

モジュール型デバイスによる実世界への図形描画と空間計測

飯田 一樹[†]

池内 隼生^{††}

内山 俊朗^{‡‡}

鈴木 健嗣[†]

Modular device for geometrical drawing and spatial measurement in the real world

KAZUKI IIDA[†]

JUNKI IKEUCHI^{††}

TOSHIAKI UCHIYAMA^{‡‡}

KENJI SUZUKI[†]

1. はじめに

現在、実世界における情報提示や直感的な情報操作を目指し、仮想現実感やタンジブルインタフェース、及び実空間と仮想世界を重ね合わせる複合現実感¹⁾技術などの研究が広く行われている。このように、現実の空間内における人の動作に応じて情報空間の操作を行うためには、適切な情報提示と実時間での動作計測が必要不可欠である。情報提示については、プロジェクタや HMD などによる視覚刺激に加え、スピーカやハプティックデバイスなど聴覚・触覚提示が用いられる。一方動作計測には、カメラ計測に加え、レンジファインダ、フォースプレート、モーションキャプチャ等、環境にセンサデバイスを設置し、人が機器を装着することなく実世界での動作計測をする手法が多く用いられている。

このような背景のもと、簡便に動作計測と情報提示を実現するデバイスを利用して運動療法に応用するといった新しい試みが見られる。例えば、仮想現実感に応用した SONY Eyetoy を用いたリハビリテーションの臨床試験が行われており、良好な結果が報告されている²⁾。また、モジュール型のタイルを組み合わせることにより空間内に計測可能な空間を自由に生成し、これを用いて運動計測を行うデバイス³⁾が提案され、リハビリテーション効果において有効性が実証されている。一方我々も、自由な体の動きから音楽を生成する試みである身体的音響メディア技術を応用し、新た

な社会的音楽インタフェースを開発^{4, 5)}しており、これを運動療法へ適用する試みを行っている。これらに共通する点は、単なる運動計測のみならず、同時に音や光により人の動作を促すことが可能であるという特徴を有することであると言える。

しかしながら、このような動作計測及び情報提示を実現するためには、装置が大掛かりになったり、実空間に情報を提示するための使用場所に制限が大きいため、使用者のみならず周囲の環境に対する負荷が高くなる。また、前述のタイルデバイスなどでも、予め定めたインタフェースの形状に制約され、実空間に自由に計測空間を生成することは難しい。

そこで本稿では、環境や使用者へ大きな負荷を与えず、実世界において簡便に幾何学図形を描画し、かつ描かれた図形によって作られた空間の計測を可能にする、新しいモジュール型デバイスを提案する。これは、図 1 に示すようにレーザー光を出力する小型モジュールを空間内に自由に配置することで図形を描画するとともに、これらのモジュール群が形成する閉空間で物体検知を実現するものである。これにより床面を可能な限り阻害せず、また空間内での物体検知、人の移動・跳躍などといった運動計測、及び次の動作位置の指示や認識結果の提示が可能になり、子ども達が広場に線を引いて、遊びの空間を作るような感覚を実現することを目指す。

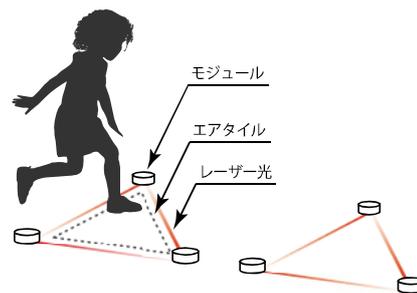


図1 エアタイルの使用例

[†] 筑波大学 工学システム学類

College of Engineering Systems, University of Tsukuba

^{††} 筑波大学 芸術専門学群

School of Art and Design, University of Tsukuba

^{‡‡} 筑波大学 大学院人間総合科学研究科

Graduate School of Comprehensive Human Sciences,
University of Tsukuba

2. 提案手法

ここでは、提案モジュールにより図形描画と空間計測を実現する手法を説明する。各モジュールは手の平程度の大きさで、一方向にレーザー光を照射する機能を持つ。このモジュールを複数用意し、使用者は空間内に描きたい図形の頂点にモジュールを置き、レーザー光により各辺を構成することで自由に閉空間を描くことができる。モジュールが閉空間を形成すると、その空間内において物体の検出が開始する。これは、モジュール群による頂点とレーザー光による辺で形成された空間内の計測可能領域を視覚的に示しており、これを“エアタイル”と呼ぶ。図形描画の例を、図 2 に示す。なお、ここで形成できる閉空間は全ての頂点を 1 度ずつ通る閉路、つまりハミルトン閉路を仮定した図形である。生成したエアタイルによって、領域への人の出入りが検知できたり、複数のエアタイルを交信することで人の移動を計測することが可能である。

