

福岡工業大学 機関リポジトリ

FITREPO

Title	光学マウスセンサーを用いた移動ロボットの制御
Author(s)	田中 卓史
Citation	福岡工業大学研究論集 第40巻第2号 P217-P221
Issue Date	2008-2
URI	http://hdl.handle.net/11478/953
Right	
Type	Departmental Bulletin Paper
Textversion	Publisher

Fukuoka Institute of Technology

光学マウスセンサーを用いた移動ロボットの制御

田 中 卓 史 (情報工学科)

Control of a Moving Robot by Using an Optical Mouse Sensor

Takushi TANAKA (Department of Computer Science and Engineering
Faculty of Information Engineering)

abstract

We develop a precision moving robot that uses an optical mouse sensor and two drive-wheels placed in parallel. Optical mouse sensor detects two-dimensional movements and generates signals according to its own orthogonal XY-axis. When the sensor is placed at the top of a right isosceles triangle composed of two drive wheels, the sensor independently generates motion signals for each wheel along its own orthogonal XY-axis. These signals are used as feedback signals to produce phase locked loops with the motors which drive the wheels.

Key words: *phase locked loop, optical mouse sensor DC-motor control, feedback*

1 はじめに

車椅子のように左右に配置された2輪で駆動される移動ロボットを精密に制御する方法として、これまで車輪の回転角を検出し、フィードバックする方法をとってきたが[2], 車輪と地面との間に滑りがあると誤差を生じる。そこで、光学マウス用のセンサーを用いてロボットの実際の移動量を直接的に検出して、車輪を駆動するモーターとの間でPLL (Phase Locked Loop) を構成し、ロボットの精密移動制御を行う方法を開発した。

光学マウスはボールを用いた機械式のマウスと比較すると非接触で精密に2次元平面の移動量を検出することができる。光学マウスに搭載されているXY移動センサーは移動量(マウスの前方を仮りにY軸として)直交するXY軸成分に分解して出力する。XY移動センサーを2つの駆動輪を底辺とする直角二等辺三角形の頂点に配置し、センサーのXY座標軸を三角形の

直交する辺に一致させると、それぞれの駆動輪による移動量をXYセンサーから独立に取り出すことができる。XYセンサーから取り出される移動量をフィードバックして、左右両輪の移動すべき基準信号と比較してモータのスピードを制御する。

2 光学マウスセンサー

ここで用いた光学マウス用のセンサーはAgilent Technologies社のADSN-2051と呼ばれる製品で、広く光学マウスに使用されている。センサーはレンズに写る画像を次々に取り込み、前の画像と比較してマウスの移動量を計算し、XY直交座標に分けて出力する。移動量はセンサー内レジスタを読むか、各軸4個の状態遷移を表す2bitのデータ(4相クロック)を監視することで得られる。X軸およびY軸に関して、それぞれ図1に示す有限状態機械が存在し、パワーアップによりState 0となる。+1はX軸あるいはY軸の正の方向に、-1は負の方向に画像処理における1ピクセル分移動することを意味している。正の方向に進めば状態は0→1→3→2と変化し、二つの信号線ABからは

それぞれ、 $0 \rightarrow 0 \rightarrow 1 \rightarrow 1$ 及び $0 \rightarrow 1 \rightarrow 1 \rightarrow 0$ と出力される。負の方向に進めばそれぞれ、 $0 \rightarrow 1 \rightarrow 1 \rightarrow 0$ 及び $0 \rightarrow 0 \rightarrow 1 \rightarrow 1$ と出力される。この二つの信号線上の2bitのデータは、ボールマウスとの互換性から、移動量を2本の線に現れるパルスで表したもので、二つの線上のパルスの位相が90度ずれており、位相差の正負から進む方向を知ることができる。

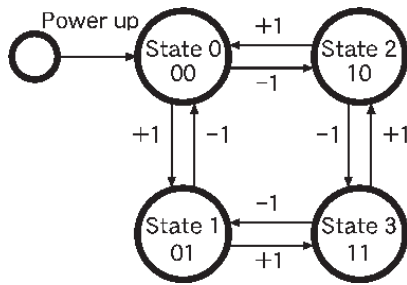


図 1 : XY 移動センサーの状態遷移
Fig. 1: State transition of XY-moving sensor

このセンサーはレンズを通して写るイメージを処理するので、レンズと床までの距離が正しく保たれないと、イメージが焦点を結ばず、正しい動作をしない。レンズから床面までの距離は $2.4\text{mm} \pm 0.2\text{mm}$ となるよう指定されており、この距離を正しく保つにはセンサーを市販のマウスに搭載したままの状態を使い、マウスをそのままロボットの一部に組み込むのが良さそうである。

