

## 推薦論文

## ウェアラブル環境のためのLEDを用いたビジュアルマーカ

岸野 泰 恵<sup>†</sup> 塚本 昌 彦<sup>†</sup>  
坂 根 裕<sup>††</sup> 西尾 章 治 郎<sup>†</sup>

拡張現実空間を実現するためには、実空間を撮影しているカメラの位置や方向を正確に知る必要がある。最近では、見かけ上の位置精度が高くなるという理由から、画像処理を用いた研究が注目されている。筆者らはこれまでにコンピュータディスプレイにマーカを表示し、一定時間間隔でマーカの色を変化させて、位置情報とともに数十バイトの情報を表現できるマーカとして Visual Computer Communication (VCC) 方式を提案した。本稿では、ウェアラブルコンピューティング環境で使用することを想定し、16個のLEDからなるウェアラブル用のVCCマーカを提案する。さらに、本稿で提案したマーカの使用可能な範囲を求める評価実験を行った。

### A Visual Marker Using LEDs for Wearable Computing Environment

YASUE KISHINO,<sup>†</sup> MASAHICO TSUKAMOTO,<sup>†</sup> YUTAKA SAKANE<sup>††</sup>  
and SHOJIRO NISHIO<sup>†</sup>

In order to realize an augmented real space, it is necessary to know an accurate viewing position and an orientation of a camera used to take an image of the real world. Recently, the vision-based tracking technique attracts a lot of attention from researchers for the reason that this method can minimize the visual alignment error. Thus we proposed the Visual Computer Communication (VCC) method, in which a marker is displayed on a computer screen, and the color of each component of the marker is changed within a certain time interval. In this paper, we propose wearable VCC marker consists of 16 LEDs supposing usage in wearable computing environment. Moreover, in this paper, we describe its performance evaluation about the accuracy transmission.

#### 1. はじめに

近年、計算機の小型化、高速無線ネットワーク網の整備にともない、携帯端末をユーザが身につけて持ち運ぶウェアラブルコンピューティング環境の実現が可能となってきた。ウェアラブルコンピューティング環境では、装着するコンピュータの電源を常時オンにしておけば、コンピュータをつねに利用できる<sup>14)</sup>。このような状況では、メールやウェブブラウジングといった従来のコンピュータ通信形態に加え、ユーザの現在位置を利用して、周囲の人と情報を共有する、目の前にあるものに関する情報を入手するといった新し

い通信形態の実現が期待されている<sup>9)</sup>。たとえば、周囲にいる人に対して現在閲覧しているWebページのURLを伝えることで情報を共有する、初対面の同士が待ちあわせしたときに相手がいる場所をユーザに示すといったことが可能になる。

周囲に関する情報を直感的にユーザに提示するための手法としては、ユーザの視点で撮影したカメラ画像に、対象物を説明する文字列などのアノテーション情報を重ね合わせて提示する方法がある。このような現実空間の画像に情報を重ね合わせて提示する手法は拡張現実感<sup>2)</sup>と呼ばれ、近年注目されている。この分野では、正しい位置に情報を重ね合わせるために、現実空間を撮影するカメラの位置や方向を正確に検出することが重要であり、最近では、マーカを実空間のさま

<sup>†</sup> 大阪大学大学院情報科学研究科  
Graduate School of Information Science and Technology,  
Osaka University

<sup>††</sup> 静岡大学情報学部

Faculty of Information, Shizuoka University

本稿の内容は2002年7月のDICOMO2002にて報告され、MBL研究会主催により情報処理学会論文誌への掲載が推薦された論文である。

さまざまな場所に貼り付け、カメラで撮影したマーカの大きさや傾きなどからカメラの位置や方向を求める手法がさかんに研究されている<sup>3),6),10)</sup>。無線通信のみでは、画像処理を使用した場合のように、データの発信源とユーザの間の距離と角度を算出することはできなかった。これまでに、筆者らはコンピュータディスプレイ上に内容や位置を動的に変更できるマーカを表示し、マーカとカメラの位置関係および、アプリケーションで利用する情報を表現できる VCC ( Visual Computer Communication ) を提案した<sup>15)</sup>。カメラ画像中のマーカの形状から対象物とカメラの間の距離を算出すると同時に、マーカの色を一定時間間隔で変化させることで理想的には任意長の情報を利用できる。

これまでの研究では、VCC のマーカは街角に設置されたタッチパネルや、電車の中や駅前にある電光掲示板など、実世界に遍在しているディスプレイに表示することを想定していた。これに対し VCC マーカとしてウェアラブル、すなわち、ユーザが身に着けるものを想定した場合、マーカは持ち運びやすいことが前提となる。そこで、LED ( Light Emitting Diode ) を用いた VCC のマーカを提案する。LED を用いると、コンピュータディスプレイにマーカを表示した場合に比べ制御が簡単になり、マーカの小型化、軽量化が可能になり、持ち運びが容易になる。本稿では、URL やメールアドレスなどの任意の情報を周囲に向けて伝えられる LED マーカの実現について述べる。

## 2. 関連研究

マーカを用いてさまざまな情報を実空間の画像に重ね合わせてユーザに提示しようとする研究としては、Cyber Code<sup>12)</sup>、高速に LED が点滅するビーコンを用いる IDCam<sup>8)</sup> などがあげられる。

