

カラーセンサを用いた絶対座標エンコーダの開発

Development of an Absolute-Encoder Using a Full-Color Sensor

横浜智明*, 工藤隆男*

Tomoaki Yokohama*, Takao Kudoh*

*八戸工業高等専門学校

*Hachinohe National College of Technology

キーワード : エンコーダ (encoder), HLS色空間 (HLS color space) ,

連絡先 : 〒039-1192 八戸市田面木字上野平16-1 八戸工業高等専門学校 電気情報工学科
工藤隆男 , Tel.: (0178)27-7279 , E-mail: tkudoh-e@hachinohe-ct.ac.jp

1. はじめに

現在利用されている絶対座標エンコーダは光学式や磁気式などがあり, ロボット制御などには複数の1次元エンコーダを直交関係に配置するなどして2次元,3次元に対応させる場合が多い. この方法ではエンコーダの占めるスペースが多くなり, 部品の小型化のボトルネックになりがちである. そこで, 本研究では色相情報から絶対位置を復元することで, 構造を極めて簡単化できる絶対座標エンコーダを提案する. このエンコーダは平面や球面にあらかじめ配色しておいた色相情報から座標を得ることによりエンコーダの機構を簡単化できる.

本研究で提案しているエンコーダは, 座標毎に異なる色をあらかじめ配色しておき, その情報をセンサで取得することで位置を復元する. そのため色を配色することが出来るものであればあらゆる物体の絶対座標を復元する事ができる. また, 回路規模もセンサ本体と信号処理用の素子を用いるのみであり, 構造が単純かつ小型に出来るため, 壊れにくく, 小型の絶対座標エンコーダの実現が可能で

ある.

本報告では, 円周上に配色したカラーパターンを対象とし色相情報に基づき絶対座標を復元できる事を実験的に確認したので報告をする.

2. 提案するエンコーダ

2.1 座標復元の方法

本研究で提案, 開発しているエンコーダの座標復元の方法は, 色相情報から位置情報を復元することである. 色相情報には光学的にはRGBがあり, またインクジェットプリンタなどにおいてはインクの色としてCMYKなど, さまざまな色空間が存在する. 色を計測する場合, 明るさによってセンサの出力が変化する問題を避けるために本研究ではHLS色空間に着目する. HLS色空間とはH: Hue (色相), L: Lightness (明度), S: Saturation (彩度)の属性に分解できる色空間である. HLS色空間のHは明るい赤, 暗い赤など明るさによる違い, 鮮やかさによる違いを吸収し赤なら赤と判断できる. HLS色空間はFig.1のように表現することが出来る. Fig.1に示

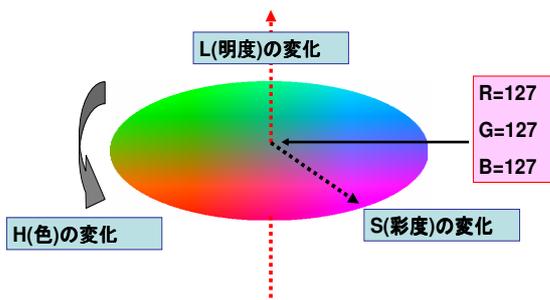


Fig. 1 HLS色空間

すようにH(色相)は角度,S(彩度)は半径,L(明度)は高さに対応することが出来る. 本研究ではHLS色空間のH,Sを利用し平面状の絶対座標の復元を行うため, Fig.2に示すカラーパターンを対象とする.



Fig. 2 対象とするカラーパターン (L=S=127)

2.2 カラーパターンの作成

カラーパターンはHLS色空間を用い規則的に作成する必要がある. 作成したカラーパターンは円周状にHを配置するためプログラム上でHを $0 \sim 2\pi$ まで, S,Lを127一定として作成しRGB色空間に変換した物をインクジェットプリンタで印刷した. HLS色空間からRGB色空間に変換するためにYCC色空間に一度変換する必要がある.