3 センサーの配置

図 2 に示すように、センサーを市販のマウスに搭載したまま、2 個の車輪を底辺とする直角二等辺三角形の頂点に配置し、マウスの XY 軸が直交する 2 辺に一致するように向きを定める。右車輪が前方向 (R 方向) に微小距離 ΔR 進むと、センサーは X 方向に ΔX 進むことになる。同じく左車輪が前方向 (L 方向) に ΔL 進むと、センサーは Y 方向に ΔY 進むことになり、それぞれの車輪による移動量が XY センサーより独立に得られる。

直角二等辺三角形の底辺と ΔR がなす直角三角形、及び斜辺と ΔX がなす直角三角形は相似であるから、移動量 ΔX と ΔY をそれぞれ $\sqrt{2}$ 倍すると R 車輪と L 車輪による移動量 ΔR と ΔL が得られる。

このセンサーは毎秒14インチの移動まで検出できる

ので、単純に計算すると、ロボットの前方へ直進する場合の最高速度は 50.14cm/s ($2.54 \times 14 \times 1.41$) となる。また、状態遷移を表すデータの線的一方だけに着目すると、100dpi 当り 1 個のパルスが出力されることになるので、パルスの最高の周波数は 1.4KHz (100×14) となる。

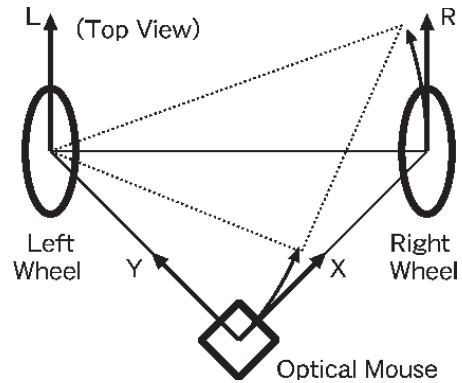


図 2 : 光学センサーの配置
Fig. 2: Arrangement of optical sensor

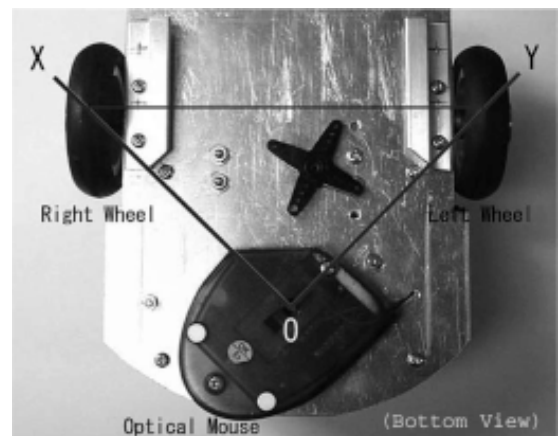


図 3 : 光学センサーの写真 (裏面)
Fig. 3: Photo of optical sensor (bottom view)

4 位相ロックループの構成

右モーターにより右車輪が駆動され、車体が R 方向に動くと、センサーは X 方向に移動し、X 信号のパルスを出力する。左モーターにより左車輪が駆動され、車体が L 方向に動くと、センサーは Y 方向に移動し、Y 信号のパルスを出力する。このモーターに加えた電

圧と移動により出力されるパルスの関係を電圧制御発振器と見なして、図4に示すPLLを左右の車輪制御用に2個構成している。

光学マウスセンサーはレンズに映る地面のパターンを認識し、XY成分の移動量を検出している。画像を取り込み処理し、処理結果を毎秒1500回で繰り返すフレームの波形パターンとして出力するので、ボールマウスとの互換性のため出力される信号は移動量を示す総パルス数は正確であっても、ミクロに見ると画像処理に要する時間やフレームとして出力に要する時間などから、タイミング的に実際の移動から多少ずれることになる。この問題の影響を少なくするために、XYセンサーからの信号をそのままフィードバック信号として使わずに、1/8に分周して位相比较を行っている。XYセンサーからは100dpiで信号が出ているので、8分周すると12.5dpiとなり、センサーのX軸あるいはY軸方向に約2mm移動して1個のパルスを出すことになる。これは車輪が2.87mm移動したことに相当する。従来、車輪の回転角を検出してフィードバック信号としたモデル[2]は、直径58mmの車輪の1回転を64等分していたので、2.85mm (58×3.14/64)の移動に1個のパルスを生成しており、ほぼ同じ距離の移動に同じパルスを生成する。そこで、前のモデルで開発した制御プログラムをそのまま使うことができる。

