

# ビジュアルマーカとイベント駆動型小型デバイスによる ユビキタス環境の構築について

岸野 泰恵<sup>†</sup> 塚本 昌彦<sup>†</sup> 寺田 努<sup>††</sup> 西尾章治郎<sup>†</sup>

<sup>†</sup> 大阪大学大学院情報科学研究科 〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1

<sup>††</sup> 大阪大学サイバーメディアセンター 〒567-0047 大阪府茨木市美穂ヶ丘 5-1

E-mail: <sup>†</sup>{yasue,tuka,nishio}@ist.osaka-u.ac.jp, <sup>††</sup>tsutomu@cmc.osaka-u.ac.jp

あらまし 本稿では、ビジュアルマーカとイベント駆動型の小型デバイスを連携させた新たなユビキタスコンピューティング環境について述べる。ビジュアルマーカとしては、筆者らがこれまでに提案した VCC (Visual Computer Communication) 方式のマーカを用いる。VCC マーカは一定時間間隔でマーカの色を変化させることで位置情報とともに数十バイト程度の情報を提示できる。本研究では、イベント駆動型ルールで制御する小型デバイスと VCC マーカを組み合わせることで、小型デバイスにセンサを接続して収集した実空間情報をビジュアルマーカを用いてユーザに提示したり、環境内に設置されている機器を小型デバイスを通して制御するといったさまざまなサービスの提供を可能にするユビキタス環境を実現する。

キーワード ビジュアルマーカ, ユビキタスコンピューティング, 拡張現実感, ECA ルール

## On a Ubiquitous Computing Environment Composed by Visual Markers and Event-Driven Compact Devices

Yasue KISHINO<sup>†</sup>, Masahiko TSUKAMOTO<sup>†</sup>, Tsutomu TERADA<sup>††</sup>, and Shojiro NISHIO<sup>†</sup>

<sup>†</sup> Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University  
Yamadaoka 2-1, Suita-shi, Osaka, 565-0871, Japan

<sup>††</sup> Cybermedia Center, Osaka University Mihogaoka 5-1, Ibaraki-shi, Osaka, 567-0047, Japan

E-mail: <sup>†</sup>{yasue,tuka,nishio}@ist.osaka-u.ac.jp, <sup>††</sup>tsutomu@cmc.osaka-u.ac.jp

**Abstract** In this paper, we propose a new ubiquitous computing environment composed by visual markers and event-driven compact devices. We employ the VCC (Visual Computer Communication) method, which we have already proposed as the information displaying method on visual markers. In the VCC method, a marker is composed of multiple tiles and their color changes at a certain interval of time, by which the marker can send dozens byte of information. In our research, in order to enhance the facility of VCC marker, we use rule-based compact devices to process various types of data and to change information shown in a VCC marker dynamically. The combination of VCC markers and compact devices enable various services such as presentation of real world information collected by compact devices and control of appliances via compact devices.

**Key words** visual marker, ubiquitous computing, augmented reality, ECA rule

### 1. はじめに

近年、計算機の小型化および高速無線ネットワーク網の整備に伴い、ユーザがいつでもどこでもコンピュータを利用できるユビキタスコンピューティング環境が実現しつつある。特にユーザが常にコンピュータを身につけて利用するウェアラブルコンピューティングでは、コンピュータの電源を常時オンにして持ち歩くことで、いつでもどこでもコンピュータを利用でき

る [12]。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利用形態に加え、ユーザの現在位置を利用して周囲の人と情報を共有したり、目の前にあるものに関する情報を入手するといったサービスを提供する新しいコンピューティング形態の実現が求められる [9]。

このような情報をユーザに提示する方法としては、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と呼ばれる [1]。筆者らの研究グループではこれまでにこのような情報提示手法として VCC (Visual Computer Communication) 方式 [7] を提案してきた。VCC 方式では、複数の LED (Light-Emitting Diode) やコンピュータディスプレイに表示したマーカを用いて数十バイト程度の情報を表現でき、その内容を動的に変更できる。さらに、マーカの形状からユーザとカメラの位置関係を求められるため、アノテーション情報を正確な位置に重ね合わせることが可能となる。

これまで、VCC 方式のマーカは一般の PC を用いてその表示内容を制御することを考えてきたが、センサなどとマーカを組み合わせれば、より柔軟なサービスをユーザに提供できるようになる。そこで、ユビキタスチップ [3] を用いてセンサからの情報を収集し、VCC マーカで情報を提示することを考える。ユビキタスチップは筆者らの所属する研究グループで提案しているイベント駆動型の入出力制御デバイスであり、さまざまな種類のセンサを自由に組み合わせることで周囲の情報を収集したり、接続した出力デバイスを制御できる小型デバイスである。その動作はイベント駆動型ルールで記述でき、ユビキタスチップへの入力ポート状態の変化に応じて出力ポートの ON/OFF を切り替える、といったルールを組み合わせることでアプリケーションを記述する。Smart-Its [2] や MICA [8] など、ユビキタスチップ以外にもセンシングのためのデバイスは存在するが、センサを自由に組み合わせることができ、その動作を動的に変更できるという利点から本研究ではユビキタスチップを用いる。

