

回転子シャフトの画像データによる回転角度検出

Detection of rotational position using the image on rotor shaft

○吉久 靖彦, 秋山 宜万, 三浦 武, 谷口 敏幸

○Yasuhiko Yoshihisa, Yoshikazu Akiyama

Takeshi Miura, Toshiyuki Taniguchi

秋田大学

Akita University

キーワード：画像データ(image data), スキャニングライン(scanning line),
回転子シャフト(rotor shaft), ステッピングモータ(steping motor),
角度検出(angle detection)

連絡先：〒010-8502 秋田県秋田市手形学園町 1-1 秋田大学工学資源学部 電気電子工学科
三浦 武, TEL:(018)889-2338, FAX:(018) 837-0406, E-mail:miura@ipc.akita-u.ac.jp

1. はじめに

ステッピングモータやサーボモータなどの小形モータの回転角度を検出する場合、従来から用いられている回転角度に比例したパルスを発生させる光学式ロータリーエンコーダのようなセンサを用いると、モータの回転子シャフトに直接取り付ける必要があるためモータにとって負荷となり悪影響を及ぼすことがある。そこでCCDカメラによる画像データを用いることによってモータに非接触で回転角度を精密に検出することが可能であり¹⁾、またモータの回転子シャフト自体に回転角度検出のためのパターンを描くと、付加物を付けることなく回転子シャフトの回転角度を検出することが可能になる。本研究ではどのようなパターンが検出精度の面から回転角度検出に最適かを検討し、また回転子シャフトに描くパターンによってどれぐらいの角度分解能が得られるかを検討した。本研究の方法はモータの実運転

状態で位置検出用インデックスをモータシャフトに描くことができる方法であるため、その実用価値は高いと考えられる。

2. 実験装置の構成

本研究で用いた実験装置の構成を図1に示す。

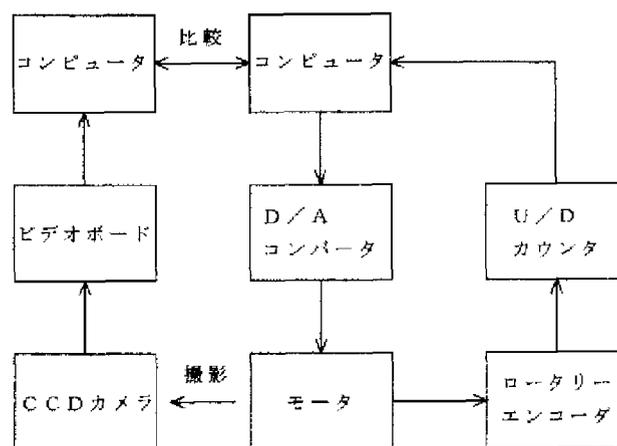


図1 実験装置の構成

fig.1 Configuration of an experimental device

モータの回転子シャフトを撮影するCCDカメラはNTSC信号を出力し、ビデオボードを介して 640×480 [pixel]の画像がコンピュータに入力され画像処理を行い回転角度を検出する。画像によって得られた回転角度と光学式ロータリーエンコーダによって得られた回転角度を比較する。光学式ロータリーエンコーダは 5000 [pulse/revolution]のものを、アップダウンカウンタで4逓倍され、 20000 [pulse/revolution]になり、角度分解能は 0.018 [deg]になる。

次にモータの回転子シャフトとCCDカメラの配置図を図2に示す。シャフトの直径は 6 [mm]であり、レンズとシャフト表面の距離は 5 [mm]である。CCDカメラを固定し、回転するシャフトの様子を撮影する。

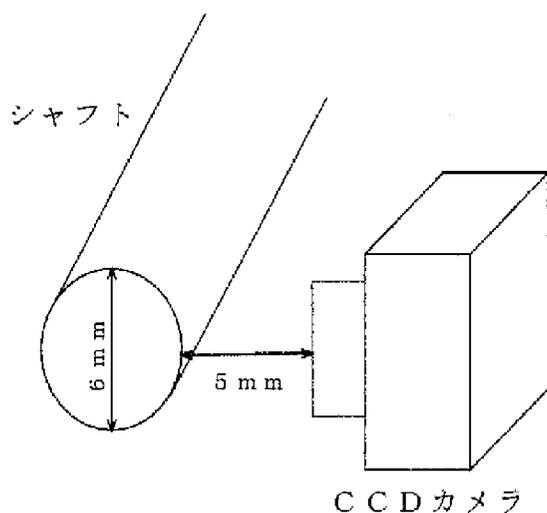


図2 シャフトとCCDカメラの配置図
fig.2 Arrangement of positions of a shaft and CCD camera

本研究では円周方向へ回転角度に比例した数値を書き込み、その数値を読みとって回転角度を検出する方法をとっているため、書き込んだ数値の個数によって角度分解能が決まる。

