

自律測位結果に応じたスポットセンサからの補正情報提供による屋内測位システム

石渡 要介[†] 神田 準史郎[†] 久永 聡[†] 田中 聡[†]

我々は、屋内のユーザーナビゲーションに適用することを目的として、加速度センサと地磁気センサの情報を利用した自律測位の研究を行っている。自律測位ではセンサの誤差蓄積により位置のずれが発生するため、この解消のために電波を利用したスポットセンサを用い外部からの補正情報を与えることを検討した。しかしながら、電波利用のスポットセンサでは誤検知の発生が考えられるため、我々は自律測位の結果に基づき設置したスポットセンサの動作を変更して、ユーザーの位置に近いスポットセンサのみを利用することによって補正情報の精度を上げるシステムを考案した。

本論文では、上記システムのシミュレーション結果及びプロトタイプシステムによる動作結果を示し、有効性を検証する。

Indoor-Positioning System with correcting method using spot sensors collaborated with the output of autonomous positioning calculation

Yosuke Ishiwatari[†], Junshiro Kanda[†], Satoshi Hisanaga[†], Satoshi Tanaka[†]

This paper introduces an autonomous positioning system using accelerate sensors and geomagnetic sensors for indoor navigation applications.

Because the error margin of the sensor is accumulated, an autonomous positioning system has a problem that increases the difference between calculated position and its right position as time passes. So we investigate the system to use spot sensors to give its right position.

We propose a system that resolves a problem of miss detection by changing behavior of the spot sensors to send correction data only to users near spot sensor.

In this paper, we describe a simulation result and experiment results of a prototype system to prove the efficiency of our system.

[†]三菱電機株式会社 情報技術総合研究所, Information Technology R&D Center, Mitsubishi Electric Corp.

1. はじめに

GPS 内蔵携帯電話の普及により、自位置に関連する情報を取得する LBS(Location Based Services)の普及がはじまっている。LBS を広く実現するために、GPS だけでは地下街などの屋内での自位置把握ができないため、屋内での位置検知手段に対するニーズが今後高まってくると予想される。

我々はこれに対し、屋内測位、とりわけ屋内の歩行者ナビゲーションに対する様々な研究を行ってきた[1][2][3]。現在は屋内ナビゲーションに対する位置検知手段として自律測位を適用することを検討している。歩行者などの人間に対して自律測位を適用する場合、センサの大きさや価格・精度の問題や、時間経過に伴う誤差の蓄積という問題がある。

そこで本論文では、自律測位の誤差解消のための一手法としてスポットセンサによる測位対象への補正情報の配信を行うことを提案する。さらにスポットセンサを利用する際の誤検知問題を解消する方式を考案した。本方式の有効性を検証するため、プロトタイプシステムを実装した。

2. 自律測位を用いた屋内測位

自律測位とは、進行方向と移動量から次の位置を順に求める測位手法であり、一般的に加速度センサや車速センサ、ジャイロや地磁気センサなどの出力を利用する。

自律測位自体の研究は車や船舶、飛行機やロボットなどへの適用は多数行われている。歩行者に自律測位を適用した研究としては、加速度センサとジャイロを用いて角度と加速度を求め、加速度を2階積分する手法 [4] や、加速度から直接速度を求めずに歩数・歩幅検知をする手法 [5][6] などが提案されている。

屋内ナビゲーションに対する自律測位の適

用を考える場合、測位対象者に持たせることのできるセンサに限られる。すなわち、センサ自体が安く小さく、扱いが容易でメンテナンスがしやすいものである必要がある。この条件を満たすものとして、例えば MEMS のような半導体デバイスを利用することが考えられる。しかしながら、これらのデバイスはダイナミックレンジなどの問題から精度が比較的落ちる問題がある [7]。

加えて、自律測位で用いられるこれらのデバイスの特徴としてドリフト(ゼロ点移動)の問題もあり、これらの補正を加味しつつ測位を行わなくてはならない [4][5][6]。

表 1 代表的なジャイロのダイナミックレンジ (出展 : [7])

ジャイロの種類	ダイナミックレンジ
ガスレートセンサ	$10^{-3} \sim 10^{-4}$
振動ジャイロ	$10^{-3} \sim 10^{-5}$
MEMS ジャイロ	$10^{-3} \sim 10^{-5}$
レートジャイロ	$10^{-3} \sim 10^{-4}$
レート積分ジャイロ	$10^{-5} \sim 10^{-6}$
DTG	$10^{-5} \sim 10^{-6}$
FOG	$10^{-5} \sim 10^{-7}$
RLG	$10^{-6} \sim 10^{-9}$