提案する環境では、実世界に設置された VCC マーカにユビキタスチップを接続し、ユビキタスチップに接続されたセンサの値によって異なるデータを送信するルールを用いて VCC マーカの制御を行う。さらに、ユーザが持ち歩いている携帯端末で VCC マーカを読み取り、読み取ったデータをもとに携帯端末に接続したユビキタスチップを制御する。

以下、2 章では想定する環境を構築するためのアプローチについて述べ、3 章で VCC 方式とユビキタスチップについて簡単に説明する。4 章で本稿で提案するユビキタス環境について詳しく述べ、5 章では、試作したシステムの実装について述べる。6 章で考察を行い、最後に 7 章で本論文のまとめを行う。

## 2. 提案するユビキタス環境

### 2.1 想定環境

提案するユビキタス環境では、ユーザはカメラ付きのヘッドマウントディスプレイ (HMD: Head Mounted Display) とウェアラブルコンピュータを身につけ、街中を歩き回っているとす。ウェアラブルコンピュータ上では、カメラを利用して、初対面の人や、興味のある事物の映像を記録したり、ユーザの一日の行動履歴を自動的に作成するようなアプリケーションが常に動作しているものとする。

HMD 上には、カメラで撮影された画像の上にユーザの周囲に関するさまざまな情報が重畳して提示される。このような情報は時刻や周囲の温度、明るさ、騒音といった刻々と変化する状況をもとに動的に変化し、ユーザの向いている方向によって

も変化する。また、情報を提示する際には、ユーザが身につけた振動モータなどの機器も同時に制御し、ユーザの注意を喚起したり、情報の強調を行う。動的にユーザに提示する情報を変更する例としては以下のようなものが考えられる。

- ある商店に関して、開店中は店の案内を行い、閉店後は通信販売の案内を行うなど、同じ事物に関しても時刻によって異なる情報を提示する。

- 観光地などでユーザに情報を提示する際に、同じ場所でも周囲にいる人の多さによって異なる情報の提示を行う。

- 現在ユーザがいる場所をセンシングし、結果を利用してユーザが最も必要とする情報を予想して提示する。

環境内には、いたるところにコンピュータが埋め込まれ、これらのコンピュータが周囲の状況をセンシングし、その結果をユーザに提供したり、環境内に設置された家電や家具などさまざまな機器を制御することでユーザにサービスを提供している。

### 2.2 アプローチ

環境情報の提示には空間マーカを用いる。ユーザはマーカを見つけることで何らかの情報がその場所に付与されていることを知り、マーカをカメラで撮影を行うと、マーカから得られた情報がマーカの位置を目印としてユーザの撮影した実空間の画像の上に重畳して表示される。このように実空間内のマーカを用いてさまざまな情報を提示する方法は、実空間情報を得る手法として注目されており、ポスターなどに付与された QR コード [10] をカメラつき携帯電話で読み取る方法がすでに普及していたり、紙に印刷されたマーカをさまざまな実空間内のオブジェクトに付与し、カメラで撮影することで画像の上にそのオブジェクトに関する情報を表示する研究 [11] が行われている。

既存の研究では紙に印刷されたマーカを用いて実空間に関する情報を得る方法がよく用いられているが、紙のマーカを利用して動的に変化する情報をユーザに提示するためには、ユーザ自身がさまざまなセンサを身につける必要がある。ここで、マーカの内容を周囲の状況に基づいて動的に変更できれば、このようなセンサを身につける必要はなくなる。そこで、本研究では想定環境におけるさまざまなサービスを実現するために VCC 方式のマーカを用いる。

一方、マーカを動的に変化させるのではなく、赤外線通信や Bluetooth などの無線通信を用いてこのような要求を満たすことも考えられる。画像処理でなく専用の無線装置を用いるため、簡単に情報を得られるが、情報の発信源とユーザの間の距離や角度を得られないため、ユーザに一番近い情報のみを提示したり、ユーザの正面にある情報だけを提示するようなアプリケーションには向かない。また、RFID タグを環境内に設置し、ユーザが RFID タグのリーダを持ち歩いて身の回りにあるものの ID を収集することで、ユーザの周囲の情報を提供することも考えられるが、無線通信を用いた場合と同様にユーザとの位置関係を考慮する必要があるようなアプリケーションには向かない。

マーカで表示する情報は、センサからの入力を利用して周囲の状況をもとに動的に変更させる。本研究では、センサを自由に組み合わせることで使用でき、さらにその動作を柔軟に変更できる



