

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

岸野 泰 恵[†] 塚本 昌 彦[†]
坂 根 裕^{††} 西尾 章 治 郎[†]

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。これらの研究では、実空間内に貼り付けた紙マーカをカメラで撮影し、カメラ画像を解析するのが一般的であるが、マーカの識別が困難であることや、位置の変更は手で行わなければならないという問題があった。筆者らは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) 方式を提案する。さらに本稿では、マーカの情報を読み取る精度や位置精度を測定した評価実験について述べる。

A Location Registration Method for Augmented Reality Using Computer Display and Camera

YASUE KISHINO,[†] MASAHIKO TSUKAMOTO,[†] YUTAKA SAKANE^{††}
and SHOJIRO NISHIO[†]

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. Generally, these systems apply this technique to get the information of camera position and orientation by analyzing the camera images in which there are paper-printed markers placed in the real world. However, this method has two serious problems. One is that it is difficult to distinguish a marker from other objects. The other is that when a user wants to move a marker, the user has to do it physically. In order to solve these problems, 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. Moreover, in this paper, we describe its performance evaluation about the accuracy transmission and location recognition.

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持ち運ぶモバイルコンピューティング環境、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。特に、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¹³⁾。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新しい通信形態の実現が期待されている⁹⁾。

これに対し、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や仮想物体を重ね合わせて提示することで、上記の環境を実現する拡張現実感^{2),8)}と呼ばれる研究分野が注目されている。この分野では、正しい位置に仮想物体を表示するために、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になる。このような

[†] 大阪大学大学院情報科学研究科
Graduate School of Information Science and Technology,
Osaka University

^{††} 静岡大学情報学部

Faculty of Information, Shizuoka University

現実空間の位置情報の取得は位置登録 (location registration) と呼ばれ、GPS や地磁気センサ、加速度センサ、ジャイロセンサなどのセンサ類を用いる研究が数多く行われている^{3),5)}。さらに最近では、画像処理を用いて位置登録を行う研究が注目されている¹⁰⁾。これらの研究では、マーカを現実空間のさまざまな場所に貼り付け、カメラで撮影した画像からマーカの大きさや傾きなどを算出し、カメラの位置や方向を検出し位置登録を行うものが多い。この手法では、ユーザのしている画像を解析することで、位置登録を行い、仮想物体やアノテーションを合成する位置を決めるため、見かけ上の位置精度を高くできる。さらにセンサを用いた手法と比較するとユーザがセンサを身に着ける必要がないため、システムの実現が容易になる。従来研究では、マーカは紙に印刷したものを着ることが一般的であり、そのためマーカの移動は手で行わなければならない。さらに、マーカを識別するために、マーカの中に数字やマトリックスと呼ばれる 2 次元のバーコード¹¹⁾ を印刷する研究もあるが、表現できる情報が数バイト程度と少なく、使用できるマーカ数に限界がある。

そこで本稿では、コンピュータディスプレイ上にマーカを表示し、一定の時間間隔で表示色を変化させて任意の情報を表現できる Visual Computer Communication (VCC) を提案する。VCC を用いることで、マーカを写したカメラ画像から、マーカとカメラの位置関係を得て位置登録を行うと同時に、マーカの表現するデータを読み取れる。さらに、マーカでは、理想的には任意長のデータを表現できる。

以下、2 章で VCC の概要について説明し、3 章で実装について述べる。4 章では評価実験と結果について報告し、5 章で考察を行い、6 章で本研究のまとめを行う。

2. VCC の概要

本研究で目標としているのは次のような状況である。

- 目の前にある場所や建物、人、物などに付与されたマーカから情報を読み取り、これらを説明する文字列や仮想物体を、実世界の画像の上に重ね合わせて、ユーザに直観的に情報を提示する。さらに、周囲の環境、あるいはユーザの状態などによって刻々と変化する情報もユーザに提示する。
- 目の前の事物に関するより詳しい情報へのリンク (URL など) をマーカを用いて提供する。情報が必要なときにはリンクをたどり、リンクを記録する。興味のある情報があればリンクを友人に知ら

