

## 研究課題別評価

1. 研究課題名： 再帰性光通信技術を用いたユビキタスな情報空間の創生

2. 研究者氏名： 稲見 昌彦

### 3. 研究の狙い

研究者らはさきがけ研究での研究課題「再帰性光通信技術を用いたユビキタスな情報空間の創生」の一環として、ディスプレイを利用することによって通信や計測・制御を実現するため情報システムである Display-Based Computing(DBC)を提案している。

ディスプレイは「人」に視覚的情報を提示するための装置として主に利用されていた。それに対し DBC はディスプレイを用い人だけでなく「人工物」に対し情報を提示することで実世界指向の新たな情報システムを構築することを目的としている。

研究者らは DBC に関する一連の研究により小型ロボットの位置・角度の計測手法、複合現実感と小型ロボットを用いたゲーム環境などを開発してきた。本報告ではプロジェクタにより投影された指標画像を受光センサユニットにて計測することでセンサユニットの位置・角度を検出可能なシステム及び PC の画面上で指標画像を動かすだけで、複数台のロボットの位置・姿勢を簡便に制御することを可能とする手法を提案する。

### ディスプレイを用いた位置計測

ディスプレイとはその名の通り時・空間で光を変調することにより人に対し画像情報を提示するための装置である。あるいは VR の観点では情報世界と実世界とをつなぐ窓ととらえることができる。我々はこのディスプレイという窓を通して情報世界を覗くことができる。

テレビや携帯、PDA、ノートパソコン等我々は日々ディスプレイに囲まれディスプレイを持ち歩きながら生活している。すでに生活空間にはユビキタスにディスプレイが存在しておりわれわれの日常生活においてもディスプレイは無くてはならないものとなっている。

このようなディスプレイの普及を背景に研究者らは DBC という概念を提案している。これは画像提示装置を用いることにより、実世界への影響を与えながら対象との通信、計測、制御また適切な視覚情報の提示を実現する概念である。この DBC の概念は Computer Vision(CV)とは以下のような双対性を持っている。CV では入力装置のカメラを用いて画像情報をコンピュータの中に取り込む事によって計測等の目的を達成する。一方 DBC では出力装置である画像提示装置を用い、画像情報を現実世界に配置している機器に重畳して提示することにより目的を達成する。(図 1)

本研究は DBC の一環として、画像提示装置によるロボットの制御を試みるものである。本手法はディスプレイを空間光変調素子ととらえた光通信システムと換言することも可能である。

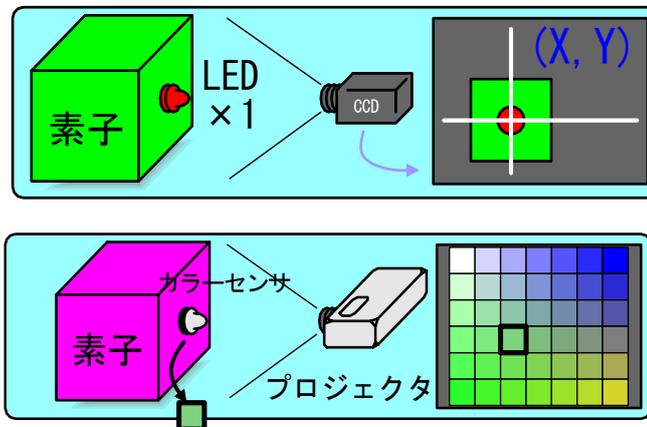


図 1 位置計測におけるカメラとプロジェクタの双対性

#### 4. 研究成果

##### 関連研究

以前から利用されている光学式の位置計測装置には、Optotrak や VICON, QuickMAG などに代表されるようにカメラを利用し、赤外線発光装置やカラーボールなど特定波長の重心位置を求めることにより位置計測を実現するシステムがあげられる。また、ARToolKit のようにカメラから得られた画像から、特定のパターンを認識することにより位置計測を実現するシステムも存在する。こういった方式の位置計測においては、対象の位置を計算するのにカメラから得られた画像の全画素の情報を元に計算するため計算量が非常に多く、更にはカメラ画像の解像度を高くするほど計算量は増大していく。

##### 画像提示装置を利用した位置計測

本研究で提案する位置計測の手法は、カメラのような撮像装置とは対の関係となる画像提示装置を主に利用する。また、計測対象の物体には十字に 5 つの受光素子(フォトトランジスタ)を配置した受光部(図 2)と呼ぶ装置を取り付け、画像提示装置から対象の物体に対して特殊なパターンの画像を局所的に提示する。本研究では、画像提示装置を用いて計測対象に提示する光学情報を指標画像と呼称している。

追従による位置・姿勢計測は、まず、受光部の初期位置・姿勢を計測後、受光部に対して局所的に指標画像を提示する。そして受光部に搭載されている受光素子によって指標画像の輝度情報を読み取り、指標画像に対する受光部の相対位置・姿勢を算出する。指標画像を提示した絶対位置を受光部と指標画像の相対位置に加算することで提示面上での受光部の絶対位置・姿勢を求めることができる。また求めた絶対位置・姿勢が新たな指標画像の提示位置となる。この局所的な指標画像の提示と計測を繰り返すことにより追従計測を行っている。(図 3)