3. スポット補正を併用した屋内測位システム

3.1. スポットセンサによる位置補正

自律測位の問題点解消の一手法として、外部からの真値入力による補正(CUPT: Coordinate UPdaTe)がある [8]。すなわち、測位環境にスポットセンサ(赤外線・超音波など)を配置し、歩行者がそのセンサの範囲内を通過したことを検知して補正するものである。この場合、外部からの補正情報を受けるため自律測位としてのメリットの1つである「外部環境に依存せ

ず測位が可能になる」ことが失われるが、その分正確な情報が取得できることが期待される。

スポットセンサを用いる際、その検出範囲をどの程度とするかが問題となる。すなわち、屋内のある点(に近いくらいの狭さ)だけをカバーするような方法では、歩行者の動き方によっては補正したい場所でも補正されない状態が生じ、また補正のために必要なスポットセンサの数が増える(図 1)。そのため、なるべく少数のスポットセンサで、ある程度の幅を持った範囲での検出を行い、その結果から補正を行うことがコスト面から望ましい。

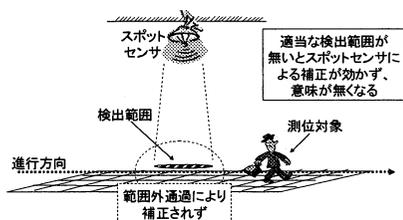


図 1 スポットセンサの検出幅の問題

スポットセンサとして使用できるデバイスは多種あるが、ある程度の範囲をカバーすることができ、センシング部間の関係が厳密ではなくても利用可能であるため、ここでは UHF 帯やアクティブ RFID のような中距離無線を利用する電波デバイスを想定する。

3.2. スポットセンサ補正の問題点

電波デバイスをスポットセンサとして用いる場合の問題点としては、電波の揺らぎによる不安定性がある。すなわち、スポットセンサからの距離が目的の距離内になった場合でも反応しない可能性があること、遠い距離でも反応することがあること、である。これにより、「目的のセンサ以外のセンサが反応し、与えた真値が全然違う値にしかならない」「複数同時に反応した場合にどこにいるのかわからない」といった状態になりうる。そのため、この誤検知

を如何に無くすことが出来るかが問題となる。

3.3. スポットセンサの問題を解決したシステムの提案

(1) 基本原理

前節で述べた通り、単に電波デバイスをスポットセンサとして利用するだけでは問題がある。

自律測位で問題とした点は、時間経過による誤差蓄積である。つまり、自律測位単体でも測位当初はある程度の誤差範囲内で測位出来ている。このことを利用し、「測位結果に近いスポットセンサを優先的に利用する」ことを検討する。自律測位で誤差が小さい間に得られた位置から「補正情報を与えるスポットセンサを間違えずに選び」「その結果与えられる補正情報で自律測位の誤差を減らす」ことを繰り返し、結果として測位の精度を一定範囲内に押さえることが可能であると考えられる。

測位対象に近いスポットセンサを選択する手法として、単に電波デバイスから到達した電波の RSSI 値の大小(RSSI 値は理論上デバイス間の距離の二乗に反比例するため)や到達時間による閾値を設けてフィルタリングするということも考えられる。しかしながら、実際には電波のゆらぎや周辺環境の変動によってこれらの値が変動するため、単なる閾値フィルタリングだけでは問題がある。そのため自律測位による結果を利用する。

(2) 構成要素

本システムは以下のセンサ・モジュールで構成される(図 2)。

- ・ 自律測位用センサ
測位対象が保持する。
- ・ 自律測位計算モジュール

センサからの情報をもとに相対測位を行う。測位結果をスポットセンサ制御用モジュール(下記)に通知する。

- ・ スポットセンサ
測位環境に設置する。測位座標系で位置が既知とする。
- ・ スポットセンサ制御モジュール
スポットセンサの反応状態取得・真値送信・自律測位計算モジュールからの位置取得を行う。
- ・ 各種通信路
自律測位計算モジュールとスポットセンサ制御用モジュール間での通信を行うためのもの。