Cyber Code では紙のマーカをカメラで撮影し、画像を解析して数バイトの ID を読み取り、対応するコンピュータ上の情報を引き出して利用する。マーカが紙であるため、LED を用いる VCC よりも手軽に利用できるが、表現できる情報量には制限があり、ID と対応する情報の一覧を用意する必要がある。

IDCam では、人の目には見えなほど高速にビーコンを点滅させ、その様子を特殊な CMOS カメラで撮影することで、ビーコンが表現する 128 バイトまでの情報を読み取る。人の目には、ただ LED が光っているようにしか見えなにもかかわらず、ビーコンを身に着けたユーザが歩き回っていてもその情報を読み取れるという利点があるが、ビーコンは 1 点のみであり、ビーコンとカメラの間の明確な位置関係を求める

ことはできない。

ユーザが身に着けた装置を用いて、ユーザの位置を求めるための研究としては赤外線 LED を用いる Balloon Tag<sup>1)</sup>、赤外線通信を用いる Active Badge<sup>17)</sup>、電波と超音波を用いる Active Bat<sup>5)</sup>、Cricket<sup>11)</sup> などがある。

Balloon Tag では赤外線 LED のタグを撮影したカメラの画像からタグの位置を解析し、その情報を読み取る。VCC と比較すると、クロック信号を利用するのでデータ通信速度によらない情報送受信が可能であり、赤外線領域を用いるので、目に見えず目立たないという利点があるが、データ送信速度が遅いという問題がある。可視光領域を利用するシステムと異なり、アプリケーションで用いるカラー画像は別に取得する必要があり、カメラを複数用意しなければならないといった問題や、複数のカメラ間の位置のずれなどの問題がある。

Active Badge, Active Bat, Cricket などでは、赤外線通信や超音波を用いて、屋内の各部屋に設置した装置とユーザが身に着ける端末が通信を行い、ユーザがどの部屋のどの位置にいるのか、といった絶対的な情報をつねに把握できる。正確にユーザの位置を管理するために、多くの装置を実空間内に設置する必要がある。

電波無線タグを用いる研究<sup>16)</sup> も、LED を用いたマーカとは異なり、目立たないという利点があるが、タグと受信機との距離や角度が取得できないという問題がある。

以上より、本研究では、以下のような特徴を持つマーカの実現を目的としている。

- 理想的には任意長の情報を表現でき、ID と情報の一覧を必要としない。
- カメラとマーカとの距離や角度が明確に分かる。この特徴は、ユーザの正面にある情報や、ユーザが一番近い情報を選んで表示するような応用で特に重要である。
- 位置を算出する際に、マーカとカメラ以外の装置を必要としない。画像にアノテーションを重ね合わせてユーザに情報を提示することを考えると、マーカとカメラさえあれば情報を提示できる。
- 可視光領域を用いる。これにより、アプリケーションで用いるカラー画像と位置を算出するために用いる画像が同じものになり、両画像を別々のカメラで撮影した場合に比べて誤差が減る。さらに、可視光領域のマーカを用いると、どちらを向けば情報を得られるかユーザに分かりやすい。

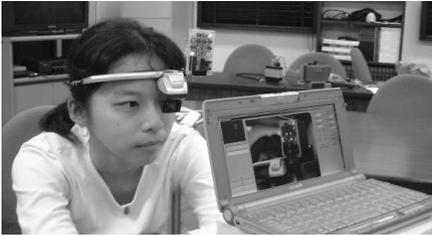


図 1 LED マーカを身に着けた VCC 使用状況の例  
Fig. 1 An example of VCC use.



図 2 LED マーカ  
Fig. 2 A LED marker.

### 3. VCC

図 1 に LED マーカの使用状況の例を示す。図 1 では、ユーザが身に着けた LED のマーカを一定時間間隔で点滅させ、それを手前のノートパソコンに付属した CCD カメラで撮影している。手前のノートパソコンはマーカの色の変化を撮影し、カメラ画像を解析してマーカとカメラの相対的な位置関係を算出する。さらに同時に、マーカが表現している情報を読み取る。このように VCC はマーカとそれを読み取るプログラムからなる。

#### 3.1 マーカ

作成した LED マーカを図 2 に示す。マーカは、これまでのコンピュータディスプレイ上に表示するマーカと同様に、4 行 4 列のマトリックス状に配置した 16 個のブロックからなる。1 つのブロックに 1 つの LED を用いる。マーカのコーディング方法 (図 3) は、これまでと同じものを使用する。マーカの位置を示す 4 隅のロケータ部は、これまでコンピュータディスプレイ上のブロックを白黒と変化させていたが、LED マーカでは白色の LED を点滅させることでこの色の変化を表現する。その他のデータ部には赤色 LED を用いる。また、LED マーカは、PC から制御することにより、表現するデータなどを動的に変更できる。

LED マーカのコーディングについて説明する。データの読み取りには色の差分を用いているため、1 つのブロックで、ある色を使用して “1” を表す場合、その

ロケータ	送信開始	送信終了	ロケータ
第1ビット	第2ビット	第3ビット	第4ビット
第5ビット	第6ビット	第7ビット	第8ビット
ロケータ	パリティ	1バイト送信	ロケータ

図 3 コーディングの例  
Fig. 3 An example of coding.