図 1 VCC マーカの使用状況の例

Fig.1 An example use of VCC marker

ユビキタスチップを用いてマーカの制御を行う。

次に、マーカから読み取った情報に基づくユーザが身につけた機器の制御について考える。ユーザが身につける機器としては、振動モータや LED などがあり、これらの制御にも、さまざまな機器の入出力制御が可能であるという特徴からユビキタスチップを用いる。

さらに、ユーザが身につけているユビキタスチップと環境内に設置されているユビキタスチップが連携することにより、環境内に設置されたユビキタスチップが制御しているさまざまな機器をウェアラブルコンピュータからユーザが身につけたユビキタスチップを介して制御することが可能となる。

### 3. VCC 方式とユビキタスチップ

#### 3.1 VCC 方式

VCC 方式では、マーカとして 16 個の LED とその制御回路からなるマーカ、あるいは、コンピュータディスプレイ上に表示したマトリクス状のカラータイルが点滅するマーカを用いる。コンピュータディスプレイや LED を利用してマーカを実現しているため、マーカで表示する内容を制御プログラムによって柔軟に変更できる。このマーカをノートパソコンなどの携帯端末に付属したカメラで撮影し、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し、同時に色の变化からマーカが表現している情報を読み取る。

図 1 に VCC 方式のマーカの利用例を示す。左奥にあるコンピュータディスプレイ上にマーカを点滅させ、それを手前のノートパソコンに付属したカメラで撮影している。VCC 方式は 3.1.1 節で説明するマーカと、3.1.2 節で説明する読み取り部から構成される。

##### 3.1.1 マーカ

マーカのコーディングの一例として、図 2 に示すコーディング方式 [7] を説明する。この方式では、図のような 4 行 4 列の 16 個のブロックに分割したマトリクス状のマーカを利用する。このマーカを一定時間間隔で変化させ、色の变化の差分を用いてデータを表現する。色の变化を繰り返すことで、理想的には任意長の情報を表現できる。図 3 に示す LED マーカの場合には色の变化ではなく、各ブロックの LED の ON/OFF を用いてデータを表現する。

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 2 コーディングの例

Fig.2 A coding example



図 3 LED マーカ

Fig.3 LED Marker

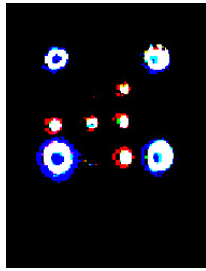
マーカの 4 隅のブロックをロケータ部と呼び、位置情報の表現に当てる。ロケータ部は対角線上の 2 つが組になって一定時間間隔で交互に白黒と点滅する。読み取り部のプログラムでは、ロケータ部は位置情報を求めるために利用される。

ロケータ部以外のブロックをデータ部と呼ぶ。1 つのブロックで、ある色を使用して“1”を表したい場合、ブロックのその色を反転させ、“0”を表したい場合は色を変化させない。第 1 ビットから第 8 ビット（図 2 の中央 2 行）の 8 個のブロックをコーディングするのに 1 色を用いれば、一度の色の变化で 1 バイトの情報を、2 色でコーディングし、2 色が重なった色も含めて合計 3 色を用いれば 2 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（図 2 の 3 列 4 行目）を反転させる。マーカの情報を読み取る際には、パリティビット（図 2 の 2 列 4 行目）でエラーの検出を行う。データの送信を開始、終了するときには、送信開始ビットと送信終了ビット（図 2 の 1 行中央の 2 ブロック）それぞれのビットを反転させる。

マーカにはコンピュータディスプレイに表示するタイプのものとして 16 個の LED で実装した LED マーカと二種類があるが、マーカを表示できるディスプレイがあるような場所ではディスプレイにマーカを表示し、ディスプレイのない場所やユーザがマーカを身につける場合には LED のマーカを利用することを想定している。

##### 3.1.2 読み取り部

マーカから情報を読み取るコンピュータは、マーカの変化と同じ間隔で画像を取り込み（図 3）、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（図 4 (a)）。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白領域をクラスタリングして取り出し、マーカの 4 隅を検出する。検