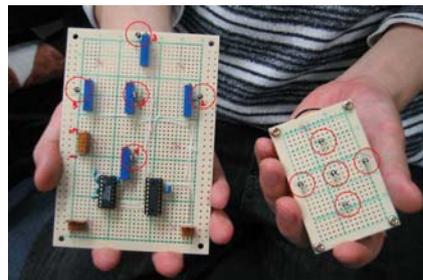


図 2 受光部

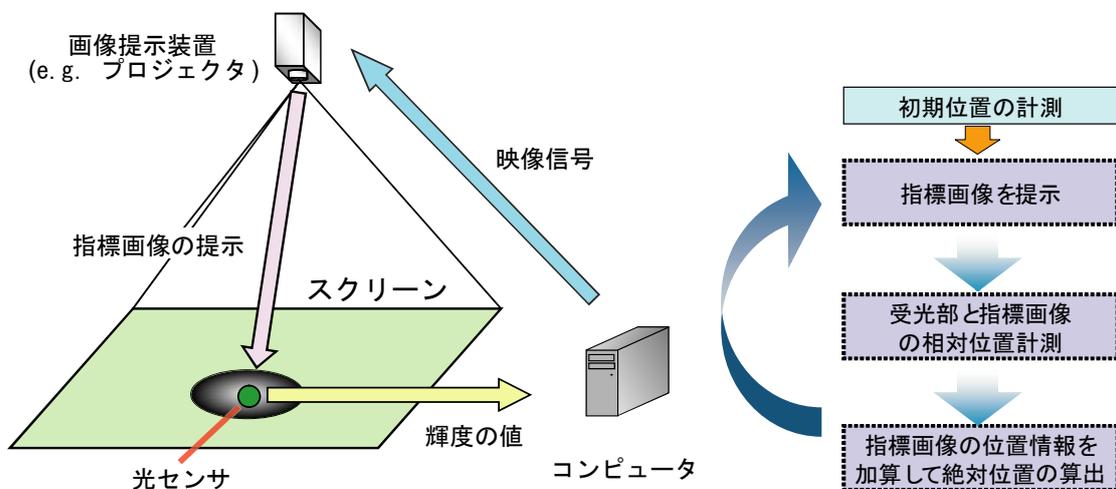


図 3 追従計測概要

## 計測の流れ

本研究の計測手法では、あくまで指標画像に対する相対位置および相対姿勢しか求めることができない。そのため、最初に計測対象の画像提示装置の提示面上での絶対座標を求めなければならない。静止している受光部に対し、図 4に示すように画面の半分を明暗の二値のパターンに分け中心の受光素子の値を読み取ることで、どちらに受光部が存在するのか判別することができる。さらに、半分を明暗に分け順次繰り返し判別していくことで、受光部の提示面内での絶対位置を絞り込んでいくことが可能である。この手法では、複数の受光部が存在した場合、ひとつずつ絞り込んでいかなければならないため非効率的である。より効率的な計測方法として、複数の受光部を一回のパターン提示で絶対位置を計測する手法も存在する。

初期位置を計測した後、初期姿勢計測用の指標画像を受光部に対して提示し初期姿勢を求める。この指標画像は、極座標に従って明暗するグラデーションのパターンで、受光部の姿勢を絶対値で計測できるものである。図 5は初期姿勢計測用指標画像である。緑色の丸い点は、受光部の受光素子を表している。十字に配置された5つの受光素子から取得した輝度値をそれぞれ $a_1, a_2, a_3, a_4, a_5$ とすると、以下に示す式 1により初期姿勢を求めることができる。ただし、 $x_i, y_i$ は受光素子 $a_i$ の位置、 $n$ は受光素子の個数、 $j$ は複素記号とする。また、受光素子から得られる純粋な値は明るくなるにつれて増加していくが線形性はない。そこで、 $a_1, a_2, a_3, a_4, a_5$ の各受光素子の値はガンマ補正をした結果となっており、各値は明るくなるにつれて線形的に増加するようになっている。

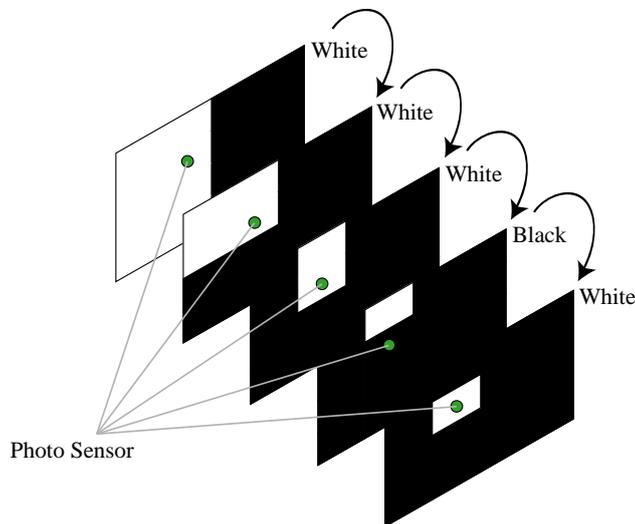


図 4 初期位置計測パターン

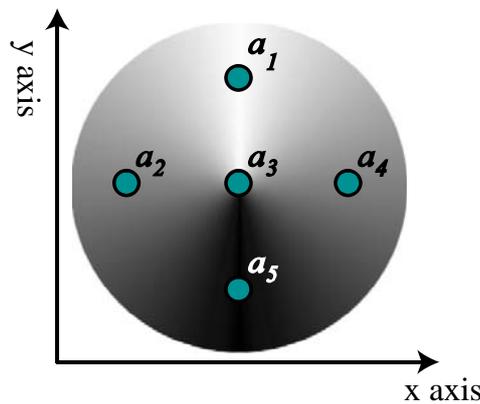


図 5 初期姿勢計測用指標画像

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n (a_i \times x_i)}{\sum_{i=1}^n a_i}$$

$$Y = \frac{\sum_{i=1}^n (a_i \times y_i)}{\sum_{i=1}^n a_i}$$

$$\theta = \arg(X + Yj)$$

式 1 初期姿勢計測

初期位置と初期姿勢の計測後は、次に述べる指標画像を受光部に局所的に提示し、指標画像との相対ずれを計測し、計測された結果を基に指標画像を提示しなおし追従計測を行っていく。

