

光センサと加速度計を用いたタグの位置・姿勢計測に基づく タンジブルテーブルトップインタフェース Tangible Tabletop Interface Based on Position/Orientation Measurement of Tags Using Photo Sensors and Accelerators

川本海¹² 蔵田武志¹² 酒田信親¹² 大隈隆史¹ 葛岡英明²
Umi Kawamoto¹² Takeshi Kurata¹² Nobuchika Sakata¹² Takashi Okuma¹
Hideaki Kuzuoka²

¹産業技術総合研究所 情報技術研究部門 ²筑波大学
¹Information Technology Research Institute, AIST ²University of Tsukuba

Abstract This Paper describes a novel method for measuring position and orientation of physical tags on a large tabletop display. This method employs a set of photo sensors and accelerators embedded in the tag to observe fiducial marker patterns shown on the display and predict the incoming position of the tag. In this paper, we especially propose a new fiducial marker pattern that is more robust in terms of ambient new light, unevenness of display luminance, and excess of measurement range than previously proposed. The new pattern also makes the physical tags smaller and less obtrusive. We finally show the results of several preliminary experiments that we conducted for each sensor device.

1 はじめに

プラントなどの比較的規模の大きな設備を建築したり保守点検したりする現場において、作業に十分な数の熟練労働者をそろえるには高いコストがかかる。このような作業現場においては、少数の熟練労働者(指示者)が多数の必ずしも技能の熟練していない労働者(作業者)に指示を送るための遠隔作業支援技術が、作業全体のコストを軽減するための重要な役割を果たす。

指示者が多数の作業者との対話や作業指示に対処するには、各作業者状況を把握したり作業指示コンテンツを加工・送信したりする必要がある。従来型のWIMP型インタフェースでもそのような機能を実現することは可能であるが、ディスプレイが大型化し多機能化していくと、精神的作業負荷の増加や誤操作誘発などが問題となる。そこで、筆者らはポストWIMP型インタフェースとして、実物体とデジタル表現とを結合したタンジブルユーザーインタフェース(TUI)[3]を応用することで指示者の負担軽減を試みている。

図1に示す第1世代タンジブルテーブルトップインタフェース(TTT)[1][2]は、超音波表面弾性波(SAW)方式タッチパネル付き大型LCDをテーブルトップディスプレイ、その上に置かれる複数の3次元計測用超音波発信機を「タグ」と呼ばれる実物体として用いている。各タグには作業者ウィンドウやマニュアルウィンドウなどのGUIオブジェクトが対応付けら

れており、タグを移動させるとそのGUIオブジェクトも追従して移動する。タグの持つアフォーダンス、後述する直感的なタグジェスチャ、タグとタッチパネルを用いた非対称な両手操作といったTTTの特徴により、直接的で直感的な入出力体系を指示者に提供することが可能となっている。

本論文では光センサと加速度センサを併用してタグの動きを計測する新しい手法に関して述べる。まず従来の研究や関連研究で用いられている物体の動きを計測する手法について触れた後、提案する新計測手法について、その特徴と原理について述べる。最後に、この新計測手法を実装したプロトタイプシステムによる基礎実験について報告する。

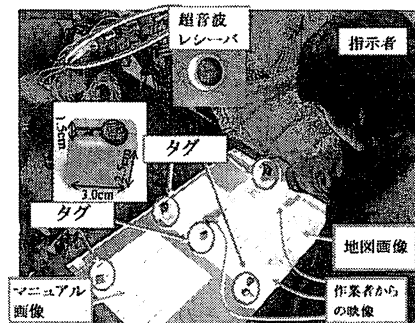


図1 第1世代TTTによる遠隔作業指示の様子

2 関連研究

TTTでは、「タグ」とよばれる実物体の位置や姿

勢の計測手法の特性や精度が操作技法の自由度に直結するため、よりよい計測手法が求められる。

本節では、第1世代TTTの概要について述べた後、タグの動きの計測に用いられてきた超音波3次元位置計測手法について、利点と限界について概説する。次に、他の関連研究で用いられている実物体の動きを計測する手法について述べ、それぞれの特徴とTTTへ応用したときの問題等について述べる。

2.1 第1世代TTTの概要

図1に示した第1世代TTTでは、水平に置かれたテーブルトップディスプレイに、作業者から送られてきた映像や指示の際に用いる作業マニュアル画像などがウィンドウ形式で表示される。各ウィンドウには「タグ」と呼ばれる、センサを内蔵した実物体が対応付けられている。ウィンドウに対する操作は主としてタグを動かすこと(タグジェスチャ)で行う。図2にタグジェスチャの一例を示す。この例では、タグbは画像を表示したウィンドウに対応付けられている。このタグbにタグaを接近させることで、タグbに対応付けられたウィンドウの画像をタグaにコピーしている。