せる。

このような状況を実現するためには、以下のような要件を満たすマーカが必要となる。

- マーカの識別 ID が枯渇する恐れなく、大規模なシステムを構築するためには、理想的には任意長の情報をマーカで表現できなければならない。
- 単純な画像処理アルゴリズムでも正確な解析ができる必要がある。時間変化するマーカを利用すると、差分画像から容易にマーカを検出できる。差分でない画像を用いた画像処理では、実世界の画像は非常に複雑で色が多様であるため簡単なアルゴリズムでは精度良く解析が行えず、正確な解析を行おうとするとアルゴリズムが複雑になり計算量が大きくなるためノート PC や PDA などの利用が困難になる。
- マーカをあらゆる場所に表示するためには、マーカがプログラムで制御でき、遠隔地からネットワークを通じて位置や内容を変更できる必要がある。このようなマーカは、ディスプレイ上に表示することで実現できる。従来の紙に印刷したマーカや LED を用いたマーカでは、位置を変えるときや、表示している内容を変更するときには、手でマーカの位置や種類を変更しなければならない。

これらの要件を満たすマーカとして、本研究では、VCC を提案する。VCC では、マトリクス状のカラータイルが点滅するマーカをコンピュータディスプレイに表示し、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する。携帯端末はディスプレイに表示された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し、位置登録を行う。同時に、色の変化からマーカが表現している情報を読み取る。

VCC マーカでは、マーカの位置情報とともに、近くにある店の情報など、場所に依存した情報を手軽に提示できる。ユーザが店頭にあるディスプレイを見るために数秒立ち止まり、その間にユーザの持つ携帯端末がディスプレイの片隅に表示されているマーカから情報を読み取り、その後、ユーザが歩きながらその情報を利用するといった状況を想定している。このように店頭のディスプレイで商品案内のページの URL を表示する、会議の際にスクリーンに投影したマーカで資料ファイルのパスを知らせる、といった使用方法が考えられる。

図 1 では、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。図 2 に、画像処理に



図 1 VCC の使用状況の例

Fig. 1 An example of VCC use.



図 2 仮想物体の合成例

Fig. 2 An example of composing a virtual object.

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.

よって得たマーカの位置と傾きの情報をもとに、マーカから読み取ったファイル名の仮想物体を合成した例を示す。VCCは2.1節で説明するマーカと、2.2節で説明する読み取り部から構成される。

2.1 マーカ

マーカのコーディングの一例として、図3に示すコーディング方法を説明する。本稿では、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。これ以上マトリクスを細かくすると、表現できる情報量は増えるが、遠い距離から読み取れないため、4行4列のマトリクスを用いている。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する。

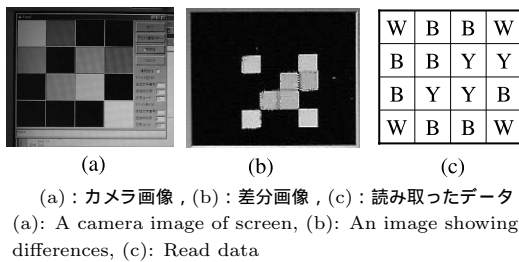
マーカとカメラの位置関係を算出し位置情報を求めるためには、カメラ画像内に位置の分かっている目印

となる点が4個以上必要である。マーカの4隅のブロック(図3の4隅)をロケータ部と呼び、位置情報の表現にあてる。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、ロケータ部を位置情報を求めるために利用する。

ロケータ部以外のブロックをデータ部と呼ぶ。データ部はアプリケーションなどで使用するデータを実際に表現する部分である。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3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、1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。マーカを表示するディスプレイの性能によって読み取り精度が左右される可能性があり、色ははっきりと出る場合は2色を用いたコーディング、そうでない場合は1色のコーディングというように色数の選択を可能にした。1色コーディングのときには、1バイト送信ビット(図3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、色の読み間違えが予想されるため、パリティビット(図3の2列4行目)でエラーの検出を行う。また、VCCでは色の变化の差分をとり、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(図3の1行目中央の2ブロック)を設ける。データの送信を開始、終了するときには、それぞれのビットを反転させる。

