

# カラーセンサを用いたタンジブルデバイスの 平面位置検出に関する精度検証

武田 悠暉<sup>1,a)</sup> 高田 秀志<sup>2,b)</sup>

**概要:** 本論文では、カラーセンサを用い、平面上の座標によって色が一意に定まるように配置したカラーパターンの一点を読み取ることでデバイスの位置を検出する手法を提案する。位置の検出に用いるカラーパターンとしては、HSV 色空間の色相と彩度の2つのパラメータを変化させて極座標系に配色し、円形のパターンを生成する。この手法によって、絶対的な平面上の位置認識が行えることと、機器の準備やコスト面からの簡易さの両立が期待できる。本研究では、提案する位置検出手法のアプリケーションへの適用のために、精度の検証を行った。その結果、彩度については高い精度が得られるが、色相については得られる精度が低いことが確認された。

**キーワード:** カラーセンサ, タンジブルデバイス, 位置検出

## Verification of Accuracy Position Detection of Tangible Device by Color Sensor

TAKEDA YUKI<sup>1,a)</sup> TAKADA HIDEYUKI<sup>2,b)</sup>

**Abstract:** In this paper, we propose a method to detect the position of the tangible device using the color sensor by reading a point of the color pattern arranged so that the color is uniquely determined by the coordinates on the plane. The color pattern used for detecting the position is colored in a polar coordinate system by changing two parameters of the hue and saturation of the HSV color space to generate a circular pattern. With this method, it is expected that absolute position recognition is compatible with the simplicity of equipment preparation and cost aspect. In this research, accuracy was verified for application of the proposed position detection method. As a result, it was confirmed that high accuracy is obtained for saturation, but the obtained accuracy is low for hue.

**Keywords:** color sensor, tangible device, position detection

### 1. はじめに

近年、タンジブルユーザインタフェースと呼ばれる物理的な実体を直接触れることで情報機器を操作するシステムの構築が行われている。このタンジブルユーザインタ

フェースの利点として、情報が物理的な実体によって操作可能になることで、操作性が向上することが挙げられている [1]。また、インタフェースが立体的であることで、記憶や学習の面においても優れた効果があることが示されている [2]。タンジブルユーザインタフェースの形態の一つとして、平面作業平面上のタンジブルデバイスの位置を検出し、その位置に応じたイベントを起こすものがある。その位置取得の手段として、作業平面をタッチパネルなどで覆う方法、カメラで位置を認識したいデバイスを撮影し、その画像から位置を検出する方法、マウスや加速度センサを

<sup>1</sup> 立命館大学大学院情報理工学研究科  
Graduate School of Information Science and Engineering,  
Ritsumeikan University

<sup>2</sup> 立命館大学情報理工学部  
College of Information Science and Engineering, Rit-  
sumeikan University, Kusatsu, Shiga 525-8577, Japan

a) y\_takeda@cm.is.ritsumei.ac.jp

b) htakada@cs.ritsumei.ac.jp

用いて基準点からの相対的な位置を得る方法などがこれまでにとられている。しかし、これらは絶対的な平面上の位置検出が行えることと、機器の準備やコスト面からの簡易さを両立することが難しい。

そこで、本研究では、カラーセンサを用い、平面上の座標によって色が一意に定まるように配置したカラーパターンの一点を読み取ることでデバイスの位置を検出する手法を提案する。位置の検出にあたっては、平面に配置するカラーパターンの情報を計算機端末でも保持しておき、得られたセンサの値から座標を計算することによって位置を検出する。本手法では、平面上の色の値を用いることから、絶対的な位置認識が可能である。また、位置検出にあたっては携帯端末と小型のセンサ機器のみを必要としており、準備やコストの面からも簡易な手法であるといえる。

本論文では、カラーセンサを用いて平面上の位置を検出するシステムを利用したアプリケーションの構築のために、絶対位置の検出を行うシステムを構築し、位置検出の精度を調査した結果について報告する。その結果から、アプリケーションの実現可能性について考察する。さらに、カラーセンサで読み取る値の誤差を補正し、位置認識の精度を向上させるための手法についても検討する。