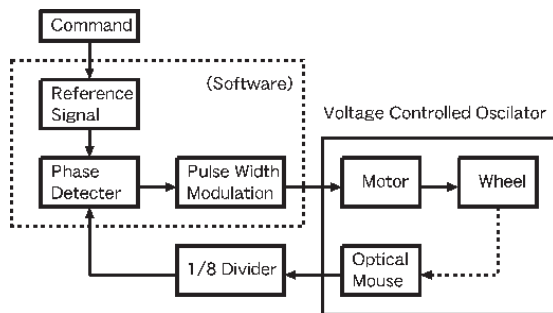


図4：位相ロックループ
Fig. 4: Phase Locked Loop

8分周された信号は位相比较器に加えられる。この信号はロボット移動コマンドにより生成された基準信号と比較される。基準速度より移動が遅ければ、モータの回転速度を上げるようにモーターに電圧を加え、逆に移動速度の方が速ければ、速度を落とすようにモーターにブレーキを掛ける。

5 位相比較とPWMの生成

直流モーターの回転は電圧に比例するので、XYセンサーからの移動情報と組み合わせて、直流モーターを電圧制御発振器とみなすことができる。しかし、回転を制御するための直流の可変電圧を電力損失を伴わずに作ることは容易でない。サッカーロボットは電池で動作するので、省エネルギーの観点から、可変電圧は用いずに、PWM (Pulse Width Modulation) で回転の制御を行っている。PWMは回路的に生成するのではなく、ソフトウェア的に生成することで回路の構造を簡単にしている (図4)。

直流モーターはPWMのデューティー比が小さい時はパルス幅に比例して回転が上昇し、ある程度大きくなると、電圧と負荷で定まる回転数に押えられる。そこで、モーターの回転を位相ロック状態にするには、想定した基準となる回転信号よりも、電圧と負荷で定まる回転数が十分高いことが必要である。

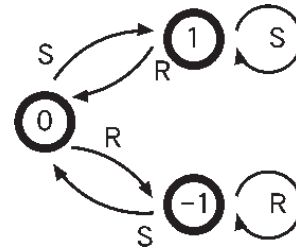


図5：PWMを作る状態遷移
Fig. 5: State transition for generating PWM

位相比較とPWMの生成はソフトウェア的に実現したアップダウンカウンタを用いている (図5)。状態0において、モーターはハイインピーダンスになっている。位相比較器には移動すべき速度を基準信号として与え、またセンサーからの実際の移動信号を入力信号として与える。基準信号の立上り (S信号) でカウントアップし状態1に移る。状態1ではモーターに電圧が加わりモーターを起動する。ロボットが静止状態から動き出すときは、センサーからの移動信号がくる前に、続けてS信号がくることが起こる。このときは引続き状態1となる (図6)。やがて、ロボットが移動し始めて移動信号の立上り (R信号) がくると、状態0に遷移し、モーターはハイインピーダンスとなり、慣性で回る。移動速度が上昇し、S信号とR信号の周

波数が一致すると、ロック状態となり状態0と状態1を行き来する(図7)。減速のため基準信号の周波数を下げ、慣性によりR信号の数がS信号を上回ると、-1状態に移る。この状態はモーターをショートしブレーキを掛ける。ブレーキもPWMとして加わり基準信号に対して位相ロック状態となる(図8)。

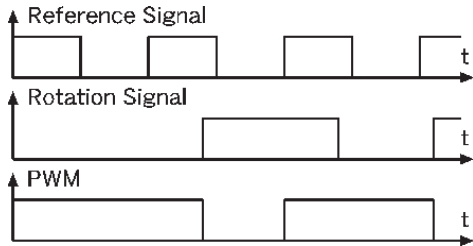


図6：未ロック状態のPWM
Fig. 6: PWM in unlocked state

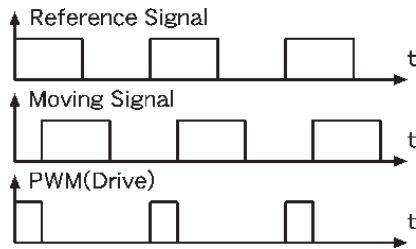


図7：ロック状態(駆動)のPWM
Fig. 7: PWM in locked state (drive)

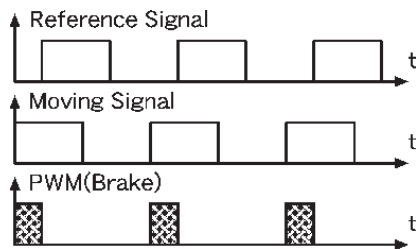


図8：ロック状態(ブレーキ)のPWM
Fig. 8: PWM in locked state (brake)