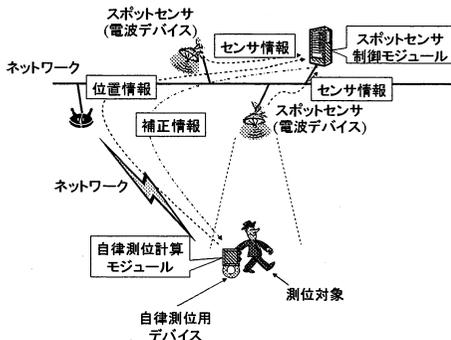


図 2 提案システムの構成

(3) 動作

システムの動作の流れは以下の通りである(図 3)。

- ・ 自律測位計算モジュールに初期値を渡し自律測位用センサの値を元に相対測位を行う。
- ・ 測位結果を逐次スポットセンサ制御モジュールに転送する。
- ・ スポットセンサ制御モジュールでは以下の処理を適宜行う
 - 1) 自律測位計算モジュールからの位置情報を受け取る
 - 2) 受け取った位置を元に、スポットセンサの結果に応じた処理内容を変更する。

変更内容としては、補正情報を送信するための閾値の上下変動などが上げられる

- 3) スポットセンサからの情報を元に位置真値を送信する
- 2) における処理は、内部的処理の他に、スポットセンサ H/W 自身の挙動変更を伴うこともあり得る。例えば感度や各種出力の上下、検出頻度増減などである。

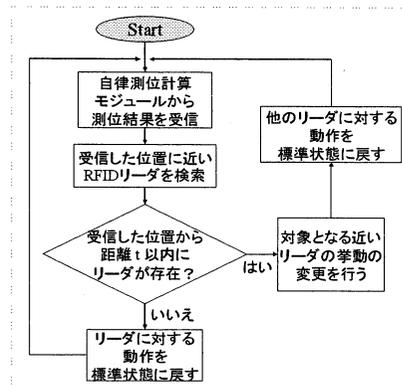


図 3 動作フロー

4. プロトタイプ実装

4.1. 使用機材

以下の機材を使用したプロトタイプを実装し、実験を行った(図 4)。

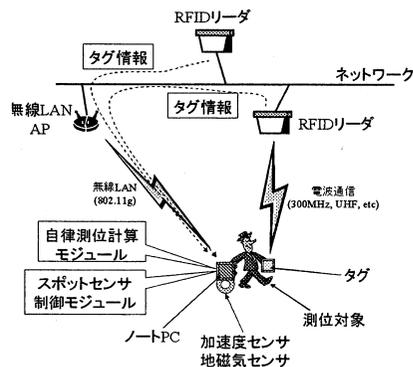


図 4 システム構成

- ・ アイチマイクロインテリジェント製 3 軸 加速度センサ +3 軸地磁気センサ AMI601[‡]
自律測位用デバイスとして使用
- ・ ノート PC
自律測位計算モジュールとスポットセンサ制御モジュールの両方が動作する。スポットセンサ制御モジュールでは、アクティブ RFID の制御・自律測位計算モジュールからの測位計算結果受信・自律測位計算モジュールへの補正情報送信を行う
- ・ 九州テン製アクティブ RFID タグ・リーダー TagStation
測位環境に配置され、また配置位置は既知であるとする。本プロトで使用したリーダーで取得できる RSSI 値は 0~15 の 16 段階で、値が大きいほど距離が短い。
- ・ 通信用無線 AP など、通信用機材

4.2. 加速度センサ・地磁気センサによる測位

人の移動は、進行方向および重力方向の加速度変化から歩行動作を検知することで検出する[6]。これにより歩数を計測し、歩幅を固定値(60cm)として移動量を計算する手法を採用した。

角度は地磁気センサによって得られた値に対し偏心補正を行う [9]。具体的には、測位開始点でセンサを地面に水平に 1 回転したときに地磁気値が円を描くように地磁気値を補正して角度を求める。具体的には、予めセンサを 1 回転させて取得した X,Y 軸方向の地磁気最大値を T_{x_max} 、 T_{y_max} 、地磁気最小値を T_{x_min} 、 T_{y_min} としたとき、X,Y 軸方向の