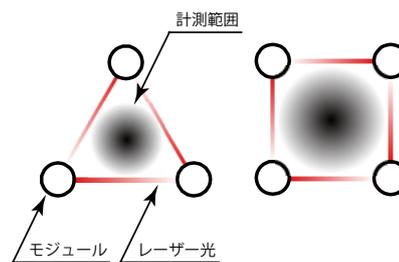


図2 図形描画の例

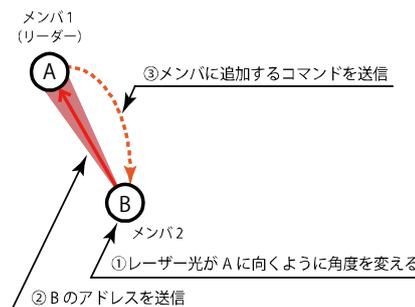
3. システム概要

各モジュールは、マイクロコントローラ、レーザー発光器、赤外線発光部・受光部、測距センサ、バッテリーを備えており、全て同じ仕様のモジュールを複数利用することでエアタイルを実現する。なお、マイクロコントローラでは、主に以下の4つの処理を行う。1) 赤外線通信により他のモジュールを検出、2) メッシュネットワークを構成してモジュール間通信、3) 測距センサによりモジュール周囲の物体検出、4) レーザ・LED 発光により、モジュールの状態を示す情報提示。このように同じモジュールを複数用いることで、拡張性を確保している。

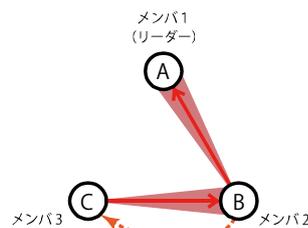
3.1 エアタイル生成アルゴリズム

ここでは、閉空間（エアタイル）を生成する過程について述べる。各モジュールは、他のモジュールから発せられた赤外光を検出すると、次のモジュールへ自身の情報を伝えるためレーザー光と赤外光を発することとした。また、各モジュールは上部に備えたスイッチ操作により、他のモジュールからの赤外光の受光に関わらずレーザー/赤外光を発信できる。最初に置いたモジュールは、他のモジュールから信号を受け取らないためにこのようなスイッチ操作による発光機能が必要である。

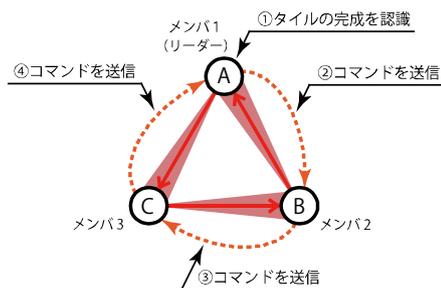
まず使用者は、空間に2つのモジュールを置き、いずれかのモジュールをスイッチ操作することで、レーザー光を発光させる。そしてレーザー発光の方向を確認しながら、別のモジュールにレーザー光が入射するように



(a)



(b)



(c)

図3 エアタイルの生成

向きを変える（図 3 (a)）。レーザー光を受ける側のモジュールをA、スイッチ操作したモジュールをBとする。なお、モジュールはレーザー光と同方向に赤外線通信により、モジュールの固有アドレスを発信する。これにより、AはBの固有アドレスを受け取ることになる。また、Aはメッシュ通信により、周囲のモジュールに対しBをエアタイルのメンバに追加するコマンド、

及び当該エアタイルにおいて何番目のメンバであるかという情報を共有させる。この例では、Aは1番目、Bは2番目のメンバとして割り当てられる。ここで、1番目のメンバは、エアタイル内でリーダーとして設定される。また、メンバの追加時には、エアタイル内のリーダーのアドレスを送信すると同時に、メンバ追加を各モジュールの LED を利用して、メンバ追加時のパターンを提示することで使用者に状態を伝える仕組みとした。