図 5, 図 6は、位置・姿勢のずれを同時に計測できる指標画像である。先と同じように、緑色の丸い点は受光部の受光素子を表しており、5つの受光素子から取得した輝度値をそれぞれ $a_1, a_2, a_3, a_4, a_5$ としている。その場合、以下に示す式 2により受光部の指標画像とのずれ、 $dx, dy, d\theta$ を求めることができる。ただし、 $a'_3$ は $a_3$ から $a_3$ の値を引いたものである。これは、この指標画像の中心部分はずっと 50%のグレーになっており、この輝度値を引くことで少しでも環境光の影響を減らすためである。

例えば、単純に受光部がx軸方向に並進移動した場合(図 5)を考える。左の図では5個の受光素子の出力はすべて 50%のグレーで均衡が取れているが、右の図では受光部が右に並進移動し、受光素子 $a_1$ と $a_5$ が指標画像内の濃淡を移動している。すると受光素子の出力に変化が生じ、位置の変化量 $dx$ は式 2に示すように $a_1$ と $a_5$ の差分として求められる。y軸方向に平行移動した場合も同様に求めることができる。次に、受光部が回転した場合(図 6)を考える。先と同じように、左の図では受光素子の出力値は均衡が取れている。右の図では受光部が右回りに回転し、受光素子 $a_1, a_2, a_4, a_5$ それぞれが指標画像内の濃淡を移動し、この場合では各受光素子が暗い方へと移動している。したがって、回転角は式 2のように各受光素子の値から中心輝度である $a_3$ の値を引いた値の総和から求めることができる。

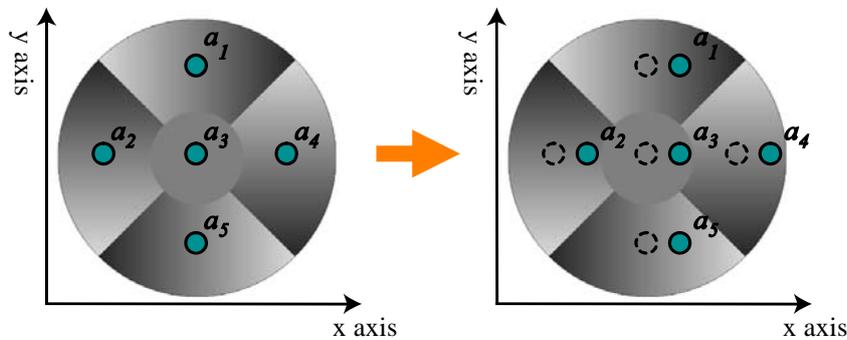


図 6 位置・姿勢同時計測用指標画像(並進時)

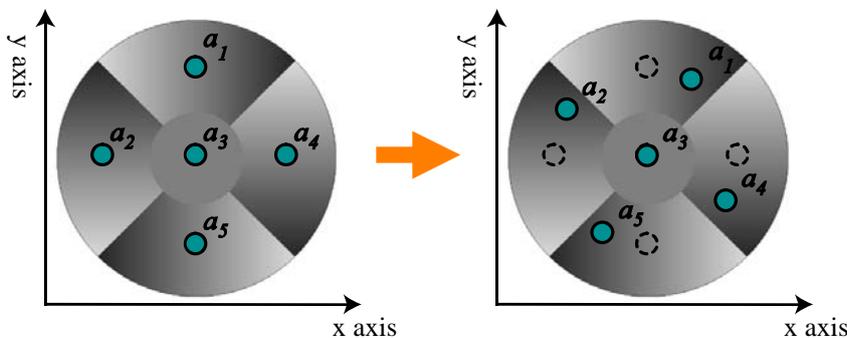


図 7 位置・姿勢同時計測用指標画像(回転時)

$$a'_i = a_i - a_3$$

$$dx \propto a'_1 - a'_5$$

$$dy \propto a'_2 - a'_4$$

$$\sin d\theta \propto a'_1 + a'_2 + a'_4 + a'_5$$

式2 位置・姿勢計測

図8の指標画像は、先の指標画像を改良したものである。先の指標画像の異なる点は、 $a_1, a_5$ に関する濃淡の変化の方向を、先の指標画像とは逆の方向へ変化させていることと、 $a_3$ に関する中心輝度を示すための部分を削除していることである。

これは、 $a_1, a_5$ に関する濃淡の方向を逆にしたため、位置・姿勢を求める式が先の式2の $a'_1, a'_5$ の符号を逆にしたものになり、これを計算すると以下の式3に示すように、中心輝度を得るための受光素子 $a_3$ の値が必要なくなるためである。また、先の指標画像では、濃淡の境目が不連続であったのに対し、 $a_1, a_5$ に関する濃淡の変化の方向を逆にすることで連続した濃淡の変化になった。このことで、例えば先の指標画像において受光素子が境目付近まで移動した際に、素子から得られる値が、境目の急激な輝度の変化に強い影響を受ける可能性があったのに対して、この指標画像ではそのような影響を受けることが無くなったという利点も生まれた。

