

ID Cam : シーンと ID を同時に取得可能なスマートカメラ

松下 伸行^{†,†††} 日原 大輔^{††} 後 輝行^{††}
吉村 真一^{††} 暦本 純一[†]

実世界の状況を積極的に利用する拡張現実システムのための、新しい ID 認識カメラシステムを提案する。人の見ている事物に応じて情報を提示する拡張現実システムは、実世界状況を積極的に利用しているが、ID 認識技術が近距離でのみ利用であったために理想環境でしか実現していない。そこで、目の前から遠くまでのユーザの見ている事物を、区別するのに十分な空間解像度を持つ新しい ID 認識システムが必要である。本研究では光ビーコンと高速イメージセンサを利用することで、普通のカメラとしてシーンを撮像するだけでなく、ビーコンの ID を近距離から長距離まで認識できる ID 認識システムを提案する。このシステムを ID カメラシステムと呼ぶ。ID カメラシステムを実装し、特性評価を行った結果、実環境で使用するのに十分ロバストであることが確認された。ID カメラシステムをネットワーク型携帯端末に搭載することで、実環境において拡張現実システムの構築が可能である。

ID Cam: A Smart Camera for Scene Capturing and ID Recognition

NOBUYUKI MATSUSHITA,^{†,†††} DAISUKE HIHARA,^{††}
TERUYUKI USHIRO,^{††} SHINICHI YOSHIMURA^{††}
and JUNICHI REKIMOTO[†]

This paper describes our design and implementation of a new ID recognition system called the ID Camera system. Although AR systems present information according to things that people are looking at in the real world, the present ID recognition systems can be used only in an ideal environment. Therefore, a new long range ID recognition system is required. In this paper, we propose an ID recognition system using Optical IDs and a high-speed image sensor. The ID sensor captures a scene as an ordinary camera as well as recognizing the ID of the beacon from a long distance. We implemented the ID Camera system and performed characteristic evaluations. A mobile AR system can be realized by combining this ID Camera system and a PDA with a wireless network.

1. はじめに

ネットワーク型携帯端末の普及により、実世界の事物やユーザの位置などの情報、すなわち実世界状況を積極的に利用した拡張現実 (augmented reality, AR) システムが現実味を帯びてきた。ユーザは携帯端末を保持し、システムは近傍や視界中にある実世界の事物に応じて情報を提示する (図 1) システムを目指して研究・開発が行われている。たとえばショッピングモ-

ールでカメラ付き携帯端末をかざし、CD ショップを見るとお勤めの新譜が表示され、レストランの看板を見ると他の客の書いた料理の感想が表示されるといった具合に、日常生活のあらゆる局面をネットワーク上にある膨大な情報で支援することが可能となるであろう。

AR システムが利用する実世界状況はいくつか考えられ、たとえば GPS などの位置センサを利用してユーザのおおよその位置に応じて情報を提供するシステムなどはすでに商用サービスが開始されている。ところが、人の見ている事物などの詳細な状況に応じた情報を提供するシステムは、実験室や美術館といった限られた環境にしか適用できていない。「見る」という行為は非常にワイドレンジであり、たとえば人は読書をするときは目から数十 cm のところの本を見るが、道に迷ったときは数十 m 先の看板を探したりもする。しかし、人の見ている事物をシステムが判断するための

† 株式会社ソニーコンピュータサイエンス研究所インタラクシオンラボラトリ

Interaction Laboratory, Sony Computer Science Laboratories, Inc.

†† 株式会社ソニー木原研究所

Sony-Kihara Research Center, Inc.

††† 慶應義塾大学大学院理工学研究科山本研究室

Department of Science and Technology, Keio University

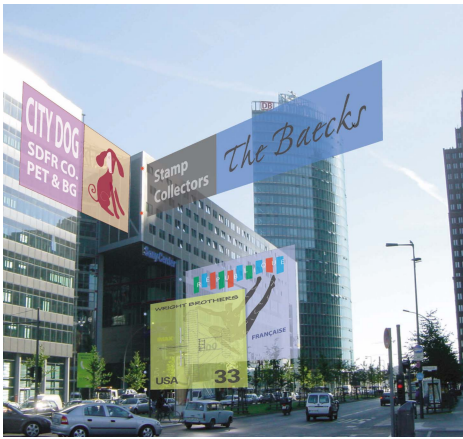


図 1 AR システムの例 (イメージ): ユーザはネットワーク型の携帯端末を保持し, システムは視界中にある実世界の事柄に応じた情報を提示する. ユーザの視野に合わせて情報を合成表示するためには様々な技術を統合する必要がある

Fig. 1 A simulation of an AR system.

従来の ID 認識技術は, 近距離でしか利用できない.

たとえばビジュアルコードをイメージセンサで認識する場合^{8),11)}, センサとコード間の距離が遠くなるにつれて, センサ上に撮像されるコードのサイズが小さくなり長距離からの認識が難しくなる. また, 光ビーコンをリモコン受光器などで受信する場合^{3),10)}, ビーコンの出力を上げれば長距離からの認識は可能であるが, 受信機の有効範囲中に複数のビーコンが存在した場合, どの事柄にユーザが着目しているかを区別することができなくなってしまう. さらに, 実環境で ID 認識システムとして利用できるようにするには, 屋内外などの異なる環境下においてノイズなどの様々な環境条件に左右されずに ID を認識可能でなければならない. つまり, 数十 cm から数十 m 先にあるユーザの見ている事柄を区別可能な空間解像度を持つ, 新しい ID 認識システムが必要である.

そこで本研究では, 光ビーコンと高速イメージセンサを利用することで, 空間解像度を持ち長距離でもロバストに利用可能な ID 認識システムを提案する. 点滅する光源をビーコンとすることで, データをビジュアルコードのように空間パターンにエンコードするのではなく, 距離に応じてデータが変化しない時系列の点滅パターンにエンコードしてデータを送信する. 2次元アレイ状のイメージセンサの各画素にはビーコンの受信機が配置されており, ビーコンの点滅パターンを全画素でデコードする. 普通のカメラとしてシーンを撮像するだけでなく, そのイメージセンサの視界中に配置されたビーコンの送信データを長距離から受信することができるこの ID 認識システムを以下, 本稿

では ID カメラシステムと呼ぶ.