LED の ON/OFF を切り替え、“0” を表す場合は変化させない。第 1 ビットから第 8 ビットの 8 個のブロックを実際のデータのコーディングに用いるので、一度の変化で 1 バイトの情報を表せる。1 色コーディングのときには、1 バイト送信ビットを反転させる。マルチカラーの LED を用いた場合に、情報のコーディングに用いる色の数を選択できるようにこのビットを設けているが、現在は赤 1 色の LED を用いているため、つねに 1 色を用いたコーディングとなり、1 バイト送信ビットはデータ送信中、つねに点滅し続け、ON/OFF を繰り返す。また、マーカの情報を読み取る際には、データを読み間違えることが予想されるため、パリティビットでエラーの検出を行う。VCC のマーカでは色の変化を繰り返すことで可変長の情報を表現するため、情報と情報の境目を示す送信開始ビットと送信終了ビットを設ける。データの送信を開始、終了するときには、それぞれのビットの ON/OFF を切り替える。

図 4 にマーカの点灯例を示す。あるデータの送信中に “01110100” というデータを表示する場合、マーカが (a) のように点灯した後、一定時間 (現在の実装では 200 ミリ秒) 後に (b) と点灯する。このときのマーカの差分画像は (c) のようになる。(c) で比較的大きく点灯している 4 隅の LED がロケータ部、残りの比較的小さいものがデータ部である。このときのマーカの各 LED の示す色の情報は (d) のようになる。赤色の部分のデータが “1” を表すため、コーディングされているデータが “01110100”，1 バイト送信ビットが ON となる。

LED の点滅制御には 8 ビットマイコン (マイクロチップテクノロジー社 PIC16F84) を用いる。PIC16F84 には 64 バイトの不揮発性メモリがあり、ここに 31 バイトまでのデータを 2 個 (データ 0, データ 1) 格納する。

LED マーカの制御は PC からシリアル通信を介して行う。シリアル通信で送信するコマンドには、点滅

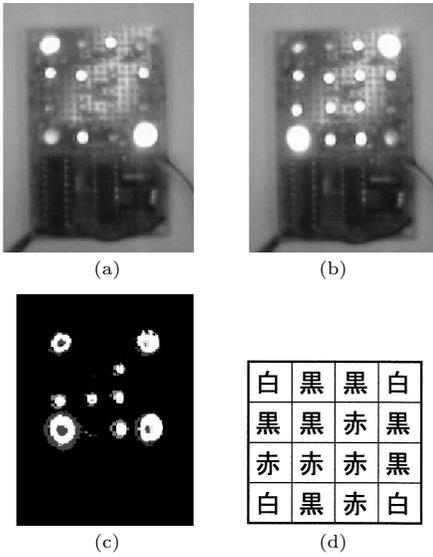


図 4 LED マーカの点灯例  
Fig. 4 Examples of LED marker elimination.

表 1 コマンド一覧

Table 1 The list of commands.

ID	コマンド	説明
C0	Start	LED を点滅させ、指定したデータの送信を開始する。
C1	Restart	点滅が一時停止している状態から点滅を再開し、停止する前に送信していたデータの送信を再開する。
C2	WriteData_0	データ 0 として送信したいデータをメモリに書き込む。
C3	WriteData_1	データ 1 として送信したいデータをメモリに書き込む。
C4	ChangeData	2 つあるデータのどちらかをマーカに表示するが変更する。マーカは現在送信中のデータの送信を終了した後、新たに指定されたデータの送信を開始する。
C5	ClearData	PIC のメモリに格納しているデータ 0 あるいはデータ 1 を消去する。
C6	Pose	データ部の点滅を一時停止して、データの送信を中断する。ロケータ部は点滅し続ける。
C7	Stop	LED を点滅させ続けていると電池を消耗するので、マーカを使わないときには LED の点滅を停止する。

開始 ( Start ), 点滅再開 ( Restart ), データ書き込み ( WriteData\_0, WriteData\_1 ), 点滅しているデータの変更 ( ChangeData ), データ消去 ( ClearData ), 点滅一時停止 ( Pose ), 点滅停止 ( Stop ) の 7 種類がある ( 表 1 )。これらのコマンドを利用して PC から LED マーカを制御する。

コマンドを受信したときの状態遷移の様子を図 5 に示す。C は受信したコマンドの ID を ( 表 1 参照 ), S は凡例に示すとおり、状態 S0 ならば点滅を停止している状態というように、LED マーカの状態を示している。たとえば、データの送信中 ( 状態 S2 ) にデータ消去 ( C5 : ClearData ) のコマンドを受信した場合、データを消去する状態になり ( 状態 S4 ), 消去の完了後、消去したデータが送信中のデータであった場合は送信するデータがないため点滅停止 ( 状態 S0 ) の状態になり、消去したデータが送信中のデータと異なった場合は引き続き同じデータを送信する ( 状態 S2 )。