この指標画像では環境光の影響を極力減らしながら、安定した計測結果を得ることができた。また、中心の受光素子 $a_3$ は計測には使用されなくなったので、別の情報のために使用することも可能となる。

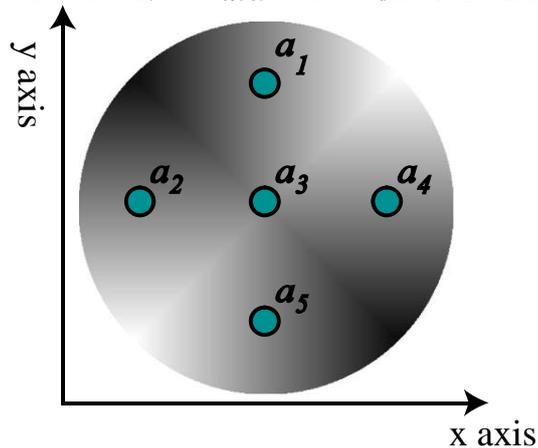


図8 相対位置・姿勢同時計測用指標画像

$$dx \propto a_5 - a_1$$

$$dy \propto a_2 - a_4$$

$$\sin d\theta \propto a_2 + a_4 - a_1 - a_5$$

式3 位置・姿勢計測

### 本計測手法の有用性

本研究で提案する計測方式では、5つの受光素子から得られる輝度の値から簡単な数式で位置の計測を行うことができるため計算量は非常に少ない。また、画像提示装置自体を計測装置として利用するため、使用する画像提示装置のピクセル座標で位置の計測結果を得ることができる。そのため、カメラを利用した時のようにカメラの座標系と画像提示装置の座標系とのレジストレーションが不要となり、実物体に対して画像を正確に重畳表示させることが可能となる。したがって、これらの技術を応用することで複合現実感(MR: Mixed Reality)環境を構築することが容易になると考えられる。センサユニットを小型化することでペン型インターフェースとしての実装も容易に可能である。(図9)

プロジェクタからの直接光を計測しているため、図10に示すように白屋の屋外にて計測を行うことも可能であ

る。

現在提案されている指標画像・受光素子の配置が位置および姿勢の計測に対して最も良いという根拠はなく、指標画像のパターンや受光素子の工夫によってより精度の高い計測や他にも高さ方向の計測など、位置以外の計測を行うことができる可能性がある。

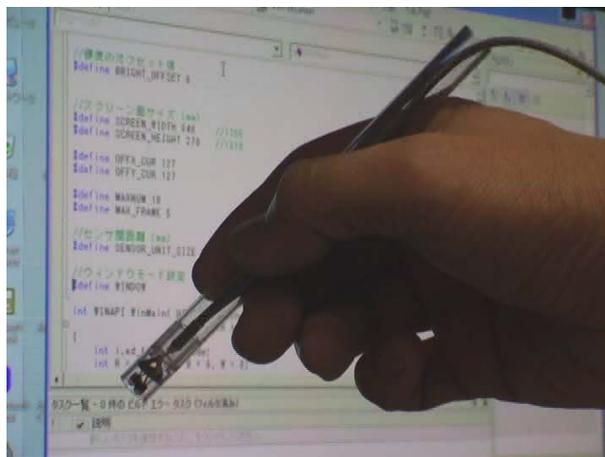


図 9 ペン型センシングユニット



図 10 屋外での実験風景

### MR ゲーム環境 ～Augmented Coliseum～

画像提示装置を利用した位置計測技術のアプリケーションとして、Augmented Coliseumと名付けたMRゲームを制作した。これは、ユーザが小型ロボットを操縦して戦うバトルゲームである。小型ロボットは、車輪を左右に有した車両型のロボットで、動き回ることしかできない。しかし、上部からプロジェクタで小型ロボットの周りにミサイルやレーザーなどのCGを重畳投影することで、ゲームの機能を付加している。

図 11は、本システムの概要を示している。小型ロボットの上部には、5つの受光素子が取り付けられており、それらから得られる輝度情報をPCへと送信している。その輝度情報を基に、位置・姿勢を計算し、その結果をPCから新たな位置への指標画像の表示・ゲームの処理・衝突判定などへと利用している。また、ユーザは市販のゲームパッドを使いロボットを操縦することができ、その入力情報から、小型ロボットのモータの回転情報を決定して送信している。位置・姿勢の計算とゲームプログラムの処理は同一のPCで行っている。

ゲームのための拡張機能を付与する対象の実物体とした小型ロボットを図 12に示す。プレイヤー同士は、この小型ロボットを操作してゲームを行う。この小型ロボットは、位置・姿勢計測のために画像提示装置から投影された映像信号の輝度情報を計測する計測部と、PCから送られてくるプレイヤーの操作情報により、モータを制御して装着された2つの車輪でロボット自体を動かす制御部に分かれている。輝度を測る光センサとしてはフォトトランジスタを用い、図 12のロボットの上部に5つ配置した。このセンサ情報はPCからの指令に基づきマイク

コントローラユニットで、AD変換されWiPortを用いPCIに送信される。

プレイヤーが実世界に存在する小型ロボットを操作しお互いに戦うというゲームにおいて、ロボットの攻撃に相当する機能をロボットの位置に合わせて映像での修飾により与えた。具体的にはレーザー光線、ミサイル、爆発、シールドゲージ、ロボットの方向を表現するため矢印を重畳表示した。