情報の送信開始ビットと送信終了ビットは、従来の静的な2次元バーコードにはないものである。VCCでは、色の变化を利用して情報を送信するため、ある1つの情報がどの状態のマーカから始まり、どの状態のマーカで終わるのかを示す必要があり、これらのビットを設けている。従来の2次元バーコードでは1枚のバーコードで情報が完結しているため、これらのビットは必要がない。

マーカの回転については、ロケータ部の各ブロックの初期値を変えることで対応できる。現在は、カメラに入る光量が大きく変化しないよう、ロケータ部の初期の色は向かい合う2つを白、残り2つを黒としているが、1つだけを異なる初期値に決定すれば、その部分を探すことでマーカの回転を検出できる。実際に簡単に実装を行って回転を検出できることを確認している。しかし、ここで説明したコーディング方法では、一部が隠れたマーカや、鏡に映ったマーカには対処で



(a) : カメラ画像, (b) : 差分画像, (c) : 読み取ったデータ

(a): A camera image of screen, (b): An image showing differences, (c): Read data

図 4 画像処理の手順

Fig. 4 A procedure of image processing.

きない。これらの問題点を解決するようなコーディング方法も考えられるが、実際のデータ以外の情報が増えるため、1度の点滅で伝える情報量を現在と同等にするならばマーカのサイズが大きくなり、マーカのサイズを現在と同等にするならば一度の点滅で伝えられる情報量が減るなどの問題があり、本稿では扱っていない。

次に、従来の2次元バーコードのコーディング方法と提案するマーカのコーディング方法を比較する。一般的な2次元バーコードにはスタック式とマトリックス式があり、スタート記号とストップ記号やL字型のガイドセル、QRコードにあるような切り出しシンボルを検出することでバーコードを検出し、情報を読み取る。これらのバーコードは提案するマーカよりも高密度に情報を記述でき、その情報を高速に読み取れ、汚れにも強いものもあるが、数cmから10cm程度の近距離で情報のみを読み取ることを目的としており、バーコードとカメラの間の距離や角度を求めるといった用途は想定されていない。

また、拡張現実感の分野において従来研究で用いられていた2次元バーコードとしては、マトリックス式のバーコードの一種であるCyberCode¹¹⁾、太い黒の四角形のマーカの中に数字や文字、2次元バーコードなどを書き込んで個々のマーカを識別しようとするARtoolKit⁶⁾のマーカなどがある。これらと比較すると、本稿で提案しているバーコードはマーカが動的に変化することを利用して情報を送信しているため、マーカ自体が見つけやすく、マーカを発見しその位置を計算する際に利用するロケータ部を小さくできる。データの誤りについてはパリティチェックを行っているだけであるが、任意長の情報を扱えるため、アプリケーションで独自に必要な誤り訂正符号を付け加えることも可能である。

2.2 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4(a))、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(b))。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色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(c))。W:白, B:黒, Y:黄色)。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⁴⁾。図2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。

現在の実装では差分画像を用いて画像処理を行っているため、カメラや画像内の物体が急に動いたときには、マーカを検出できないという問題がある。これに対しては、既存のフレーム間の動きを追従するオプティカルフローなどの技術を導入すれば解決できると考えている。

3. 実装

マーカをディスプレイ上に表示するプログラムは、ソニー社バイオノートPCG-C1XF(Pentium2400MHz, メモリ128MB)でWindows98上にVisualBasic6.0を用いて実装した。8.9型の液晶ディスプレイ上に解像度1024×480ピクセル、色はRGB24ビット(各色8ビット)でマーカを表示する。各色の階調は256であり、画像を二値化する際の閾値は0から255までの値をとる。

マーカを検出するプログラムは、ソニー社バイオノートPCG-C1VJ(Crusoe600MHz, メモリ128MB)で、WindowsMe上にVisualBasic6.0で実装し、画像処理にはVisualC++を用いた。マーカの大きさは8cm×8cmである。カメラはこのノートパソコンに付属しているCCDカメラを使用した。カメラは1画素をRGB24ビットで表した160×120ピクセルの大きさの画像を撮影する。カメラの画角は約47度である。

