

光センサと慣性センサを組み合わせた遠隔作業指示のための タンジブルテーブルトップインタフェース

君島 翔^{†‡} 興梠 正克[‡] 石川智也[‡] 葛岡英明[†] 蔵田 武志[‡]

† 筑波大学大学院 システム情報工学研究科 〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1

‡ 産業技術総合研究所 〒305-8568 茨城県つくば市梅園 1-1-1

E-mail: † s0920851@u.tsukuba.ac.jp, ‡ t.kurata@aist.go.jp

あらまし 本論文は光センサと慣性センサによる計測を行う第2世代TTTの技術的課題の解決法やインタラクション技法の拡張について述べる。超音波による3次元計測を行う第1世代TTTでは、「タグ」と呼ばれる実物体を用いた多くのタグジェスチャが提案されていた。まず、私達はタグに内蔵されていた加速度、ジャイロセンサの特性を調査し、計測手法の違いを考慮して第1世代TTTで提案されていたタグジェスチャを第2世代TTTに実装した。次に、タグの絶対角計測のための新しいマーカパターンを提案する。この新しいマーカパターンは中心部に穴を開けたことで、画面中におけるマーカパターの占有面積を下げ、ユーザは心理的に平行移動が起こらないようにタグをマーカパターの上に置くようになる。タグの平行移動、回転が起こる場合に新しいマーカパターンを用いた算出される方位角をシミュレーションし、タグの平行・回転移動を同時に計測可能な円形マーカパターンに遷移可能な精度で方位角を算出できることを確かめた。加えて3Dマウスに似たインタラクション技法を提案する。

キーワード タンジブルインタフェース, テーブルトップディスプレイ, マーカ追跡, 協調作業支援

Tangible Tabletop Interface Using Photo Sensors and Inertial Sensors for Remote Collaborative Work

Shoh KIMISHIMA^{†‡} Masakatsu KOUROGI[‡] Tomoya ISHIKAWA[‡]

Hideaki KUZUOKA[†] and Takeshi KURATA[‡]

† University of Tsukuba Graduate School of Systems and Information engineering 1-1-1 Tennodai, Tsukuba-shi, Ibaraki, 305-8573 Japan

‡ Information Technology Research Institute AIST 1-1-1 Umezono, Tsukuba-shi, Ibaraki, 305-8568 Japan

E-mail: † s0920851@u.tsukuba.ac.jp, ‡ t.kurata@aist.go.jp

Abstract This paper describes solutions for technical problems and extensions of interaction techniques of Tangible Tabletop Interface (2nd TTT) using photo and inertial sensors as measuring devices. In the 1st TTT measuring 3D location using ultrasonic wave, many gestures using physical objects called “Tag” are proposed. First, we investigated characteristics of accelerators and gyro sensors embedded in the tag and applied gestures proposed in the 1st TTT system to the 2nd TTT by considering difference in characteristics of the measurement methods. Secondly, we proposed a new marker pattern for measuring the azimuth of a tag by photo sensors. This marker pattern which has a hole in the center can decrease occupied area of a marker pattern on the display and the psychological translation range of the tag can be held down. We simulated the azimuth calculation with the new marker pattern while the transition is mixed with the azimuth rotation, and found the measurement accuracy of the azimuth angle of the tag at the same time. In addition, we proposed a 3D-mouse-like interaction technique.

Keyword Tangible Interface, Tabletop Display, Marker Tracking, Collaborative Work

1. はじめに

多くの実際的な状況に置いて、総合的な知識を持ち合わせた少数の専門家や技術的熟練者が多数の現場作業者に対応しなければならない場面が多く見られる。

そうした遠隔協調作業では、少数の指示者が複数作業者の行動や状況を把握しながら、迅速で適切な指示を出さねばならない。そのため指示者の認知的作業負荷が増大し、状況把握や対話に集中できなくなってしまう。

う。そうした指示者の負担を軽減するためにポスト WIMP 型インタフェースとしてタンジブルユーザインタフェース[1]の考えを応用し、筆者らは第 1, 2 世代タンジブルテーブルトップインタフェース(TTT)[2][3](図 1,2)を開発してきた。

TTT はテーブルトップディスプレイとしてタッチパネル付き大型 LCD, その上に置かれるタグから構成される。タグは作業タグとクリップボード、マニュアルなどのツールタグとに分類される。また各タグは、作業者と会話をするためのウィンドウやマニュアルを閲覧するためのウィンドウなどの GUI オブジェクトと対応付けられている。

