すという楽しさを提供するアプリケーションが有用と考えられる。一方で QR コードなどの白黒パターンのマーカはそこに情報源があることを視覚的に示している。実世界物体に付与された目に見えないマーカから情報を得るには、マーカが存在を知覚させることなくユーザの自然な振舞いの中でマーカを認識することが望ましい。今後は上記のような不可視マーカの特性を整理し、不可視である特性を活かした情報提供アプリケーションの提案・作成を行う。

謝辞 本研究で用いたカメラデバイス ObjectCam2 は (株) ソニー木原研究所 (現在、

ソニー (株) 技術開発本部) の設計、提供による。

参 考 文 献

- 1) 上岡隆宏, 河村竜幸, 馬場茂幸, 吉村真一, 河野恭之, 木戸出正継: 日常生活支援のためのウェアラブルカラーカメラ, 情報処理学会インタラクショナル 2005, pp.85-86 (2005).
- 2) 神原誠之, 横矢直和: RTK-GPS と慣性航法装置を併用したハイブリットセンサによる屋外拡張現実感システム, 信学技報, PRMU, Vol.104, No.572, pp.37-42 (2005).
- 3) 松下伸之, 日原大輔, 後 輝行, 吉村真一, 暦本純一: IDCam: シーンと ID とを同時に取得可能なカメラ, 情報処理学会論文誌, Vol.43, No.12, pp.3664-3674 (2002).
- 4) 青木 恒: カメラで読みとる赤外線タグとその応用, インタラクティブシステムとソフトウェア VIII: WISS2000, pp.131-136 (2000).
- 5) 椎尾一郎: RFID を利用したユーザ位置検出システム, 情報処理学会研究会報告 00-HI-88, pp.44-50 (2000).
- 6) 中里祐介, 神原誠之, 横矢直和: 再帰性反射マーカと赤外線カメラを用いたユーザの位置姿勢同定, 信学技報, PRMU, Vol.104, No.193, pp.25-28 (2004).
- 7) Hahoon, P. and Jong-Il, P.: Invisible marker based augmented reality system, *SPIE Visual Communications and Image Processing*, Vol.5960, pp.501-508 (2005).
- 8) Kato, H.: An Augmented Reality System and its Calibration Based on Marker Tracking, *TVRSJ*, Vol.4, No.4, pp.607-616 (1999).
- 9) 上岡隆宏, 河村竜幸, 河野恭之, 木戸出正継: I'm Here!: 物探しを効率化するウェアラブルシステム, ヒューマンインターフェース学会論文誌, Vol.6, No.3, pp.19-30 (2004).
- 10) THE EYE OF JUDGMENT. <http://www.jp.playstation.com/scej/title/eoj/>
(平成 21 年 3 月 19 日受付)
(平成 21 年 6 月 4 日採録)



能田 雄規

2008 年関西学院大学理工学部情報科学科卒業。同年同大学大学院理工学研究科情報科学専攻博士課程前期に進学。現在に至る。実世界インタラクショナル、ウェアラブルユビキタスに関する研究に従事。ヒューマンインターフェース学会員。



河野 恭之 (正会員)

1994年大阪大学大学院基礎工学研究科博士後期課程修了。博士(工学)。同年(株)東芝入社。同社関西研究所研究主務等を経て、2000年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科助教授。2007年関西学院大学理工学部情報科学科教授。2009年同大学理工学部人間システム工学科教授(学科新設にともなう移籍)。2006~2008年IPA(情報処理推進機構)未踏ソフトウェア創造事業プロジェクトマネージャ兼任。本会代表会員。ヒューマンインタフェース学会、人工知能学会、電子情報通信学会、日本認知科学会、ACM、IEEE Computer Society各会員。実世界インタラクション、体験記録とその利用、ウェアラブルとユビキタス、メディア情報処理、マルチモーダルインタフェース、知的学習システムに関する研究に従事。
