

ID Cam: シーンとIDを同時に取得可能なイメージセンサ

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

[†](株) ソニーコンピュータサイエンス研究所 インタラクショナルラボトリ

[‡](株) ソニー木原研究所

* 慶應義塾大学大学院理工学研究課 山本研究室

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。

本研究では光学的ID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を長距離から認識できる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。

This paper describes our design and implementation of a new ID recognition system called ID Camera system. Although AR system which presents information according to things that people are looking at in the real world, the present ID recognition system can be used only in an ideal environment. Then, new long range ID recognition system is required. In this paper, we propose a ID recognition system using Optics ID and the high-speed image sensor. The ID sensor not only captures a picture as an ordinary camera, but also recognizes the ID of the beacon from long distance. We call the system ID Camera system. We implemented the ID Camera system and performed characteristic evaluation. We can build the AR system by mounting the ID Camera system onto PDAs that have 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システム (augmented reality, AR) 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)。例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勧めの新譜が表示され、レストランの看板を見ると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。

「見る」という行為は非常にワイドレンジであり、例えば人は読書をするときは数十 cm 離れて本を見るが、道に迷った時は数十 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 ID 認識技術は、近距離でのみ利用可能である。そのため、GPS 等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。

例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 [6]、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遠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 [7]、ビーコンの出力を上げれば遠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、どの事物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。つまり、数十 cm から数十 m 先にあるユーザの見ている事物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、光学的 ID と高速イメージセンサを利用することで空間解像度をもち遠距離で利用可能な 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色の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。イメージセンサにはビーコンの受信機が 2 次元アレイ状に配置されており、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



Figure 1: AR システム (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物に応じた情報を提示する。

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 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。赤外線リモコンに例えてみれば、ビーコンは赤外線リモコンの送信機であり、ID カメラはリモコン受信機をアレイ状に配置したアレイセンサである。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、ビーコンを撮像した画像上の座標とビーコンが送信するデータを組にして出力する。例えば、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。

2.1 ビーコンの特徴

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 を発信するために ID カメラと同期している必要はない。それぞれの独立したクロックに基づき一定のパターンで点滅すればよく、ネットワークなどのインフラを必要とせずビーコンをユビキタスに配置可能である。

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、例えばパイロットランプは、ビデオデッキや FAX、テレビ、PC、洗濯機など大抵の家電製品に搭載されている (図 2)。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等で表示



Figure 2: 屋内のビーコン例 (イメージ): パイロットランプのある機器や照明、ディスプレイなどがビーコンとして機能することができる。

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、エネルギー効率がよ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、全ての照明が異なる 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、その周波数応答のよさを利用して、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 (図 3)。例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、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、遠距離からでも ID 認識が可能であるが、遠距離から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。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。例えば、屋内のパイロットランプは LED



Figure 3: 屋外のビーコン例 (イメージ): 看板の照明や信号機、巨大なディスプレイ、ビルの警告灯などがビーコンとして機能することができる。

一つであるが、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おり、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。

2.2 ID カメラの特徴

ID カメラのセンサは高速にサンプリング可能なイメージセンサである。シーンを撮像するイメージセンサに付加機能として ID 認識機能を持たせることは合理的である。以下、その理由を説明する。

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 30fps 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][9]。そこで、30fps 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であるといえる。

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、外乱光などのノイズ影響されにくい特性を持つ。もしある画素がノイズにより ID を認識できなくとも、他の画素が ID を認識可能であれば良い。例えば赤

外線リモコンでは、1画素の受光機が一定のエリアから来る光を全て受信しているため、周波数フィルタや波長フィルタなどを用いてノイズとデータと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。

また、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、離れたビーコンを認識できる距離には限界がある。ビーコンが1画素以上の大きさで撮像される距離にあれば、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は微弱になり、認識が難しくなる。また、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、ズームレンズを使用すると画角が狭くなるが、遠距離にあるビーコンを大きく認識可能となる。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。このような画像に撮像されているビーコンのIDは認識でき、遠すぎて撮像されないビーコンは認識できないという特徴は、人が事物を認識するときと同様であるため自然で望ましいであろう。