本論文では、光センサと慣性センサによる計測を行う第 2 世代 TTT のインタラクション技法の拡張について述べる。まずタグに内蔵された加速度センサ、ジャイロセンサの特性について述べ、第 1 世代 TTT で提案されたタグジェスチャを計測手法の違いを考慮することでどのように第 2 世代 TTT に適用したかを説明する。次に光センサによるタグの絶対角計測のための新しいマーカパターンを提案する。加えてタグを用いた 3D マウスに似たインタラクション技法の提案も行う。

2. 関連研究

2.1. 第 1 世代 TTT

第 1 世代 TTT[1](図 1)は、タグ上部に組み込まれた超音波トランスミッタからディスプレイ上方に設置された複数の超音波レシーバに向けて超音波が発せられる。各レシーバで受信する超音波の飛行時間の差からタグの 3 次元位置の計測を行う。この手法の計測精度は高いが、超音波レシーバをディスプレイの上方に設置しなくてはならないため、設備の簡略化が困難であった。またタグとレシーバの間をユーザの手が遮断すると計測が困難となるという問題もある。



図 1: 第 1 世代 TTT を用いた遠隔協調作業

2.2. 第 2 世代 TTT

第 2 世代 TTT[3](図 2)はタグ(図 3)に内蔵された光センサと加速度センサを相補的に用いることによって、その位置・回転を計測している。第 2 世代 TTT には、タグの典型的な動作を扱うための 4 つのモード、低速移動、高速移動、広域探索、静止モードがある。

低速移動モードはディスプレイに円形マーカパターンを表示し、それを計測した光センサの出力からタグの位置と方位を同時に高精度に計測する。高速移動モードでは矩形マーカパターンを表示して広範囲な位置計測を行う。その矩形マーカパタンの位置、方位角、大きさは直前の状態と加速度センサの出力を基にしている。またタグを持ち上げて、ディスプレイ上方で動かす場合には広域探索モードに切り替わり、およそ 3 次元位置を加速度の 2 重積分で算出する。タグがディスプレイに接地した後は、およその予測位置に比較的大きな矩形マーカパターンを表示する。その後マーカパターンを縮小、回転させてタグの位置と方位角を絞り込んでいく。タグを静止させている時は静止モードに切り替わり、面積の小さな隠匿マーカパターンを表示する。



図 2: 第 2 世代 TTT における作業の様子

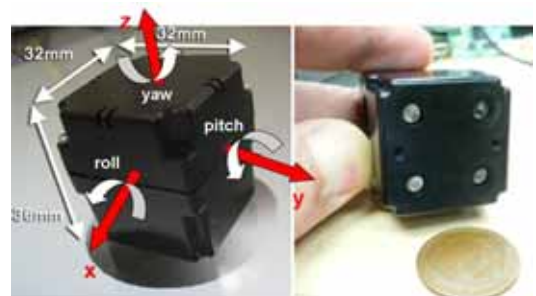


図 3: 第 2 世代 TTT の無線タグと座標設定

3. タグジェスチャ

タグには 4 個の光センサ(PT510: SHARP corporation), 3 軸加速度センサ(LIS3LV02DQ: STMicroelectronics), 3 個のジャイロセンサ(XV-3500CB: EPSON TOYOCOM)が内蔵されている。これらのセンサを組み合わせるこ

とによって第1世代 TTT で提案したタグジェスチャを第2世代 TTT に適用した。

3.1. 慣性センサの特性

まず、タグを置く、持ち上げるといった動作を検出するために慣性センサの性能を評価した。本論文での座標は図3のように、垂直方向をz軸として設定し、x, y, z軸回りの回転方向をそれぞれ roll, pitch, yaw とした。

LIS3LV02DQ の検出範囲は $\pm 2[G]$ である。静止状態であっても LIS3LV02DQ の出力の分散は3軸全てについて大きい。一方、タグを左右どちらの手で持ち上げたとしても z 軸方向に非常に大きな変化が現れる(図4)ことから、タグの持ち上げ動作には z 軸方向の加速度に着目する。

XV-3500CB の計測範囲は $\pm 100[deg/sec]$ である。LIS3LV02DQ と異なり、XV-3500CB の静止状態での出力の分散は 1LSB つまり $1[deg/sec]$ も変化することがほとんどない。またタグを水平面に置いた場合、x, y 軸回りの回転が物理的に制限されることから、x, y 軸回りの角速度が一定となる場合はタグを置いた状態と検出する。