(a): 差分画像

白	黒	黒	白
黒	黒	赤	黒
赤	赤	赤	黒
白	黒	赤	白

(b): 読み取ったデータ

(a): A differential image

(b): Recognized data

図 4 画像処理の手順

Fig. 4 A procedure of image processing

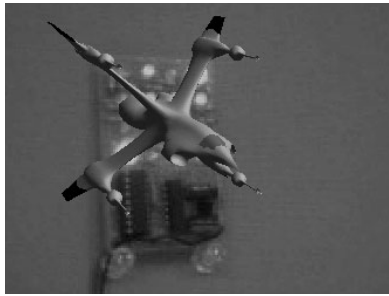


図 5 仮想物体の合成例

Fig. 5 An example of overlaying a virtual object

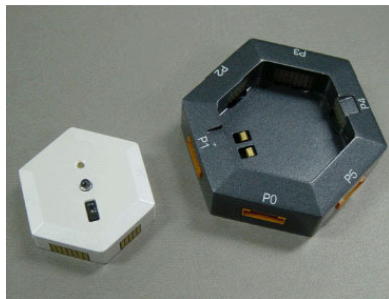


図 6 ユビキタスチップ

Fig. 6 Ubiquitous Chip

出したロケータ部をもとにマーカ内の座標を計算し、色情報を読み取る (図 4 (d))。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。図 5 では、得られた距離、傾き、法線ベクトルを利用して仮想物体の大きさや向きを決定している。

評価実験を行った結果、マーカとカメラを静止させた状況下では、コンピュータディスプレイに表示したマーカではマーカの一辺の約 20 倍の距離、LED のマーカではマーカの一辺の約 15 倍の距離離れた場所にカメラを設置してもマーカからデータを読み取れることが明らかになっている [5, 6]。

### 3.2 ユビキタスチップ

ユビキタスチップ (図 6) は 5 ポートの入力ポートと 12 ポートの出力ポート、2 ポートのシリアル通信ポート、タイマ、ユビキタスチップ間のメッセージ送受信機能をもつ出力制御デバイスである。ユビキタスチップの動作を記述したルールは 128 バイトの容量をもつメモリに格納し、ルールの消去や追加はシ

表 1 ユビキタスチップの機能一覧  
Table 1 Functions of Ubiquitous Chip

イベント	
イベントの種類	詳細
RECEIVE_MESSAGE	メッセージの受信
RECEIVE_DATA	1 バイトのアナログデータの受信
TIMER	タイマの発火
なし	入力ポートと内部状態

アクション	
アクションの種類	詳細
OUTPUT	出力ポートの制御
OUTPUT_STATE	内部状態の変更
SET/KILL_TIMER	タイマの設定・解除
SEND_MESSAGE	メッセージの送信
SEND_DATA	1 バイトのアナログデータの送信
SEND_COMMAND	コマンドの送信
SEND_ADD_ECA	指定された ID のルールを ADD_ECA コマンドで送信
HW_CONTROL	ハードウェアコントロール

ルール操作に関するコマンド	
コマンドの種類	詳細
ADD_ECA	ルールの追加
CLEAR_ECA	ルールの消去
REQUEST_DATA	ルールを格納しているメモリの指定されたアドレスの内容を送信
ENABLE/DIABLE_ECA	ルールの有効化/無効化
REPLY_DATA	REQUEST_ECA に対する返答

リアル通信でコマンドを送受信して行う。ルールはイベント駆動型データベースの分野で利用されている ECA ルールを単純化した形式で記述する。ECA ルールはイベント、コンディション、アクションの 3 つを一組にして動作を記述する言語であり、イベントとしてはメッセージの受信、タイマの発火といった条件を、コンディションとしては入力状態と内部状態を、アクションとしては出力やタイマの設定、メッセージやコマンドの送信などの操作を記述できる。ECA ルールで記述できる機能の一覧を表 1 に示す。

すべてのルールは 1 バイトの ID をもっており、表 1 に示したコマンドを用いることで、ルールの追加、削除、有効化/無効化、メモリ内容の要求が行える。さらに、ルールを制御するためのアクションとして自身に格納されているルールの中で指定された ID をもつルールを他のユビキタスチップに追加する SEND\_ADD\_ECA アクションがある。これらのコマンドやアクションを用いることで接続している他のユビキタスチップへのルールの追加や削除が行える。

また、ユビキタスチップの通信に関するアクションには 8 種類のメッセージを送信する SEND\_MESSAGE と、センサ値や任意のデータ 1 バイトを送信する SEND\_AD があり、メッセージや 1 バイトのデータを受信した際のルールを記述することも可能である。これらの機能を用いることで、ユビキタス



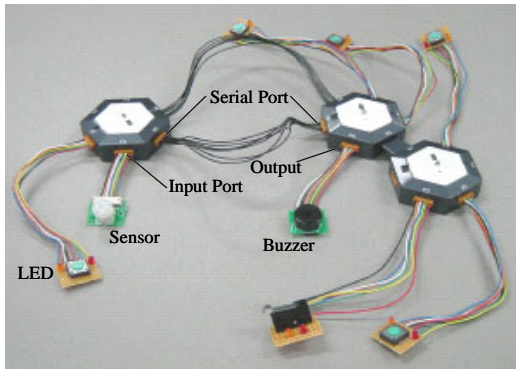


図 7 ユビキタスチップの接続例

Fig. 7 Attachments for Ubiquitous Chip

表 2 VCC マーカ制御コマンド一覧

Table 2 The list of commands to control a VCC marker

ID	コマンド	説明
C0	Start	指定したデータの送信を開始する。
C1	Restart	一時停止の状態から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か変更する。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	データの送信を一時停止して、データの送信を中断する。ロケータ部は動作し続ける。
C7	Stop	マーカを使わないときにはすべてのブロックを停止する。