2. 関連研究

光ビーコンをイメージセンサで認識するシステムは, 複数の類似した研究が行われており, そのいくつかは商用となっている. しかし, 従来のシステムは前述のような AR システムにおける ID 認識システムとしてそのまま利用するのに適しているわけではなく, いくつかの問題点が生じる. 以下に従来システムを解説し, AR システムに利用した際に生じる問題点を述べる.

2.1 単画素光センサと光ビーコン

赤外線リモコンと同様な単画素光センサを用いた AR システムはすでにくつか存在する. たとえば, Schilitら⁹⁾が提唱する PARCTAB システム¹⁰⁾では, 赤外線ビーコン付きの携帯端末を保持するユーザの位置を部屋単位で認識している. また, Hoisko³⁾は赤外線ビーコンを物に設置し, ユーザが受光センサを搭載した携帯端末を保持することで, ユーザの着目している事柄を判別している. さらに市販の携帯端末において, IrDA を搭載した携帯端末どうしを正対させることで名刺交換を行うことは一般的な機能の 1 つとなっている.

赤外線リモコンや IrDA では, 単画素の受光器が一定のエリアから来る光をすべて受信しているため, センサの視野中にあるすべての光源の影響を受ける. ビーコンの出力を上げれば長距離からの認識も可能となるが, 各ビーコンが互いに干渉するため, 各ビーコンを同時に発信させない制御が必要となる. さらに, カメラで撮影した画像に情報を重ねて表示するためには, ビーコンのカメラ画像上での座標を別の手段で取得する必要がある. このように単画素光センサを用いた ID 認識システムは, ユーザの向いているおおよその方向を近距離で利用する AR システムには向いているが, たとえば数十メートル離れたレストランの看板にクーポンが表示され, 隣の CD ショップにはお勤めの新譜が表示されるといった, 長距離で空間解像度を必要とする AR システムには適していない.

2.2 通常のカメラと光ビーコン

通常の 30 fps で駆動するカメラと非同期で点滅する光ビーコンを用いた AR システムもすでに存在する. たとえば, 青木が提唱する Baloon Tag¹⁾では, ユーザが装着した赤外線ビーコンを, 通常のカメラで撮影することでビーコンの点滅パターンを解析し ID を認識している. また, Mooreら⁵⁾は Phicon に赤外線ビーコンを装着し通常のカメラで撮影することで, Phicon の位置と状態をシステムが認識している.

通常の 30 fps で駆動するカメラを使用する場合、ビーコンがカメラと同期して点滅したとしても最高 30 bps にしかならず、低速である。また、ID を認識するためには、ビーコンの位置を画像上で各フレームごとにトラッキングする必要があり、30 fps 程度の低速サンプリングでは、ビーコンやセンサが移動する場合に見失うこともある。このように、光ビーコンを通常のカメラで複数フレーム撮影し、ビーコンの点滅パターンを認識する手法は、ビーコンの移動があらかじめ限定された場合での ID 認識システムとしては向いている。一方、携帯端末に ID 認識センサを搭載するような AR システムでは、ユーザが携帯端末を一定時間静止させないと ID が認識されないなどの制約が起きる。

2.3 高速カメラと同期式光ビーコン

高速カメラで同期して点滅する光ビーコンを用いたモーションキャプチャシステムはすでに商用で存在する。たとえば、Visualeyes System⁶⁾は複数のビーコンを順番に点滅させ、高速イメージセンサで位置を認識することで 1 秒間に 3,300 点の 3 次元位置を検出する。各ビーコンが順番に点滅しているため、ビーコンの個数が増大すると、認識速度は遅くなる。また、PhaseSpace⁷⁾は 300 fps で撮像する高速カメラを用いて、カメラと同期して固有のパターンで点滅する 120 個のビーコンをそれぞれ識別しつつ、300 fps で 3 次元位置を検出する。

これらのシステムは同期式光通信であり、システムに存在するすべてのビーコンがカメラと同期して点滅する必要がある。広範囲での AR システムに適用すると、すべてのカメラとビーコンとが同期する必要があり、同期するためのネットワークが必要となる。また、カメラが複数存在した場合はカメラ間も同期する必要があり、すべてのビーコンとカメラが広範囲で同期して動作することは困難である。このように、既存のモーションキャプチャシステムは、閉じた空間で高速かつ高精度に 3 次元位置を測定するためのシステムであり、複数のユーザが ID 認識センサを搭載した携帯端末を広範囲で持ち歩く AR システムには向いていない。

2.4 関連研究のまとめ

以上のように、既存の研究や製品は想定する目的や環境が異なるため、それらを組み合わせても広範囲での AR システムは実現できない。次章以降で解説する ID カメラシステムは、広範囲での AR システムを可能とする新たな ID 認識システムである。

3. ID カメラシステムの基本アイデア

ID カメラシステムは、高速に点滅する光源であるビーコンと、ビーコンの点滅パターンを全画素でデコードする ID カメラから構成される。ビーコンは高速に点滅し、その点滅パターンによりビーコンの ID を送信する。一方、ID カメラはアレイ状のイメージセンサでビーコンの点滅周波数よりも高速に撮像する。ID カメラはビーコンの点滅よりも高速に撮像するため、各ビーコンは非同期に点滅する。イメージセンサの全画素において受信した点滅パターンをデコードすることで、ID カメラはビーコンの ID を認識する。ID カメラは普通のカメラとしてシーンを撮像するだけでなく、認識したビーコンの ID を組にして出力する。

3.1 ID カメラシステムの 3 つの特徴

ID カメラシステムはアレイ状のイメージセンサで高速に撮像することにより複数のビーコンを近距離から長距離までロバストに認識することができる。以下にそれぞれの特徴とその理由を説明する。

3.1.1 耐外乱光特性が良い

ID カメラは、アレイ状のイメージセンサ各画素で ID を認識するため、ビーコンは 1 画素以上で認識されることが多い。もしある画素がノイズにより ID を認識できなくても、他の画素が ID を認識可能であればよく、外乱光などのノイズに影響されにくい特性を持つ。たとえば赤外線リモコンでは、1 画素の受光器が一定のエリアから来る光をすべて受信しているため、変調周波数フィルタや光波長フィルタなどを用いてノイズとデータを分離する必要がある。一方 ID カメラでは、アレイ状に配置されたセンサ各画素の視野角は小さく、ノイズ源とビーコンとが重なって受光される画素のみがノイズの影響を受け、他の画素は影響を受けず認識可能である。