モータの回転子シャフトに直接パターンを描く方法は、市販されているバブルジェット方式のキヤノン社製BJ-30vプリンタを用

いて、ステッピングモータを一定角度間隔で駆動させ、停止位置でプリンタでパターンを描く方法である。このときの間隔が角度分解能になる。モータの回転子シャフトとプリンタのインクヘッドの配置図を図3に示す。用いたプリンタにおいては、4回の紙送りとそれぞれに対応したノズルからのインクの噴出によって印字の最小単位である1ドットが形成されることが確認された。またプリントヘッドのノズルは 128 個あり、1ドットを描くとき毎回同じノズルからインクが噴出されていることが確認され、同じノズルから噴出されたインクを複数回使用することによって正確なパターンが得られた。インクヘッドを図4に示す。インクを噴出するノズルは円周方向に向かって直列に並んでおり、どのノズルからインクを噴出するかによってパターンを変えて描く。シャフトの軸方向への移動はインクヘッド自体の移動によって実現することが可能である。

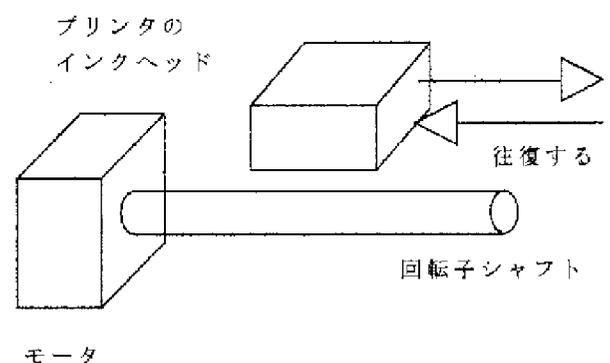


図3 シャフトとインクヘッドの配置図
fig.3 Arrangement of positions of a shaft and ink head

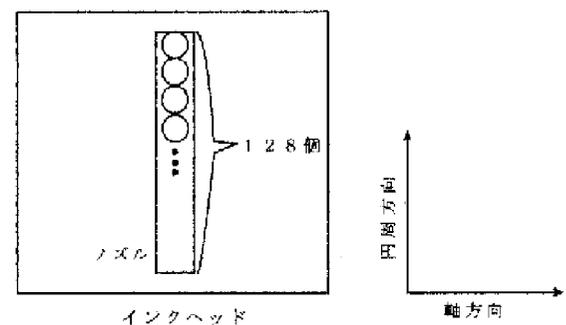


図4 インクヘッド
fig.4 Ink head

プリンタの最高解像度は360dpiであるから1dotでパターンの最小部品を描くと理論上は269個の数値を表示できることになる。しかしインクの飛び散りの誤差を考えると3dot程度に広がってしまう。よって本研究で用いたプリンタで得られるパターンの出力数は72[pulse/revolution]になり、角度分解能は5[deg]になる。例えば5000[pulse/revolution]の光学式ロータリーエンコーダと同じ直径の大きさのシャフトにパターンを描くと、出力数は720[pulse/revolution]になり、角度分解能は0.5[deg]になる。

ここでの角度分解能はプリンタの解像度に比例して高くなっていく。

このようにモータを駆動させながら回転子シャフトに直接パターンを描いていくことが可能になると、将来的には実運動状態でもプリンタとCCDカメラがあれば回転角度を検出できるようになり、非常に有用性が高い。また既に備え付けられているモータや、条件の悪い状態にあるモータについても回転角度を検出しようとするとき本研究で用いられている方法は有効である。

3. パターンについて

本研究で用いたパターンについて説明する。回転角度の検出方法は円周方向に描かれた回転角度に比例した数値を読みとる方法であるから、描かれるパターンは小さい方が分解能は高い。よって数値を描くよりも数値を符号化して描いた方が分解能は高くなる。符号化の方法としては様々な方法があるが、一般的な符号化の方法である自然2進符号と交番2進符号(Gray Code)によるパターンを回転角度検出に適用した。自然2進符号から交番2進符号へ、交番2進符号から自然2進符号への変換方法を次に示す。²⁾