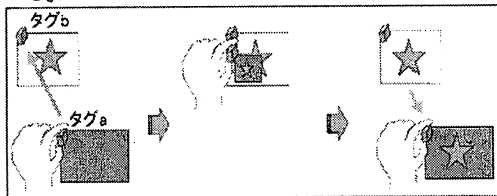


図2 タグジェスチャによる画像のコピー

第1世代TTTでは、タグジェスチャの際に生じるタグの動きの計測に超音波を用いている。まず、超音波トランスミッターが組み込まれたタグ上部から、ディスプレイ上方に設置された複数のレシーバに向けて超音波が発信される。次に、超音波飛行時間を用いてタグと各レシーバとの距離を計測する。これらにより、多辺測量に基づいて各タグの3次元絶対位置を計測することができる。

この計測方法は、文献[1][2]で提案されたTTTのタグジェスチャを実現するには十分な精度を有する。しかし、時分割超音波発信方式に起因し、タグの個数とタグ1個あたりの計測周期がトレードオフ関係にあるという問題がある。たとえば6個のタグを配置したときのタグ1個あたりの計測周期は3.3Hz程度であり、タグを動かした際にそのタグに対応付けられたウィンドウの追従遅れが生じていた。さらに、タグの姿勢を計測することはできないため、タグジェスチャ

の種類を制限する要因となっていた。また、ユーザの手による遮蔽や超音波の反射によるマルチパスなどの外乱により位置計測が困難になる状況も発生していた。

2.2 関連研究とその計測手法

RFIDを用いて物体の位置を計測する手法[4]がある。しかしこの手法は位置決め分解能を上げるのに問題があり、ディスプレイ上の任意の場所にタグを動かすことを要求するTTTへの応用は困難である。

物体にマーカを貼付し、カメラで撮った画像から物体の動きを計測する手法[5][6]もある。この手法はマーカとカメラの間に障害物があると計測ができないため、TTTのように手で測定対象物を覆ったりするシステムに応用することは本質的に難しい。

光センサを内蔵した測定対象物に対して、プロジェクタなどの画像提示装置から、輝度が時間的にあるいは空間的に変化するパターン(マーカパターン)を照射し、光センサの出力に基づいて計測対象物の位置・姿勢の計測を行う手法についてもさまざまな研究がなされている[7][8]。これらの手法では、超音波レシーバやカメラなど、ディスプレイと計測対象物以外の装置を不要としているため、システム構成が簡潔にすむ利点があるが、センサ出力に室内照明などの外光が影響しないように処置する必要がある。TTTの場合、画像提示装置であるLCDと計測対象物であるタグの底面が接する局面が多いため、これらの手法をTTTに応用することが可能であると考えられる。

3 提案する計測手法

本稿では、タグに内蔵した光センサと加速度センサを相補的に用いて、タグの位置・姿勢を計測する手法を提案する。

前節で言及した手法[8]をTTTに応用すると、光センサを用いてLCD面上にあるタグの絶対位置・姿勢を比較的高精度に計測することができる(図3)。加速度センサでは、LCD面上に限定されずに位置・姿勢の相対変化を計測できるが、ドリフトなどのため計測精度に劣る。

本節では、光センサを用いた計測手法とその特徴、加速度センサの特徴を詳説した後、各センサの特徴を補い合うことで実現する、高精度で広範囲にわたるタグの位置・姿勢の計測手法について述べる。

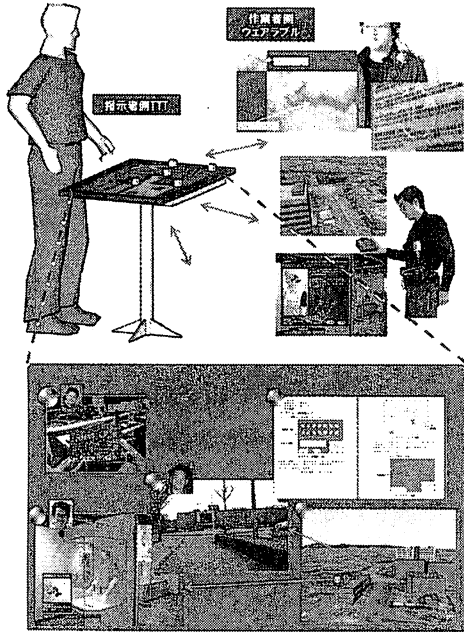


図3 提案手法をもちいた TTT(上段: TTT 全景、下段: TTT の GUI 部分)