3.1.2 複数のビーコンを同時に認識できる

ID カメラは、イメージセンサの全画素で独立にデコードしているため、視野にある複数のビーコンの ID を同時に認識可能である。それぞれのビーコンがイメージセンサの異なる画素で受光される位置関係にあればよい。たとえ異なるビーコンが同じ ID を発信していたとしても、ID カメラにあるイメージセンサの異なる画素で撮像可能な位置関係であれば、それぞれ別のビーコンとして識別できる。理論的には最大で画素数分の ID を同時に識別可能であるが、現実的には各ビーコンは 1 画素以上で撮像されるため、同時に識別できる ID の数は画素数よりも少なくなる。

3.1.3 長距離にあるビーコンを認識できる

ID カメラシステムのビーコンは、データを時系列の点滅パターンとして送信しているため、明るい光源であれば長距離からでも ID 認識が可能である。長距離からビーコンが認識されるためには近距離で認識されるのに比べて出力が大きくなければならないが、ID カメラから見て直線上に並んでいない各ビーコンは互いに影響を与えないため、各ビーコンの出力により認識距離を制御することが可能である。近接して設置されたビーコンを長距離から認識する場合でも、各ビーコンが異なる画素で受信可能な位置関係であれば、それぞれ分離して認識可能である。

3.2 ID カメラシステムによる AR システム

光ビーコンと高速イメージセンサによる ID カメラシステムを、携帯端末による AR システムでの ID 認識システムとして利用することは、現実的であると考えられる。イメージセンサは CCD から CMOS イメージセンサに移行してきており、CMOS の特性を活かして高画素化、高速化が進んでいる。一般的なカメラは 30 fps で撮像しているが、これ以上高速化しても人の動画認識能力を超えてしまうため、高速カメラは画像処理などの限られた用途に利用されている^{2),12)}。そこで、30 fps で撮像している時間以外の余った時間に新たな処理を行うことが、CMOS イメージセンサの付加価値として求められてきている。ID カメラのように、画像を撮像する以外の時間で点滅データをデコードすることで、2次元アレイ状に配置されたイメージセンサの各画素に ID 認識機能を付加することは、CMOS イメージセンサの求められている進化形といえる。

また、ID カメラシステムのビーコンは点滅する光源であるが、ID カメラの撮像速度がビーコンの点滅速度よりも高速なため、ID を送信するために ID カメラと同期している必要はない。すべてのビーコンは同じ周波数でデータを送信するが、位相を同期する必要はなく、同期するためのネットワークなどのインフラを必要とせずビーコンをコピキタスに配置可能である。たとえば、ネットワーク型携帯端末に ID カメラを搭載し、環境にビーコンを設置しておけば、前述の例のような視界中にある実世界の事物に応じて情報を提示する AR システムの構築が可能となる。

4. 実 装

前章で解説した ID カメラシステムを試作した(図 2)。ビーコンにはマイコン制御の LED を使用し、ID カメラには高速に駆動する CMOS イメージセンサを用いている。ID カメラは USB 経由で PC に

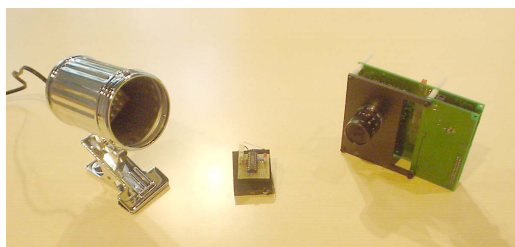


図 2 実装した ID カメラシステム：左から大ビーコン、小ビーコン、ID Cam

Fig.2 An implementation of the ID camera system.

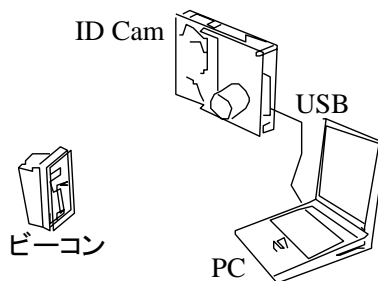


図 3 ID カメラシステムの構成図：ID Cam は、ハードウェア上でビーコンの点滅パターンを認識し、USB 経由で PC に送信する

Fig.3 A block diagram of the ID camera system.

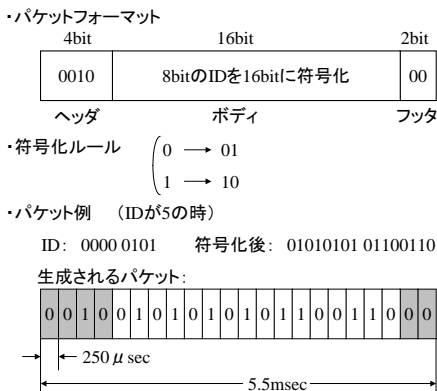


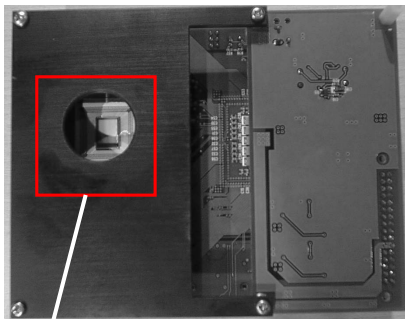
図 4 ビーコンのパケットフォーマット：8 bit のビーコン ID を 22 bit のパケットにして送信する

Fig.4 The packet format of beacon messaging protocol.

接続され、PC 上でシーン画像と ID に対応したコンピュータ情報を合成表示する(図 3)。試作した ID カメラを ID Cam と呼ぶ。

4.1 ビーコン

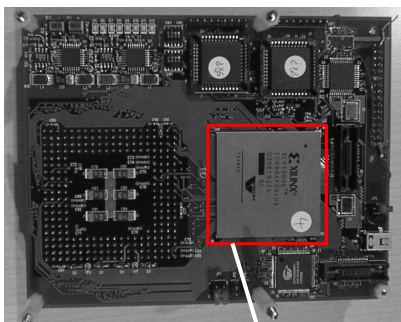
ビーコンはマイコンで点滅を制御した LED で、ID は現在の実装では 8 bit で、255 通りの識別が可能である。8 bit の ID を 4 kHz の周波数でマンチェスター符号化し、22 bit のパケットとして ID を送信する(図 4)。



CMOSイメージセンサ

図5 ID Cam 基板表: ID Cam には撮像素子として高性能 CMOS イメージセンサが搭載されている

Fig.5 Top view of the ID Cam circuit board.