これらのコマンドを組み合わせることで PC と LED マーカを連携させた以下のような操作が可能となる。

- PC から WriteData のコマンドなどで、データを自由に書き換える。
- 見ているホームページの URL をつねにマーカに表示することで周囲の人と情報を共有する。
- マーカで表示したい文章を選択してカットアンドペーストで入力する。
- LED マーカを人に渡すときには、ClearData でデータを消去する。
- マーカから情報を発信したくないときは、Pose コ

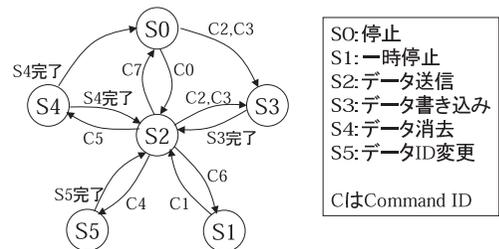


図 5 LED マーカの状態遷移図  
Fig. 5 The state chart of a LED marker.

マンドでデータの送信を中断する。

- 映画館などマーカを目立たせてはならない場所では、Stop コマンドで点滅を停止する。

### 3.2 マーカの検出

マーカの検出方法について説明する。マーカを撮影しているコンピュータは、マーカの LED の点滅と同じ時間間隔で画像を取り込み、前のフレームで取り込んだカメラ画像との差分画像を作成する。これを適当な閾値で色ごとに二値化し、二値化した画像から連結した白色の領域を取り出し、大きいもの 4 つをマーカの 4 隅とする ( 図 6 (a) の丸で囲まれている部分 )。検出したロケータ部をもとにマーカ内の座標を計算し ( 図 6 (b) ), 色情報を読み取り、色情報からマーカの表現しているデータを得る。さらに、画像中のロケータ部の座標を用いてマーカとカメラの間の距離や傾きを求め、法線ベクトルを算出する<sup>4)</sup>。

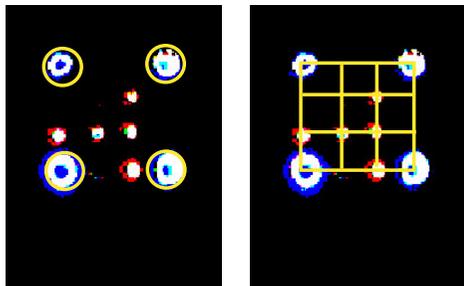


図 6 差分画像における形状の読み取り例  
Fig. 6 Examples of the receiving process.

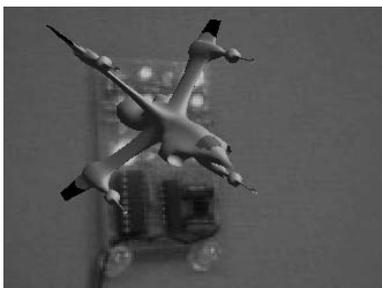


図 7 仮想物体の合成例  
Fig. 7 An example of overlaying a virtual object on a picture.



図 8 URL の読み取り例  
Fig. 8 An example of overlaying the read URLs.

図 7 と図 8 は、得られたデータやマーカとカメラの位置関係を利用したアプリケーションの一例である。図 7 では、壁にかけた LED マーカに、ポリゴンで表現した仮想物体を重ね合わせている。マーカに仮想物体のファイル名を書き込めば、画像を合成する際にマーカから読み取ったファイル名の仮想物体を選択できる。図 8 では、LED マーカを撮影した画像の上にマーカから読み取った URL を重ね合わせて表示しており、この URL の部分をクリックするとホームページを閲覧できる。

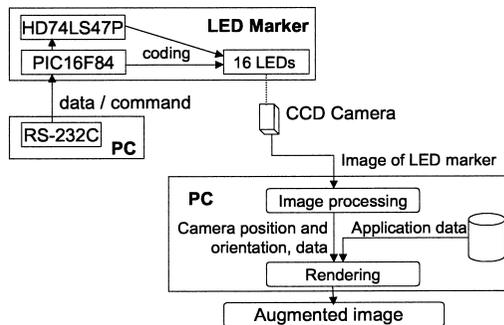


図 9 システム構成  
Fig. 9 The structure of the VCC system.

### 4. 実 装

システムの構成を図 9 に示す。マーカは、ロケータ部に 4 個の白色 LED，データ部に 12 個の赤色 LED を用いた。LED の点灯は 8 ビットマイコン (PIC16F84) と、ピンの数の不足を補うためセグメントデコーダの論理回路 (日立 HD74LS47P) を用いて制御する。マーカで表現するデータは PIC の不揮発性メモリに格納し、PC からシリアル通信を介して変更する。

マーカを検出するプログラムは、ノート PC (ソニー PCG-R505R: PentiumIII 850 MHz, メモリ 128 MB) を用い、Windows2000 上に VisualBasic6.0 と VisualC++ を使用して実装した。カメラには CCD カメラ (ソニー PCGA-VC2) を USB で接続して使用した。カメラ画像は 320 × 240 ピクセルのものを利用し、5 フレーム毎秒で動作することを確認した。