実装した結果、1枚の画像を処理するには百数十ミリ秒の時間が必要であり、毎秒5フレームの速度で動作することが確認できた。1色でマーカをコーディングした場合は40bps相当の通信速度、2色の場合は80bps相当の通信速度となる。

4. 評価実験

VCCでは、マーカの色を変化させる時間間隔やディスプレイとカメラの間の距離や角度によりデータを読み取る精度、カメラ画像中からマーカとカメラの間の

3次元的位置関係を求める精度が変わる．そこで、評価実験を行って VCC の性能を調べた．実験はすべて屋内で行った．

4.1 マーカからデータを読み取る性能

まず、VCC を有効に利用できる範囲、最適なマーカの色、一度に送れる情報の量、時間間隔を調べるための評価実験を行った．マーカからカメラまでの距離とエラー率の関係を赤 1 色、緑 1 色、青 1 色、赤と緑、青と赤、緑と青の色の組合せでマーカをコーディングして調べた．次に最もエラー率が低かった距離でマーカに対するカメラの角度とエラー率の関係を調べた．さらに正面から一度に送信するデータ量とエラー率の関係、時間間隔とエラー率の関係を調べた．

利用範囲に関する実験では 4 文字のランダムなアルファベットからなる文字列を用いてエラー率を測定した．情報量の実験では、送信するデータは IP アドレスを想定した 4 バイトの文字列から次第に長くしていく、何バイトまで一度に送信できるのか調べた．

精度は送信したデータの中で 1 ビットでも誤って受信した場合をエラーとして測定した．また、エラーが検出された回数を全試行回数で割ったものをエラー率とした．マーカの色の変化とカメラで画像を取り込むタイミングによっても精度が変わるので、1 つの文字列を送り終えるごとに送信時間間隔の 3 倍から 5 倍の間のランダムな時間送信を停止させた．マーカの大きさは約 8 cm 四方とした．

ここで、最適なマーカの色や最適な閾値とは、最も広範囲でエラーが少ない色や閾値を指す．マーカの変化する時間間隔と同じ時間間隔でカメラで画像を撮影しているため、両者のタイミングが一致し色が変化中のマーカを撮影し、マーカの検出に失敗する可能性がある．マーカから適切に情報を読み取れているかは、このタイミングの一致によるエラー以外のエラーがほとんどない状態を指し、エラー率でいえば 20% 以下の範囲を指す．この程度のエラー率ならば、後に述べる 5.1 節より、数回、繰り返し情報を読み取ることで正しい情報が得られる．一度に送れる情報の量とは、VCC で送信開始ビットをたてて送信を開始してから送信終了ビットで 1 つの情報の送信を終了するまでに送信した情報量を指す．情報の量が多くなるとマーカを読み取る回数が増え、エラーの確率が上がるため、情報の量には限界があることが予想される．

距離 図 5 に 1 色でマーカをコーディングした場合の距離とエラー率の関係、図 6 に 2 色でマーカをコーディングした場合の距離とエラー率の関係を示す．マーカをコーディングする色と画像処理の際の閾値によ