3.1 光センサによる計測手法

画像提示装置を用いて、幾何学的に配置された複数の光センサ(光センサ群)に向けて、マーカパタンを投影する。この状態で光センサ群を移動させると、光センサ群を構成する各光センサの出力がマーカパタンの輝度の空間変化に対応して変化する。

光センサ群の移動とマーカパタン輝度の空間変化が線形写像の関係にあれば、フォトトランジスタのような光センサでは、計測する輝度と出力との関係が一意であることから、単純な四則演算を用いて光センサ群の出力から光センサ群の位置・姿勢を計測することができる。この計測を連続して行うことで、マーカパタンを用いて光センサ群の動きを計測することができる。

3.1.1 従来手法

光センサ群の平行移動量とマーカパタンの輝度の空間変化が線形に対応するように、両者の構成を対応付ける必要がある。

従来手法[8]では、図4に示すような5つの光センサで構成された光センサ群と、マーカパタンを用いて位置・姿勢の計測を行っている。5つの光センサ $p_1 \sim p_5$ は一定間隔 d で十字型に配置されている。マーカパタンは、中心以外の領域は x 軸あるいは y 軸

方向に輝度が線形に変化している。

図4左に示すとおり、マーカパタンの半径を $1.5d$ とする。この場合、光センサは平行移動だけなら直径 d の円内を、回転だけなら最大 45° 動くことができる。これ以上動くと、センサがマーカパタン外にはみだすので、計測が不可能となる。

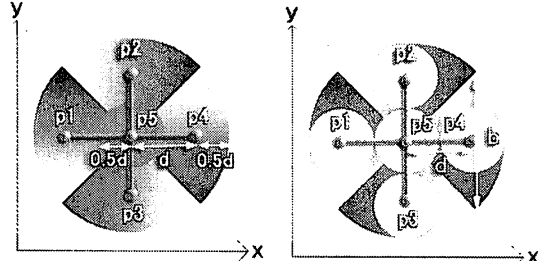


図4 左: 従来研究での光センサ群とマーカパタン 右: 光センサが平行移動できる範囲(白円内)

平行移動の計測

光センサ群がマーカパタン上を、図4左に示した位置から平行移動した場合、以下の計算により光センサ群の出力から平行移動量が算出される。

ここではまず、 y 軸方向の変化に着目する。光センサ群の平行移動量は ty とする。 p_1, p_4 の輝度は ty に比例して変化するため、その出力 l_1, l_4 には ty に応じた変化が現れる。この出力変化量を l_y とする。同様に、 p_2, p_3 の出力は、 x 軸方向の平行移動量 tx に応じて l_x だけ変化する。外乱光に起因した輝度の変化による各光センサ出力の変化量を l_m ($i=1, \dots, 5$) とする。 $p_1 \sim p_5$ の出力 $l_1 \sim l_5$ は以下のように表される。

$$\begin{aligned} l_1 &= -l_y + 0.5 + l_{m1}, & l_2 &= -l_x + 0.5 + l_{m2} \\ l_3 &= l_x + 0.5 + l_{m3}, & l_4 &= l_y + 0.5 + l_{m4} \\ l_5 &= 0.5 + l_{m5} \end{aligned}$$

$$(-0.5 \leq l_y \leq 0.5, -0.5 \leq l_x \leq 0.5)$$

ここで、

$$l_x = \frac{l_3 - l_2}{2} - (l_{m3} - l_{m2}), \quad l_y = \frac{l_4 - l_1}{2} - (l_{m4} - l_{m1})$$

となる。外乱光による輝度の変化が一様ならば $l_{m3} - l_{m2} \cong 0$ 、 $l_{m4} - l_{m1} \cong 0$ なので、

$$l_x = \frac{l_3 - l_2}{2}, \quad l_y = \frac{l_4 - l_1}{2}$$

として、平行移動による出力の変化分をとりだすことができる。

光センサ間の距離を d とすると図4右に示したとおり、マーカパタン各領域の輝度は $b = \frac{3}{\sqrt{2}}d$ にわたって変化するため、

$$tx = l_x \cdot \frac{3}{\sqrt{2}} d, \quad ty = l_y \cdot \frac{3}{\sqrt{2}} d$$