#### 4.1 LED マーカの改善

LED マーカを実装したところ、数十 cm の距離で正面からならば、データを正しく読み取ることができた。しかし、それよりもマーカとカメラが近い場合には、LED が非常に明るいため、カメラ画像では赤色 LED が赤ではなく、白として撮影され、正しくマーカの 4 隅を検出できない。マーカとカメラが遠すぎる場合には、カメラ画像中の LED が暗く小さく撮影され、マーカを検出できない。また、図 2 で使用している LED は指向性が強く、正面から見たときには明るすぎ、斜めから見たときには暗くすぎるといった問題、ディスプレイ上のカラータイルと異なり、LED が光るのは 1 点だけであり、マーカを検出しにくいという問題があることが分かった。これらの問題点を解決するため、次のような工夫を施した。

#### 個々の LED の明るさを調節

データ部の LED が明るすぎると、本来赤色の LED がカメラ画像では白色に撮影されたり、光っている点が



図 10 チップ LED を用いた VCC マーカ  
Fig. 10 A VCC marker using chip LEDs.

大きく撮影され、ロケータ部の LED とつながっているように見えたりすることがある。そのため、ロケータ部がデータ部よりも明るく撮影されるよう、個々の LED の明るさを抵抗を交換して調整した。

マーカの改良

マーカをトレーシングペーパーや半透明のプラスチックの板で覆い、LED の指向性を弱め、正面から読み取りやすくした(図 8 ではプラスチックの板を利用)。さらに、チップ LED を用いたマーカも作成した(図 10)。チップ LED は指向性が弱く、斜めからでも明るいため、カメラがマーカの正面にある場合だけでなく、少し斜めにある場合でもデータを認識しやすい。

画像処理アルゴリズムの改良

LED の点灯が画像上に現れるのは 1 点だけであり、少しでもずれると正しくデータを認識できない。そのため、従来のアルゴリズムではマーカの中心点とその 4 近傍の画素からマーカの色を判定していたが、中心点とその上下左右に 2 ピクセルずつ離れた点の画素からマーカの色を判定するようにアルゴリズムを変更した。さらに、画像処理には差分画像を用いているので、カメラが動いたり、画面中の人や物が動いたりすると、マーカを正しく認識できなかった。これは、画面上で白色の連結した領域をロケータ部の候補としているが、画面中の人や物が動くと、画面内にマーカの 4 隅以外の白色の連結した領域が現れるためである。そこで、候補からマーカの 4 隅を選択する際に、マーカの 4 隅である可能性が低い領域を候補から外すようにした。候補から外す基準としては、白色連結領域の縦と横の長辺対短辺の比を用い、この比が 2 対 1 以上あるものを候補から外した。このプログラムは、従来のコンピュータディスプレイ上のマーカと LED のマーカのどちらも読み取れるものを目指しているが、ディスプレイ上に表示するマーカの場合、4 隅は正方形であるため、もしマーカが大きく傾いたものを撮影し、この比が 2 対 1 になっていたとしても、この場合マーカは 60 度以上傾いていると考えられ、このようなマーカ

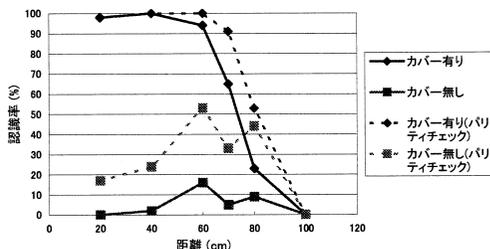


図 11 LED マーカの距離と認識率の関係  
Fig. 11 Relationship between distance and accuracy.

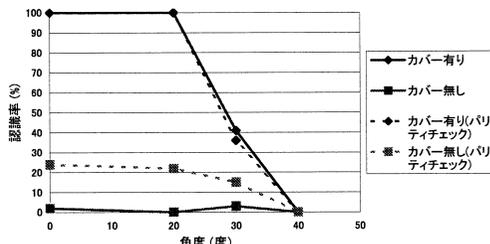


図 12 LED マーカの角度と認識率の関係  
Fig. 12 Relationship between angle and accuracy.

からほとんどデータを読み取れないことがこれまでの実験結果から分かっている<sup>7)</sup>。LED マーカの場合でも、LED マーカの 4 隅は、LED が発光するため、カメラ画像上では円形になり、マーカとカメラが静止した状態でこの比が 2 対 1 以上になる可能性は低い。さらに、斜めからマーカを撮影したために、長辺対短辺の比が 2 対 1 以上になったとしても、このような角度からデータを読み取れないことは、5 章に述べる評価実験の結果から確認できる。

5. 評価実験

LED マーカでは、マーカとカメラの間の距離や角度、マーカへの半透明カバーを装着することによってデータを読み取る精度が変化するため、さまざまな距離や角度で、実装した LED マーカから情報を読み取る際の認識率について評価実験を行った。実験では 1 文字のアルファベットのデータをマーカで送信し続け、これを正しく読み取れた割合を認識率とした。データには、ランダムなアルファベット 1 文字のデータを 100 個用意し、それぞれの距離と角度ですべてのデータを順に読み取る実験を 1 回ずつ行った。実験結果を図 11 と図 12 に示す。図には、単純に正しいデータを読み取れた割合と、パリティチェックがどの程度有効かを調べるため、パリティチェックの結果を考慮した場合の認識率を示した。パリティチェックの結果も考慮した場合には、エラーが検出されずに正しいデータを読み取れた場合の割合と、データは正しくないが