## 2. 平面上における位置検出手法

### 2.1 関連研究

#### 2.1.1 タッチパネルを用いた位置検出手法

接触の判定が可能なタッチパネルなどで作業平面を覆い、その平面上に置かれたデバイスの位置を検出する手法では、高速かつ正確に作業平面上のデバイスの位置を得ることが可能である。例えば、Sensetable[3]ではタッチタブレットを作業平面として、タブレット上のタンジブルデバイスの位置を検出している。しかし、この手法はタッチパネルの大きさがそのまま作業平面の大きさとなる制約がある。そのため、作業平面の大きさに比例して大掛かりな機器が必要となることが問題点として挙げられる。

#### 2.1.2 マウス・加速度センサを用いた位置検出手法

我々が構築している仮想テーブルトップ環境 [4][5] は、平面上の仮想的な作業平面を移動可能なタブレット端末の画面を通して、覗くように利用するアプリケーションである。このアプリケーションでは、平面空間上の位置の検出のためにマウスを用いている。タブレット端末にマウスを取り付けることで、端末を移動させた際に取得できるマウスの移動量から、デバイスの平面上の基準点からの相対的な位置を計測している。しかし、マウスの移動は基準となる点からの相対的な移動であるため、作業が進むに連れて誤差が蓄積され、位置検出の精度が低下する問題点がある。また、マウスを利用する場合、端末の回転の検知や、端末を浮かせての移動が困難である。

デバイスに加速度センサを取り付けることで、物体の移

動量から位置を検出する手法が考えられる。しかし、この手法も基準点からの相対的な移動量から位置を検出するため、誤差の蓄積により正確な位置を検出することが難しい。

#### 2.1.3 カメラを用いた位置検出手法

作業平面の上部にカメラを設置し、作業平面全体を撮影することで画像認識によってデバイスの位置を検出するような手法がある。HuddleLamp[6]は、平面空間上のタブレット端末の位置に応じてタブレットの画面を変化させることで、あたかも仮想空間をタブレット端末を通して覗き込んでいるかのように見せるようなアプリケーションである。この手法では、デバイスの平面上の絶対的な位置と方向を高い精度で認識することが可能である。しかし、タブレット端末の位置をカメラで撮影し続けて画像認識を行う必要があり、外部でそのような処理を行う計算機を必要としている。

また、仮想タッチスクリーン [7] では、デバイス側のカメラで、作業平面の上部に固定されているプロジェクタの光源を撮影することで、デバイス自身の位置を推定する手法が用いられている。この手法では、作業平面の上部にプロジェクタが存在するという前提があり、常にデバイスに搭載されたカメラで光源が撮影されている必要がある。

### 2.2 カラーセンサを用いた位置検出

これまでにカラーセンサを用いて位置を検出する試みが行われてきた。RoboClock[8]では、壁面上に設置した時計の位置を制御するために、モノクロのグラデーションの壁紙とカラーセンサを用いて、壁面上の高さを1次元で検出している。しかし、この手法ではグラデーションの変化の方向が1次元のため、1軸でしか位置を検出することができない。

また、カラーセンサを用いた絶対座標エンコーダ [9] ではカラーセンサとカラーパターンを用いて平面上の絶対位置の検出を試みている。この研究では、ロボット制御において部品の小型化のボトルネックを解消することを目的に位置の検出を試みているが、我々はテーブルなどの平面上で行う作業を支援するアプリケーションへの適用を目的とした位置検出システムの構築を目指す。

### 2.3 カラーセンサ

本研究で利用するカラーセンサとは、色を検出したい物体に対して白色のLED光を照射し、その反射光を読み取ることで対象物の色の情報を取得するセンサを指す。今回はTAOS社のTCS34725が搭載されたカラーセンサモジュールを利用する。このセンサでは近接する物体の色についてRGB値を0から65535の各色16ビットの分解能で取得することが可能である。