として、光センサの出力から tx, ty を求めることができる。

回転の計測

光センサ群が図 4 の状態から $\theta(\text{rad})$ 回転すると、各センサの出力は $rot = (d \cdot \sin \theta)$ 平行移動したときと同じ量だけ変化する。このとき各センサの出力 $l_1 \sim l_5$ は次の式で表される。

$$l_1 = l_{rot} + 0.5 + l_{n1}, \quad l_2 = l_{rot} + 0.5 + l_{n2}$$

$$l_3 = l_{rot} + 0.5 + l_{n3}, \quad l_4 = l_{rot} + 0.5 + l_{n4}$$

$$l_5 = 0.5 + l_{n5}$$

$$(-0.33 \dots \leq l_{rot} \leq 0.33 \dots)$$

外乱が一様であるならば、各センサの出力から

$$l_{rot} = \frac{l_1 + l_2 + l_3 + l_4 - l_5}{4}$$

として、回転による出力変化を取り出すことができる。平行移動の計測と同様に考えると、

$$rot = d \sin \theta = l_{rot} \cdot \frac{3}{\sqrt{2}} d$$

$$\theta = \sin^{-1} \left(\frac{3}{\sqrt{2}} l_{rot} \right) \quad (\text{rad})$$

となり、光センサ群の回転量が求められる。

平行移動と回転の独立計測

図 5 のように平行移動と回転が同時に起きた場合は、次の計算で平行移動量と回転量を独立してもとめることができる。

各光センサの出力は次のように表される。

$$l_1 = -l_y + l_{rot} + 0.5 + l_{n1}, \quad l_2 = -l_x + l_{rot} + 0.5 + l_{n2}$$

$$l_3 = l_x + l_{rot} + 0.5 + l_{n3}, \quad l_4 = l_y + l_{rot} + 0.5 + l_{n4}$$

$$l_5 = 0.5 + l_{n5}$$

このとき外乱が一様であるならば、

$$l_x = \frac{l_3 - l_2}{2}, \quad l_y = \frac{l_4 - l_1}{2}, \quad l_{rot} = \frac{l_1 + l_2 + l_3 + l_4 - l_5}{4}$$

$$tx = \frac{3}{\sqrt{2}} d \cdot l_x, \quad ty = \frac{3}{\sqrt{2}} d \cdot l_y$$

$$\theta = \sin^{-1} \left(\frac{3}{\sqrt{2}} l_{rot} \right) \quad (\text{rad})$$

としてマーカパターン上にある光センサ群の平行移動量、回転量を独立に求めることができる。

3.1.2 提案する光センサ群とマーカパターン

従来手法では、5つの光センサを用いて tx, ty, θ 、外乱 n の4変数を計算しており、冗長性がある。そこで、使用する光センサを減らして同等の計測が行え

る光センサ群とマーカパタンの組み合わせを考案した。そのうち2例を図6に示す。これらの場合、図7に示すとおり、マーカパタンの面積を65%に、光センサを組み込んだダグの底面積を50%にすることができる。

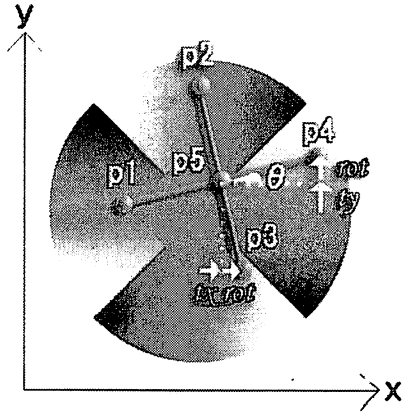


図5 平行移動と回転の独立性

図6左に示す光センサ群とマーカパターンでは、 P_3 の計測結果が位置・姿勢の計測誤差に大きな影響を与えるが、図6右のマーカパターン[9]を用いることで、より安定性の高い計測が行える。筆者らは従来研究[8]を参考に光センサ群とマーカパタンの改良を重ね、図6右に示すマーカパターンを考案した。一方、応用は異なるものの、ほぼ同時期に同一のマーカパターンが文献[10]でも提案されている。

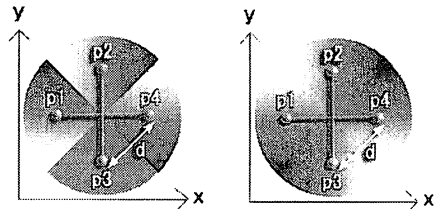


図6 4つの光センサで計測ができる例

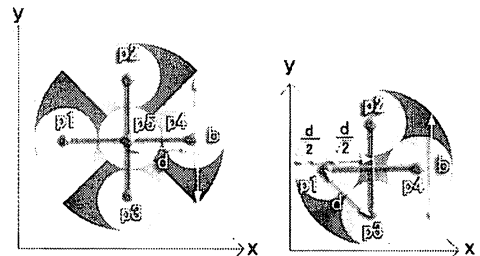


図7 同等の計測範囲をもつ従来パターン(左)と改良を加えたパターン(右)