パリティチェックでエラーが検出できた場合の割合を合計したものを認識率とした。

また、実験は背景に動くものがなく、カメラとマーカが同期しておらず、カメラで LED の ON/OFF が正しく撮影できている状態で行った。LED マーカの一辺の長さは約 3 cm である。画像処理の二値化の際の閾値は、二値化した後の階調値の 2 つのクラス間の分散が最大になるような値を自動的に選択した。実験はすべて屋内で行った。

マーカとカメラの間の距離と認識率に関する実験結果を図 11 に示す。半透明カバーを使用しない場合では、ほとんど情報を読み取れないが、パリティチェックを考慮した場合の結果より、数十%のエラーは認識できることが分かる。カバーを利用した場合では、60 cm 程度の距離まで情報を認識でき、80 cm 以上になるとほとんど情報を認識できなくなる。また、1 m を超える距離では、画面中の LED が小さくなり、マーカの各ブロックの区別ができず、データを読み取れなかった。

マーカとカメラの間の角度と認識率に関する実験結果を図 12 に示す。この実験は、図 11 でカバーがある場合の認識率が最も高い 40 cm の距離に LED マーカとカメラを設置して行った。カバーを使用しない場合では、ほとんどマーカから情報を読み取ることはできなかった。カバーを利用した場合では、斜め 20 度までならば情報を正確に認識でき、30 度以上になるとデータを正確に認識できなくなることが分かる。30 度以上の角度では、斜めからのマーカが暗く正確な形状を検出できないため認識率が下がる。また、角度が 40 度を超える部分では、すべての LED が暗く、どちらの場合でもマーカを検出することができなかった。

さらに、図 11、図 12 において、破線が実線を上回っている部分がほとんどであることから、パリティチェックが有効であることが分かった。図 12 の 30 度の角度で破線が実線を上回っている部分があるが、これは、データは正確に読み取れているにもかかわらず、パリティビットの色の読み取りに失敗する場合があるためである。

評価実験より、半透明のカバーを LED マーカに装着すると情報の認識率が大幅に改善されること、距離 60 cm、角度 20 度までならば、ほぼ正確に情報を認識できることが分かった。

## 6. 考 察

### 6.1 LED マーカの利用

将来的にはウェアラブルコンピュータと LED マーカを身につけることで、日常生活を便利にする図 13

ユーザがカメラ付きの HMD と LED マーカの付いたウェアラブルコンピュータを身につけて買い物に行ったとする。

- 店頭ディスプレイが置いてあり、ディスプレイ上の広告を見ると同時に、ディスプレイに表示されているマーカをカメラで撮影する。マーカから読み取った URL が HMD 上に表示され、URL をマウスでクリックすることでその店に関するさらに詳しい情報があるページを閲覧する。
- 閲覧した結果、興味のある商品が見つかったため、店の中に入る。店内では、見本の商品には LED マーカが付いており、カメラでマーカを撮影し画面上のマーカがある位置をマウスでクリックするだけで、マーカから読み取った情報を利用して、商品の在庫情報、値段、原材料に関する情報などが得られる。
- 購入する商品を決め、レジに持っていく。自分が身に付けた LED マーカに個人 ID を表示しているので、レジ係は ID を読み取り、以前に注文した別の商品がすでに届いていることを伝える。
- 買い物をした後は、初対面の人と待ちあわせている駅前へ移動する。顔は分からないが、お互いに身につけた LED マーカを読み取ることで、相手のいる方向や場所が HMD 上に提示され、スムーズに話しかけられた。
- 最初に話しはじめるときにはマーカ制御プログラムのボタンをクリックして LED マーカを個人情報表示モードに切り替える。このモードでは名前、住所、メールアドレスなどを繰り返し表現するので、お互いに話しながらカメラでマーカを写すだけで個人情報を交換でき、名刺交換は不要になる。相手の個人情報は現在の日時やカメラ画像とともに自動的に記録される。
- 連れ立って食事に行く。店は、駅に行く途中で LED マーカで「どこかいい場所ありませんか？」というメッセージを周囲の人に向けて表示したところ、すれ違った人が話し掛けて、教えてくれた場所である。

図 13 VCC マーカの活用シナリオ  
Fig. 13 Applications of VCC marker.

のようなさまざまな応用が可能になると考えられる。

また、携帯電話に 2 次元バーコードを表示し、認証を行う Mobile One サービス<sup>13)</sup> というサービスがある。この 2 次元バーコードの代わりに VCC を用い、ユーザがつねに身につけている LED マーカを用いて同様の認証を行うことも可能である。

今後、これらの応用を可能にするためには、情報を読み取る精度や、その速度をさらに向上させる必要がある。

### 6.2 実装について

4.1 節であげたほかにも今回実装した LED マーカには改善すべき点がある。

現在のマーカ検出方法では、マーカを撮影する時間間隔とマーカが変化する時間間隔が同じなので、LED の点滅が切り替わっている途中の画像を撮影し、マーカを正しく認識できない場合があった。これを解決するためには、カメラでマーカを撮影する時間間隔を