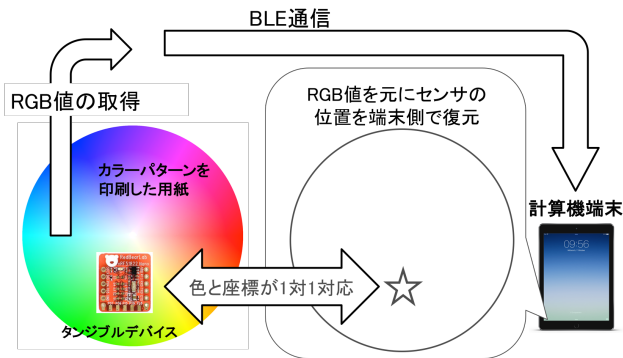


図1 システム概要

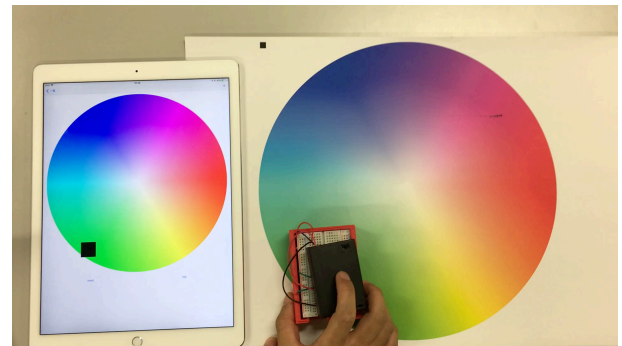


図2 システムの利用の様子

## 2.4 色空間

色空間とは、色を秩序立てて配列する形式のことである。本研究では、この色空間の中で、RGB色空間とHSV色空間を利用する。RGB色空間とは、赤、緑、青の3種の要素から成り立つ色空間である。HSV色空間とは色相、彩度、明度の3種の要素から成り立つ色空間である。RGB色空間で表される色とHSV色空間で表される色は相互に変換できる。本研究ではこれらの要素を全て、0から1の値で扱っている。

## 3. カラーセンサを用いた位置検出手法

本章では、カラーセンサを用いて平面上のデバイスの位置を検出するための手法について述べる。

### 3.1 概要

カラーセンサを用いた位置検出の方法について述べる。提案するシステムの概要を図1に示す。位置検出は以下のように行う。

- (1) キャリブレーションに必要なサンプルを取得する。
- (2) カラーセンサを搭載したタンジブルデバイスはBLEモジュールを通して、計算機端末へ得られたRGB値を送信する。
- (3) 計算機端末において受け取ったRGB値のキャリブレーションを行う。
- (4) キャリブレーション後の値から座標を復元する計算を行い、結果を画面へ反映する。

### 3.2 実装

実際に作成したシステムを利用している様子を図2に示す。基礎的なシステムの動作の検証のために、作業平面となるカラーパターンを印刷した紙の上でタンジブルデバイスを動かすと、その位置に応じた座標を画面上で指し示すようなアプリケーションを制作した。

今回の実装では、BLEモジュールであるRedBearLab社のBLENanoにカラーセンサと電源を接続し、3Dプリンタで作成したケースへ格納したものをタンジブルデバイ

スとしている。また、計算機端末にはiOS端末を利用している。

### 3.3 カラーパターン

位置検出のための、平面上で一意に色と座標が定まる配色のカラーパターンについて述べる。平面での作業を行うアプリケーションを想定したとき、カラーセンサを用いて位置検出を行う上で必要と想定される要件を以下にまとめる。

- 位置の正確さ  
平面上のデバイスの位置を正確に端末上で検出できること。
- 精度  
より解像度の高い位置検出ができること。
- 検出の偏り  
平面上の位置によって精度が異なることを避けること。

今回は以上の要件を考慮してカラーパターンを作成した。図3に位置検出のために作成したカラーパターンを示す。現在はHSV色空間を利用しており、中心からの距離が彩度の変化、偏角が色相の変化となるような極座標系を用いた円形のカラーパターンとなっている。