図 6 右のマーカパターンでは、以下の計算により光センサの動きを計測する。

各センサの出力は以下ようになる

$$l_1 = l_{iy} - l_{rot} + 0.5 + l_{n1}, \quad l_2 = -l_{ix} + l_{rot} + 0.5 + l_{n2}$$

$$l_3 = l_{ix} + l_{rot} + 0.5 + l_{n3}, \quad l_4 = -l_{iy} - l_{rot} + 0.5 + l_{n4}$$

ここで外乱が一様であれば、

$$l_{ix} = \frac{l_3 - l_2}{2}, \quad l_{iy} = \frac{l_1 - l_4}{2}, \quad l_{rot} = \frac{-l_1 + l_2 + l_3 - l_4}{4}$$

として出力変化分が算出される。 $rot = \frac{\sqrt{2}}{2} d \sin \theta$ 、

$b = \frac{2 + \sqrt{2}}{2} d$ より、以下のように平行移動量と回転量を求めることができる。

$$tx = \frac{2 + \sqrt{2}}{2} d \cdot l_{ix}, \quad ty = \frac{2 + \sqrt{2}}{2} d \cdot l_{iy}$$

$$\theta = \sin^{-1}\{(1 + \sqrt{2})l_{rot}\} \text{ (rad)}$$

3.1.3 平行移動に特化した矩形パターン

今までに述べた円形マーカパターンは、光センサ群が平行移動できる範囲が比較的狭い。そこで本研究では高速平行移動を許容するマーカパターンを、円形パターンと組み合わせることで、その問題を解消する。

図 8 の矩形マーカパターンを、輝度が増える方向に伸縮させることで、計測精度を犠牲にしてその方向の計測範囲を広げることができる。ただし、それに直行する方向の移動量を計測することができないので、位置計測のためには、マーカパタンの向きと光センサ群の移動方向とを一致させる必要がある。光センサ群の移動方向は加速度センサや、矩形パターンによる計測開始時の移動方向から予測する。矩形マーカパターンは、輝度の変化領域が広いことや、LCD の輝度のむらや外乱による出力変化を除去することが難しいことから、同等サイズの円形マーカパターンに対して計測精度に劣る。

矩形マーカパタンの場合は以下のように平行移動量 t を算出することができる。

$$l_i = \frac{l_1 + l_2 + l_3 + l_4}{4} - \frac{(l_{n1} + l_{n2} + l_{n3} + l_{n4})}{4}$$

矩形マーカパタンの幅 w を用いて

$$t = w \cdot (l_i - 0.5)$$

また、図 9 のように時系列矩形マーカパターンを用いて、マーカパタンの位置とサイズ、グラデーションの向きを変えながら探索範囲を絞っていくことで光センサ群の広域探索を行うことができる。

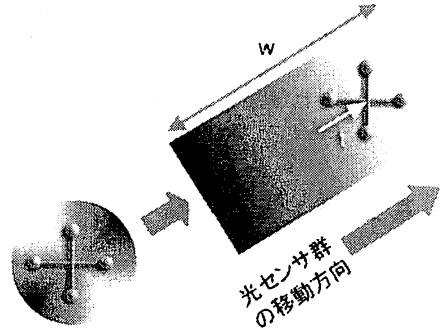


図 8 矩形マーカパターンによる高速平行移動への対応

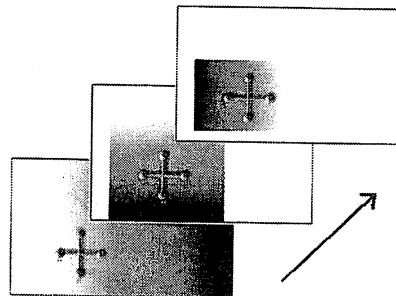


図 9 広域探索や初期位置探索に用いられる時系列矩形マーカパターン

3.2 加速度センサと光センサを用いたハイブリッド計測

3 軸の加速度センサにより得られる加速度の 2 重積分により、3 次元位置の相対変化を求めることができる。ただし、誤差が蓄積するため、特に低速で長時間の移動を計測する場合で高い精度が得られない。

各々のセンサを単独で用いた場合の測定手法の特徴から、両センサを併用することで、図 10 に示すようなタグの典型的な動作を比較的正確に広範囲にわたり計測できると考えられる。