FPGA

図6 ID Cam 基板裏: ID Cam には駆動とデコード用に FPGA が搭載されている

Fig.6 Bottom view of the ID Cam circuit board.

現在の実装では、正しく復号できないときはエラーとしているが、ビット化けに対するエラー検出・訂正などは行っていない。

ビーコンは、近距離や屋内用に1つのLEDを点滅させる小ビーコン(図2中)と、長距離用に照明の筐体に入れたLEDマトリックスを32個点滅させる大ビーコン(図2左)を用意した。使用したLEDの半値角は±30度である。

4.2 ID Cam

ID Cam 上には光学レンズと CMOS イメージセンサ、駆動とデコード用の FPGA、そして USB インタフェースが搭載されている(図5, 図6, 図7)。ID Cam はハードウェア上で ID をデコードし、シーン画像と ID とを組にして USB 経由で PC へ出力するスマートカメラである。

ID Cam のサイズは CMOS イメージセンサと FPGA のピン数が多いため基板は 14 cm × 11 cm × 3 cm とやや大型のデジタルカメラサイズである。しか

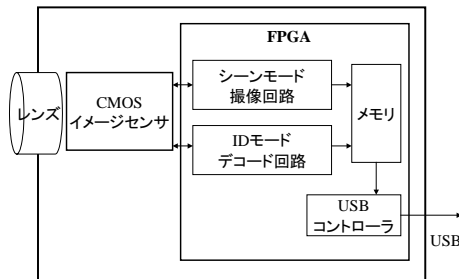


図7 ID Cam の内部構成: ID Cam 上には光学レンズと CMOS イメージセンサ, FPGA, USB インタフェースが搭載されている。ID Cam は画像を撮像するシーンモードと ID をデコードする ID モードがある

Fig.7 A simplified diagram of ID Cam's constituent models.

し、ID Cam の実現には高速な CMOS イメージセンサがあればよく、同機能のまま小型化することは現在の技術では容易である。電源や放熱などの問題を解決すれば携帯電話などに搭載することも可能であろう。

4.2.1 CMOS イメージセンサ

CMOS イメージセンサとして、ソニーとソニー木原研究所が開発した高性能 CMOS イメージセンサ(以下 EVIS と呼ぶ)³⁾を利用した。EVIS はリアルタイムレンジファインダ用に開発された高速イメージセンサで、赤外線から可視光までを検知可能である。192 × 124 画素の解像度を持ち、カメラとしてシーンを撮像だけでなく、全画素において明るさの変化を検出できる。

EVIS はイメージセンサの各画素に、フォトダイオードと4つのアナログメモリ、演算部を備えたスマートセンサである。センサの各画素で明るさの時間的な変化を検出することができる。センサの各画素において、フォトダイオードの出力を 12 kHz でアナログメモリに順次保存し、メモリ間での差分を指定した閾値で二値化する演算が可能である。これにより、フォトダイオードが検知した明るさの時間軸1階微分を二値化した値を、A/D 変換することなくセンサ上で演算し出力する。一般的なイメージセンサを利用した場合、まず A/D 変換を行い、次にデジタル値で差分をとるため、A/D 変換器の分解能が性能を左右する。しかし EVIS はアナログ値のまま1階微分を行っているため、微妙な明るさの変化をも検出できる。

EVIS は受光部の感度が高く設定されているが、その感度は光源からの直接光の変化をとらえるよう調整されており、ビーコンの点滅に起因する間接光の変化は微弱でとらえることができない。これにより、ID Cam は間接光の影響を受けず、直接光通信を行う。

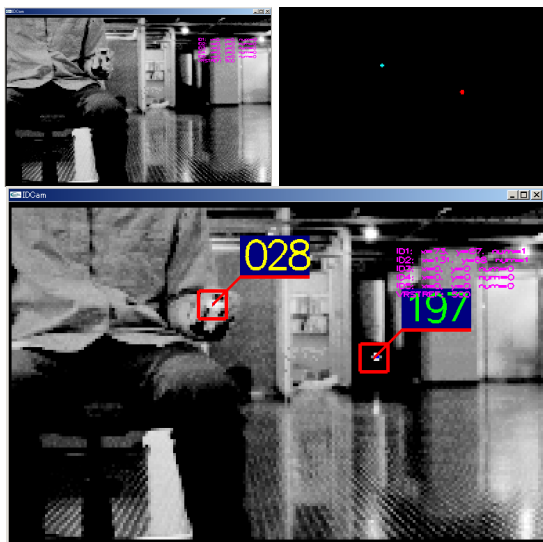


図 8 ID Cam の出力：普通のカメラとしてシーンを撮像する（左上）．点滅データを全画素でデコードする．点が ID を認識した画素（右上）．両方の出力を合成して，画像上のビーコンの位置に ID を表示する（下）

Fig. 8 Output image from ID Cam.

4.2.2 FPGA

EVIS を駆動し，点滅データをデコードするために 100 万ゲートの FPGA (Xilinx: Vertex 1000) が ID Cam に搭載されている (図 7). ID Cam の動作モードはシーンモードと ID モードの 2 つがあり，FPGA がモードを切り替え制御する．各モードは 1 フレームごとに切替え可能である．シーンモードでは，ID Cam はモノクロ 8 bit 階調の 192×124 画素のシーン画像を 30 fps で撮像し，USB 経由でシーン画像を PC に送信する (図 8 左上).

一方 ID モードでは，ID Cam はビーコンが送信する周波数 4 kHz の 8 bit の ID を 192×124 画素のすべてにおいてデコードし，30 fps で ID 画像を作成する (図 8 右上). ID 画像は，画像の各画素の値がデコードした ID となっており，シーン画像と ID 画像を組にして利用することで，シーン画像上のビーコンの位置と ID の値を合成することが可能である (図 8 下). 全画素で ID をデコードするために，EVIS の各画素に対して FPGA 内部にデコード回路と結果を保存する 8 bit のメモリが割り当てられている (図 9). 以下に ID モードでの動作を簡単に記述する (図 10).

