

DGPS を利用した農用移動ロボットのナビゲーション*

木瀬道夫*¹・野口 伸*¹・石井一暢*¹・寺尾日出男*¹

要 旨

昨今の高精度 RTK-GPS を用いれば、1~2cm の精度¹⁾で移動体のポジショニングを行うことができる。しかしこれらの高精度 GPS は高価であり、現時点で農業分野に適用するのはコスト面から考えて適切でない。このような背景から、本研究では比較的低価格なディファレンシャル GPS (Differential GPS ; DGPS) と地磁気方位センサ (Geomagnetic Direction Sensor ; GDS) を用いて、低コストなナビゲーションシステムを開発することを目的とした。2 種類のナビゲーションシステム (NAV-1, NAV-2) を考案して、それぞれの有効性について評価した。

NAV-1 はあらかじめ設定した目標点まで車両を誘導するナビゲーションシステムであり、システム の目標点への接近性を重視した。GDS が自動走行の主航法センサとなり、低精度な DGPS は目標方位決定と目標点までの距離推定に用いた。

NAV-2 は目標となる直線経路を自動追従できるシステムである。移動平均と AR モデルを組み合わせたフィルタリングによって、DGPS 測位偏差の影響を低減させることを試みた。したがって NAV-2 では主航法センサは DGPS となる。本システムについては直進性を評価した。

[キーワード] GPS, 地磁気方位センサ, 自動走行, 移動平均, AR モデル

Vehicle Guidance System Using DGPS and Geomagnetic Direction Sensor*

Michio KISE*¹, Noboru NOGUCHI*¹, Kazunobu ISHII*¹, Hideo TERAO*¹

Abstract

A positioning system is an essential part for an autonomous vehicle. Recent researches have shown that positioning based on a GPS offers high possibility for fulfilling the vehicle guidance. When enough number of satellites and high GDOP are assured, a current RTK-GPS can achieve accuracy of 1-2 cm error. However, the RTK-GPS is still costly for farm use. Therefore, the paper dealt with utilization of the low cost Differential-GPS (DGPS) for the vehicle guidance system. In the paper, two guidance systems (NAV-1 and NAV-2) with a DGPS and a Geomagnetic Direction Sensor (GDS) have been developed. The NAV-1 could navigate the vehicle to the desired position with the heading angle sensed by the GDS and desired heading angle cyclically updated by the DGPS with 0.5 m error. An another system, the NAV-2 could make the vehicle travel along a straight path using a lateral error from a desired path using both the DGPS and the GDS. Noise

* 1999 年 4 月 第 58 回農業機械学会年次大会 (佐賀大学) にて一部講演

* 1 会員, 北海道大学大学院農学研究科 (〒060-8589 札幌市北区北 9 条西 9 丁目 TEL 011-706-3847) Graduate School of Agriculture, Hokkaido University, Sapporo-shi, 060-8589 Japan

of lateral error caused by DGPS measurement error was filtered out by combining a moving-average with an AR model.

[Keywords] DGPS, Geomagnetic direction sensor, Automatic guidance, Moving-average, AR model

I 緒 論

現在、農業移動ロボットに関する研究^{2),3),4)}は世界各国で行われており、農業機械分野においてポピュラーな研究テーマの一つである。これらの研究はGPSの普及とともに加速的に進歩している。これまではほ場外に設置した視覚センサ^{5),6)}やトータルステーション⁷⁾、内界センサによるデッドレコニング^{8),9)}などが自己位置認識法の主流であったが、これらの方法には限界がある。視覚センサやトータルステーションは1 km以上離れた移動体の位置を計測することは不可能であり、デッドレコニングはその重畳誤差が問題となる。一方GPSは移動体の絶対座標を広域に計測することができる。また近年の高精度RTK-GPSを用いれば1 cmの誤差で移動体の位置を計測することも可能である。

しかし高性能RTK-GPSは農業分野に適用するには高価である。そこで本研究ではDGPSを農業移動ロボットの測位システムに適用することを考えた。また車両方位センサとして地磁気方位センサ (Geomagnetic Direction Sensor; GDS)^{10),11)}を用いた。これらは比較的安価なセンサであるが、両センサ共に計測誤差が問題となる。例えばGDSに関して、0.5 m/s程度の速度で50 m以内の直進走行ならばGDS方位情報のみを用いたデッドレコニングで終端地点において0.3 m程度の横方向偏差で走行できることが中島ら¹²⁾の研究から明らかにされた。しかし初期目標方位に1°の誤差があった場合、50 m先では0.8 m、100 m先では1.7 mと走行距離の増加に伴い横方向偏差が増大する。またGDSはFOGなどと異なり絶対方位を算出することができるが、常に0.5°程度のランダムノイズを含み、S/N比が低いことが走行誤差を増大させる。加えて、走行中の横滑りによる横方向偏差をデッドレコニングでは補償することができない。

本研究は作業対象として採草地における粗飼料生産作業を想定した。採草地における作業には牧

草の刈取・調整、ベーリング作業、ベール収穫作業などがあり、これらはいずれも水田作・畑作の耕うん作業や管理作業などと比較して走行精度を必要としない。しかしその一方で、このような作業を想定した場合少なくとも100 m以上の距離を1.5 m/s以上の速度で走行する必要がある。従来のGDSベースのシステムでは能力不足である。本研究は走行距離に関わらず、目標地点に1 m以内に接近させることと目標経路に対して±20 cmの精度で走行できるナビゲーションシステムの開発を目的とした。