LED が点滅する時間間隔の半分以下にする必要がある。しかし、1 枚の差分画像を処理するには百数十ミリ秒の時間が必要であり、これにあわせて LED が点滅する時間間隔を決めると、データを表示する速度が半分になる。現在のような方法をとっているのはこのためである。今後、プログラムの改良を行い、この点を解決していく予定である。

また、コンピュータディスプレイ上のマーカを利用した場合よりも、検出したロケータ部の形状が安定しない傾向にあることが分かった。これは、正面から LED を見たときに明るすぎ、実際の 1 ブロックの大きさよりも大きくロケータ部のブロックが撮影されてしまうためであり、さらに、LED の指向性を弱める、適切な閾値を選ぶ、読み取りアルゴリズムを改良するなどの対策で改善できると考えている。

### 6.3 従来の VCC マーカとの比較

本稿で作成した LED マーカは、コンピュータディスプレイ上に表示したマーカに比べて、小型電池で駆動し、軽く、作成のコストが低いという特徴があり、人が身に着けるウェアラブルマーカとしての使用に向いている。

これに対して、これまでのマーカは、ユビキタスコンピューティング環境で利用することを想定していた。ユビキタスコンピューティング環境が発展すれば、現在駅前や、商店の店頭にあるようなディスプレイの数が増え、実世界のあらゆる場所に遍在するようになると考えており、マーカはこのような実世界に遍在するディスプレイ(ユビキタスディスプレイ)に表示する。このような状況では、ユビキタスディスプレイを制御するコンピュータを利用して、マーカの位置を変更したいときに、ディスプレイ内でのマーカの位置や、どのディスプレイにマーカを表示するかをプログラムで簡単に変更できる。これに対して、LED マーカでは、マーカを移動させたいときには、物理的に動かさなければならぬ。

これら 2 つのマーカを組み合わせることで、ユビキタスディスプレイがない場所にマーカを設置したり、ユーザが身に着ける場合には、LED マーカを用い、ユビキタスディスプレイが使用できる状況ではユビキタスディスプレイにマーカを表示する、というように状況によってマーカを使い分けられると考えている。

### 6.4 ウェアラブル環境における情報の利用方法

ウェアラブルコンピューティング環境では、入力デバイスが限られており、通常のデスクトップコンピュータに比べて、思うような入力ができない場合がありうる。そのため、マーカから読み取った情報を簡単に活

用するための手法が必要となる。このような手法としては、マーカで情報を表現する際に、先頭の 1 バイト程度に情報の種類を表す ID からなるヘッダを付け加えることが有効である。情報の種類としては、URL、メールアドレス、アルファベットの名前、日本語(2 バイト文字)の名前、住所、メッセージなどさまざまなものが考えられる。マーカを読み取る側のプログラムで前もってそれぞれの ID に対応する動作を決めておけば、ユーザはわずかな操作でコンピュータを利用できる。たとえば、ID から読み取った情報の種類が URL であった場合には、画面を 1 回クリックするだけで Web ブラウザを立ち上げる、情報が名前やメールアドレスであれば現在の時刻やカメラ画像とともに記録するなどの利用方法が考えられる。

## 7. ま と め

本稿では、VCC のマーカを LED を用いた実現とその改良について述べ、実現した LED マーカについて、距離 60 cm、角度 20 度の範囲内ならばマーカから情報を読み取れることを評価実験によって確認した。マーカに LED を用いると、マーカが簡単に作成でき、可搬性が高まるので、ウェアラブルコンピューティング環境やモバイルコンピューティング環境での VCC を利用した応用システムの構築が容易になる。

今後の課題としては、これまで提案してきたコンピュータディスプレイにマーカを表示するタイプのマーカと合わせてウェアラブルマーカを使用できるような応用システムの実現があげられる。

謝辞 本研究の一部は、文部科学省 21 世紀 COE プログラム(研究拠点形成費補助金)、文部科学省科学技術振興調整費「モバイル環境向 P2P 型情報共有基盤の確立」によるものである。ここに記して謝意を表す。

## 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, 日本ソフトウェア科学会 WISS 2000, pp.131-136, 近代科学社 (2000).
- 2) Azuma, R.T.: A Survey of Augmented Reality, *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, Vol.6, No.4, pp.355-385 (1997).
- 3) de Ipina, D.L., Mendonca, P. and Hopper, A.: TRIP: a Low-Cost Vision-Based Location System for Ubiquitous Computing, *Personal and Ubiquitous Computing journal*, Vol.6, No.3, pp.206-219 (2002).
- 4) 出口光一郎: センシング/認識シリーズ第 5 巻画

像と空間, 昭晃堂 (1991).