- (1) ID モードが開始されると，全デコード回路が初期化され，デコード結果を保存するメモリはすべて 0 で初期化される．
- (2) 各デコード回路は対応する EVIS の画素からの出力を 12 kHz でサンプリングし，4 kHz・22 bit

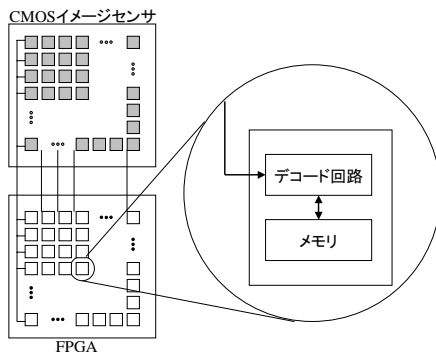


図 9 ID モードの内部構成：イメージセンサの各画素に対応して，FPGA 内部にデコード回路と 8 bit のメモリが割り当てられている．そのブロックが画素数分あり，独立に駆動する
Fig. 9 A simplified wiring diagram of ID mode.

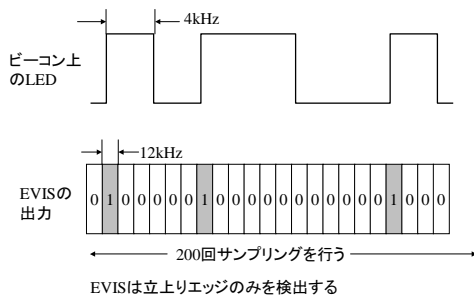


図 10 ID モードの動作：4 kHz のビーコンの点滅を 12 kHz で 200 回サンプリングする
Fig. 10 Digitization of beacon signal.

長のパケットを受信すると復号した 8 bit の ID をメモリに書き込む．ノイズなどにより復号できないパケットは破棄する．

- (3) サンプリングを 200 回行う．200 回のサンプリングでは，最大で 3 つのパケットを受信できるため，各画素に対応したメモリはそれぞれ一番最初に受信した ID を保存する．
- (4) すべてのメモリの値から，EVIS の全画素に対応した ID 画像を作成し，USB 経由で PC に送信する．

上記の動作を 30 fps で繰り返し行うことで，継続的にビーコンの送信する ID を認識する．

ID Cam としてシーン画像と ID 画像の両方を出力する場合，30 fps でシーンモードと ID モードを交互に繰り返すため，シーン画像と 8 bit の ID 画像とを組にして 15 fps で動作する．この速度は現状の実装における FPGA のゲート数と USB1.1 の速度による制約によるものであり，原理的にはさらに高速な伝送周波数を選択し多 bit 化も可能である．

4.3 PC

PCはID CamとUSB経由で接続され、ID Camから送信されてくる情報をもとに、シーン画像にIDに関連した情報を合成した映像を15fpsで表示する(図8下)。合成映像を表示するソフトウェアはVisual C++とOpenGLで実装されており、Windowsマシンで動作する。ID Camのハードウェア上で画像生成やデコードといったほとんどの処理をしており、PCはその結果を出力するだけとなっているため、IDカメラを小型化すれば携帯端末でも十分に利用可能である。

5. 特性評価

5.1 距離特性

ID Camがビーコンをどの程度離れた場所から認識可能かを、屋内外の環境で大小2種類の大きさのビーコンを用いて試験した(表1)。小ビーコンにはLEDが1つだけ搭載されており、近距離でのみ認識されるビーコンのシミュレーションである。一方、照明型の大ビーコンには32個のLEDがマトリックス状に搭載されており、屋内の照明をビーコンに使用するときのシミュレーションである。大ビーコンの明るさは15Wのスタンド照明と同等である。

5.1.1 屋内

評価は、蛍光灯・インバータの蛍光灯・白熱灯など様々な屋内の照明環境下で行った。普通の明るさの照明環境の屋内では、小ビーコンを5mの距離では認識でき、10mの距離でもLEDの指向性を考慮して小ビーコンをID Camに向ければ認識可能であった。15m程度離れると、LEDが1画素でしか撮像されないため認識が困難となり、1画素で撮像された場合は認識できるが、ちょうど画素の間で撮像された場合は認識できなかった。一方、大ビーコンは光量が強だけでなく光源が大きく複数の画素で撮像されるので、40mの距離でも問題なく認識された。蛍光灯などの照明環境による認識距離の変化は特に観察されなかった。

5.1.2 屋外

晴天の障害物のない屋外では、人がまぶしいと思うほど太陽光が強かったが、小ビーコンを5mの距離、大ビーコンを20mの距離で認識可能であった。

5.1.3 距離特性に関する考察

ビーコンを長距離で認識するためには、光量が強いくとも必要であるが、それよりも光源が大きく長距離からでも複数画素で撮像されることが必要である。ビーコンが1画素以上の大きさで撮像される距離があれば、IDカメラがビーコンの点滅パターンをデコードすることは可能である。しかし、IDカメラとビー

表1 距離特性：小ビーコンと大ビーコンを用いて、屋内外で認識テストを行った。表の値は問題なく認識できた限界距離である
Table 1 Maximum operating distance for small and large beacons in indoor and outdoor settings.