式1,2,3にHLS色空間をYCC色空間に変換する式を示す. YCC色空間はY:輝度信号, C_r :赤の差分

信号, C_b :青の差分信号を示す.

$$Y = L \quad (1)$$

$$C_r = S \times \sin H \quad (2)$$

$$C_b = S \times \cos H \quad (3)$$

次に式4,5,6にYCC色空間からRGB色空間に変換する式を示す.

$$R = Y + C_r \quad (4)$$

$$G = Y - \frac{0.299C_r + 0.114C_b}{0.587} \quad (5)$$

$$B = Y + C_b \quad (6)$$

これらの式を用いて,H: $0 \sim 2\pi$,S=127,H=127に変化させたRGBデータを計算し,それをプログラムで描画,印刷し実験に用いた.Fig.2がカラーパターンの例であり,色が円周状に規則的に変化している.

2.3 色データからの座標復元

カラーセンサの出力データは電流データでありRGBに換算する必要がある. また,RGBデータをさらに演算することでHLSデータに変換し,座標を復元する必要がある. まず電流データからRGBデータへの換算方法を式7,8,9に示す. ただし取得電流をRGBそれぞれ I_R, I_G, I_B とする

$$R = \frac{I_R}{\sqrt{I_R^2 + I_G^2 + I_B^2}} \times 255 \quad (7)$$

$$G = \frac{I_G}{\sqrt{I_R^2 + I_G^2 + I_B^2}} \times 255 \quad (8)$$

$$B = \frac{I_B}{\sqrt{I_R^2 + I_G^2 + I_B^2}} \times 255 \quad (9)$$

明るさの変化を吸収するため正規化しRGBをそれぞれ取得している.

RGBデータから,HLSデータを得るには,まずYCCデータに換算する必要がある. 式10に示す行列式を用いれば,RGBデータからYCCデータを得るこ

とが出来る.

$$\begin{bmatrix} Y \\ C_r \\ C_b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ 0.701 & -0.587 & -0.114 \\ -0.299 & -0.587 & 0.886 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (10)$$

次に,式11,12,13を用いてH,S及びLを求めることができることで,座標を復元できる.

$$L = Y \quad (11)$$

$$H = \tan^{-1}\left(\frac{C_r}{C_b}\right) \quad (12)$$

$$S = \sqrt{C_r^2 + C_b^2} \quad (13)$$

3. システム構成

試作したエンコーダの写真をFig.3に,ブロック図をFig.4示す.

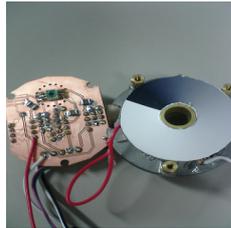


Fig. 3 エンコーダ部

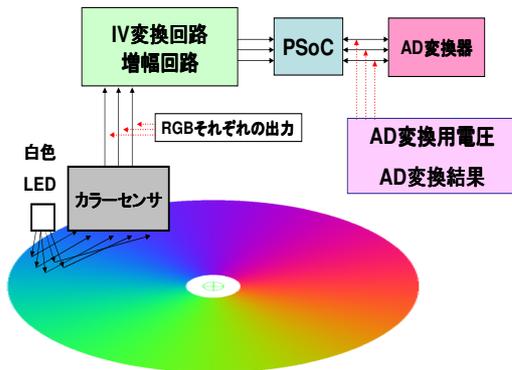


Fig. 4 エンコーダのブロック図

カラーパターンから色相情報を取得するために,IV変換回路,AD変換器,PSoCマイコンを用いた.

AD変換回路にはAD変換IC(MCP3208)を用い,AD変換ICの制御にはPSoCマイコン(CY8C29466)を利用する. また,AD変換のダイナミックレンジを広げるため,PSoCを用いてAD変換ICへの入力電圧を制御している. 以下に,それぞれの詳細について述べる.