タグの動きに応じた複数の計測モードを用意し、計測モードに合わせてマーカパターンを選択する。モードの遷移やマーカパタンの位置・姿勢・サイズ等は光センサ及び加速度センサを用いて予測する。

タグが LCD 上で中・低速で動いていると判断された場合は中・低速移動モードで計測を行う。このモードでは、円形マーカパターンを用いて高精度な位置・姿勢計測を行う。通常はこの中・低速計測モードで計測を行うが、タグが比較的高速で移動していると判断された場合は、高速移動モードに遷移する。このモードではセンサからの予測値を元に位置・姿勢・サイズを

決定した矩形マーカを用いて、広範囲の位置計測を行う。また、タグが3次元的に移動した後に再びLCD上に接地した場合や初期位置探索をする場合、タグがマーカから外れた場合には広域探索モードで計測を行う。このモードでは時系列矩形マーカパターンを用いる。

4 基礎実験

光センサと加速度センサを相補的に用いた計測手法を実現するため、光センサと加速度センサ、それぞれの性能や特性を調べることを目的とした基礎実験を実施した。

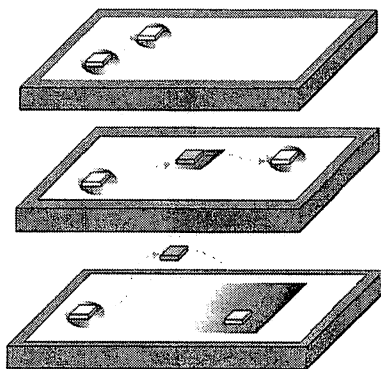


図10 タグの典型的な動作(上段：低速移動、中段：高速移動、下段：3次元移動)

4.1 光センサに関する実験

4.1.1 プロトタイプシステム

実験に使用した機器とその構成を図11左に示す。

LCDはTTTで使用していたものと同じ三菱電機エンジニアリング株式会社製TSD-T40-CUを使用した。有効表示面積は約 $871 \times 523 \text{mm}$ 、表示画素数は 1280×768 である。

光センサ群はフォトトランジスタ(シャープ製PT510)とプラスチックブロックを用いて作成した。PT510は半値角が 6° と非常に指向性が強い。プラスチックブロックに外乱光を遮断するための処理を施し、光センサをプラスチックブロックに固定した。

光センサの出力は、周辺回路でA/D変換した後RS232C経由でPCに送られ、光センサ群の位置・姿勢の計算に用いられた。また、マーカパターンなどのLCD上の画像は、同じPC上でAdobe Flashにより実装された。

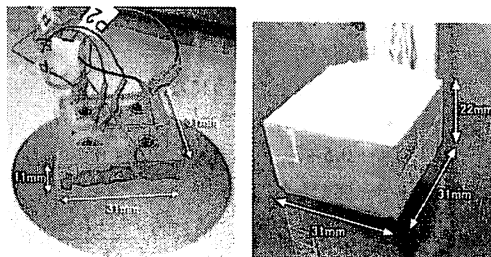


図11 左：光センサを組み込んだタグ 右：加速度センサを組み込んだタグ

4.1.2 実験結果

このプロトタイプシステムを用いて、以下の4項目に関する実験を実施した。

- 外乱光の影響
- 機器の静特性
- マーカパターン-光センサ群出力の静特性
- マーカパターン-光センサ群出力の動特性

a. 外乱光の影響

机上とLCD上に光センサ群を下向きに置き、室内照明を点灯/消灯したところ、LCD上に置いて照明を点灯したときに限り光センサの出力が微増した。このことから、微量の光がLCD及びタッチパネル面を通して、光センサ群の底面に入射していると考えられる。しかし、出力変化は微小で、変化の各光センサ間で一樣なため、計測に与える影響は少ないと考えられる。

また、LCDの輝度には場所によってむらが発生し、最大で30%程度の変化が見られた(図12)。矩形マーカパターンは計測結果から外乱による変化成分を除去することができないため、この輝度むらが計測結果に悪影響を与えると考えられる。ただし、本手法では、時系列的に計測精度が反復改良されていくため、計測結果の誤差はあまり大きな問題とはならない。