	小ビーコン	大ビーコン
屋内	10 m	40 m
屋外	5 m	20 m

コンとの距離が1画素で撮像される限界の距離よりも長くなると、IDカメラに届くビーコンの光の変化は、1画素で撮像されるビーコンの周囲の光と比較すると微弱になり認識が難しくなる。

IDカメラは光学レンズを搭載したイメージセンサであるため、レンズの選択が認識距離や範囲の特性を左右し、ワイドレンズを使用すると画角が広くなり広範囲のビーコンを撮像可能であるが、ビーコンが小さく写るのでIDを認識する画素数が減少し、長距離での認識に弱くなる。一方、テレレンズを使用すると画角が狭くなるが、長距離にあるビーコンを大きく認識可能となる。

また、ビーコンとIDカメラの間では光空間通信を行っているため、天候などの環境の変化により信号到達距離が変化する。たとえば雨や霧の場合はビーコンの信号が拡散や減衰してしまうため、認識できる距離が短くなる。昼間よりも夜間の方が長距離から認識が可能である。

以上のように、IDカメラは画像に撮像されているビーコンのIDは認識でき、遠く暗いため撮像されないビーコンは認識できない。さらにオクルージョンの影響を受け、物陰にあるビーコンは認識されない。このような特徴は、人が事物を認識するときと同様であるため、人が見ている物を認識するためのID認識システムとして自然で望ましい場合が多いが、問題となることもある。ARシステムに適用する場合にはビーコンの設置場所などを検討する必要がある。

5.2 耐外乱光特性

ID Camの認識能力が外乱光にどの程度左右されるかを試験した。実世界では、赤外線リモコンや蛍光灯、太陽光など、点滅・点灯したノイズ源があると想定される。そこでノイズ源として、点滅光を照射する赤外線リモコンと、点灯光を照射するレーザーポインタを使用した。

5.2.1 点滅外乱光

ID Camと小ビーコンを2m離して設置し、小ビーコンのLEDのちょうど後ろからノイズ源として赤外線リモコンをID Camに向かって照射し、認識実験を行った(図11)。認識可能な画素数は若干減るもの

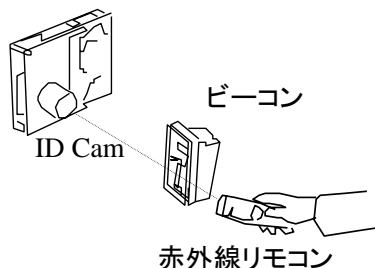


図 11 耐外乱光特性試験：点滅するノイズ源として赤外線赤外線リモコンを、ビーコンの LED と重なるように ID Cam に向けて照射した

Fig. 11 Testing scenario for determining robustness to noise.

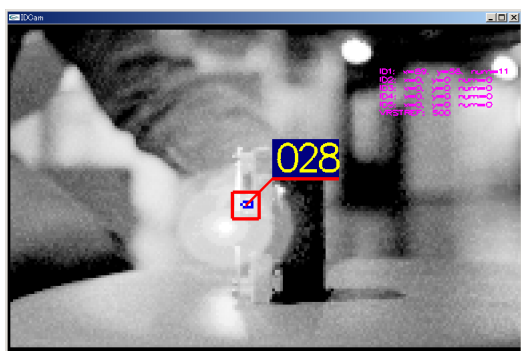


図 12 ノイズ源による影響：ID Cam は赤外線リモコンを明るい光源として撮像しているが、ビーコンは赤外線リモコンの光に影響されることなく認識される

Fig. 12 Even when the noise source and beacon are separated by only a few pixels, the ID Cam is able to correctly identify and localize the beacon.

の、認識は可能であった(図 12)。

5.2.2 点灯外乱光

ID Cam と小ビーコンを 2m 離して設置し、ノイズ源としてレーザーポインタのレーザーで小ビーコンの LED を照射し、認識実験を行った。ビーコンはほとんどレーザーの影響を受けず、ID Cam によって認識された。

5.2.3 耐外乱光特性に関する考察

ID Cam はイメージセンサの全画素で独立にデコードしているため、ノイズ源とビーコンが異なる画素で撮像されれば互いに影響を与えない。ビーコンから ID Cam に入射する直接光と、ノイズ源がビーコンを照らす間接光とでは、ビーコンからの直接光の方が強力であり、ビーコンの点滅パターンのみが ID Cam に認識される。さらに、各画素の明るさの変化を検出しているため、ノイズ源によって明度が全体的に変化しても、点滅パターンは変化せず認識可能である。このよ

うに、ID Cam はノイズに強く、様々な外乱のある実環境で十分実用になることが確認できた。

また、ビーコンの出力はバケット化されており、マンチェスタ復号できないバケットは破棄されるため、点滅外乱光やビーコンの移動による ID の誤認識はほとんど起きなかった。理論的には誤認識が起こる可能性があるため、バケットにエラー検出・訂正ビットを組み込む必要があると考える。

5.3 耐反射光特性

ID Cam の認識能力が、ビーコンの反射による影響をどの程度受けるかを試験した。実世界では、鏡やガラス・水面のように光を鏡面反射する場合と、白紙のように光を拡散反射する場合がある。それぞれの場合について、実験の結果と考察を述べる。

5.3.1 鏡面反射

ID Cam は直接光通信を行っているため、鏡やガラスなどの鏡面反射を起こす物質により、ビーコンの虚像も ID と認識してしまう。ビジュアルコード^(8),11)では虚像は別のコードとして識別できるため、鏡面反射を取り除くことができる。一方 ID Cam では虚像を画像処理などで取り除くには、ビーコンの位置などに関する何らかの情報が必要となり、一般的には難しい。AR システムに適用する場合には、ビーコンの配置場所などを考慮する必要があると考える。

5.3.2 拡散反射

ID Cam は直接光通信を行っているため、白紙などの拡散反射を起こす物質によるビーコンの間接光の影響はそれほど受けなかった。たとえば、ビーコンに近接して白紙を配置した場合、その紙で拡散反射した間接光がビーコンとして認識されることがあったが、大ビーコンで試験した際には、ビーコンから白紙を 5cm 離して配置すれば影響を受けなかった。この距離は物質の反射率とビーコンの光量、ビーコンと ID Cam との距離などに依りて変化する。ビーコンの間接光は、ビーコンから反射面の距離が離れるにつれて急激に弱くなるため、間接光が ID Cam に認識されるほど十分明るいのは、ビーコンに近接した場所のみである。ビーコンに十分近接している物体への間接光がビーコンとして認識されたとしても、ビーコンに十分近接しているものの位置としては大きくずれない。これにより、たとえば看板の照明にビーコンを設置した場合、看板だけではなくその周辺環境、通行人の顔や服などがビーコンとして認識されることはないと考えられる。

5.4 特性評価のまとめ

以上より、ID Cam は以下のような特性を持つことが分かった。

- ビーコンを近距離から遠距離まで認識可能である。
- 外乱光の影響はほとんどない。
- 鏡面反射による虚像を認識することがある。
- ビーコンの間接光の影響はほとんどない。