IDカメラはイメージセンサとして以上のような特徴を持っている。現在広く使われているCMOSイメージセンサは、消費電力の小ささやコストの面から、携帯電話やPDAなどの携帯端末にカメラとして組み込まれているが、そのセンサが画像を撮像する以外にID認識機能を持てば、その携帯端末がARシステムの一部として機能するであろう。例えば、IDカメラを搭載した携帯端末をかざすと画面上に実画像とコンピュータ情報が重ねて表示されるビデオオーバーレイ型のARシステムなどが、ヘッドマウントディスプレイや磁気3次元位置装置などを使用せずに実現可能である。

3 実装

前節で解説したIDカメラシステムを試作した(図4)。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5)。試作したIDカメラをID Camと呼ぶ。

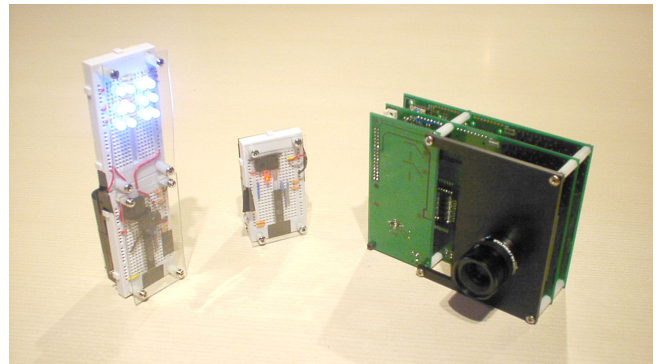


Figure 4: 実装したIDカメラシステム: 左から大ビーコン、小ビーコン、ID Cam。

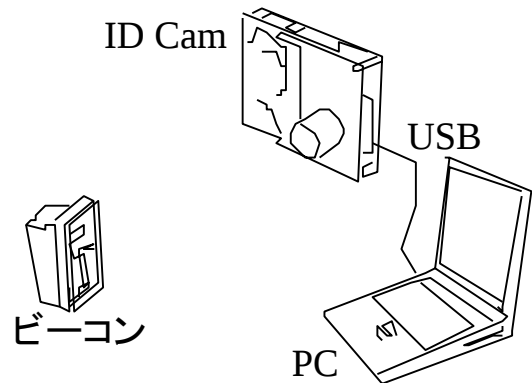


Figure 5: IDカメラシステムの構成図: ID Camは、ハードウェア上でビーコンの点滅パターンを認識し、USB経由でPCに送信する。

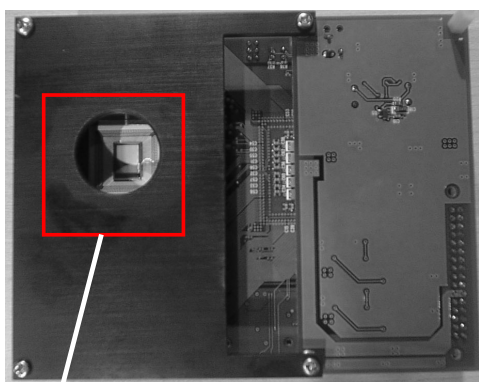
3.1 ビーコン

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8bitで、255通りの識別が可能である。8bitのIDを4kHzのキャリアでマンチェスター符号化し、22bitの packets としてIDを送信する。これによりビーコンが障害物などによって packets を送信中に隠れても、packets 単位でデータを受信可能である。

ビーコンは、近距離や屋内用に一つのLEDを点滅させる小ビーコンと、遠距離用にLEDマトリックスを点滅させる大ビーコンを用意した(図4)。

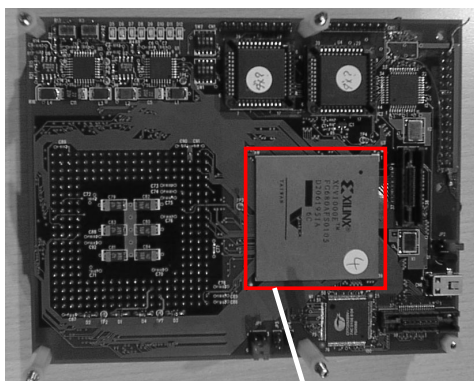
3.2 ID Cam

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6,7,8)。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に出力するスマートカメラである。