- 5) Harter, A., Hopper, A., Steggle, P., Ward, A. and Webster, P.: The Anatomy of a Context-Aware Application, *The 5th Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking, MOBICOM '99*, pp.59-68 (1999).
- 6) 加藤博一, Billingham, M., 浅野浩一, 橋啓八郎: マーカー追跡に基づく拡張現実感システムとそのキャリブレーション, *日本バーチャルリアリティ学会論文誌*, Vol.4, No.4, pp.607-616 (1999).
- 7) 岸野泰恵, 塚本昌彦, 坂根 裕, 西尾章治郎: コンピュータディスプレイを用いたビジュアルマーカーの実現, *情報処理学会シンポジウムシリーズ (マルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム)*, Vol.2001, No.7, pp.259-264 (2001).
- 8) 松下伸行, 日原大輔, 後 輝行, 吉村真一, 暦本純一: ID Cam: シーンと ID を同時に取得可能なイメージセンサ, *情報処理学会シンポジウムシリーズ (インタラクティブ 2002)*, Vol.2002, No.7, pp.6-13 (2002).
- 9) 西村拓一, 伊藤日出男, 山本吉伸, 中島秀之: 無電源小型通信端末を用いた位置に基づく情報支援システム, 第 2 回情報処理学会知的都市基盤研究会資料, pp.1-6 (2002).
- 10) Park, J., Jiang, B. and Neumann, U.: Vision-based Pose Computation: Robust and Accurate Augmented Reality Tracking, *IEEE International Workshop on Augmented Reality*, pp.3-12 (1999).
- 11) Priyantha, N.B., Miu, A., Balakrishnan, H. and Teller, S.: The Cricket Compass for Context-Aware Mobile Applications, *7th ACM MOBICOM* (2001).
- 12) Rekimoto, J. and Ayatsuka, Y.: CyberCode: Designing Augmented Reality Environments with Visual Tags, *ACM Designing Augmented Reality Environments (DARE2000)* (2000).
- 13) ターゲットワン株式会社: コード認証 ASP 「Mobile One」(2001). <http://www.target-one.co.jp/mobile/index.html>
- 14) 塚本昌彦: *モバイルコンピューティング* 岩波科学ライブラリー 77, 岩波書店 (2000).
- 15) 塚本昌彦: 実空間利用のためのビジュアルなコンピュータ間通信方式, *情報処理学会研究報告 (モバイルコンピューティング研究会 2000-MBL-12)*, Vol.2000, No.14, pp.25-32 (2000).
- 16) Want, R., Fishkin, P.K., Gujar, A. and Harrison, L.B.: Bridging Physical and Virtual Worlds with Electronic Tags, *ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '99)*, pp.370-377 (1999).
- 17) Want, R., Hopper, A., Falcao, V. and

Gibbons, J.: The Active Badge Location System, *ACM Trans. Information Systems*, Vol.10, No.1, pp.91-102 (1992).

(平成 14 年 12 月 20 日受付)

(平成 15 年 7 月 3 日採録)

## 推 薦 文

本稿は, VCC (Visual Computer Communication) において, ディスプレイ上に簡易に表示でき, 持ち運びが簡単な LED マーカを提案している. 提案したマーカは小型電池で駆動し, 軽量であるためウェアラブルマーカとしての使用に適している. また, 本マーカは URL やメールアドレスなどの任意の情報を周囲に伝達することができ, ウェアラブルコンピューティング環境における VCC を利用したシステム構築に大きく貢献するものと期待される. 本研究では, 実際に LED マーカを試作, 実装し, 特性の評価, 課題抽出を行い, 利用領域を明らかにしている. アイデアから実装までの一連の検討を行っており, 研究の意義は大きいと判断する. (MBL 研究会主査 高橋 修)



岸野 泰恵 (学生会員)

2002 年大阪大学工学部電子情報エネルギー工学科卒業. 現在, 同大学院情報科学研究科マルチメディア工学専攻在籍. バーチャルリアリティ, ヒューマンインタフェースに興味を持つ.



塚本 昌彦 (正会員)

1987 年京都大学工学部数理工学科卒業. 1989 年同大学院工学研究科修士課程修了. 同年, シャープ (株) 入社. 1995 年大阪大学大学院工学研究科情報システム工学専攻講師, 1996 年同専攻助教授, 2002 年より同大学院情報科学研究科マルチメディア工学専攻助教授となり, 現在に至る. 工学博士. ウェアラブルコンピューティングとユビキタスコンピューティングの研究に従事. ACM, IEEE 等 8 学会の会員.



坂根 裕 (正会員)

1998 年大阪大学工学部情報システム工学科卒業。2000 年同大学院工学研究科修士課程修了。2002 年より静岡大学情報学部助手となる。ウェアラブルコンピューティングとユビキタスコンピューティングの研究に従事。電子情報通信学会, 日本バーチャルリアリティ学会各会員。



西尾章治郎 (正会員)

1975 年京都大学工学部数理工学科卒業。1980 年同大学院工学研究科博士後期課程修了。工学博士。京都大学工学部助手, 大阪大学基礎工学部および情報処理教育センター助教授, 大阪大学大学院工学研究科情報システム工学専攻教授を経て, 2002 年より同大学院情報科学研究科マルチメディア工学専攻教授となり, 現在に至る。2000 年より大阪大学サイバーメディアセンター長を併任。この間, カナダ・ウォータールー大学, ピクトリア大学客員。データベース, マルチメディアシステムの研究に従事。現在, ACM Trans. on Internet Technology, Data & Knowledge Engineering, Data Mining and Knowledge Discovery, The VLDB Journal 等の論文誌編集委員。情報処理学会フェロー含め, ACM, IEEE 等 9 学会の会員。