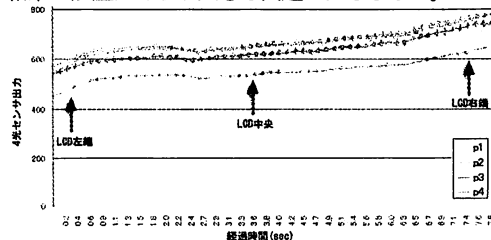


図12 光センサ群を、一樣な輝度(127.127.127)を表示したLCDの左端から右端まで移動させたときの出力変化

b. 機器の静特性

LCDの輝度と光センサの出力は一意に対応する

ものの、4つの光センサの出力にはばらつきがみられた。しかしながら、図13に示すように各光センサ出力に対しガンマ補正を行うことで、センサ間のばらつきを考慮せずに、位置・姿勢計測を行えることが確認された。

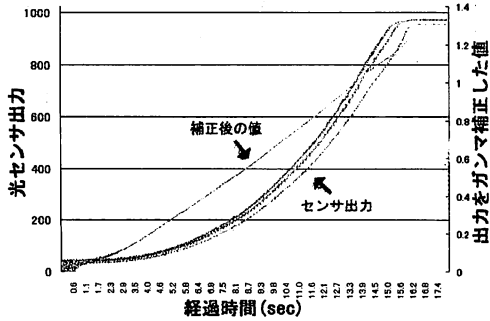


図13 LCDの輝度を徐々に上げた場合の4光センサの出力及び各出力をガンマ補正した値の変化

c. マーカパターン-光センサ群出力の静特性

LCDに表示した円形マーカパターン、矩形マーカパターンを移動させた際の位置・姿勢と、LCD上に固定したタグに組み込まれた各光センサの出力の対応を観測した。

実験結果からは、LCDの画素が疎であることから、マーカパタンのグラデーションを十分に再現できていない点や、実装上、光センサの指向性が十分ではなく、想定より広範囲の輝度を観測している点に起因する誤差がみられた。ただし、外乱光の影響同様、計測精度が反復改良されていくので、この誤差はあまり大きな問題とはならない。円形マーカパターンにおける位置計測誤差は0.04mm程度、姿勢計測誤差は0.007deg程度であった。

また、マーカの外周から幅約5mmの領域では、マーカパターン外の光により、光センサの出力に影響がみられる場合があった。この影響を排除するためには、マーカパターンを外側に延長することが有効であると分かった。

d. マーカパターン-光センサ群出力の動特性

円形マーカパターン・矩形マーカパターンはともに十分な速度で光センサ群に追従できた。広域探索においても、精度は良好であった。

これらを組み合わせて、図14~16に示すようにLCD面上での光センサ群の動きに追従することができた。

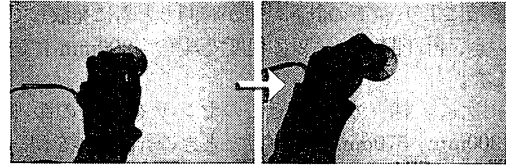


図14 中・低速移動モードでのタグの位置・姿勢計測

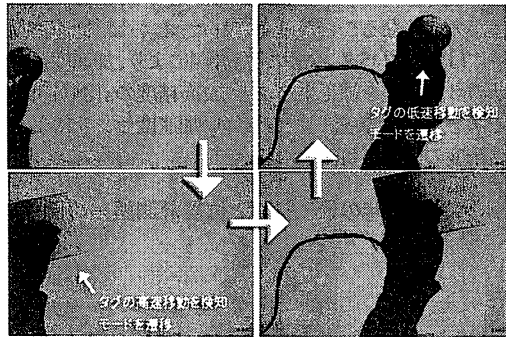


図15 中・低速モードから高速移動モードへのモード遷移によるタグの位置計測

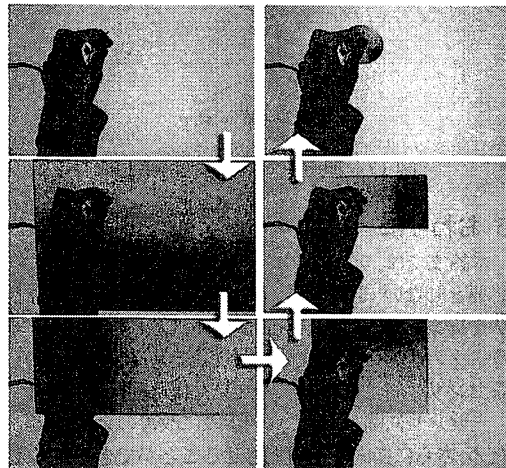


図16 時系列矩形マーカを用いた広域探索

4.2 加速度センサに関する実験

4.2.1 機器の構成

加速度センサとして、本実験では、スター精密製ACA302を用いた(図11右)。ACA302は±2Gまでの3軸加速度を線形に出力する。この出力を周辺回路経由でPCに送り、2重積分により移動量を計測した。