CMOSイメージセンサ

Figure 6: 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。



FPGA

Figure 7: 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。

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 (EVIS)[10] 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するだけでなく、全画素において微妙な明るさの変化を検出できる。これにより、遠距離にある微弱な LED の点滅パターンをも検出可能である。

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。ID Cam の動作はシーンモードと ID モードの二つがあり、FPGA がモードを切り替え制御する。シーンモードでは、ID Cam はモノクロ 8bit 階調の 192×124

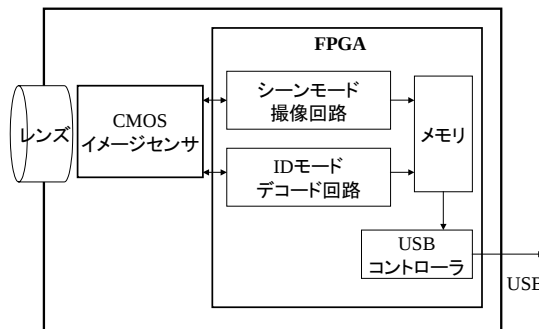


Figure 8: ID Cam の内部構成: ID Cam 上には光学レンズと CMOS イメージセンサ、FPGA、USB インタフェースが搭載されている。ID Cam は画像を撮像するシーンモードと ID をデコードする ID モードがある。

画素のシーン画像を 15fps で撮像し、USB 経由でシーン画像を PC に送信する (図 9 左上)。

一方 ID モードでは、ID Cam は 12kHz のサンプリングを 200 回繰り返し、ピーコンが送信するキャリア周波数 4kHz の 8bit の ID を 192×124 画素の全てにおいてデコードし、15fps で ID 画像を作成する (図 9 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、シーン画像上のピーコンの位置と ID の値を合成することが可能である (図 9 下)。

ID Cam としてシーン画像と ID 画像の両方を出力する場合、15fps 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 8bit の ID 画像とを組にして 7.5fps 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 USB1.0 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キャリア周波数を選択し高 bit 化も可能である。

ID Cam のサイズは EVIS と FPGA のピン数が多いため基板が大きくなっており、15cm×10cm×4cm とやや大型のデジタルカメラサイズである。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り、携帯電話等に搭載することも可能であろう。

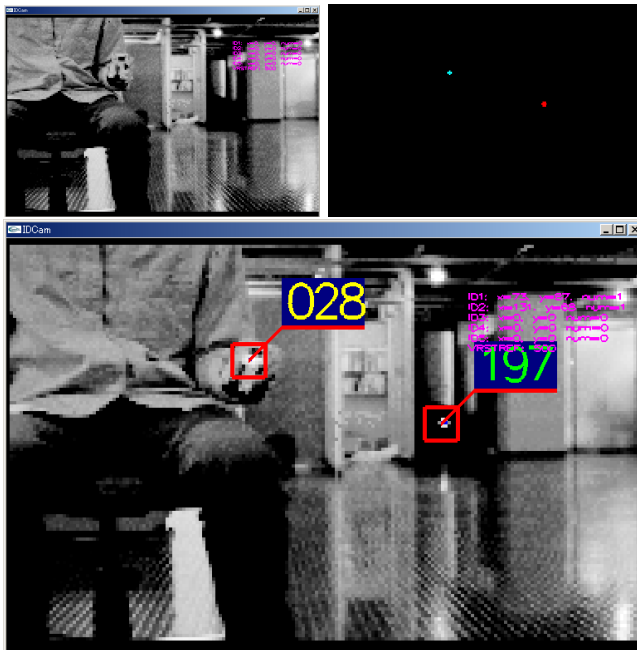


Figure 9: ID Cam の出力: 普通のカメラとしてシーンを撮像する (左上)。点滅データを全画素でデコードする。点が ID を認識した画素 (右上)。両方の出力を合成して、画像上のビーコンの位置に ID を表示する (下)。