図 13に、本研究で試作したゲームの一場面を示す。この場面では、一方のロボットがレーザーを用いて、他方を攻撃しようとしている。本来、模型やロボットは物理的に実装した機能しかもつことをできないが、本システム内では上記の映像を用いることで、実物体である小型ロボットに対してゲームに必要な拡張機能を与えることができた。

このシステムを用いれば、情報処理装置内に実世界の対象物体のモデルを準備し、実世界の対象物体と同期させることで実世界と情報世界双方にインタラクション可能な環境を実現することができる。さらに、物理計算エンジンを実装することにより、実世界には存在しない仮想物体と対象物体のモデルとのインタラクションを実現できる。実世界と同期した情報世界内の物理計算は、例えばシューティングゲームにおける当たり判定や、物体同士の衝突判定などとして実装し、ゲームを実現可能にする。また、ユーザがこのシステムを操作することは、実世界における対象物体を物理的に動かすか、情報世界における対象のモデルにコントローラーなどを經由して操作情報を与えることにより実現できる。

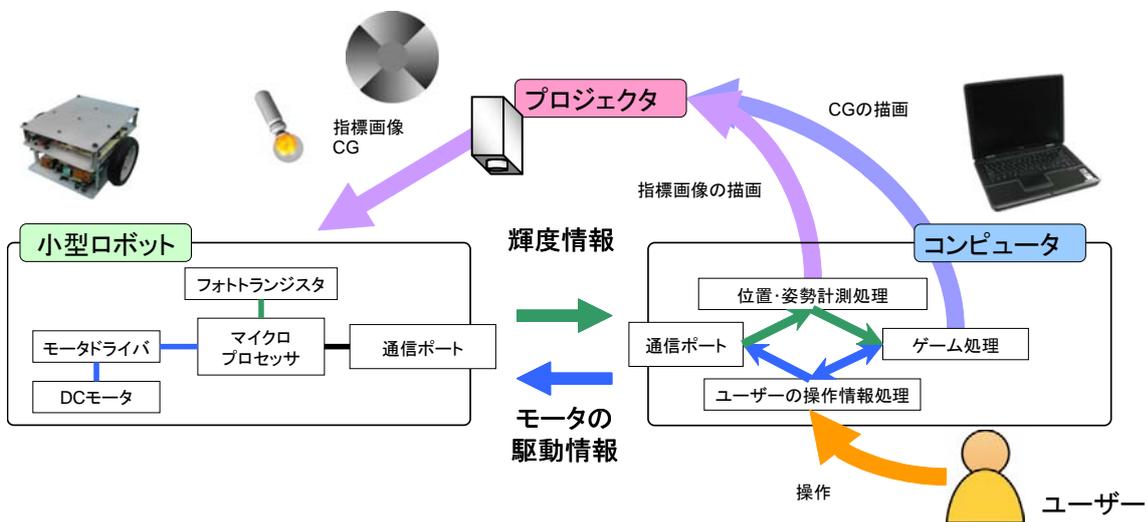


図 11 システム概要



図 12 小型ロボット

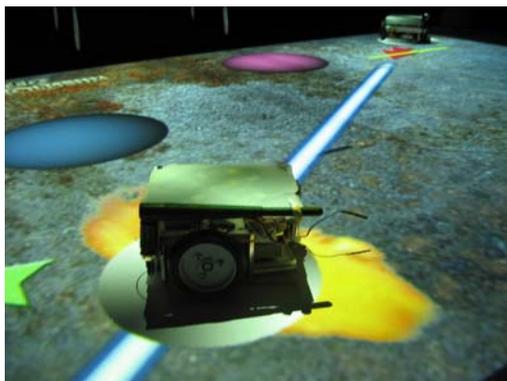


図 13 Augmented Coliseum

今回、実世界と情報世界とのインタラクションを実現するために、簡単な物理シミュレーションを実装し、情報世界のCGで描かれたブロックと小型ロボットとの衝突を表現した。物理シミュレーションには、バネ・ダンパモデルを用いて衝突時に働く力を求めるペナルティ法[6]という手法を用いた。

以上のように DBC の複合現実感への応用として、実世界に存在する車両型の小型ロボットに対して、プロジェクタからの投影される映像を正確に重畳させることでロボットを修飾することを実現した。さらに、それを利用した実世界指向のゲーム環境を提案しシステムを構築した。これにより、物理的に実装した機能しかもつことのできない実在する小型ロボットに対して、ゲームとしての拡張機能を与えることができた。また、簡単な物理シミュレーションを実装することで、簡単な情報世界オブジェクトと実世界オブジェクトとのインタラクションを実装することができた。本システムで提案したゲーム環境は、簡単なセンサ等を付加することで市販されている玩具等のエンターテインメント性を高めることが可能である。さらに、制御と計測のモデルがあるため、複数の箇所での同一のシステムを用意してネットワークを介した対戦を実現できる可能性がある。

### ディスプレイを用いたロボットの制御

画像情報によりコントロールされるロボットとして、ライトレースロボットがある。これは黒地に描かれた白線、あるいは白地に描かれた黒線にそって走行する自立型ロボットで、工場内の自動搬送車として実用化されている。最近では、単に線に沿って走るだけでなく、線に埋め込まれたバーコードからの情報により速度の制御などが可能なものも開発されている。しかし、従来のライトレースロボットはあらかじめ用意されたラインに沿って走行するのみで、走行中に経路を動的に変化させることは不可能だった。それはロボットが追従するためのラインが床などに印刷されており、空間的・時間的に固定されていたからである。