使用者は、LED 発光により B がエアタイルのメンバに追加されたことを視認した後、別のモジュール C を適当に配置する。そこで、スイッチを押すことで出力されたレーザー光を B へ向けることで、同様に C がエアタイルの 3 番目のメンバに追加できる (図 3 (b))。

さらに、最初に置いた A のレーザー光を C に向けることで、逐次的に情報が伝達され再び A に戻ってくる。これによりリーダーである A がエアタイルの完成を認識し、これを示す LED を点灯させるように他のメンバモジュールに指令を伝達する (図 3 (c))。その結果、使用者はエアタイルにより閉空間が形成されたことがわかる。

以上の手順によりエアタイルを生成する。直線の辺で形成されることを前提とし、追加するメンバの数により、様々な多角形を描くことが可能になる。

3.2 他のモジュールの検出

前節に述べた通り、他のモジュールの検出には、赤外線通信を用いる。赤外光は外装により指向性を高め、レーザーと同じ方向に出力する。モジュールには 8 方向に赤外線受光部を取り付け、受光した受光部が向く方向によって相対角度を判断する (図 4)。

赤外線通信はモジュールの固有アドレスを交信し、相対角度の検知とともに、モジュールの特定を行う。

3.3 閉空間の計測

上述の通り閉空間を形成すると、エアタイルは空間計測を行うことが可能になる。閉空間の計測には、PSD 測距センサを用いる。各モジュールには 8 個の PSD 測距センサを実装し、図 5 に示す通り等間隔で 8 方向に向けて取り付ける。また、リーダーは各モジュールの相対位置関係から閉空間の形状を識別し、これに基づいて各モジュールの適切な方向の PSD 測距センサからの値を利用して閉空間の物体検知を実現する。

3.4 モジュール間通信

モジュール間通信には、赤外線通信とメッシュネットワーク通信の 2 種類を利用する。赤外線通信につい

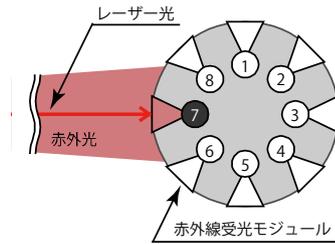


図4 相対角度の検出方法

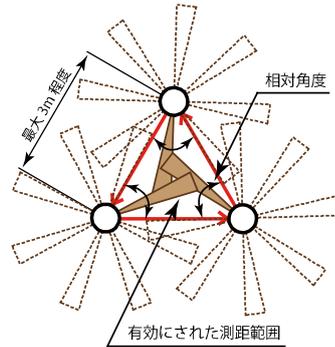


図5 閉空間の計測方法

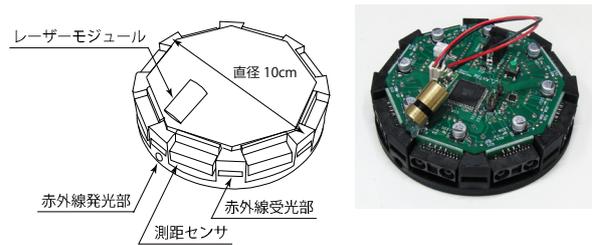


図6 モジュールの外観 (模式図と試作モジュール)

ては前述する通り、他のモジュールとの相対位置の検出と固有アドレスの交信に利用する。一方、メッシュネットワーク通信は、DigiMesh プロトコルを用い、ユニキャストとブロードキャストの切り替えを利用することで、モジュール間の通信や、モジュール群によって形成されるエアタイル同士の通信、及び外部のホストコンピュータに対する通信に用いる。

3.5 モジュールプロトタイプの開発

提案手法の有効性を検証するため、モジュールの試作を行った。図 6 に示す通り、各モジュールは、直径約 10cm の円筒状を有する。制御にはマイクロコントローラ (Atmel 社製 AVR)、電源には 1000mAh のリチウムポリマー電池を用い、長時間の使用を想定している。また充電回路を内蔵することで、モジュール単位で充電が可能である。PSD の測距範囲は 10~150cm であり、モジュール間の有効最大距離は約 3m 程度である。また、赤外線による他モジュールの検出における相対角度の分解能は、22.5° 程度である。