チップ間でさまざまな情報をやり取りできる。

入力ポートにはスイッチだけでなく照度センサや温度センサといった各種センサなどのデバイスが接続でき、ユビキタスチップはこれらの入力状態を取得できる。入力には、ON/OFF の状態だけでなく、センサからのアナログな入力も測定でき、ルール中のコンディションとして利用できる。出力デバイスとしては、LED やブザー、振動モータなどを接続できる。図 7 にユビキタスチップとデバイスの接続例を示す。

#### 4. VCC マーカとユビキタスチップの連携

本章では、ここまで述べた VCC マーカとユビキタスチップの連携による新しいユビキタス環境の構築について述べる。両者の連携には、以下の 2 パターンが考えられる

- ユビキタスチップによる VCC マーカの制御：実世界に設置された VCC マーカにユビキタスチップを接続し、ユビキタスチップに接続されたセンサの値によって異なるデータを送信する。

表 3 ユビキタスチップによる VCC マーカの制御

Table 3 How to control a VCC marker from Ubiquitous Chip

コマンド	ユビキタスチップのコマンド
Start	メッセージ ID0
Restart	メッセージ ID1
WriteData_0	アナログデータを送信
ChangeMode	メッセージ ID6 と ID7
WriteData_1	ADDECA
ChangeData	メッセージ ID2 と ID3
ClearData	CLRECA
Pose	メッセージ ID4
Stop	メッセージ ID5

- VCC マーカによるユビキタスチップの制御：ユーザがもっている携帯端末で VCC マーカを読み取り、読み取ったデータをもとに携帯端末に接続したユビキタスチップを制御する。以下で、上記の連携についての詳細を述べる。

##### 4.1 ユビキタスチップによる VCC マーカの制御

ユビキタスチップによる VCC マーカの制御には、ユビキタスチップのシリアル通信の機能を用いる。制御の方法としては、これまでに提案したシリアル通信による LED マーカの制御方法 [6] を利用する。今まで LED のマーカは 31 バイトまでのデータを二つ（データ 0 とデータ 1）保持でき、マーカを制御する際には、Start, Stop, Restart, WriteData, ChangeData, ClearData, Pose, Stop という 7 つのコマンドを利用していた（表 2）。

ユビキタスチップを用いて VCC マーカを制御する際には、ユビキタスチップのメッセージやコマンドでこれら 7 つのコマンドを実現する（表 3）。マーカは二種類のデータを格納できるが、データ 0 にはユビキタスチップが送信するセンサ値など任意のデータを格納し、データ 1 にはユビキタスチップの周囲のユビキタスチップヘルルを追加する機能である SEND\_ADD\_ECA アクションを利用して送信されたルールを格納する。データ 0 へデータを格納する際には、SEND\_DATA コマンドを用いて新たに送られてきた 1 バイトのデータを既に格納されているデータの後ろへ追加していくモードと、二つの 1 バイトのデータを組にして、データ 0 の 1 バイト目で指定された場所へ 2 バイト目で指定された値を上書きするモードの二つを設け、ユビキタスチップのメッセージ ID6 と ID7 からなる ChangeMode コマンドで二つのモードを切り替える。

このようにユビキタスチップのメッセージやコマンドを VCC マーカの制御コマンドと対応付けてマーカを実装すると、ルールによる VCC マーカの制御が可能となる。例えば、VCC マーカに接続したユビキタスチップに表 4 のようなルールを格納することで、VCC マーカで表す情報を、ユビキタスチップに接続されたセンサからの入力の電圧の高低によって動的に変更できる。表 4 の例では、電圧が閾値より高ければ VCC マーカでルール 3 の内容を表現し、電圧が閾値より低ければセンサの値をそのままマーカで表現する。

表 4 マーカで表現する情報を動的に変更するルール例

Table 4 An example of rules

ルール 1
E: なし
C: アナログポートの入力が 2.5V 以上であり S0 が 0
A: ID3 のルールを SEND_ADD_ECA し ID2 のメッセージを送信し, S0 に 1 を設定
ルール 2
E: なし
C: アナログポートの入力が 2.5V 以下であり S0 が 1
A: 現在のアナログポートの値を SEND_AD コマンドで送信し, ID2 のメッセージを送信し, S0 に 0 を設定
ルール 3
E: メッセージ 1 を受信
C: S1 が 0
A: O1 を ON
凡例 E: イベント, C: コンディション, A: アクション
S0: コマンド送信フラグ, S1: 内部状態, O1: 出力ポート