3.1 IV変換回路

センサからの出力を電圧に変換するためFig.5に示すIV変換回路を用いる. この回路はフルカラー

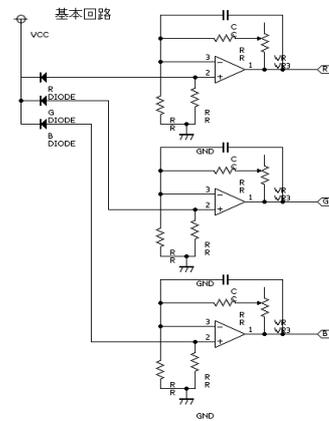


Fig. 5 作成した回路

センサからの出力電流を電圧に変換し100倍程度に増幅する.

出力電流が数[nA]と微小であり電源からのノイズを拾いFig.6に示す出力になった. そのため0.01[uF]

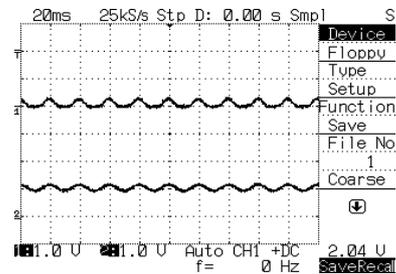


Fig. 6 コンデンサが無い場合

程度のバイパスコンデンサを用い,ノイズを軽減した. その結果をFig.7に示す.

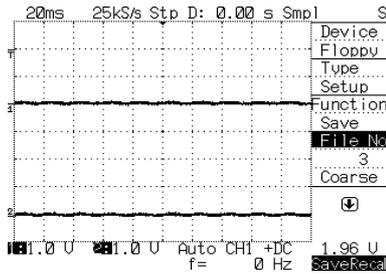


Fig. 7 コンデンサを用いた場合

周波数約50Hzのノイズを軽減できていることが分かる。

3.2 AD変換ICの制御

IV変換回路の出力は1~5[V]までである。AD変換については使用ICの分解能を等価的に向上した。Fig.8の(a)に示すのが、通常AD変換を利用した

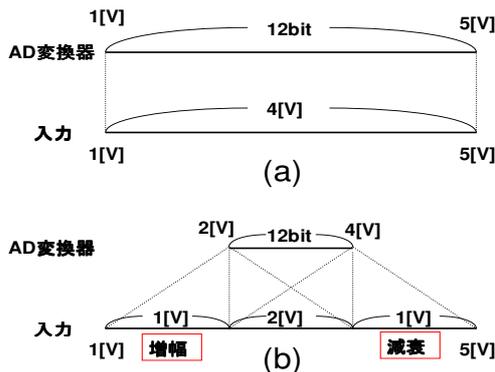


Fig. 8 AD変換の方法

場合である。この場合AD変換の範囲は電源電圧の1~5[V]の間になり、 $1bit = 0.98[mV]$ となる。そこでFig.8の(b)に示す方法を用いると2~4[V]の間で12bitAD変換を行う。そのため、 $1bit = 0.48[mV]$ となり、(a)に比べ2倍の分解能にすることが出来る。しかし、IV変換回路からの出力は1~5[V]までの変化でありAD変換が可能な範囲に入らない場合がある。そこでPSoC内部に構成される増幅器を利用してAD変換可能な範囲まで入力電圧を増幅、減衰するようにした。このことにより、等価的に1~2[V], 2~4[V], 4~5[V]それぞれの領域で12bit分解能でAD

変換することができる。この方法は、PSoC内部の増幅器を利用してAD変換器の入力電圧を強制的にAD変換範囲に収めることができる。そのため、実際の電圧データの復元には現在のゲインがAD変換結果の他に必要となる。実際の電圧値を取得するための式を式14に示す。ただし、現在のゲインをG,AD変換値をDegとし,AD変換の範囲を2~4[V]とする。

$$V_o = \frac{4 \cdot Deg - 2}{G} [V] \quad (14)$$

3.3 エンコーダの出力

出力データはAD変換ICからのRGBデータ及び、現在の増幅率である。RGB三色分のデータをひとつのグループとして同時に送信する。データフォーマットは以下ようになる。通信手段はI²C通信を用いている。