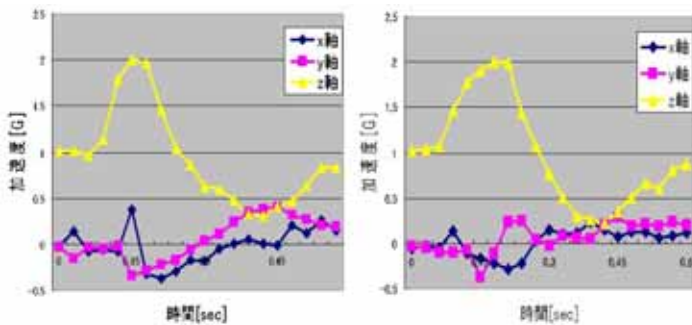


図 4： 左右の手による持ち上げ時の加速度変化

3.2. 第2世代 TTT のタグジェスチャ

タグジェスチャは、第1世代 TTT で提案されたタグの動作とタッチスクリーンを組み合わせたインタラクション技法である。計測手法の違いを考慮して光センサと慣性センサを組み合わせ、第2世代 TTT にタグジェスチャを実装した。この節では、どのようなタグジェスチャをどのように実装したかについて述べる。

3.2.1. Steady2Attach/Detach

Steady2Attach/Detach(図5)はウィンドウとタグの対応付け、解除を行うための操作である。これらはタグジェスチャとタッチスクリーンの組み合わせの一例である。紙を壁にピンで貼り付け、取り外すようにタグとウィンドウの対応付けと解除を行う。Steady2Attach

では、まずウィンドウをタッチするとマーカパタンがウィンドウの左上に表示される。その後マーカパタン上にタグを置き、対応付けが完了する。Steady2Detachも同様に、まずウィンドウをタッチする。これにより後述の Pick2Focus と区別を図っている。その後タグを持ち上げることで対応付けの解除を行い、対応付けられていたマーカパタンも消える。

3.2.2. Pick2Focus

Pick2Focus(図6)は文字通り、タグに対応付けられたウィンドウを持ち上げフォーカスを与える。

3.2.3. Copy-n-Paste

Copy(図7)はディスプレイ上でタグを水平に動かし、作業者、マニュアルタグのような他のタグに近づくことによって認識される。

Paste(図8)は一度クリップボードタグを持ち上げて、他のタグの近くに運んでおくという動作によって認識される。Paste ジェスチャはスタンプメタファを基に設計している。まずクリップボードタグを持ち上げた時に、ペースト対象となりうるウィンドウにマーカパタンを表示する。これらのマーカパタンの全体の輝度は周期的に変化しており、その周期は各マーカパタンで異なる。その周期を光センサで計測することで、どのペースト対象のマーカパタン上にクリップボードタグを置いたかを識別する。

Paste は遠隔地の作業者に指示を送るためのジェスチャであるので、誤った送信は作業者を混乱させてしまう。そのような誤送信をなくすために、Paste は Copy よりも複雑な操作としている。

3.2.4. Sequential Copy-n-Paste

Sequential Copy-n-Paste(図9,10)は次々に Copy/Paste を行うことで実現される。これらは同時に複数作業場所の映像を保存する、複数作業者に指示を送るような場合に有効である。