#### 4.2 VCC マーカによるユビキタスチップの制御

VCC マーカから読み取ったデータを利用してユーザの携帯端末に接続したユビキタスチップを制御する。VCC マーカではこれまで、アプリケーション毎のマーカのコーディングについては自由にアプリケーションで決定することを想定していた。ここで、データの先頭に 1 バイトのヘッダを設け、この 1 バイトでデータを処理するアプリケーションを選択できるようにする。アプリケーションの種類としては、ユビキタスチップでそのデータを利用するほかに、URL が表示されればウェブブラウザを立ち上げる、個人の名前やメールアドレスなどが表示されればそのデータを日時と画像とともに記録するといったものが考えられ、それぞれに異なる ID を割り当てる。

VCC マーカから読み取った情報の利用方法としては、その情報を元に端末の上で何らかの情報をユーザに提示するのみという場合と、その情報をもとに端末に接続しているユビキタスチップを制御する場合が考えられる。そこで、VCC マーカは、出力する内容がルールであるかアナログデータであるかに応じて異なる ID を出力し、どちらを表現しているか受信者が区別できるようにする。

ルールを受信した後の処理としては、携帯端末に接続されたユビキタスチップへ読み取ったルールを追加したり、ユーザへ読み取ったルールを提示することが考えられる。ルールを追加するためには、不要なルールを追加してしまうことを防ぐため、読み取った ID のルールを消去するコマンドをユビキタスチップへ送信し、不要になったルールを消去してから新たにマーカから読み取ったルールを追加するという方法を取る。

アナログデータを読み取った場合の処理としては、読み取ったデータを携帯端末に接続されたユビキタスチップへ送信したり、そのデータをユーザに提示したり、ユーザのもつ携帯端末内に記録するといった活用方法が考えられる。

## 5. 実 装

提案する環境の一例として、以下に述べるアプリケーションを実装した。このアプリケーションでは、ユーザが目の前にある装置の操作方法が分からなくても、センサで周囲の状況を測定することでユーザの望む操作が行える。

例えばユーザが照明のスイッチを押す場合、周囲が暗いときには照明の電源を入れる操作を、周囲が明るいときには照明を消す操作を行いたいと予測できる。そこで、照度センサをユビキタスチップに接続して周囲の明るさを測定し、動的にルールを変更すれば、ユーザは 1 つの操作を行うだけで望む結果が得られる。同様に、温度センサと湿度センサなどを組み合わせることで、暑いときにはスイッチを押したときに電源が ON になり、寒いときには同じスイッチを押したときに電源が OFF になる扇風機といったものも実現できる。

このようなサービスは、ユーザが機器に付与された VCC マーカからルールを読み取り、そのルールを用いて端末に接続されたユビキタスチップと赤外線通信モジュールを制御することで実現できる。

実際に実装したシステムの構成図を図 8 に、ルールを表 5 に示す。ユビキタスチップ A には照度センサが接続されている。周囲が明るく、照度センサからの入力が ON になるとルール 1 が発火し、マーカへルール 8 の ADD\_ECA コマンドが送信される。周囲が暗く入力が OFF の時にはルール 2 が発火し、ルール 9 が送信される。マーカは ADD\_ECA コマンドを受信すると、そのルールをマーカで送信し始める。ユーザの持つ携帯端末に接続されたカメラがマーカを撮影し、ルールを読み取ると、そのルールをユビキタスチップ B へ ADD\_ECA コマンドを用いて送信する。ユビキタスチップ B にはスイッチの入力が 1 つ取り付けられており、スイッチが ON になるとマーカから読み取ったルールであるルール 8 またはルール 9 が発火し、メッセージ ID0 または ID1 のメッセージが赤外線通信でユビキタスチップ C へ送信される。メッセージの種類はユビキタスチップ A へ接続されている照度センサからの入力によってルール 1 とルール 2 のどちらが発火するの異なるため、周囲の明るさによってメッセージ ID が異なる。ルール 3 と S0 はメッセージの不必要な送信を防ぐためのものである。赤外線通信でメッセージを受信したユビキタスチップ C はルール 4 と 5 により、メッセージ ID によって出力を ON/OFF し、照明を制御する。

また、ユーザの持つ携帯端末上では、現在は、読み取ったルールから得られた情報をカメラ画像の上に文字列で重畳表示する(図 9)。

## 6. 考 察

空間マーカを用いる利点

提案する環境において、ユーザにアノテーション情報を正確な位置に表示するためには、現実空間を撮影するカメラの位置や向きを正確に求めることが重要となる。拡張現実感の分野でカメラの位置や向きを算出する手法を大きく分類すると、ユーザ