ここで画像提示装置は時・空間光を変調可能なデバイスである。この特徴をライトレースロボットに応用した場合、つまりラインを画像提示装置で提示した場合、ラインを空間的・時間的に任意に提示することが可能になり、Jarvisらが試験的な実装を行っている。Jarvisらの手法によりロボットは動的に変化する任意のライン画像に沿って走行可能となる。しかし、ロボットの軌跡のみの指示に留まっており、位置・姿勢・速度等の制御は実現していない。

研究者らは画像提示装置により指標画像を表示し、表示された画像に従って適切な動作をするようにプログラムされたロボットを用いることでロボットに対し多様な動作を指示する手法を提案する。

ライトレースロボットの例では、指標画像は白黒のラインであった。この指標画像は文字通りラインなので、ロボットに対しラインからの変位  $x$  しか情報として与えることができない。しかし、指標画像を工夫することにより、さらに多くの情報をロボットに与え、より複雑な動作をロボットに指示することが可能となる。

指標画像はモノクロ2階調だけでなく、グレースケール画像やカラー画像、時変画像を利用することで、目的に応じ情報量を増やすことが可能である。また、指標画像に関しても多様なパターンを用いることが可能となる。

提案手法は指標画像に工夫を加えることで計測側は単純な受光素子にて構成できる。よって、従来の Computer Vision による計測速度はカメラのフレームレートによって制約されたが本手法は画像提示装置のフレームレートではなく受光素子のサンプリングスピードにより制約されるという特徴も有する。

本研究では画像提示装置と安価なフォトセンサを利用して、ロボットを制御することを試みる。

なお、本手法はディスプレイを用いることで従来の人に対しての画像提示と容易に組み合わせることができるという点も大きな特徴である。

### 指標画像を用いたロボットの制御

画像提示装置を用いてロボットを制御するためのシステムを図 14に示す。ロボットに受光部を取り付け、ロボット上の受光部に対し指標画像を表示する。ロボットは受光部のセンサ出力から指標画像とのずれを算出し、そのずれを修正するようにプログラムしておけば、ロボットは指標画像に追従する。したがって指標画像の位置姿勢をコントロールすることで、間接的にロボットの位置姿勢をコントロールすることができる。

なお、このシステムはオープンループであるためロボットが指標画像から外れた状態では制御することはできない。

ロボットをコントロールするための画像提示装置にはプロジェクタや液晶ディスプレイなど様々な装置を利用することが可能である。例えば、プロジェクタを利用する場合は受光部をロボットの上面に配置し、ロボットの上方から指標画像を投影すればよい。また、液晶ディスプレイを利用する場合には受光部をロボットの底面に配置し、水平に設置したディスプレイ上でロボットを走行させ、ロボットの下面から指標画像を提示すればよい。

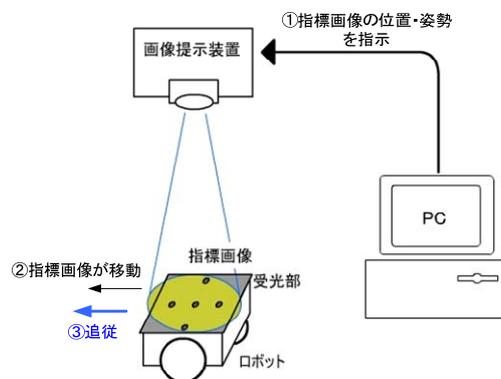


図 14 画像提示装置を用いたロボットの制御

試作したロボットはノートPCの画面上で制御することを想定し、センサはロボットの底面に配置し、ロボット本体は40mm角と小型に設計した。(図 15)

このロボットは、ノート PC のディスプレイに表示された指標画像に追従することが可能である。また、本ロボットはシリアル通信によるデバッグ機能を備えているので、ロボットとPCをRS232Cケーブルで接続すれば、各センサの生データ、および算出された指標画像からのずれをPCでモニタすることができる。

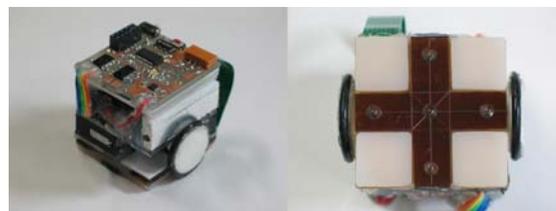


図 15 試作した小型ロボット

ロボットは左右独立2輪駆動方式で、左右2つのタイヤにより走行する。駆動モータには小型のDCギヤドモータを用いた。ロボットの底面には5つのセンサを配置したセンサ基板が固定されている。マイコンは5つのセンサの出力から、指標画像とロボット自身とのずれ(x-y方向のずれ、角度のずれ)を算出する。そして、マイコンはそのずれが0になるように、モータドライバに指令を送る。この一連の流れがメインループで常に繰り返されるこ

とにより、ロボットは指標画像に追従することができる。

今回開発したコントロールソフトは、マウスやキーボードの入力によって指標画像の位置・角度を自由に動かす機能を持っている。ロボットは指標画像に追従するので、結果としてディスプレイを介してロボットの位置・姿勢を自由にコントロールすることができる。

また、図 16に示すようにアームを装着し、その開閉を指標画像中心部の明滅パターンによりシリアル通信で指示することで物体を把持し、移動するようなタスクを行うことにも成功した。