色の特性より、彩度が低くなるにつれて、色相の変化は小さくなる。そのため、彩度が低い部分の面積が小さくなるこのパターンを用いることで、平面全体での位置検出の精度向上を図る。

### 3.4 RGB値のキャリブレーション

カラーセンサから得られる値はRGBそれぞれについて、黒色を示す最小値0から、白色を示す最大値65535の範囲となっているが、実際にセンサで黒色から白色を検出する際に得られる値はこの範囲ではない。そのため、この値の範囲の違いを実際に白色と黒色から得られる値を用いてその範囲に収まるように補正する。この補正によって、RGB値の範囲は0から1となる。補正の手順は以下の通りである。

- 位置認識のためのカラーパターンとは別に印刷した白色と黒色のシートからRGB値をセンサを用いて取得



図 3 カラーパターン

する。このとき、値の取得は 10 回行い、その平均を基準値として扱う。

- センサから得られた値を、基準値となる黒色と白色の値をそれぞれ 0, 1 とした値に変換する。
- 仮に得られた値が基準値を下回る場合は 0 とする。また、得られた値が基準値を上回った場合については 1 とする。

また、プリンタや用紙など、環境によって RGB 値のそれぞれの値の範囲が異なることが予想される。そこで RGB 毎にこの補正を行うことで、この点についても誤差を吸収する。

### 3.5 センサ値を用いた座標復元の計算

センサから得られる RGB 値から画面に座標を反映させるための直交座標を得る計算の方法について述べる。センサから得られる RGB 値は、先に述べた RGB 値のキャリブレーションによって 0 から 1 のスケールに変換される。次にキャリブレーションされた RGB 値を HSV 値に変換する。今回の極座標系のカラーパターンにおいて、HSV 値の色相 H が偏角、彩度 S が動径を示すことから、直交座標は以下のように求められる。

$$\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} S \cos H \\ S \sin H \end{pmatrix}$$

## 4. システムの精度調査

位置検出システムの精度の検証を、位置の検出に必要な色相と彩度の 2 つのパラメータに着目して行い、その結果からの検討について述べる。

### 4.1 調査概要

提案する絶対位置検出システムの精度の評価のために、実際に構築したシステムを用いて検証を行う。位置検出の

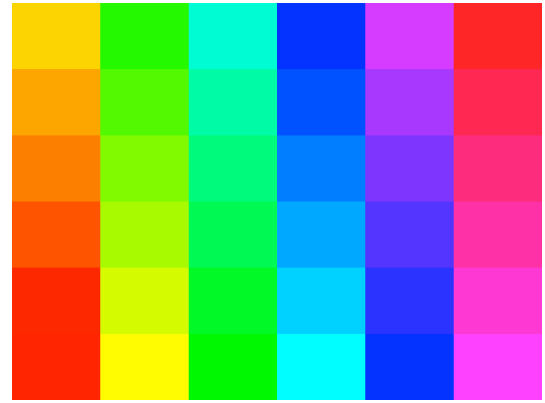


図 4 色相の調査に用いたパターン

ために色相と彩度の 2 つのパラメータを用いることから、2 つのパラメータに着目してそれぞれについて調査する。また、調査の結果から位置検出の精度の向上のための補正の可能性についても検討する。

提案手法は、カラーパターンの印刷の精度や用紙の違いによって、位置検出の精度が左右されることが考えられる。今回の環境では、セイコーエプソン社製のインクジェットプリンタである PX-7V を用いて、カラーパターンの用紙への出力を行った。また、用紙については同社製のスーパーファイン紙を利用している。

## 4.2 色相の精度調査

### 4.2.1 調査概要

色相の精度の調査の概要について述べる。図 4 に色相の調査に用いたパターンを示す。この調査では、彩度を 1.0 に固定し、色相を 0 から 1 ままで 36 段階のステップで変化させる。この時にセンサから得られる色相の値と印刷した値を比較することで、色相の精度を検証する。

事前の検証より、センサを動かさず同じ場所に置き続けた場合、値のばらつきは非常に小さくなることが分かった。そのため、それぞれの試行では 20 回ずつセンサ値を取得し、その平均をその試行における値とする。