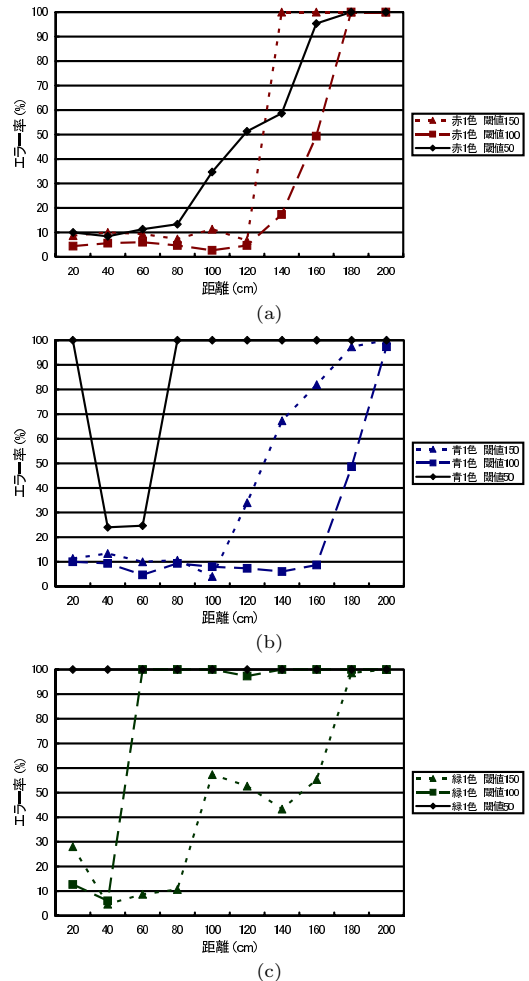
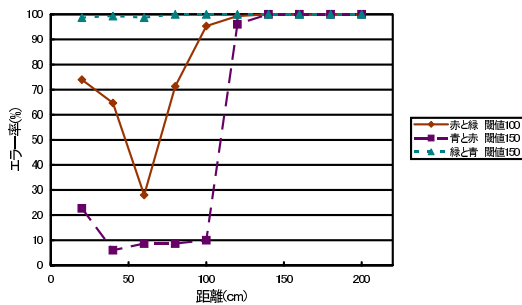


図 5 距離とエラー率の関係 (1 色のコーディング)
(a): 赤 1 色, (b): 青 1 色, (c): 緑 1 色

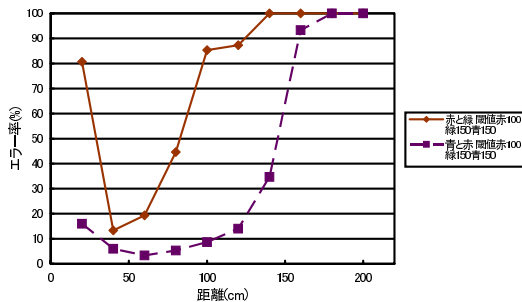
Fig.5 Relationship between distance and error rate (1 color coding). (a): the marker coded with red, (b): blue, (c): green.

て精度がかなり異なるが、図 5 より 1 色のコーディングならば青 1 色を用いた場合が最も性能が良くなり、この場合の最適な閾値は 100 であること、最大 1.6 m 離れたところからマーカの情報が読み取れることが分かる．また、図 6(a) は画像を二値化する際の閾値を青、緑、赤の 3 色で同じ値を使用した場合、(b) は図 5 の結果より色ごとに最適な閾値を選択した場合の結果である．グラフより 2 色のコーディングならば青と赤を用いた場合が最も性能が良くなること、赤、緑、青で異なる閾値を用いた方がエラー率が低くなる事が分かる．

角度 図 7 に角度についての実験結果を示す．さまざま閾値で画像処理を行い、各角度ごとに最も精度が良かった結果を示している．グラフより青と赤を用い



(a)



(b)

図 6 距離とエラー率の関係 (2 色のコーディング)

(a) : 閾値は固定, (b) : 色ごとに閾値を選択

Fig.6 Relationship between distance and error rate (2 color coding). (a): fixed threshold values, (b): threshold values depend on color.

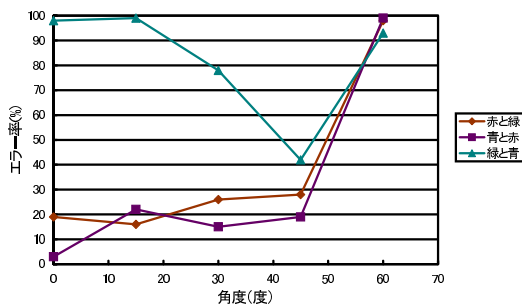


図 7 角度とエラー率の関係 (角度)

Fig.7 Relationship between angle and error rate.