Data: ±XXXXX ±XXXXX ±XXXXX GGGGGG

Xがそれぞれの各色成分のAD変換後のデータ,Gが現在のゲインを示すデータであり、これらすべて文字列として送信される。

4. 評価

エンコーダの特性測定を行うために作成した評価システムと結果について述べる。

4.1 評価システムの構成

エンコーダの性能評価のためにFig.9に示す評価システム作成した。評価システムは、エンコーダの出力を評価プログラムに取り込むことで、色相情報と絶対座標の対応を評価できるようにした。図10に評価プログラムの実行例を示す。

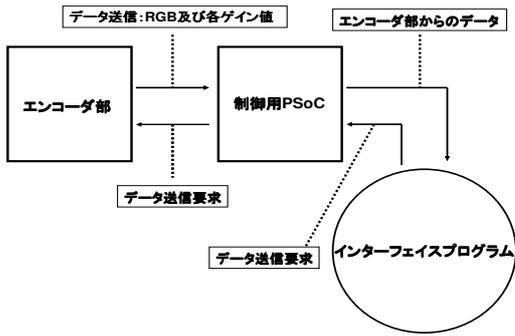
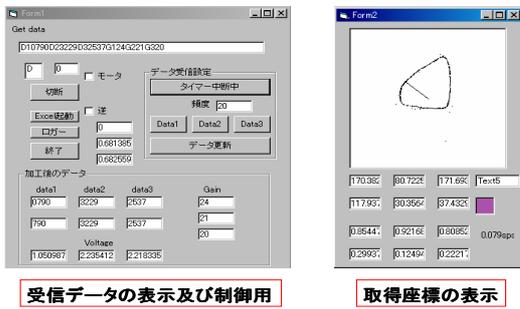


Fig. 9 評価システムのブロック図

した結果であることから、得られた軌道は半径が一定の円軌道になるはずであるが、周期性や再現性はあるものの実際の結果は歪な円になった。

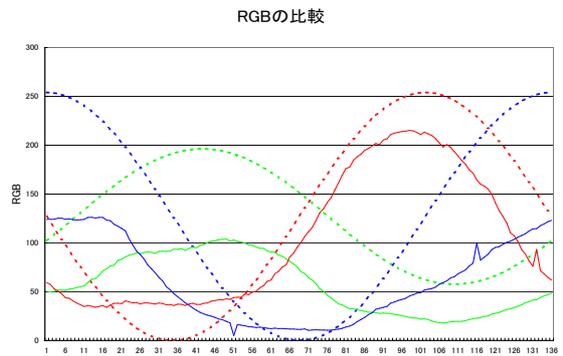
そこで、ひずみの原因について考察するためRGBの理論値と実測値を比較する。Fig.12に示したグラフは、RGBの理論値と実測値である。点線が理論値、実線が実測値である。全体を通して理論値に比べ実測値のほうが小さくなっていると言える。しかし、波形の位相自体は比較的一致しているといえる。



受信データの表示及び制御用

取得座標の表示

Fig. 10 実行例



縦軸:RGB(0~255),横軸:ステップ数

Fig. 12 RGB換算結果

4.2 結果と考察

HLS色空間のHを角度,Sを半径として利用した座標の復元結果をFig.11に示す。半径に対応させ

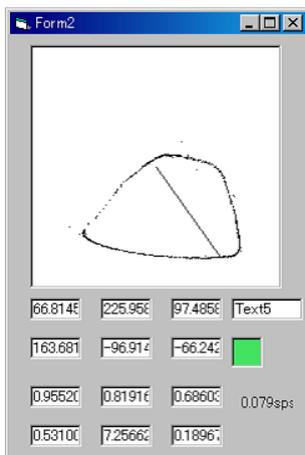
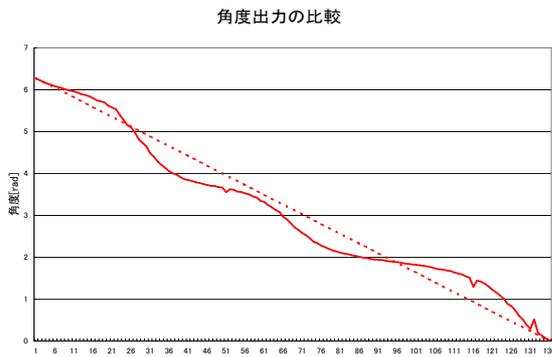