### 4.2.2 結果

図 5 に調査の結果を示す。今回の環境では、平均 3.84% の誤差となった。また、グラフの結果から、ステップが進んでも色相が変化しない、認識の精度が低い部分が周期的に存在していることが分かる。これは、RGB のそれぞれのパラメータが最大となる  $0, \frac{1}{3}, \frac{2}{3}$  であり、色相がそれぞれの最大に近づくにつれて、認識の精度が落ちている。

## 4.3 彩度の精度調査

### 4.3.1 調査概要

彩度の精度の調査の概要について述べる。図 6 に色相の調査に用いたパターンを示す。色相を RGB のそれぞれが最大となる  $0, \frac{1}{3}, \frac{2}{3}$  の 3 つパターンで固定し、それぞれの

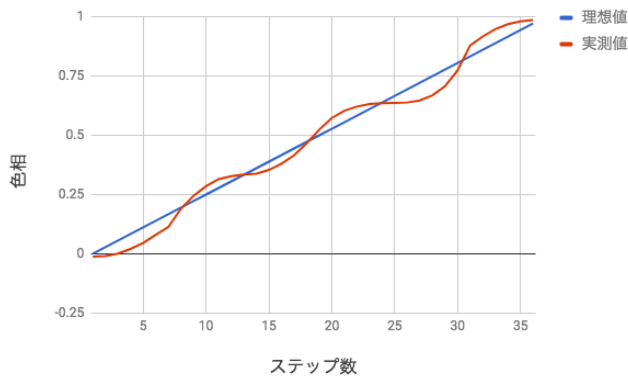


図 5 色相の精度調査結果

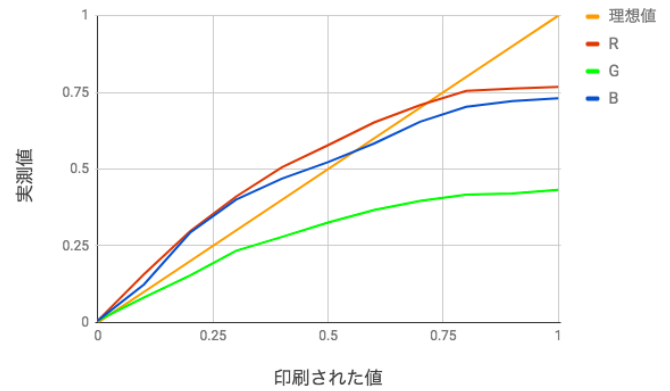


図 7 彩度の精度調査結果

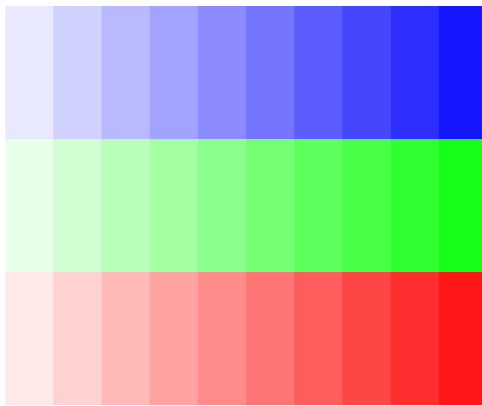


図 6 彩度の調査に用いたパターン

パターンにおいて彩度を 0 から 1 までを 0.1 ずつ 10 段階で変化させる。この 3 つのパターンをそれぞれ R, G, B とする。この時にセンサから得られる彩度の値と、印刷した値を比較することで、彩度の精度を検証する。色相の調査と同様に、それぞれの試行では 20 回ずつセンサ値を取得し、その平均をその試行における値とする。

#### 4.3.2 結果

図 7 に調査の結果を示す。RGB のどの試行においても、理想値とは大きく離れた結果となった。特に G のパターンにおいては、理想値を大きく下回った。この結果より、彩度の値をそのまま利用する場合では、彩度の最大値に収まる範囲でしか座標を検出できないため、カラーパターンの作業平面を有効に扱うことができないことが考えられる。