[‡] 実際には PC との接続のため、AMI601 を載せた同社製評価キット AMI601-CG を使用した

オフセット T_{x_off} 、 T_{y_off} 、X,Y 軸方向のスケールファクタ T_{x_sf} 、 T_{y_sf} を次の式で求めることができる。

$$T_{x_sf} = \max(1, \frac{T_{y_max} - T_{y_min}}{T_{x_max} - T_{x_min}}) \dots\dots(1)$$

$$T_{y_sf} = \max(1, \frac{T_{x_max} - T_{x_min}}{T_{y_max} - T_{y_min}}) \dots\dots(2)$$

$$T_{x_off} = \frac{T_{x_max} + T_{x_min}}{2} * T_{x_sf} \dots\dots(3)$$

$$T_{y_off} = \frac{T_{y_max} + T_{y_min}}{2} * T_{y_sf} \dots\dots(4)$$

ただし $\max(a,b)$ は a, b のうち小さい値

このようにして求めたオフセット・スケールから、センサから得られた値 T_x 、 T_y に対して $T_x' = (T_x - T_{x_off}) * T_{x_sf}$ 、 $T_y' = (T_y - T_{y_off}) * T_{y_sf}$ なる T_x' 、 T_y' を求め、この 2 つの値から角度 $\theta = \arctan(T_y'/T_x')$ を算出する。

4.3. リーダ制御動作

スポットセンサ制御モジュールでは以下の 2 つの機能を持つ(図 5)。

1) 位置情報処理部

リーダーからのタグの検出を知らせる情報を待ち、検出したタグの RSSI 値(電界強度値)を確認する。RSSI 値がそのリーダーに対して定められた閾値 th 未満である場合は情報を破棄し何もしない。閾値以上なら、そのリーダーに対応する補正値を測位対象に向けて送信する。

2) タグ情報処理部

自律測位計算モジュールからの位置情報を待つ。位置情報を受け取った後、その位置と各 RFID リーダの位置を比較し、対象の位置から一定距離 r (メートル)以内にあるリーダーの閾値を下げ、それ以外のリーダーの閾値を標準状態に戻す。

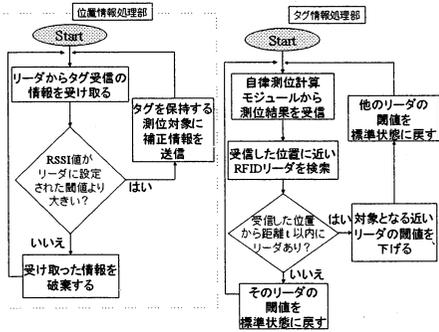


図 5 リーダー制御フロー

5. シミュレーションと実験

提案システムの有用性の検証のため、以下のシミュレーション及び実験を行った。今回の実験では誤差距離を「同一の場所を等速運動したと仮定した場合に到達している場所」との差分と定義して計算している。

5.1. シミュレーション

自律測位結果及びRFIDリーダー制御を行わなかった場合の結果から、制御した場合の有効性確認のためのシミュレーションを行った。結果を図6～図8に記す。図6は図原点から長方形のルートを反時計回りに歩いたときの自律測位のみでの測位結果である。図中破線が実際に歩いたルートを示し、実線が測位結果を示している。

平均誤差は1.91m、最大誤差は3.53m、誤差分散は0.454となっている。

図7はスポットセンサの制御を行わない場合の結果である。ただしRSSI値の閾値は6としている。このときの測定全体での平均誤差は2.04m、最大誤差は7.48m、誤差分散は2.524となっている。