4.2.2 実験結果

まず、ACA302の静特性を観測した。計測誤差の

蓄積により、位置の計測結果が時間とともに発散していき、計測開始から 2 秒程度で誤差が 200mm に達した。

次に、様々な速度でこのセンサを一定の距離(300mm、570mm)移動させたときの計測誤差を観察した。その結果、図 17 にみられるように、ある程度(最高速度 0.5m/s)より緩やかな移動では、位置計測誤差が大きくなることが確認された。しかし、低速移動時にはマーカパターンを用いた計測により、加速度センサの計測誤差を補正することで、高精度の計測が可能である。移動が高速になるに従い加速度センサによる高精度の計測が可能となる。

水平軸移動時の最高速度と位置計測誤差の関係

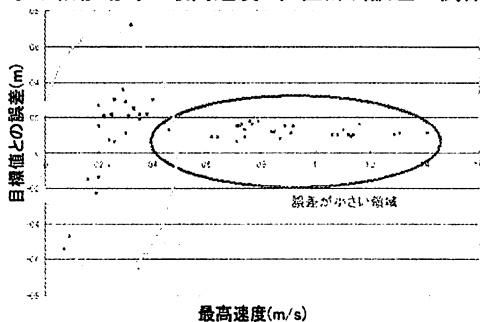


図 17 加速度センサの適用範囲

5 おわりに

本論文では、ディスプレイとタグ以外に計測装置を必要としない、TTTのためのタグの位置・姿勢計測手法を提案した。従来研究[8]を改良し、マーカパターンやタグの小型化を実現した。さらに、基礎実験により、各センサの特性についての知見を得た。

光センサに関しては、実装手段に改善の余地があるため、さらに指向性を向上させることができると考えられる。

加速度センサに関しては、特に 3 次元的に動かした際の挙動について実験を重ねる必要がある。また、加速度センサで計測できる姿勢は傾斜だけであり、ディスプレイ面に直交する軸周りの回転は計測できない。そのため、ジャイロセンサの併用も検討したい。

各センサを用いて実験を重ねた後に、ハイブリッド計測に関して、タグに実装し、実験を行う必要がある。

本実験では光センサや加速度センサのデータは有線で PC に転送したが、TTT で使用することを想定すると、通信の無線化は必須である。複数タグを用いた際のチャンネル数やデータ量などを考慮した実装も今後の課題である。

参考文献

- [1] T. Kurata, T. Oyabu, N. Sakata, M. Kourogi, H. Kuzuoka, Tangible Tabletop Interface for an Expert to Collaborate with Remote Field Workers, In Proc. CollabTech, pp.58-63, 2005
- [2] 蔵田武志, 酒田信親, 葛岡英明, 興梠正克, 大隈隆史, 西村拓一, “遠隔協同作業のためのウェアラブル・タンジブルインタフェース”, SICE 第 69 回パターン計測部会研究会, pp.11-18, 2006
- [3] H. Ishii and B. Ullmer. Tangible Bits: Towards seamless interfaces between people, bits and atoms. In Proc. ACM CHI'97, pp.234-241, 1997
- [4] J. Rekimoto, B. Ullmer, and H. Oba. DataFiles: A modular platform for mixed physical and graphical interactions. In Proc. ACM CHI2001, pp. 269-276, 2001.
- [5] J. Rekimoto, "Matrix: A Realtime Object Identification and Registration Method for Augmented Reality", In Proc. APCHI'98, pp. 63-68, 1998
- [6] H. Kato and M. Billinghurst. Marker tracking and HMD calibration for a video-based augmented reality conferencing system. In Proc. IWAR99, pp.85-94, 1999.
- [7] Ramesh Raskar, Paul Beardsley, Jeroen van Baar, Yao Wang, Paul Dietz, Johnny Lee, Darren Leigh, Thomas Willwacher, RFIG Lamps: Interacting With a Self-Describing World via Photosensing Wireless Tags and Projectors, Trans.Graph., vol.23 No.3, pp.406-415, 2004
- [8] 杉本麻樹, 小島稔, 中村享大, 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・姿勢制御”, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌 vol.10 No.4, pp.485-493, 2005
- [9] 川本海, “光センサと加速度計を用いたタグの位置・姿勢計測に基づくタンジブルテーブルトップインタフェース”, 筑波大学工学システム学類卒業論文, 2006
- [10] 児玉和樹, “画像提示装置を用いたポインティングデバイスの開発”, 電気通信大学電気通信学部卒業論文, 2006