また、対象の色相の変化に応じて実測値が変化しているが、彩度が大きくなるにつれて、得られる変化が小さくなるということがグラフから読み取れる。

#### 4.4 考察

色相の精度と比較して、彩度は精度が大きく下がる結果となった。この結果より、平面上のタンジブルデバイスの位置検出を現状の精度で行った場合、作業平面の中心からの距離を正確に復元できないことから、空間を有効に扱うことができない。そのため、彩度についても補正が必要で

ある。

彩度の補正については以下のような手順で補正を行うことを検討している。

- 色相については概ね正しい値が得られたことから、事前準備として彩度が最大の 1.0 となる点を広い色相で取得し、サンプルの一覧として取得しておく。
- 作業時に得られるセンサ値から算出した色相の値に最も色相に近いサンプルを一覧から取得する。
- サンプルの彩度を最大値 1 として、センサ値の彩度を補正する。

この補正を行うことで、作業平面全体への座標の検出が可能になり、空間を有効に扱うことができるようになると考えている。また、補正を行うにあたっては、彩度が大きくなるにつれて、センサから得られる変化が小さくなる点を考慮に入れる必要がある。

## 5. おわりに

本研究では、平面上の絶対的な位置検出が行えることと、機器や準備の面からの簡易さを両立させるための、カラーセンサを用いた位置検出手法を提案した。また、提案手法の精度を調査するための、検証実験を実施した。その結果、色相については高い精度が得られるが彩度については精度が低くなるため、中心から距離の誤差が大きくなり位置検出の精度が落ちることが明らかになった。今後は位置検出の精度を高めるための、彩度のキャリブレーションに取り組む。また、提案した位置検出システムを実際のアプリケーションへ適用する。

#### 参考文献

- [1] 石井裕他：仮想と現実の融合: 3. タンジブル・ビット-情報と物理世界を融合する, 新しいユーザ・インタフェース・デザイン, 情報処理, Vol. 43, No. 3, pp. 222-229 (2002).
- [2] Schneider, B., Sharma, K., Cuendet, S., Zufferey, G., Dillenbourg, P. and Pea, R.: Using mobile eye-trackers to unpack the perceptual benefits of a tangible user interface for collaborative learning, *ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI)*, Vol. 23, No. 6, p. 39 (2016).

- [3] Patten, J., Ishii, H., Hines, J. and Pangaro, G.: Sensetable: a wireless object tracking platform for tangible user interfaces, in *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, pp. 253–260 ACM (2001).
- [4] Ito, N., Takada, H. and Piumarta, I.: Effectiveness of tabletop interaction using tablet terminals in a shared virtual workspace, in *CYTED-RITOS International Workshop on Groupware*, pp. 98–114 Springer (2016).
- [5] Inoue, T., Piumarta, I. and Takada, H.: Collaborative Web Search Using Tablet Terminals on a Virtual Tabletop Environment, in *International Conference on Collaboration Technologies*, pp. 159–173 Springer (2016).
- [6] Rädle, R., Jetter, H.-C., Marquardt, N., Reiterer, H. and Rogers, Y.: HuddleLamp: Spatially-aware mobile displays for ad-hoc around-the-table collaboration, in *Proceedings of the Ninth ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces*, pp. 45–54 ACM (2014).
- [7] 相馬啓佑, 間博人, 松井健人, 村上広記, 三木光範他: プロジェクタとモバイル端末を用いた仮想タッチスクリーンの提案, マルチメディア, 分散協調とモバイルシンポジウム 2016 論文集, Vol. 2016, pp. 1369–1373 (2016).
- [8] 鈴木陽亮, 沖真帆, 塚田浩二: RoboClock: 壁時計型ロボットを用いたインタラクション手法, 情報処理学会インタラクション 2015 論文集, pp. 889–892 (2015).
- [9] 横浜智明, 工藤隆男: カラーセンサを用いた絶対座標エンコーダの開発, 計測自動制御学会東北支部 第 236 回研究集会 (2007).