図 17に示すように複数の指標画像を用いることで複数台のロボットを同時に制御することも可能である。



図 16 アーム付き小型ロボット



図 17 複数台のロボットの同時制御

PC 側のコントロールソフトの開発には Macromedia 社(現 Adobe 社)の FLASH MX を用いた。FLASH は主にインタラクティブな web コンテンツを製作するためのデファクトスタンダードのソフトウェアであり、FLASH を利用することで初心者でも、簡便にアニメーションを作成することができる。また、ActionScript というアニメーションを制御するスクリプトを記述することにより、単調なアニメーションだけではなく、例えばマウスやキーボードの操作によって複雑に変化するアニメーションも簡単に製作することができる。もちろん FLASH が得意とする音楽と同期した動作も可能である。

つまり本システムはインタラクティブな web オーサリングの要領で、モーターの制御や通信に関する詳しい知識が無くても小型ロボットを制御することを可能とするフレームワークととらえることもできる。

本システムの追従性能を検証するため、ノートPCのディスプレイを水平に設置して、そのディスプレイ上でロボットを指標画像に追従させた。図 18の結果に示されているように数ミリ以内の誤差で指標画像とほぼ同等の軌跡を追従していることが確認できた。

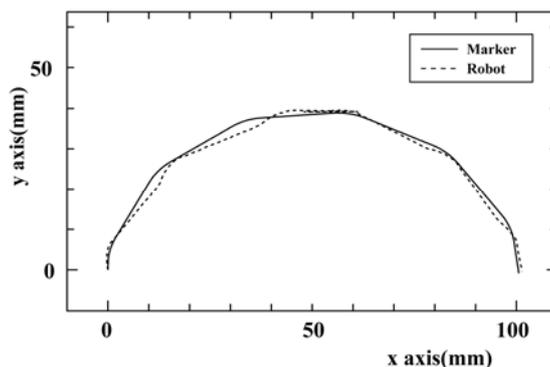


図 18 指標画像の軌跡(実線)とロボットの軌跡(点線)

## まとめ

本研究課題においてディスプレイを時空間変調素子ととらえ、ディスプレイを用い空間を光学的に構造化するための手法 Display-Based Computing を提案し、指標画像を用いることで簡便に複数台のセンサの位置を計測すると共に、小型ロボットを制御するための手法を提案した。

本手法は

- ディスプレイの構成デバイスの種類に依存せず利用可能
- ディスプレイのフレームレートでなくセンサのサンプリングレートにより速度が規定されるため、カメラを用いる手法と比較し高速化が容易
- 指標画像を移動するだけでロボットの位置・姿勢を制御できるため web コンテンツを作るように誰もが容易にロボットを操作可能

といった特徴を有し、試作システムを実装することで提案システムの評価を行った。

## 5. 自己評価

### Display-Based Computing の提案と試験的実装に成功

当初の計画ではプロジェクトによる時空間変調光と高速カメラ及びセンサユニットを用いることで生活空間に分散された多数の素子と超多チャンネルで同時通信可能な再帰性光通信技術を研究することを目指していた。

しかしながら研究の過程で高速カメラを用いずともプロジェクトと安価な光センサユニットのみで高速・高精度にセンサユニットの座標を検出可能な Projector-based Tracking System(PTS)を提案し実装に成功した。

研究者は PTS に関する研究を遂行していく過程で、「ヒューマンインタフェース」そのものが持つハードウェアインタフェースとしての汎用性に気づいた。

つまり、ヒューマンインタフェースは情報世界とユーザとをつなぐための各種機器であり、その入出力様式は個人差があるもののヒトの入出力器官である感覚器、効果器により定められている。例えばディスプレイもデバイスとしてはブラウン管、液晶、プラズマ、有機 EL、DLP 等きわめて多様であるが、可視光の時空間変調素子という点ではディスプレイ共通の特徴である。

PTS 成功からユビキタスかつ汎用的なハードウェアインタフェースとしてのディスプレイの可能性に思い至り Display-Based Computing(DBC)というコンセプトを提唱するに至った。

DBC とはまさに本来ヒューマンインタフェースの一種であるディスプレイをコンピュータとセンサ・ロボットとのハードウェアインタフェースとして用いることで、ディスプレイデバイスに依存しない汎用性を獲得することが出来た。

ユビキタス空間とは情報と人と様々な機器が適切に共存している環境と換言することができる。本設計指針を敷衍すれば触覚入出力装置、音声入出力装置等視覚以外の五感の入出力のために用いられているヒューマンインタフェースをユビキタス環境におけるハードウェアインタフェースとして応用可能であると考えられる。

DBC というコンセプトは内外でも受け入れられ、米国、オーストリア、オーストラリア、韓国などと DBC の応用技術に関する共同研究や製品化を目指した開発も企業と共同で行われている。

以上のことから当初提案した再帰性光通信技術に関する研究項目すべてを実現しただけでなく、当初計画を上回る萌芽的コンセプト Display-Based Computing を提案し、多くの試験的実装を持ってその有効性を示すこと

ができたことで研究計画を十二分に達成できたと評価できる。

### DBCにより誰もが簡単に移動ロボットを制御可能な方法を実現

当初より最終年度には Phase3 として群デバイスの試作を計画していた。研究者は DBC のコンセプトに基づきディスプレイにより簡単にロボットを制御可能な手法を考案し試験的実装を行った。

従来の移動ロボットを自由に制御するためにはセンサ、電子回路、プログラム、通信に関し多くの専門知識を必要とした。よって工学系の大学院生クラスでようやく扱うことが可能となっていた。

研究者がさきがけ期間中考案した DBC によるロボット制御を行うことで、Web ページを作成するのと同様のスキルで自由に移動ロボットを制御可能なシステムを構築可能となった。