この結果に対してスポットセンサ制御のシミュレーションを行ったものが図8である。前述と同様の誤差測定を行った結果、平均誤

差は1.60m、最大誤差は3.59m、誤差分散は0.862となっている。

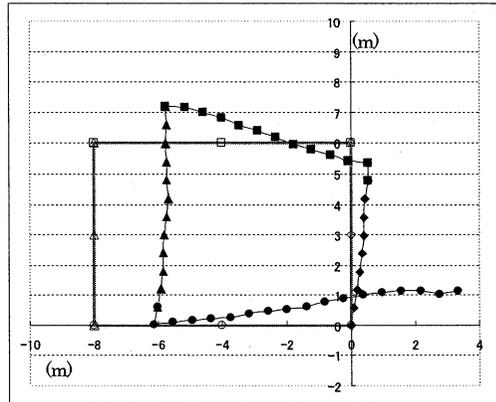


図 6 測位結果—自律測位のみ

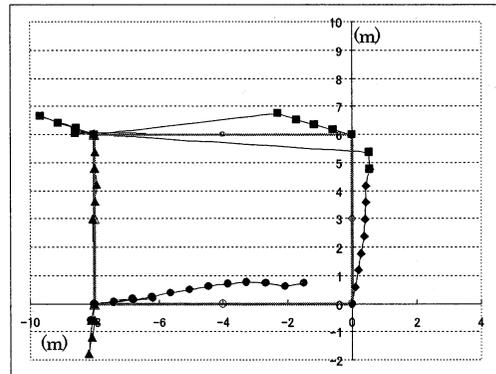


図 7 測位結果—自律測位＋スポットセンサ(制御なし)

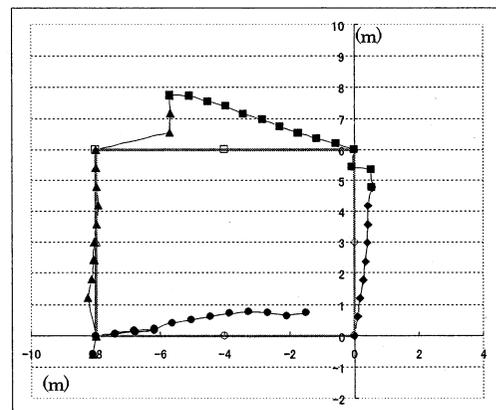


図 8 自律測位＋スポットセンサ(制御あり)のシミュレーション結果

5.2. 実験結果

上記シミュレーションで用いたものと同じ実験環境を利用し、センサ制御機能を追加したプロトタイプによる測位結果を図 9 および図 10 に示す。RFID リーダの RSSI 値の閾値を、標準状態で 8、測位対象に近い(リーダと測位対象の距離が 2.5m 以内)リーダを 6 としている。

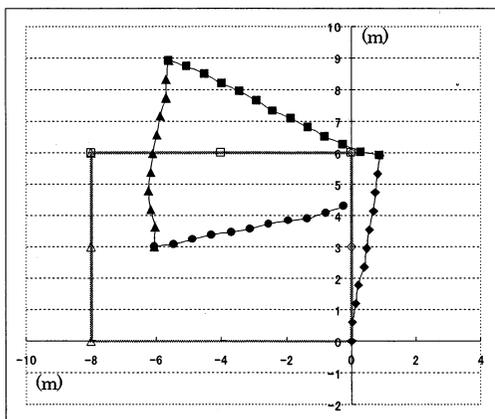


図 9 自律測位のみでの測位結果

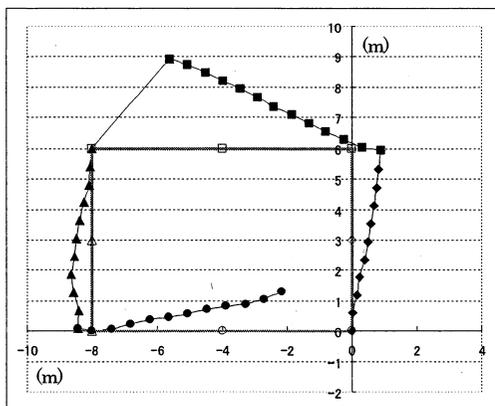


図 10 プロトタイプシステムによる測位結果

自律測位のみでの測位結果をプロットしたものが図 9 である。シミュレーション時と同様の誤差測定を行った結果、平均誤差は 2.52m、最大誤差は 4.39m、誤差分散は 1.602 となった。これに対しスポット制御を加えた

場合の測位結果をプロットしたものが図 10 である。平均誤差は 1.38m、最大誤差は 3.79m、誤差分散は 0.824 となった。スポット制御により平均誤差・最大誤差・分散ともに改善されていることが分かる。

以下、各実験による平均誤差・誤差分散を表 2 にまとめる。

表 2 シミュレーション・実験による誤差比較表

		平均誤差	誤差分散
シミュレーション	自律測位のみ	1.91m	0.454
	自律測位 +スポットセンサ	2.04m	2.524
	提案手法	1.60m	0.862
実験	自律測位のみ	2.52m	1.602
	提案手法	1.38m	0.824

5.3. 考察

(シミュレーション結果において)自律測位では角度計算が周辺環境に依存してしまう。図 6 に示すように、この例では測位開始地点から右方向に向かってずれているという結果になっている。