実際にモジュールを利用してエアタイルを生成し、

閉空間内の物体検知が可能であることを確認した。実際に動作中の様子を、図 7、図 8 に示す。また、正三角形のみならず、直角三角形など自由に形状を変化させることが可能であることを示した。

4. まとめと今後の予定

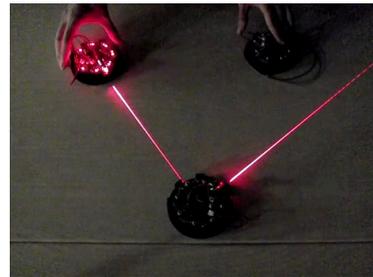
本稿では、実世界への図形描画と空間計測を手軽に実現するため、エアタイルという手法を提案し、実際にモジュールを試作することで実現可能性を示した。これにより、複数生成したエアタイル間の協調動作を実現することで、人がエアタイル間を移動していることを検知したり、人に移動を促す情報提示を行うことが可能になると考えられる。

今後は、提案手法によるエアタイルを用いて、実世界への図形描画と空間計測に伴うゲーム性やエンタテインメント性を確保しながら、運動療法への応用を目指したい。また、エアタイルの内部状態を適切にユーザーに伝えたり、使う楽しみを増やしたりするために、情報提示の方法を検討している。具体的には、現在単色の LED をフルカラー化すること、及び音響を発生する機構を加える予定である。

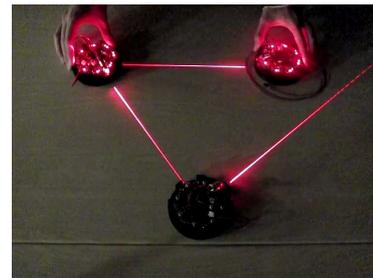
また、測量時の指標提示、カメラキャリブレーション、イベントでの区画表示などの実世界における簡便な情報提示装置としての応用も考えられる。さらに、イルミネーションやゲームなど、新たな芸術表現の創出もあわせて検討して行きたい。

参 考 文 献

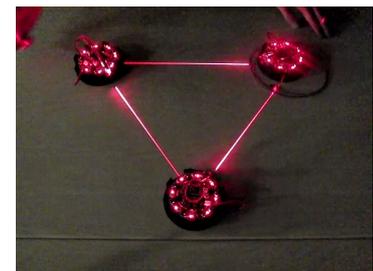
- 1) 田村秀行, 大田友一, 複合現実感, 映像情報メディア学会誌, Vol.52, No.3, pp. 266-272 (1998)
- 2) G. Yavuzer, A. Senel, MB Atay, and HJ Stam, "Playstation eyetoy games" improve upper extremity-related motor functioning in subacute stroke: a randomized controlled clinical trial," *Eur J Phys Rehabil Med.*, 44(3):237-44. (2008)
- 3) H. H. Lund, M.D. Pedersen and R. Beck, "Modular robotic tiles: experiments for children with autism," *Artificial Life and Robotics*, pp. 394-400 (2009)
- 4) K. Suzuki, "Embodied Sound Media Technology for the Enhancement of the Sound Presence," *Lecture Notes In Computer Science*, Vol. 5611, pp. 745-751, Springer (2009)
- 5) K. Suzuki, M. Kyoya, T. Kamatani, and T. Uchiyama, "beacon: Embodied Sound Media Environment for Socio-Musical Interaction," *Proc. of 8th Intl. Conf. on New Interfaces for Musical Expression*, (2008)



(a) 2 番目のメンバの追加



(b) 3 番目のメンバの追加



(c) 閉空間の完成

図7 動作風景

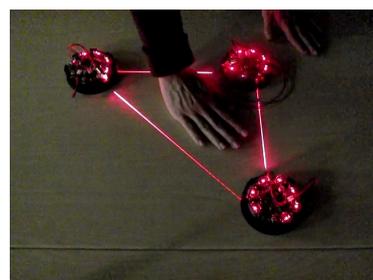
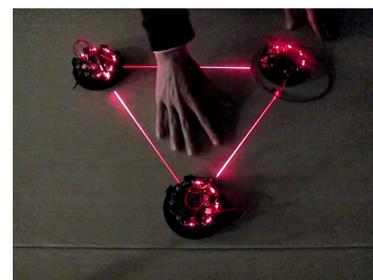


図8 正三角形・直角三角形生成時の物体検知