これにより、ID Cam は前述のような広範囲で利用する AR システムのための ID 認識システムとして適しているといえる。

6. 適用範囲の検討

ID カメラシステムの適用例をいくつか紹介し、既存の技術と ID カメラシステムを比較検討する。

6.1 ビデオオーバレイ型 AR システム

ID カメラシステムの適用としては、第 1 に前述のように AR システムの ID 認識システムとして使用することである。ID カメラをネットワーク型携帯端末に搭載することで、視界中にある実世界の事物に応じて情報を提示するビデオオーバレイ型の AR システムが構築可能である。たとえば前述のように、ショッピングモールで CD ショップにお勧めの新譜が表示される、レストランの看板に料理の感想を電子的に貼り付ける、巨大ディスプレイの広告を見た人だけがクーポンをもらえる、といった生活に密着した利用方法が考えられる。

ID カメラを AR システムに応用する場合、ビーコンの ID を対応する電子情報の URL などに変換する必要があるが、たとえばすべてのビーコンが 128 bit 程度のユニーク ID を送信し、ユニーク ID から URL に変換するサーバがネットワーク上に存在する構成でよい。このようにビーコンはストリームデータではなく固定長データを送信すればよい。現状の実装である 8 bit では不十分であるため、イメージセンサの高速化や符号化方式の改良などで対応していく予定である。

6.1.1 他のセンサを使う場合との比較

ビジュアルコード^{8),11)}を用いて実環境でシステムを動作させるためには、至る所に遠くから認識可能な巨大なコードを貼り付ける必要があるが、たとえば 5 m 四方のコードをビルの壁面に貼ることは現実的でない。赤外線ビーコンをリモコン受光器などで受信するシステム^{3),10)}では、受光部の空間的解像度が低いため、おおよその方向しか分からず、たとえば部屋単位での状況などしか利用できず不十分である。GPS では経度緯度の位置情報のみしか得られず、方向の情報を得るには別の手段が必要であり、また都市部や屋内では障害物があり利用が困難である。さらに、遠くからビルを指定する場合など、ユーザの位置と情報のリンクとなる事物の位置が違う場合に対応できない。

一方、ID カメラは、屋内外を問わずユビキタスに設置されたビーコンを長距離から認識可能なため、実験室や美術館などの理想環境や近距離に限らず、様々な環境で使用可能である。

6.1.2 インフラ整備の現実性

前述のような AR システムを構築していく際に一番問題となる点はインフラの整備である。ID カメラシステムを利用する場合、ビーコンを屋内外を問わず設置する必要があるが、点滅光源をビーコンとする ID カメラシステムはインフラの整備が現実的に可能であると考えられる。以下にその理由を解説する。

現在でも屋内には、マイコンなどで制御されている様々な LED があり、たとえばパイロットランプは、ビデオデッキや FAX、テレビ、PC、洗濯機などたいていの家電製品に搭載されている。パイロットランプはデバイスの状態をユーザに示すためにデバイスの状態を色などで表示しており、この点滅パターンを搭載されているマイコンなどで制御してビーコンにすることはほとんどコストの増大につながらないであろう。

また、次世代の照明は蛍光灯や白熱灯ではなく、エネルギー効率が高く寿命が半永久的である LED になるであろう。LED は周波数応答性が良いため、高速に点滅させても人の目には点灯している照明として映り、すべての照明が異なる ID を発信するビーコンになることも可能である。さらに、パソコンや携帯電話などディスプレイが液晶から有機 EL に移行すると、その周波数応答の良さを利用して、ユーザに画面を表示しつつ、高速に点滅してビーコンとして機能するといったことも考えられる。

屋外においても、看板の照明や信号機、巨大ディスプレイ、ビルの警告灯などがビーコンになることが可能である。たとえば駅前にある巨大ディスプレイにコマーシャルを表示し、その場で携帯端末を向けるとクーポンがもらえるといった、ロケーションマイレージなどのサービスも可能となるであろう。

ID カメラシステムのビーコンは、長距離からでも認識されるためには近距離で認識されるのに比べて出力を大きくする必要がある。元来パイロットランプや照明は屋内で利用されるものに比べて、屋外で利用されるもののほうが出力が大きくなっている。たとえば、屋内のパイロットランプは LED 1 つであるが、屋外の看板の照明は LED マトリックスになっている。このように、室外や遠距離から利用するビーコンの出力を大きくすることは理にかなっている。以上のように、既存のインフラを利用して屋内外を問わずユビキタスにビーコンを設置することが可能である。

6.2 位置認識システム

ID カメラシステムのもう 1 つの適用として、位置認識システムがある。ID カメラとビーコンを複数設置することで、ステレオ処理や射影変換による座標推定を用いて、ビーコンと ID カメラとの相対位置を 3 次元的に測定可能である。たとえば、会議室の天井に ID カメラを設置することで複合型情報環境⁹⁾での ID や位置認識センサとして利用したり、屋内外の自律移動ロボットや自動車庫入れシステムなどでの位置認識システムとして利用したりすることが可能である。

6.2.1 他のセンサを使う場合との比較

点滅する光源の位置を認識する既存研究として、Position Sensitive Detector (PSD) や高速カメラなどを用いてビーコンを識別する位置認識システム^{6),7)}がある。それらのシステムではビーコンの点滅タイミングなどがシステム全体で同期している必要があり、ビーコンの設置に制限があるため用途が限られてしまう。たとえば、自律移動ロボットにビーコンを設置する際にすべてのロボットを同期させる必要があり、制限が大きい。また、システムと同期せずに点滅するビーコンを普通のカメラを用いて識別するシステム^{1),5)}では、30 Hz という低速なサンプリングしかできず、認識速度は非常に低速で移動体での利用ができない。さらに外乱光にも弱く、屋内外の照明環境が変化する場所では利用できない。

一方、ID カメラシステムは各ビーコンが同期せずに独自のクロックで動作可能であるという特徴があり、これにより独立な複数のビーコンが同時に環境に存在可能となる。たとえば屋内外の照明環境を理想的に保つのが難しい場合においてもロバストに位置認識を行うことができる。今回実装した ID Cam は、ID モードのみで駆動する場合、動作クロックをビーコンと ID Cam の両方で倍にすることで、最高 60 fps で動作することができる。この程度の速度が出れば、モーションキャプチャなどの時間精度を必要とするタスクにも応用可能である。ビーコンが ID を 1 回送信する時間は十分短く (60 fps では 2.75 msec)、移動するビーコンでも ID を認識可能である。また現在の ID Cam の解像度は一般のカメラに比較すると低く、ステレオ処理などで位置を推定する際には精度に限界が生じるが、将来的に ID Cam の解像度を向上させることで解決できるであろう。