Fig. 11 回転軌跡

次に、角度に対応させたHLS色空間のHについて理論値と実測値をFig.13に示す。点線が理論値、実線が実測値である。座標復元に角度として用いたHは揺らぎがあるもののほぼ理論値に近い値を示し、再現性がある。この再現性がFig.11の回転軌跡を再現できることにつながっている。

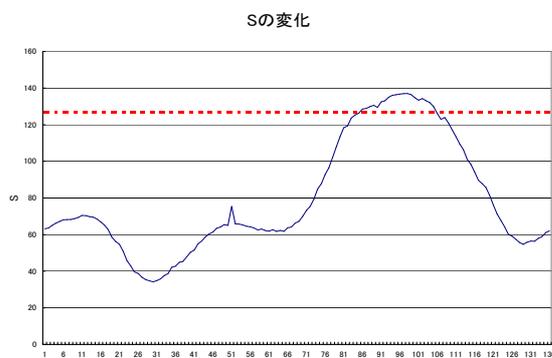
次に、円軌道の歪みについて考察するため半径に対応させたHLS色空間のSについて理論値と実測値をFig.14に示す。点線が理論値、実線が実測値である。半径に対応させたSは理論的には127で一定になる。しかし、実測した結果はグラフに示すように再現性はあるものの不規則な値を示している。Fig.11に示した回転軌跡が歪な円になったのは半径に対応させたSの影響であると言える。ここでHとSの求め方から実測値が理論値と異なった理由

たSを一定として作成したカラーパターンを復元



縦軸:Hue[rad],横軸:ステップ数

Fig. 13 回転角度の理論との比較



縦軸:S,横軸:ステップ数

Fig. 14 Sの比較

を考える。カラーパターン上の座標に対応させたHLSデータはセンサからのRGB出力を換算し得ている。同じRGBを用いH,Sそれぞれを求めたところ,HはSに比べ比較的理論値に近い結果になった。このことについて考察する。

Hは式12に示す方法で求められる。つまりRGBに関係する数値を比として利用している。そのため, Fig.12のRGBの結果に示すように実測値が理論値に比べ小さかったとしても, 比としてはほぼ変わらない結果になったと考えられる。

一方,Sは式13に示す方法,つまりRGBに関係する数値の2乗和の平方根として求めているため, RGBの実測値が理論値に比べ小さいことが大きく影響しFig.14に示すように理論値とまったくかけ離れた結果になったと考えられる。

さらに, Fig.12に示した実測値が理論値と大きくかけ離れている理由はカラーセンサの光電流特性の考察が不足しているためだと考えられる。

5. まとめ

本研究ではRGBフルカラーセンサを用いた絶対座標エンコーダを開発している。本来,面の絶対位置を計測することに主眼を置いているが, 色の取得に関しては1次元,2次元ともに本質的には異ならないため今回は計測しやすい1次元で評価した。

今後の課題として,センサ出力のRGBデータへの換算やカラーパターンの配色方法などに改良の余地が残されている。たとえばRGBデータの換算方法として,カラーパターンが白から黒に変化する場合の電流データから電流データを正規化し,RGBに変換する方法を検討している。電気的な部分以外にも,計測用装置の筐体作成や,カラーパターン作成方法の根本的改良など解決すべき課題が残されている。

謝辞

本研究は多摩川精機株式会社八戸事業所におけるインターンシップを契機として進めているものであることをここに記し, 浜信治氏をはじめ関係する皆様に謝意を表します。

参考文献

- 1) 酒井幸市(著): デジタル画像処理入門, 101/105, QC出版社(2002).
- 2) 桑野雅彦(著): はじめてのPSoCマイコン, QC出版社(2002).