た場合が最も精度が良く、斜め 45 度までならば、情報を読み取れることが分かった。

情報量 1 回に送信する情報量とエラー率の関係は図 8 のようになった。青と赤の場合では 50 文字の文字列を受信してもエラー率は 3 割程度である。エラーの大部分は送信側と受信側のタイミングが一致したときにマークの色が変化中の画像を解析に用いる場合であり、それ以外のエラーはほとんどないため文字列が長くなっても精度が落ちない。赤と緑の場合はデータ部のマークの色を読み間違えるエラーもあるので文字列が長くなるにつれてエラー率が高くなる。

時間間隔 色が変化する時間間隔の実験では 40 cm の

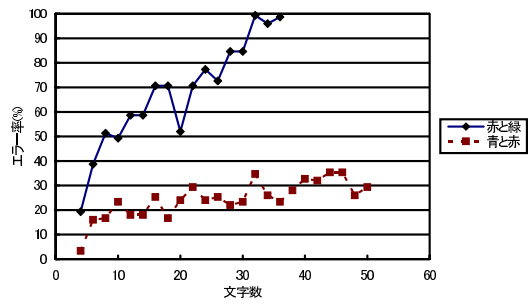


図 8 情報量とエラー率の関係

Fig.8 Relationship between information volume and error rate.

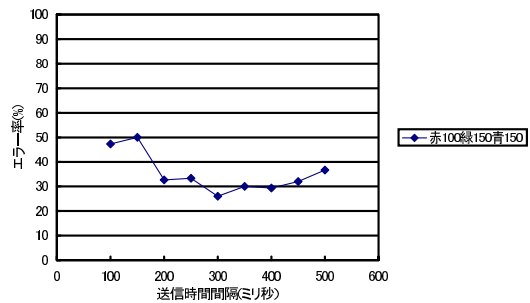


図 9 時間間隔とエラー率の関係

Fig.9 Relationship between interval of transmission and error rate.

距離で青と赤のコーディング、閾値赤 100、緑 150、青 150 として 500 ミリ秒から 100 ミリ秒の時間間隔でエラー率を測定した。カメラで画像を撮影する時間間隔はマークの変化する時間間隔と同じ値を設定した。色が変化する時間間隔とエラー率の関係は図 9 のようになる。間隔が長い方がエラー率が低くなる。これは、マークをディスプレイ上に描画するには数十ミリ秒の時間が必要であり、間隔が長い方がマークの色の変化とマークの画像を撮影するタイミングが一致する確率が低いためであると考えられる。また間隔が 150 ミリ秒以下の場合には、画像処理に設定した時間以上の時間がかかる場合があり、これもエラーの原因となっている。

4.2 位置認識の精度

マークとカメラの間の距離や角度を変化させて、画像中からマークを検出しその形状から距離や角度を算出した場合の誤差を測定した。マークは青 1 色でコーディングし、マークが表現している 10 バイトのデータを正しく読めていた場合の結果のみを記録した。

距離 図 10 に距離に関する実験結果を示す。横軸がマークとカメラの間の実際の距離、縦軸が画像処理によって算出したマークとカメラの間の距離である。実験はカメラをマークの正面に置いて行った。グラフよ

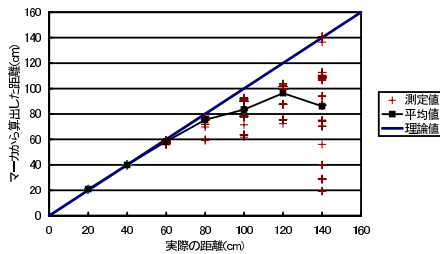


図 10 実際の距離とマーカーから算出した距離

Fig. 10 Relationship between real and estimated distance.

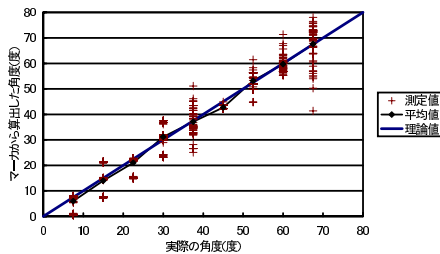


図 11 実際の角度とマーカーから算出した角度

Fig. 11 Relationship between real and estimated angle.