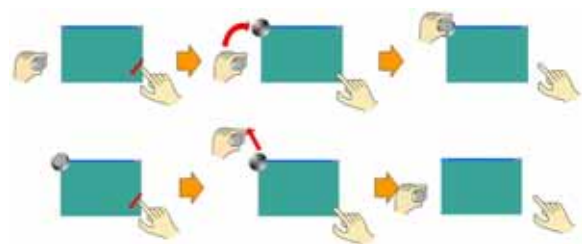


図 5： Steady2Attach/Detach



図 6: Pick2Focus



図 7: Copy



図 8: Paste

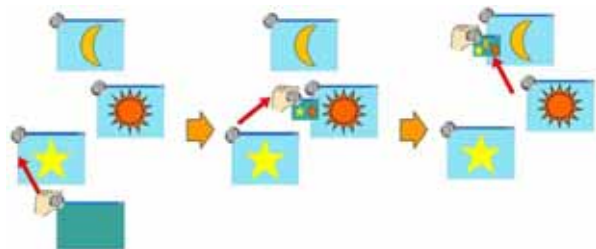


図 9: Sequential Copy

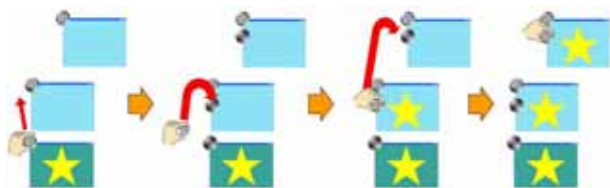


図 10: Sequential Paste

4. タグの方位角計測モード

4.1. 円形マーカパタンの対称性

図 11 の円形マーカパターンは低速移動モードで用いられる。このマーカパターンは同時に位置・回転の計測が可能であるという特徴を持つ。しかし、その一方でこのマーカパターンは点対称である。つまり、 $180[\text{deg}]$ 回転させると区別ができなくなるという問題がある。こうした角度の取り違えが起きるとタグの平行移動を本来と反対方向に計算してしまい、タグとマーカパタンのトラッキングに失敗してしまう。この取り違えは起動時の初期探索やマーカパターンの上にタグを置くなどのタグジェスチャの後に起こりうる。この節では光

センサによってタグの絶対方位角を算出するための 360° マーカパターンを提案する。

4.2. 絶対角計測のためのマーカパターン

小島ら [4] は絶対方位角計測用のマーカパターン(図 12)を提案した。このマーカパターンは線対称で、中心角に伴って輝度に変化している。提案された手法では 5 つの光センサを用いているが、座標設定の仕方から中心部の光センサの出力は方位角の算出に影響を与えないことが分かる。そのため 4 つの光センサによる計測を行う TTT にも適用可能である。ただし、このマーカパターンを用いた方位角の算出方法は、マーカパタンの中心と複数光センサの重心が一致した場合を想定しているが、TTT の場合はその想定は成り立たない。そこで 4 つの光センサ全てがマーカパターンに含まれる範囲で平行移動させ、算出される方位角と正しい方位角との差を調査した(図 13)。光センサの配置も考慮して、方位角を変化させつつ記録した。その結果、方位角の算出誤差は最大で $\pm 60[\text{deg}]$ となった。円形マーカパタンの測定限界は $\pm 45[\text{deg}]$ のため、図 12 のマーカパターンから図 11 の円形のマーカパターンへの遷移は失敗することがある。

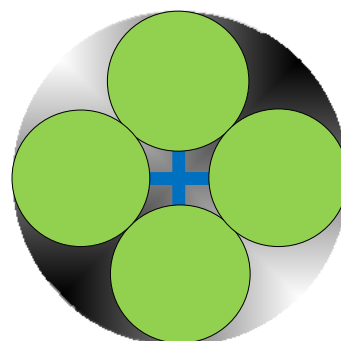


図 11: 位置と方位を同時に計測できる円形マーカパタンの計測可能範囲

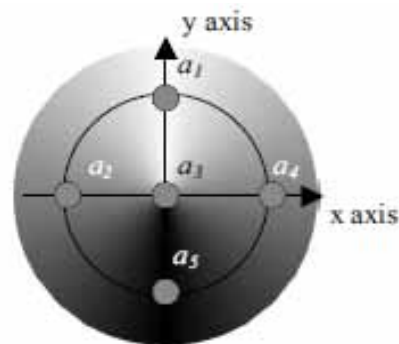


図 12: 絶対角計測用マーカパターン

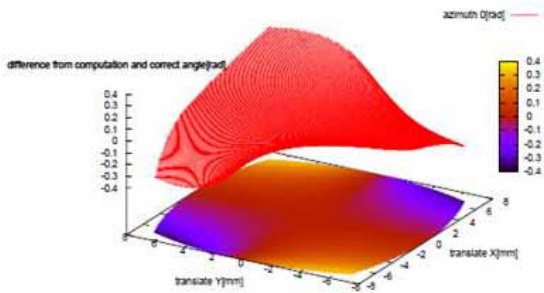


図 13: 図 12 のマーカパターンにおける方位角と計算値との誤差(方位角 0[deg])