$B_0 B_1 B_2 B_3$: 4bit自然2進符号

$G_0 G_1 G_2 G_3$: 4bit交番2進符号

自然2進符号から交番2進符号へ

$$G_0 = 0 \oplus B_0$$

$$G_1 = B_0 \oplus B_1$$

$$G_2 = B_1 \oplus B_2$$

$$G_3 = B_2 \oplus B_3$$

交番2進符号から自然2進符号へ

$$B_0 = G_0$$

$$B_1 = B_0 \oplus G_1$$

$$B_2 = B_1 \oplus G_2$$

$$B_3 = B_2 \oplus G_3$$

ただし \oplus はXOR (排他的論理和)

このようにして得られる自然2進符号、交番2進符号のパターンを図5に示す。

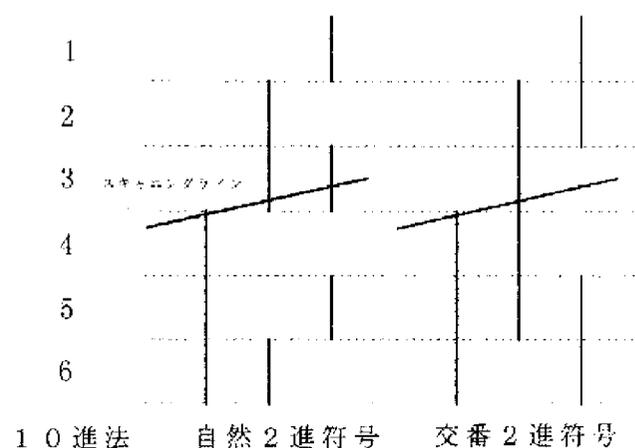


図5 パターン

fig.5 Pattern

10進法で1増えると自然2進符号では少なくとも1つ以上のビットが変化するが、交番2進符号はいずれかのビットしか変化しない(ハミング距離が1である)という利点がある。これをモータの回転角度検出に応用すると、たとえばインクのにじみ等によってビット同士が重なってしまったり、撮影においてカメラが

パターンに対して傾いていたとしても、いずれか1つのビットしか変化しないため、飛び抜けた値は出現しない。このことから回転角度検出の分解能の面において交番2進符号は非常に有効な符号化である。

例えばスキヤニングラインが図5のようになるとき10進法では3もしくは4になるはずであるのに自然2進符号では111となり10進法に直すと7になってしまう。ところが交番2進符号においては110となり、これを10進法に直すと4になり、交番2進符号は飛び抜けた値はとり得ないことがわかる。よって交番2進符号が回転角度検出において非常に有効な符号化であることがわかる。

交番2進符号をパターンとして用いたとき画像から回転角度に変換する流れを図6に示す。

CCDカメラによって
撮影された画像

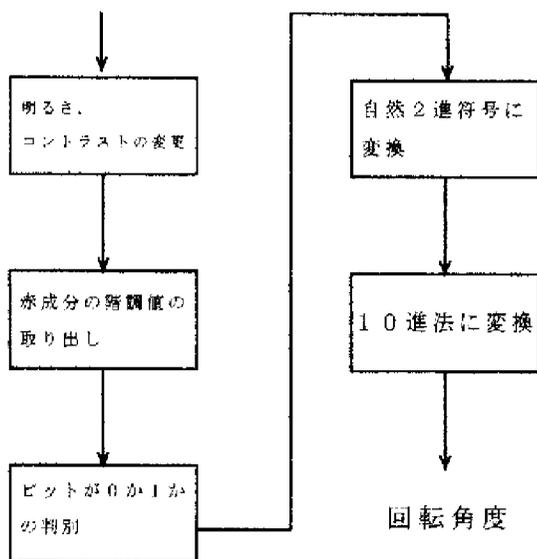


図6 画像から回転角度への変換
fig.6 Conversion from a image to
a rotation angle

CCDカメラによって撮影された画像が入力され、まず認識しやすくするために元の画像の、明るさとコントラストを変更し、横のピクセル

に対する赤色成分の階調値を取り出す、この階調に対してしきい値によってビットが0か1かを判別する。次に、得られた4ビットの符号を元の10進法に戻すために、まず自然2進符号に変換し、その次に10進法に変換して回転角度を得る。パターンが自然2進符号の場合は自然2進符号に戻す作業は省かれる。