3.3 PC

PC は ID Cam と USB 接続され、USB 経由で ID Cam から送信されてくる情報をもとに、シーン画像に ID に関連した情報をネットワーク経由でダウンロードし合成した映像を 7.5fps で表示する。Visual C++ と OpenGL で実装しており、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 センサを小型化すれば携帯端末でも十分に利用可能である。

4 特性評価

試作した ID Cam の基本特性を評価した。

4.1 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 が一つだけ搭載されており、パイロットランプ等の LED をビーコンに使用するときのシミュレーションである。一方、大ビーコンには 12 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。

	小ビーコン	大ビーコン
屋内	10m	20m
屋外	5m	10m

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。

4.1.1 屋内 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いため、20m の距離でも問題なく認識された。

4.1.2 屋外 晴天の障害物のない屋外では、カメラモードの映像がサチレーションを起こすほど明るかったが、小ビーコンを 5m の距離、大ビーコンを 10m の距離で認識可能であった。

このように、ビーコンの光量は人の目で点灯と消灯が判断可能な程度であれば認識可能である。ビーコンを遠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。以上より、屋内ではパイロットランプや LED 照明、屋外ではさらに看板の照明や信号機といったものがビーコンとして機能すると考えられる。

4.2 耐外乱光特性

ID Cam が外乱光にどの程度認識が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、点滅や点灯する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ポインタを使用した。

4.2.1 赤外線リモコン ID Cam と小ビーコンを 2m 離して設置し、小ビーコンの LED の丁度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 10)。認識可能な画素は若干減るものの、認識は可能であった (図 11)。

4.2.2 レーザポインタ 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ポインタのレーザで

5.2 位置認識システム

ID カメラシステムのもう一つの適用として、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、ビーコンとカメラとの相対位置を 3 次元的に測定可能である。例えば、会議室の天井に ID カメラを設置することで InfoRoom[8] などの複合型情報環境での ID や位置認識センサとして利用したり、屋内外の自立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可能である。

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 [1][5] 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。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 [3][4] では、30Hz 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。

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。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 60fps 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。

6 まとめと今後の課題

拡張現実システムのための、シーンとビーコン ID を同時に取得可能な ID 認識システム ID Cam を提案した。提案したシステムを LED のビーコンと高速イメージセンサを用いて実装し、特性評価を行った。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。

今後は、実際のアプリケーションを構築することで ID カメラシステムの利便性を確かめていく予定である。また ID カメラの高画素化、高速化、カラー化、小型化、高ビット化などを行い、ID 認識センサとしての実用を目指す。

REFERENCES

1. M. Bajura, and U. Neumann, Dynamic Registration Correction in Augmented Reality System. *VRAIS'95*, pp.189-196, 1995.
2. E. Funatsu, Y. Nitta, Y. Miyake, T. Toyoda, J. Ohta and K. Kyuma. An Artificial Retina Chip with Current-Mode Image Processing Functions. *Electron Devices*, pp1777-82, 1997.
3. D. J. Moore, R. Want, B. L. Harrison, A. Gujar, and K. Fishkin. Implementing Phicons: Combining Computer Vision with InfraRed Technology for Interactive Physical Icons. *UIST'99*, pp67-68, 1999.
4. 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, pp131-136, 2000.
5. PhoeniX Technologies. The Visualeyes System. <http://ptiphoenix.com/>
6. 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, pp199-208, 1996.
7. J. Rekimoto, Y. Ayatsuka, and K Hayashi. Augmentable Reality: Situated Communication through Physical and Digital Spaces. *ISWC'98*, 1998.
8. 暦本純一. InfoRoom: 実世界に拡張された直接操作環境, インタラクション 2000, pp.9-16, 2000.
9. 山田啓一、曽我峰樹. 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.
10. S. Yoshimura, T. Sugiyama, K. Yonemoto, and K. Ueda. 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.