6 動作比較と問題点

光学マウス用のXY移動センサーを用いてロボットの左右の車輪による移動量を独立に、直接的に取り出せるようになった。移動信号を1/8に分周することで、昨年度に開発したモデル(ロボットの車輪の回転

角を検出する方式)とほぼ同じフィードバック信号を得ることができたので、同じコントローラをそのまま用いて従来の回転角検出方式のマシンとの動作比較を行った。

車輪の回転角から移動量を求める方式は車輪の滑り(空転)による誤差を生じたのであるが、新しい光学マウスセンサーを用いる方式は移動量を直接的に求めるので、原理的に精密移動が可能になる。しかし、実際に動作をさせると従来の回転角検出方式のマシンよりも、見ただけでぎくしゃくした不正確な動きをする。光学マウスセンサーの真上に400グラム程度の重りを乗せると一変して精密な動きに変わる。コンピュータマウスは常に手で上から押さえて、マウスパッドと密着して使うことが想定されており、ロボットに搭載したマウスセンサーも床面と常に密着することが要求される。図3の写真に示すロボットはマウスセンサーをロボットのフレームに固定していたために、床面の凹凸や移動による車体の振動でマウスの底面がわずかに持ち上がり、正確な移動信号が出なかったと考えられる。

一般に負帰還システムは持てる最大能力を帰還信号を利用して必要な量に押さえて使っている。移動センサーからの信号が少ないと、システムは十分移動してないと判断して最大の出力でモーターを回そうとする。そのため、センサーからの移動信号が欠落すると、ロボットはぎくしゃくした動きをすることになる。

表1：移動量検出制御方式の比較

	回転角検出方式	光学マウス方式
(i) 移動量検出	間接	直接
(ii) 車輪の滑りの問題	×	○
(iii) フィードバックループ	閉	開
(iv) ループの丈夫さ	○	×

ロボットの移動実験を通して、二つの異なる移動量検出制御方式の特徴を比較すると表1のようにまとめることができる。(i)移動量の検出は回転角検出方式が間接的であるのに対して光学マウス方式は直接的に検出する。(ii)車輪の滑りは回転角検出方式において移動量の誤差を生じるが、光学マウスセンサーを用いる方式では問題にならない。(iii)回転角検出方式はフィードバックループがロボット内で閉じているのに対して、光学マウス方式はループが外界に開かれている。

(iv)光学マウス方式はループが外界に開かれているので、床面の凹凸や弯曲などの検出エラーの要因が入り込み、ループが切れやすい。一方、車輪の回転角を検出する方法はモーターからセンサーまでが機械的に直結されており、ループの中に外的要因が入り込む余地がないので、悪環境にもフィードバックループが切れることがなく、丈夫なものになっている。

pp.193-198, 2006.

7 おわりに

ロボットに精密な移動を行わせるには、ロボットの移動量を正確に検出することが必要になる。車輪の回転角から間接的にロボットの移動量を求める方式よりも光学マウス用のセンサーを用いる方法は、直接的に移動量を検出できるので原理的に優れている。しかし、正しく動作させるにはコンピュータマウスをマウスパッドに密着させて使うのと同じように、センサーを床面に密着させることが必要になる。そのため、センサーはロボットのフレームに固定せずに、バネなどを利用して、床面に密着させながら滑らせるような工夫が必要になる。しかし、この問題はマウス用に開発されたセンサーをロボット用に流用したことに起因しており、レンズの焦点距離や焦点深度をロボットの移動検出用に調節すれば解決できる問題と考えられる。

今年になって、米国では roomba と呼ばれる 2 輪駆動の自動掃除ロボットが発売され、広く使われるようになってきている。これからもますます 2 輪駆動の移動ロボットが民生機器として登場することが予測される。ここで開発した 1 個の XY 移動センサーを用いて、左右 2 輪の移動量を独立に直接的に検出する方法は、2 輪駆動の移動ロボットや車椅子の自動制御に広く応用することができる。

謝辞

この研究は福岡県産業科学技術振興財団による平成 18 年度、19 年度ロボット開発技術力強化事業助成金を受けて行った。

参考文献

- [1] 田中卓史, 石井優, 谷口泰敏, 白川弘明: サッカーロボット Yamakasa の構造と機能, 福岡工業大学情報科学研究所所報, 第13巻, pp.93-98, 2002.
- [2] 田中卓史: ソフトウェアにより実現した PLL によるモーター制御, 福岡工業大学研究論集, 第39巻,