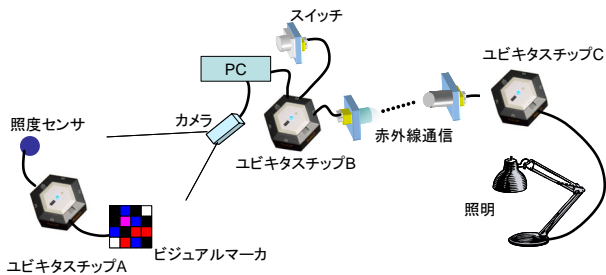


図 8 実装例のシステム構成図

Fig. 8 The structure of the prototype system

表 5 実装例で用いたユビキタスチップのルール

Table 5 ECA rules for the prototype system

ユビキタスチップ A のルール

ルール 1  
 E: なし  
 C: I0 が ON で S0 が 0  
 A: S0 に 1 を設定して ID8 のルールを SEND\_ADD\_ECA

ルール 2  
 E: なし  
 C: I0 が OFF で S0 が 1  
 A: S0 に 0 を設定して ID9 のルールを SEND\_ADD\_ECA

ルール 8 (ユビキタスチップ B へ追加するルール)  
 E: なし  
 C: I3 が ON で S0 が 0  
 A: S0 に 1 を設定してメッセージ 0 を送信

ルール 9 (ユビキタスチップ B へ追加するルール)  
 E: なし  
 C: I3 が ON で S0 が 0  
 A: S0 に 1 を設定してメッセージ 1 を送信  
 I0: 照度センサ, S0: メッセージ送信フラグ  
 I3 (ユビキタスチップ B): スイッチ

ユビキタスチップ B のルール

ルール 3  
 E: なし  
 C: I3 が OFF で S0 が 1  
 A: S0 に 0 を設定  
 I3: スイッチ, S0: メッセージ送信フラグ

ユビキタスチップ C のルール

ルール 4  
 E: メッセージ ID0 のメッセージを受信  
 C: なし  
 A: O1 を OFF

ルール 5  
 E: メッセージ ID1 のメッセージを受信  
 C: なし  
 A: O1 を ON

O1: 照明

が GPS やジャイロセンサなどさまざまなセンサを身に付けて位置や向きを算出する手法 [4] と、空間マーカを用いて情報を重ね合わせる手法 [11] がこれまでに提案されている。マーカ

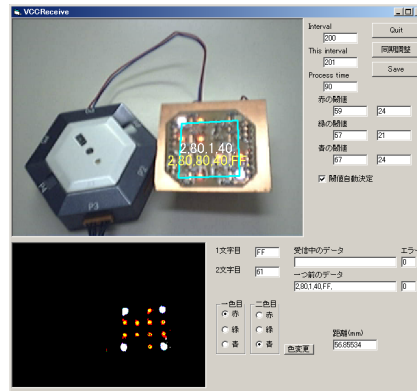


図 9 LED の VCC マーカの読み取り例

Fig. 9 An example of recognition from a LED VCC marker

を用いる手法には、ユーザはカメラのみを持ち歩けばよいためのシステムの実現が容易であり、さらに位置関係を求める画像とユーザに提示する画像が同じものであるため見た目の精度がよいといった利点がある。このため、VCC 方式ではマーカを利用した画像処理による手法を用いている。

静的なマーカとの違い

4 章で述べたようなシステムを実装するためには、静的な紙のマーカを用い、ネットワーク上に紙のマーカの ID とマーカのそばにあるセンサの値やユビキタスチップを制御するためのルールの対応付けを行うサーバを設置するという方法も考えられる。しかし、初期にマーカの ID とその位置や対応するユビキタスチップの ID などを設定したり、刻々と変化するセンサ値をサーバに集約するための労力を考えると、本稿で提案する方式の方が容易にシステムを実現できると考えられる。

また、本稿で提案した環境には、ネットワークに接続していない状況で、個々のユーザがさまざまなセンサを持ち歩かなくても、周囲にあるセンサを利用することでセンサを利用したアプリケーションが構築できるという利点もある。

ユーザへの情報の提示

現在の実装では、ユーザの携帯端末へは文字列だけを表示しているが、文字列だけでなく、矢印などを重畳表示して、赤外線通信を向ける場所を指示することも可能である。さらに、操作できる機器が画面内にあると、図 8 のユビキタスチップ B に振動モータを接続することで振動モータが震えて操作できる機器が目の前にあることを強調するといった応用も考えられる。ユーザが HMD を身に付けてコンピュータを利用しているような場合には、ユーザは常に HMD に注目しているのではなく、必要があるときのみ HMD を見るといった使用法が一般的であると考えられるため、このようなディスプレイ以外を用いた情報の提供も重要だと考えられる。

また、現在の実装ではスイッチを用いてユーザは機器を制御しているが、ユビキタスチップにはさまざまなセンサを入力デバイスとして接続できるため、スイッチではなく腕に衝撃センサをつけて、指をさしたときの動きを検出してスイッチを ON/OFF するといったことも可能である。