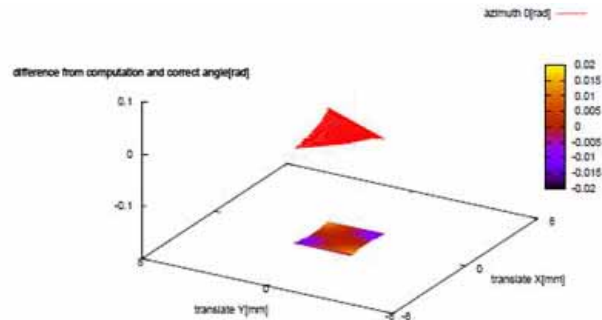


図 15: 360° マーカパターンにおける方位角と計算値との誤差(方位角 0[deg])

4.3. 360° マーカパターン

タグの方位角と算出角との差を図 11 の円形マーカパターンで測定可能な $\pm 45[\text{deg}]$ の範囲に留めるための 360° マーカパターン(図 14)を提案する。このマーカパターンは図 13 のマーカパターンを基にし、マーカパターンの半径の半分の長さを半径に持つ穴を中心部に開けた。穴の半径は光センサ間の距離を考慮しているので計測上問題はない。

穴を開けた利点は 2 点ある。1 点目はマーカパターンの画面中の占有面積を小さくすることで、マーカパターンに隠されていた他の GUI や背景の見通しを改善した点である。2 点目はタグの移動可能な範囲の制約をユーザに与える点である。

新しいマーカパターンについても同様に、平行移動が起こる場合の正しい方位角と算出角との差を調査した(図 15)。シミュレーションの結果、誤差は最大で $\pm 15[\text{deg}]$ となり、 $\pm 45[\text{deg}]$ の範囲内であることから、図 14 の 360° マーカパターンから図 11 の円形マーカパターンへの切り替えは正しく行われることが分かる。

5. 3D マウスのようなインタラクション技法

3 節で述べたタグジェスチャは、ウィンドウに対応付けられたタグを用いていたので、基本的にフォーカスなどのようなウィンドウ操作を伴って起こるものであ

った。この節では、先述とは異なるタイプのタグジェスチャとして 3D マウスに似たインタラクション技法を提案する。このタグジェスチャはウィンドウに対応付けられていないタグを用いて、SpaceNavigator[5]の操作体系と類似したインタラクション技法を採用している。現在このタグジェスチャの自由度は x, y 方向の平行移動、 z 軸周りの回転の 3 自由度である。SpaceNavigator はそれらに加えて z 軸方向の押し・引き、 x, y 軸周りの傾きの 3 自由度が加わる。今後 x, y 軸周りの傾きを慣性センサで計測することで SpaceNavigator とほぼ同じ自由度の操作が実現できる。

今回、遠隔作業者の作業場所の把握に利用可能な Google Earth の視点操作を行う 3D マウスモードを実装した(図 16)。このモードでは円形マーカパターンの外側に、その移動限界を表す円を表示する。このモードではマーカパターンは平行移動範囲が制限されているため、円の外側をマーカパターンが移動することはできない。 x, y 軸方向の地図のスクロールはこの円の中心とマーカパターンの中心との距離に応じて制御され、地図の z 軸回りの回転はタグの yaw 角によって制御される。地図上の移動量にはシグモイド関数を適用し、タグの物理的移動量とユーザの意図する視点移動量とが結びつくように設計した。