7. おわりに

本稿では、AR システムのための実用的な ID 認識システムを提案した。本方式は、点滅するビーコンを

アレイ状の高速イメージセンサで撮像し、イメージセンサの全画素で点滅データをデコードすることにより、長距離から複数の ID をロバストに認識することができる。そして LED を用いたビーコンと、高性能 CMOS イメージセンサを用いた ID カメラを実装し、その特性を調べた。その結果、実環境で使用するのに十分ロバストであることが確認された。ID カメラシステムをネットワーク型携帯端末に搭載することで、実環境において拡張現実システムの構築が可能となるであろう。

今後の課題として、今回実装した ID Cam をより高性能化することがあげられる。主な項目として、イメージセンサの解像度を増大させる、ビーコンの ID 長を長くする、といった 2 つが考えられる。この 2 つとも、単純に実装を行えば回路規模が大きくなってしまいうため、回路規模を増大させない工夫が必要となるであろう。また、電力線信号伝達などのネットワークと組み合わせることで⁴⁾、ネットワーク化したビーコンによる情報提供なども考えられる。さらに、実用的なアプリケーションを構築していく予定である。

参考文献

- 1) 青木 恒：カメラで読み取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, pp.131-136 (2000).
- 2) Funatsu, E., Nitta, Y., Miyake, Y., Toyoda, T., Ohta, J. and Kyuma, K.: An Artificial Retina Chip with Current-Mode Image Processing Functions, *Electron Devices*, pp.1777-82 (1997).
- 3) Hoisko, J.: Context Triggered Visual Episodic Memory Prosthesis, *ISWC '2000*, pp.185-186 (2000).
- 4) 小峯敏彦, 田中祐一, 中川正雄：白色 LED 照明信号伝送と電力線信号伝送の融合システム, 信学技報, Vol.101, No.726, pp.99-104 (2002).
- 5) Moore, D.J., Want, R., Harrison, B.L., Gujar, A. and Fishkin, K.: Implementing Phicons: Combining Computer Vision with InfraRed Technology for Interactive Physical Icons, *UIST '99*, pp.67-68 (1999).
- 6) PhoeniX Technologies: The Visualeyes System. <http://ptiphoenix.com/>
- 7) PhaseSpace, Inc.: PhaseSpace motion digitizer. <http://www.phasespace.com/>
- 8) 暦本純一：2次元マトリックスコードを利用した拡張現実システムの構成手法, インタラクティブシステムとソフトウェア IV, pp.199-208 (1996).
- 9) 暦本純一：InfoRoom : 実世界に拡張された直接操作環境, インタラクシオン 2000, pp.9-16

(2000).

- 10) Schilit, B.N., Adams, N., Gold, R., Tso, M. and Want, R.: The PARCTAB Mobile Computing System, *WWOS-IV*, pp.34-39 (Oct. 1993).
- 11) Thomas, B., Close, B., Donoghue, J. and Squires, J.: ARQuake: An Outdoor/Indoor Augmented Reality First Person Application, *ISWC '00*, pp.139-146 (Oct. 2000).
- 12) 山田啓一, 曾我峰樹: 動き検出ビジョンチップの検討, 映像情報メディア学会技術報告, Vol.23, No.5, pp.37-42 (1999).
- 13) Yoshimura, S., Sugiyama, T., Yonemoto, K. and Ueda, K.: A 48kframes/s CMOS Image Sensor for Real-time 3-D Sensing and Motion Detection, *ISSCC Digest of Technical Papers 2001*, pp.94-95 (Feb. 2001).

(平成 14 年 4 月 17 日受付)

(平成 14 年 10 月 7 日採録)



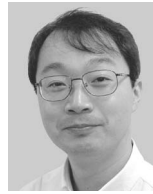
松下 伸行 (正会員)

1973 年生。1996 年慶應義塾大学理工学部電気工学科卒業。1998 年同大学大学院理工学研究科計算機科学専攻修士課程修了。同年ソニー株式会社入社。1999 年より株式会社ソニーコンピュータサイエンス研究所インタラクシオンラボラトリに勤務。実世界指向インタフェースを中心とする研究に従事。1997 年日本ソフトウェア科学会高橋奨励賞。2002 年情報処理学会山下記念研究賞受賞。



日原 大輔

1998 年大阪電気通信大学工学部電子工学科卒。同年株式会社ソニー木原研究所に入社。高速映像信号処理チップの評価・検証, 高機能 CMOS センサ評価システムの設計, 開発を経て, 現在, 株式会社ソニー木原研究所にて, 高機能 CMOS センサに関する研究に従事。



後 輝行

1990 年神戸大学工学部大学院計測工学専攻修士課程修了。同年ソニー株式会社に入社。産業用ロボットの開発・設計, コンピュータビジョン 3 次元センシングの研究を経て, 現在, 株式会社ソニー木原研究所にて, 高機能 CMOS センサに関する研究に従事。



吉村 真一

1987 年京都大学大学院修士課程修了。同年ソニー株式会社入社。FA 用画像処理装置, 画像処理アルゴリズム, 3 次元計測システム, CMOS イメージセンサ等の開発に従事。1999 年より株式会社ソニー木原研究所。電子情報通信学会, IEEE 各会員。



暦本 純一 (正会員)

1961 年 2 月 4 日生まれ。1986 年東京工業大学理学部情報科学科修士課程修了。日本電気, アルバータ大学を経て, 1994 年より株式会社ソニーコンピュータサイエンス研究所に勤務。現在, 同研究所インタラクシオンラボラトリー室長。理学博士。ヒューマンコンピュータインタラクシオン全般, 特に実世界指向インタフェース, 拡張現実感, 情報視覚化等に興味を持つ。ACM, 情報処理学会, 日本ソフトウェア科学会各会員。1990 年情報処理学会 30 周年記念論文賞, 1998 年 MMCA マルチメディアグランプリ技術賞, 1999 年情報処理学会山下記念研究賞。