り、80 cm の距離まではほとんど誤差がないが、1 m を超えると誤差がかなり大きくなるのが分かった。これは、1 m を超えると画像中のマーカーが小さくなり、形状を正しくとらえられなくなるのが原因である。カメラの解像度を上げれば、より遠い距離からも形状を正しくとらえられるようになると考えられる。

角度 図 11 に角度に関する実験結果を示す。横軸がマーカーとカメラの間の実際の角度、縦軸が画像処理によって算出したマーカーとカメラの間の距離である。実験はカメラとマーカーの間の距離を 40 cm として行った。グラフより、角度が小さい部分では誤差が大きくなる傾向があるが、全体として平均の誤差は 3 度以内であることが分かった。

角度が小さい部分の誤差についてはアルゴリズムが原因だと考えられる。現在用いているアルゴリズムは、実空間の中では平行で本来交わらないはずの 2 直線が画像上で交わる消失点を利用したものである。そのため、角度が小さく画面上で 2 直線がほぼ平行となる場合には、誤差が大きくなる。角度が大きい部分での誤差については、斜めから見た液晶ディスプレイが暗く、差分画像におけるマーカーが全体的に暗くなり、マーカーの検出が困難になるのが原因だと考えられる。また、誤差が大きい部分もあるが、平均値の誤差は小さいので、カメラとマーカーの位置関係がほぼ一定であるような応用例では、角度を求める際に数回の平均値をとることで誤差を少なくできると考えている。

表 1 データの繰返し受信回数とエラー率

Table 1 The number of repetition and error rate.

繰返し回数(回)	1	3	5	7	10
エラー率(%)	26	21	3	0	0

5. 考 察

5.1 VCC の性能

現在の VCC ではエラー率が低い部分で、20%程度である。この程度の精度であれば、1 回で正しく読み取れなくても数回繰返し同じデータを読み取り、数回分のデータを比較することで、マーカーから正しい情報が取り出せる。表 1 は、4 バイトの同じデータを繰返し読み取り、その中で最も数の多いデータを正しいデータとした場合に、どの程度エラー率が下がるかを実験した結果である。表 1 に示すように、約 1/4 のエラーがある場合でも 5 回繰返し読み取れば、ほとんどエラーがなくなることが分かる。

VCC で利用を想定しているのは URL や IP アドレスといったデータである。4 バイトの IP アドレスを 5 回繰返すのには 4 秒かかる。マーカーを数秒間カメラの前で静止させるようなアプリケーションでは、この程度の性能でも十分だと考えられる。

また、現在の実装ではカメラでマーカーを撮影する際に、色が変化中の画像を撮影し、データを読み取れない場合がある。このままの実装で応用するには、マーカーが検出できなければ数十ミリ秒間、画像の撮影を停止して画像を撮影するタイミングをずらすなどの対応が必要である。

5.2 カメラのフレームレート

本稿で説明した実装では、カメラで色が変化中のマーカーを撮影したときに、ロケータ部を認識できずデータの読み取りに失敗する場合がある。サンプリング定理を考慮し、画像を撮影する速度をマーカーの変化の 2 倍以上にすれば、このようなエラーはなくなる。しかし現在の実装では 1 枚の画像を処理するのに百数十ミリ秒必要であり、毎秒 5 フレーム以上の速度で画像を撮影できない。少しでもマーカーの色が変化する速度を上げるため、このような実装としている。

5.3 ハイブリッドなセンサ

拡張現実感の分野で、位置情報を得るための方法として、画像処理とセンサ、あるいは複数のセンサを組み合わせた研究が行われている^{12),15)}。VCC でも他のセンサと組み合わせることで位置情報の精度を向上させたり、センサでカメラの移動を測定し画像中のマーカー位置を予測することで、画像処理速度を向上させる