4. 実験結果

図7に自然2進符号を用いた時に撮影した回転子シャフトの画像、図8に横のピクセルに対する赤色成分についての階調の変化、図9に光学式ロータリーエンコーダによる回転角度と画像による回転角度、図10にロータリーエンコーダと画像との回転角度の誤差を示し、図11に交番2進符号を用いた時に撮影した回転子シャフトの画像、図12に横のピクセルに対する赤色成分についての階調の変化、図13に光学式ロータリーエンコーダによる回転角度と画像による回転角度、図14にロータリーエンコーダと画像との回転角度の誤差を示す。

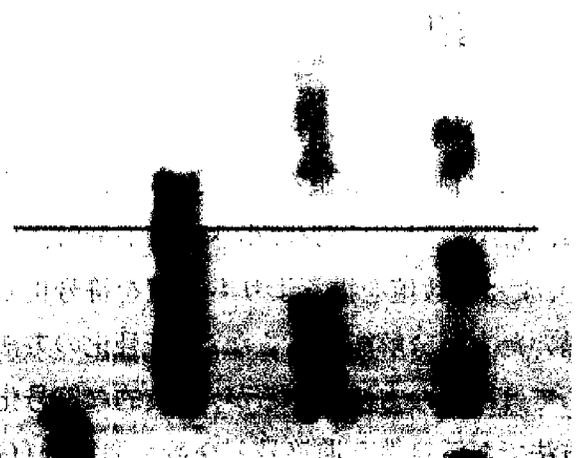


図7 自然2進符号を用いたときの画像

fig.7 Image using natural code

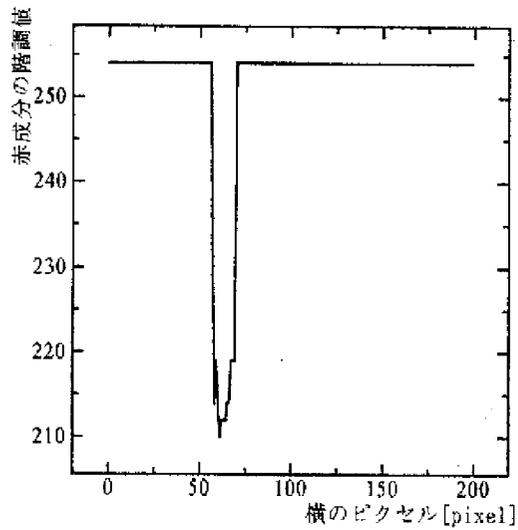


図8 自然2進符号を用いたときの赤色成分の階調値

fig.8 Scale value of red using natural code



図11 交番2進符号を用いたときの画像

fig.11 Image using gray code

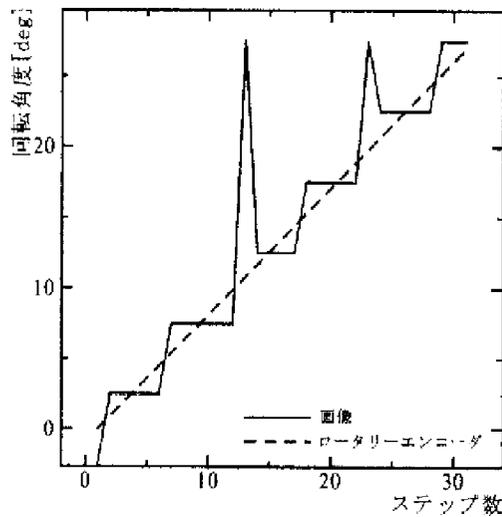


図9 自然2進符号を用いたときの回転角度

fig.9 Rotation angle using natural code

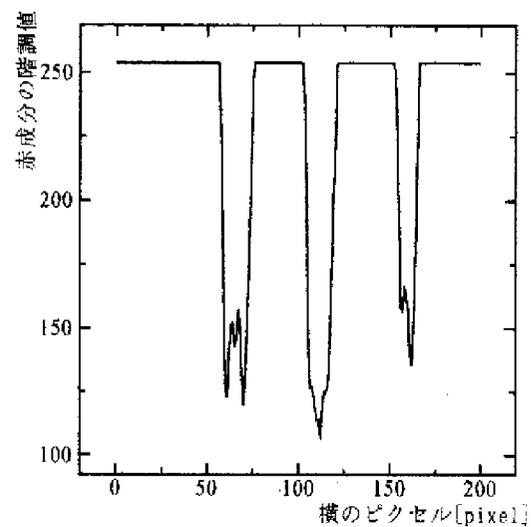


図12 交番2進符号を用いたときの赤色成分の階調値

fig.12 Scale value of red using gray code

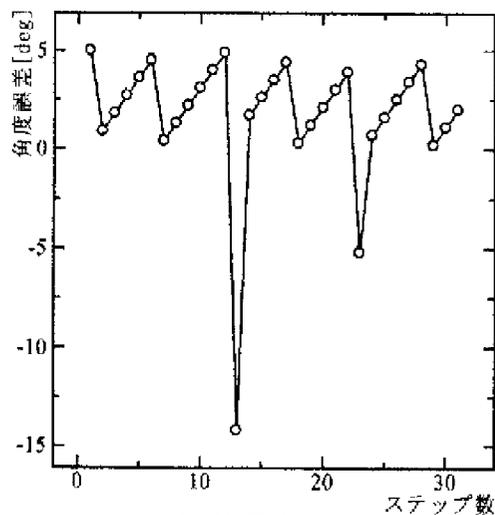


図10 自然2進符号を用いたときの回転角度誤差

fig.10 Rotation angle error using natural code