## センサ情報の活用

現在の実装では、単純にセンサからの入力 ON/OFF やセンサのアナログ値がある閾値以上にあるかなどを判断してマーカで表示する情報を変更している。簡単なアプリケーションならばこの程度の機能でも十分であるが、より複雑にセンサ値を処理し、その結果を利用しなければ実現できないアプリケーションも考えられる。そのため、マーカの制御部に受信したデータを二つだけでなく、大量に保存し、ユビキタスチップからの問い合わせのメッセージによって過去数回の平均をとったり、大きな差分があったときの値をマーカで表示したりといった機能をもつマーカも必要だと考えられる。さらに、ユビキタスチップからの問い合わせの結果をメッセージの形式でユビキタスチップへ返信することで、ユビキタスチップの動作を変更できるような枠組みについても考えていきたい。

また、センサの値の結果を VCC マーカで読み取っているため、ユーザはカメラを用意するだけで周囲のセンサの情報を集められ、しかもその相対的な場所がどこか把握できる。このような利点を活かし、ユーザの周囲の情報を携帯端末に蓄積することによる応用も可能になる。

## 応用

本稿の 5 章で述べたほかにもさまざまな応用が考えられる。

- 温度センサや湿度センサ、気圧センサなどをさまざまな場所に設置し、ユーザの行動する範囲の気候を普段から測定しておき、旅行などの際に旅行先の気候と比較した情報をユーザに知らせる。

- 焦電型赤外線センサなど人の動きを計測できるセンサを商店の店頭などに設置し、ユーザが訪れた場所に今までどの程度の人が訪れたのかユーザに提示する。

- 初めて訪れた空間に複数の機器があっても、ユーザは VCC マーカで表示されるルールを収集することで、これらの機器を制御できる。

今後、このようなさまざまな応用が実現できるよう、システムの拡張についても考えていく予定である。

## 7. ま と め

本稿では、VCC マーカとユビキタスチップの連携によるユビキタス環境を提案した。提案した環境では、ユビキタスチップにセンサなどを接続して収集した実空間の情報を VCC マーカを用いてユーザに提供することによりさまざまなサービスを実現できる。さらに、ユビキタスチップはさまざまな機器への出力を制御できるため、ユーザが環境に設置されているユビキタスチップを利用して周辺の機器を制御するといった応用が可能となる。さらに本稿では、実際にアプリケーションの構築について述べた。

今後さらに高機能なマーカと、マーカへ情報をユビキタスチップから問い合わせ、それを活用するような枠組みを考案し、実装することで、より高度な VCC マーカとユビキタスチップの連携によるユビキタス環境を構築していく予定である。

## 謝 辞

本研究の一部は、文部科学省 21 世紀 COE プログラム「ネットワーク共生環境を築く情報技術の創出」、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。また、ユビキタスチップは NEC・大阪大学連携ラボによって開発されたものである。NEC の柏谷篤氏、早川敬介氏はじめ関係者各位に謝意を表す。

## 文 献

- [1] R. T. Azuma, "A Survey of Augmented Reality," Presence: Teleoperators and Virtual Environments, Vol. 6, No. 4, pp. 355-385, 1997.
- [2] M. Beigl and H. Gellersen, "Smart-Its: An Embedded Platform for Smart Objects," Smart Objects Conference (sOc) 2003, 2003.
- [3] 早川敬介, 塚本昌彦, 寺田努, 義久智樹, 岸野泰恵, 柏谷篤, 坂根裕, 西尾章治郎, "ユビキタスコンピューティングのためのルールに基づく入出力制御デバイス," ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol. 5, No. 3, pp. 341-354, 2003.
- [4] T. Höllerer, S. Feiner, and J. Pavlik, "Situating Documentaries: Embedding Multimedia Presentations in the Real World," Third International Symposium on Wearable Computers (ISWC '99), pp. 79-86, 1999.
- [5] 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.
- [6] 岸野泰恵, 塚本昌彦, 坂根裕, 西尾章治郎, "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," 情報処理学会論文誌, Vol. 44, No. 9, pp. 2334-2343, 2003.
- [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とカメラを用いた拡張現実感のための位置登録方式," 情報処理学会論文誌, Vol. 44, No. 12, pp. 3188-3196 (2003).
- [8] MICA, [http://www.xbow.com/Products/Wireless\\_Sensor\\_Networks.htm](http://www.xbow.com/Products/Wireless_Sensor_Networks.htm).
- [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," 第二回情報処理学会知的都市基盤研究会資料, pp. 1-6, 2002.
- [10] QR コードドットコム, <http://www.qrcode.com/>.
- [11] J. Rekimoto and Y. Ayatsuka, "CyberCode: Designing Augmented Reality Environments with Visual Tags," ACM Designing Augmented Reality Environments (DARE2000), 2000.
- [12] 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.