ことが期待できる。

5.4 VCC の利用環境

生活空間のいたるところにコンピュータが存在し、街中にだれでも自由に利用できるディスプレイ(コピキタスディスプレイ)が存在するコピキタスコンピューティング環境では、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ディスプレイなどにマーカを表示できる。このため、新たにマーカを用意することなく VCC マーカが作成できる。現在では、街中にだれも自由に使えるディスプレイは存在しないが、電車の中や駅前、店頭などにディスプレイが置かれており、この数は次第に増加している。近年、液晶ディスプレイが安価になってきたことを考えれば、商店街などの看板が次々と液晶ディスプレイに置き換わることも予想でき、近い将来、これらのコピキタスディスプレイにマーカを表示することが可能になると考えている。

5.5 関連研究

関連研究として、Cyber Code¹¹⁾、赤外線 LED を用いる Balloon Tag¹⁾、高速に LED が点滅するビーコンを用いる IDCam⁷⁾などがあげられる。

Cyber Code では紙のマトリックス状のマーカをカメラで撮影し、画像を解析して ID を読み取り、対応するコンピュータ上の情報を利用できる。紙のマーカを用いるので VCC よりも手軽にマーカを利用できるが、表現できる情報量は数バイト程度である。

Balloon Tag では赤外線 LED 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。Balloon Tag では、マーカを目立たなくするために目に見えない赤外線領域を用いている。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の送受信が可能であり、目立たないという利点があるが、データ送信速度が遅い。さらに、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る。ユーザにとってもマーカを認識できず、カメラでマーカをとらえにくい。

IDCam では、人の目には見えない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いにもかかわらず、ビーコンを身に付けたユーザが歩きながらで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。

また、電波無線タグを用いる研究¹⁴⁾も、目立たないという利点があるが、タグと受信機との明確な距

離や角度が取得できないという問題がある。

6. ま と め

本研究では、VCC を実現し、VCC の有効に利用できる範囲などを評価実験によって調べた。

今後の課題として、画像処理に用いる閾値を自動的に選択する手法の実現や、読み取りの性能を向上させるようなアルゴリズムを実装することがなどあげられる。

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。

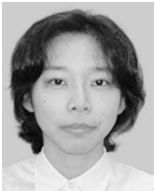
参 考 文 献

- 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) Azuma, R.T., Hoff, B., Nelly III, H. and Sarfaty, R.: A Motion-Stabilized Outdoor Augmented Reality System, *IEEE VR '99*, pp.252-259 (1999)。
- 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) Höllerer, T., Feiner, S. and Pavlik, J.: Situated Documentaries: Embedding Multimedia Presentations in the Real World, *3rd International Symposium on Wearable Computers (ISWC '99)*, pp.79-86 (1999)。
- 6) Kato, H. and Billinghurst, M.: *ARtoolKit*. <http://mtd.fh-hagenberg.at/depot/graphics/artoolkit/>.
- 7) 松下伸行, 日原大輔, 後 輝行, 暦本純一, 吉村真一: 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(インタラクシオン 2002), Vol.2002, No.7, pp.6-13 (2002)。
- 8) Milgram, P. and Kishino, F.: A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays, *IEICE Trans. Inf. Syst.*, Vol.E77-D, No.12, pp.1321-1329.
- 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) Rekimoto, J. and Ayatsuka, Y.: CyberCode: Designing Augmented Reality Environments with Visual Tags, *ACM Designing Augmented Reality Environments (DARE2000)* (2000).
 - 12) State, A., Hirota, G., Chen, D.T., Garrett, B. and Livingston, M.: Superior Augmented Reality Registration by Integrating Landmark Tracking and Magnetic Tracking, *SIGGRAPH 96*, pp.429-446 (1996).
 - 13) 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).
 - 14) 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).
 - 15) You, S. and Neumann, U.: Fusion of Vision and Gyro Tracking for Robust Augmented Reality Registration, *IEEE Virtual Reality 2001*, pp.71-78 (2001).

(平成 14 年 10 月 23 日受付)

(平成 15 年 10 月 16 日採録)



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情報システム工学科目卒業。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。電子情報通信処理学会会員, 日本バーチャルリアリティ学会会員。



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, 2003 年より大阪大学大学院情報科学研究科長を併任。この間, カナダ・ウォータールー大学, ビクトリア大学客員。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 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。