Web ページも 90 年代中盤までは大学・企業の研究者が中心となり作成していた。しかし様々な Web オールサリングツールの登場により高校生やデザイナーが簡単に Web ページを作成可能となった。提案手法を用いることで今後はロボットを「デジタルメディア」として研究者だけでなく一般の方が安価に用いることが可能となる。一般過程への普及が伸び悩んでいるロボットの新たな展開への手がかりとなることが期待でき、本研究課題が研究終了時に伴い完結するのではなく、将来に展開可能な研究開発の「さきがけ」としての役割を十分果たすことが出来たと評価できる。

## 6. 研究総括の見解

プロジェクタや液晶などの画像提示装置を映像提示だけでなく計測・制御・通信等に用いることを提案し、画像提示装置を用い時空間変調可能な指標画像を表示することでカメラに代わり複数の受光素子のみで高速に位置計測を行う事が可能となることを実証した。そして、画像提示装置を用い複数台の小型移動ロボットを同時に計測・制御することを可能とするシステムの試験的実装を行った。これは誰もが簡単に移動ロボットを制御可能な方法を実現したとすることができる。独創性豊かなアイデアとアイデアを素早く実現するシステム構築能力により大きな成果に結びつけることができた。本技術は多数のデバイスが遍在するユビキタス社会における情報通信のためのキーテクノロジーの一つとなると考えられ、今後の大きな発展が期待される。

## 7. 主な論文等

### 論文(国際、国内)

- (1) Maki Sugimoto, Georges Kagotani, Hideaki Nii, Naoji Shiroma, Masahiko Inami and Fumitoshi Matsuno, Time Follower's Vision: A Tele-Operation Interface with Past Images, IEEE Computer Graphics and Applications, Vol.25, No.1, pp.54-63, 2005
- (2) 杉本麻樹, 小島稔, 中村亨大, 新居英明, 稲見昌彦, 画像提示装置で表示した指標画像を用いた位置・姿勢計測, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, vol.10, no.4, pp.485-494, 2005

### 口頭発表(国際、査読付き)

- (1) M. Inami, N. Kawakami and S. Tachi, Optical Camouflage Using Retro-reflective Projection Technology, Proceedings of IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality, pp.348-349, 2003.10
- (2) M. Sugimoto, G. Kagotani, H. Nii, N. Shiroma, M. Inami and F. Matsuno, Time Follower's Vision: A Tele-Operation Interface with Past Images, ACM SIGGRAPH 2004 Conference Abstracts and Applications, CD-ROM, 2004.8
- (3) Maki Sugimoto, Masahiko Inami, Georges Kagotani, Minoru Kojima, Akihiro Nakamura and Hideaki Nii, Augmented Coliseum: Display-Based Computing for Augmented Reality Inspiration Computing Robot, ACM SIGGRAPH 2005 Conference Abstracts and Applications, CD-ROM, 2005.8
- (4) Minoru KOJIMA, Maki SUGIMOTO, Akihiro NAKAMURA, Masahiro TOMITA, Hideaki NII and Masahiko INAMI,

Augmented Coliseum: An Augmented Game Environment with Small Vehicles, The First IEEE International Workshop on Horizontal Interactive Human-Computer Systems, pp.3-8, 2006

#### 口頭発表(国内、査読無し)

- (1) 稲見昌彦, 新居英明, 再帰性光通信技術の研究(第二報)-試験的実装-, 第4回 SICE システムインテグレーション部門(SI部門)講演会, CD-ROM, 2003
- (2) 杉本麻樹, 新居英明, 稲見昌彦, Projector-based Tracking System, 第 47 回 自動制御連合講演会 CD-ROM, 2004
- (3) 稲見昌彦, 杉本麻樹, 新居英明, Display-Based Computing の研究 第一報: 画像提示装置を主体とした実世界指向情報システム, 日本バーチャルリアリティ学会 第 10 回大会論文集, CD-ROM, 2005
- (4) 新居英明, 橋本悠希, 杉本麻樹, 稲見昌彦, Display-Based Computing の研究(第四報): プロジェクタを使用した位置検出システム, 日本バーチャルリアリティ学会第 10 回大会論文集, 2005
- (5) 稲見昌彦, 富田正浩, 杉本麻樹, 新居英明, 小島稔, Display-Based Computing の研究 第七報: Display-based Computing によるロボットとのインタラクション, 情報処理学会研究報告, 2006-CVIM-156-10, 2006

#### 特許出願

- (1) 新居英明, 稲見昌彦, 白方博, 指示位置検出装置, 特願 2004-116481, H16.4.12
- (2) 稲見昌彦, 杉本麻樹, 新居英明, 位置検出装置及び位置検出方法, 特願 2004-340967, H16.11.25
- (3) 杉本麻樹, 中村享大, 新居英明, 稲見昌彦, 複合現実表現装置及び複合現実表現方法, 特願 2005-174257, H17.8.14

#### 招待講演

- (1) Masahiko INAMI, Augmented Human Perception :Interfaces to enhance human capacity of perception and expression, IEEE International Symposium on Wearable Computers, 2006.10

#### 受賞等

- (1) 米国「TIME」誌 Coolest Inventions 2003, 平成15年11月
- (2) IEEE Virtual Reality 2004 Best Paper Award, 平成16年 3月
- (3) Laval Virtual 2004 Technopole Mayenne Trophée, 平成16年 5月
- (4) 日本バーチャルリアリティ学会 論文賞, 平成16年 9月
- (5) ACM ACE2006 Excellent Paper Award, 平成18年 6月