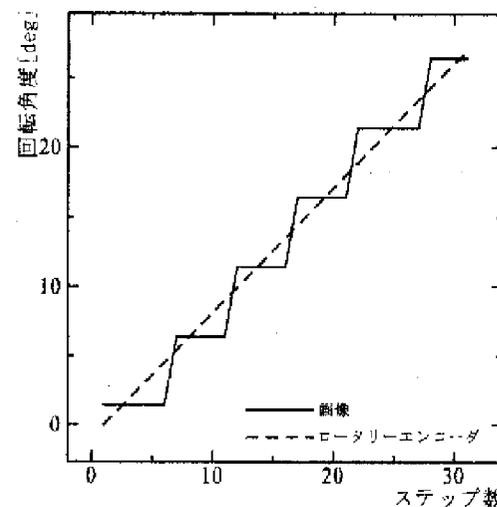


図13 交番2進符号を用いたときの回転角度

fig.13 Rotation angle using gray code

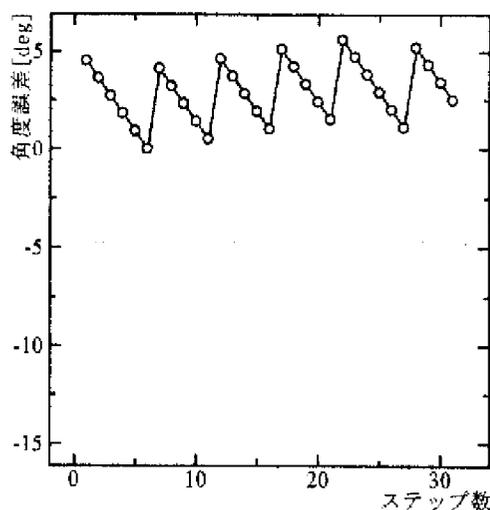


図1.4 交番2進符号を用いたときの
回転角度誤差

fig.14 Rotation angle error using gray code

0. 9 [deg]のステップ間隔でモータを駆動させ、画像による回転角度と光学式ロータリーエンコーダによる回転角度を比較した。自然2進符号についてはインクの飛び散り等によるビットの重なるの回転誤差がみられる。交番2進符号においては自然2進符号と同様に角度分解能以上の誤差がみられるが、いずれかの1ビットしか変化しないという交番2進符号の特徴のため自然2進符号のような誤差は出現していないことがわかる。

5. おわりに

モータに負荷とならないように回転子シャフトに直接回転角度検出用のパターンを描き、360 dpiの市販バブルジェットプリンタを使い、直径6 [mm]のシャフトに対して出力数72 [pulse/revolution]、角度分解能5 [deg]が得られた。

パターンとして交番2進符号を用いることが回転角度検出を行うに当たって有効であることが確認できた。

本研究で用いた実験装置を使うと、モータの実運転状態で位置検出用パターンをモータシャフトに描くことができる方法であるため、プ

リンタとCCDカメラがあれば、既に備え付けのモータについても回転角度を検出することが可能になる利点がある。

参考文献

- 1) 吉久靖彦, 秋山宜万, 三浦武, 谷口敏幸: 画像データを用いたモータの回転角度検出, 計測自動制御学会東北支部第169回研究集会, 資料番号169-3, (1997)
- 2) 斉藤忠夫: デジタル回路, 3/4, コロナ社 (1982)