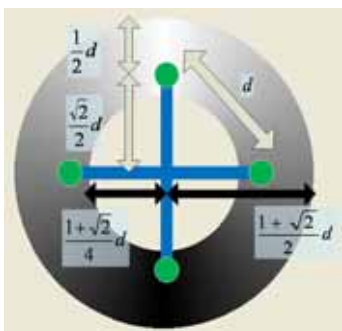


図 14: 360° マーカパターン

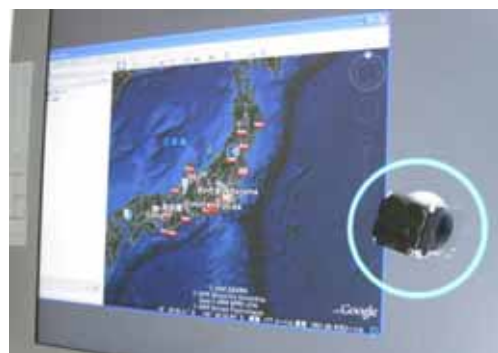


図 16: 3D マウスモードによる Google Earth 操作

文 献

- [1] H. Ishi and B. Ullmer, "Tangible Bits: Towards seamless interface between people, bits and atoms", In Proc. ACMCHI, pp. 234-241, 1997.
- [2] T. Kurata, T. Oyabu, N. Sakata, M. Kourogi, and H. Kuzuoka, "Tangible Tabletop Interface for an Expert to Collaborate with Remote Field Workers", In Proc. CollabTech, pp.58-63, 2005.
- [3] U. Kawamoto, T. Kurata, N. Sakata, T. Okuma, and H. Kuzuoka, "Position/Orientation-Aware Physical Tags Using Photo Sensors and Accelerometers for Tangible Tabletop Interface", In Proc. IEEE International Conference on Distributed Human-Machine Systems (DHMS), pp.397-404, 2008.
- [4] M. Kojima, M. Sugimoto, A. Nakamura, M. Tomita, H. Nii, and M. Inami, "Augmented Coliseum: An Augmented Game Environment with Small Vehicles", First IEEE International Workshop on Horizontal Interactive Human Computer Systems, pp. 3-8, 2006.
- [5] SpaceNavigator, 3Dconnexion Inc.

6. まとめ

本論文において,私達は第1世代 TTT のインタラクション技法を第2世代 TTT に適用した.そして,タグの絶対方位角を計測するため中心部に穴を開けた新しいマーカパターンを提案し,また 3D マウスのようなインタラクション技法を追加した.本論文で提案した新しいマーカパターンを利用した絶対角計測モードを加えた第2世代 TTT の5つの状態遷移図を図17に示す.これにより,2節で述べた4つの計測モードの遷移に加えて,タグを持ち上げてから置いた際に発生すると考えられるタグの方位角の取り違えを防ぐことができ,第2世代 TTT におけるマーカパターのトラッキング精度を上昇させた.これらの計測モードをベースとして実装した 3D マウスのようなインタラクション技法は移動範囲に制限を加えた円形マーカパターンを利用したインタラクションとなっている.この 3D マウスモードを実装したことで,第2世代 TTT が既存のシステムにも応用可能であることを示した.

今後,本論文で提案した新しいマーカパターのデザインやタグジェスチャが,伝統的な WIMP ベースの GUI や以前の TTT システムと比較して,どれだけ効果的でどのような差異が見られるのかを調査するために,ユーザスタディを行う予定である.

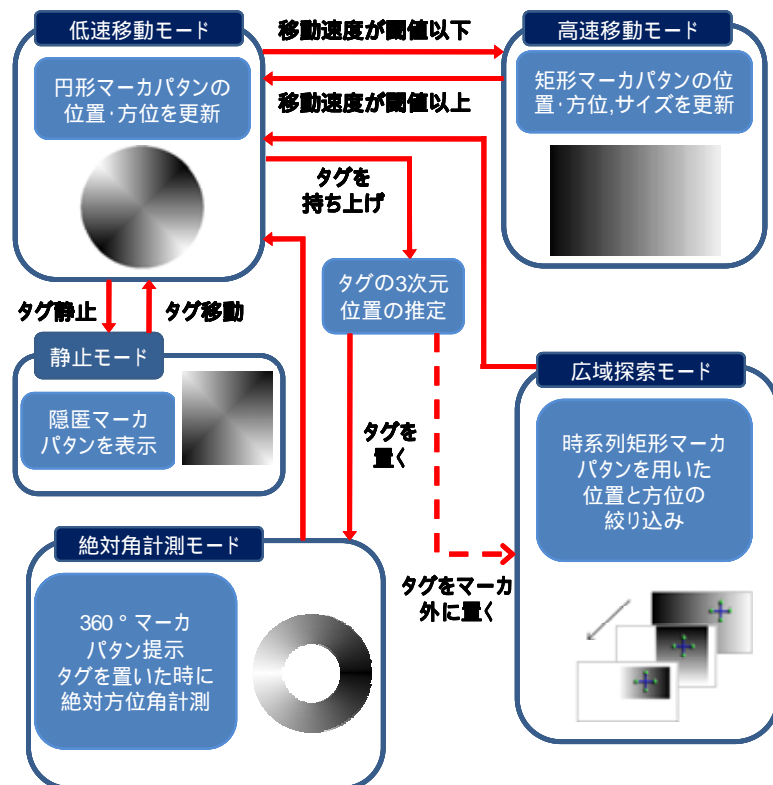


図 17: 第2世代 TTT の5つの状態遷移図