これに対してスポット補正を加える(図 7)ことで真値とマッチする箇所が増えるが、とりわけ最大誤差が大きい。この影響で平均誤差・分散ともに悪化している。この理由は「反応してほしいセンサと違うものが反応している」「遠距離で反応してしまい、その後の測位結果がずれてくる」というものであり、当初想定された問題点が明らかに示されている。

このスポットセンサの誤反応による精度劣化問題を解決するための手法を適用した結果が図 8 であり、問題が解決され、結果として誤差が減少していることが分かる。

図 9 は実験による自律測位結果だが、図 6

と比べて誤差が大きくなっていることが分かり、自律測位のみでの結果のばらつきが見られる一方で、図 10 のように本手法を適用することによって図 8 と同様に安定して平均誤差・誤差分散を軽減することが確認できた。

現状分かっている問題点としては、RFID リーダによって位置の補正は出来ているが角度の補正ができておらず、それによる誤差が生じていることである。角度補正としては、測位対象とリーダの向き関係から移動方向を推測することによって補正できると考えられる。これによりさらに誤差が小さくなると推測される。角度補正シミュレーション結果を図 11 に示す。このシミュレーションでは平均誤差は 1.20m、最大誤差が 3.06m、誤差分散が 0.521 となる。

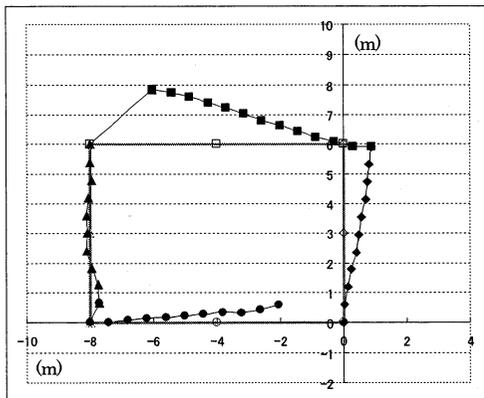


図 11 スポットによる角度補正シミュレーション結果

6. おわりに

本論文で提案した手法により、自律測位とスポットセンサを組み合わせた測位における精度平均誤差・最大誤差の減少が見られた。本手法はスポットセンサの適用段階においてある程度の精度で測位できることが前提にあり、そのため自律測位の精度に依存する。

今後の課題として、自律測位自体の精度を向上させるため、センサ単体による精度向上の他

マップマッチングなどの本手法とは独立に適用可能な手法の追加も検討する必要があると考えられる。これにより、屋内測位のさらなる精度向上を図ることができる。

参考文献

- [1] 高梨他, 「ZigBee™ を利用した, 歩行者の位置特定に関する実験」, 情報処理学会 第 20 回高度交通システム研究会, pp105-111, 2005
- [2] 高梨他, 「屋内ナビゲーションシステムに関する一考察」, 情報処理学会 第 24 回高度交通システム研究会, pp87-92, 2006
- [3] 石渡他, 「デバイス非依存な屋内測位方式の検討」, 情報処理学会 第 24 回高度交通システム研究会, pp79-86, 2006
- [4] 佐川他, 「水平方向歩行距離の無拘束計測」, 計測自動制御学会論文集, Vol36, No.11, pp 900-915, 2000
- [5] 小西他, 「自律方式による歩行者用ポジショニングシステムの開発」, 全国測量技術大会学生フォーラム, 2001
- [6] Masakatsu Kouroggi, Takeshi Kurata, 「Personal Positioning based on Walking Locomotion Analysis with Self-Contained Sensors and a Wearable Camera」, ISMAR 2003
- [7] 多摩川精機(株), 「ジャイロ活用技術入門」, 工業調査会, ISBN 4-7693-1208-3 C2055
- [8] 消防活動が困難な空間における消防活動支援情報システムの開発プロジェクトチーム, 「消防活動が困難な空間における消防活動支援情報システムの開発 報告書」, 総務省消防庁, http://www.fdma.go.jp/neuter/topics/pdfIdx/150513_1.html, 2003
- [9] Michael J. Caruso, “Applications of Magnetoresistive Sensors in Navigation Systems”, www.ssec.honeywell.com/magnetic/datasheets/sae.pdf, Honeywell inc., 2004