本研究ではこれら2つのセンサを航法センサに適用した2種類のナビゲーションシステム (NAV-1, NAV-2) を考案した。NAV-1は、GDSの目標方位をDGPSで逐次更新することによって両センサの誤差を低減させることを狙った。この目標方位ベースのアルゴリズムによってロボットをあらかじめ定めた目標点まで誘導した。

NAV-2は直線为目标経路に設定し、その経路に対する車両の横方向偏差を制御偏差とするアルゴリズムである。このとき算出される横方向偏差は移動平均とARモデルを適用することで測位精度の向上を図った。

II 自動走行システムの構築

1. 実験システム

図1に本研究で構築した実験システムを示した。走行システムはロボットトラクタ ((株)クボタ製, GL 320)、GPS受信機 (Novatel社製, Novatel GPSCard PROPAK-3111R)、GPSアンテナ、GDS (WATSON製, FGM-300A)、GPS補正信号受信用ワイヤレスモデム ((株)八重洲無線製, YRM-211T) で構成した。GPS基地局を供試ほ場に隣接する庁舎内に設置した。供試ロボットトラクタは自動走行ができるように市販車両を改造したものであり、操舵、前進、後進などがコンピュータを介して操作できる。GPSアンテナは安全フレーム上部に、GDSは磁気環境を考慮して安全フレーム前方50 cmに取り付けた。供試

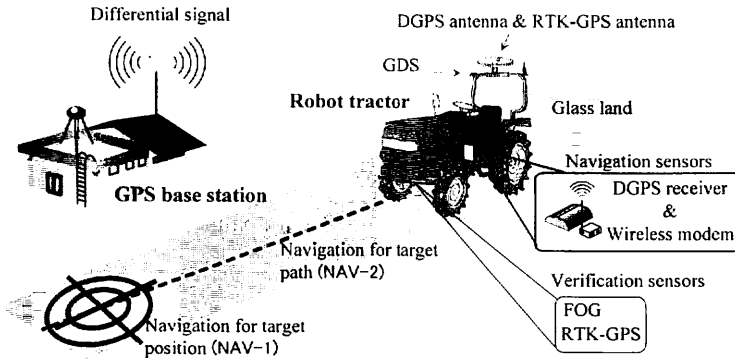


図1 実験システムの構成

Fig. 1 Schematic diagram of the experimental system

DGPSの公称精度は50 cm～1 m, 測位周期は1 Hzである。また、RTK-GPS(トリプル社製, MS750)をロボットトラクタの運動軌跡の測定用に、光ファイバージャイロスコープ(Fiber Optical Gyroscope: FOG, (株)日本航空電子工業製, JG-35FD)を真の車両方位の測定用に搭載した。供試RTK-GPSはロボットトラクタの走行軌跡を20Hz, 精度±2cmで得ることができる。また供試FOGは角度ドリフトが0.5°/h, 分解能0.01°の精度で車両の相対方位を計測できる。

2. 走行アルゴリズム

(1) NAV-1(目標方位逐次更新ナビゲーション)

NAV-1はあらかじめ決定された目標地点までロボットを誘導するためのもので、ベール回収ロボット¹³⁾や、ソイルマップを作成するための土壌サンプリングロボットなどに有効である。

従来GPSなどのポジショニングシステムを用いた直進制御は、あらかじめ決定された目標経路からの横方向偏差をGPSによって逐次算出し、その値を最小にするようなステアリングコントローラを設計する¹⁴⁾。しかし本研究で供試したDGPSは最大1mの測位誤差を有するため、この方法を適用するのは適切でない。そこで、NAV-1は自動走行中にGPSを用いて目標方位を算出し、逐次目標方位の修正を行う方法を採用した。図2に本研究で考案したオンライン目標方位更新方法について示した。式(1)による時刻 k における目標方位 $\phi_d(k)$ を1Hzの周期で算出し、制御系に反映した。

$$\phi_d(k) = \left(\text{atan} \frac{X_g - X(k)}{Y_g - Y(k)} \right) \quad (1)$$

ただし $P(k)$ ($X(k)$, $Y(k)$)は時刻 k のGPS座標系における車両位置、 $G(X_g, Y_g)$ は目標点位置である。

ステアリングコントローラはDGPSによる目標方位とGDSによる車両方位の差分を制御偏差とするPID制御を行う方式を採用した。

$$\Delta\phi(k) = \phi(k) - \phi_d(k) \quad (2)$$

$$\phi(k) = k_p \Delta\phi(k) + k_i \sum_{j=0}^k \Delta\phi(j) + k_d (\Delta\phi(k) - \Delta\phi(k-1)) \quad (3)$$

ここで $\Delta\phi(k)$ は方位偏差、 $\phi(k)$ はGDSによる車両方位、 $\phi(k)$ は実舵角、 k_p はPゲイン、 k_i はIゲイン、 k_d はDゲインである。

また走行中DGPSを用いて現在位置から目標点までの距離 $L(k)$ を算出し、目標点近傍かどうかをチェックした。

$$L(k) = \sqrt{\{X_g - X(k)\}^2 + \{Y_g - Y(k)\}^2} \quad (4)$$

供試DGPSの精度から判断して $L(k) \leq 1.0$ mのとき車両を停止するよう設定した。また $L(k)$ が小さくなると目標方位算出に対するDGPS測位偏差の影響が大きくなることが予想される。したがって本システムでは $L(k) \leq 10.0$ mにおいて目標方位の更新を停止させた。

(2) NAV-2(目標経路追従型ナビゲーション)

NAV-2は施肥作業、牧草刈取作業などの全面塗りつぶし型の作業を前提として、直線経路に追従できるナビゲーションシステムである。DGPSの位置データから算出される横方向偏差は測位偏

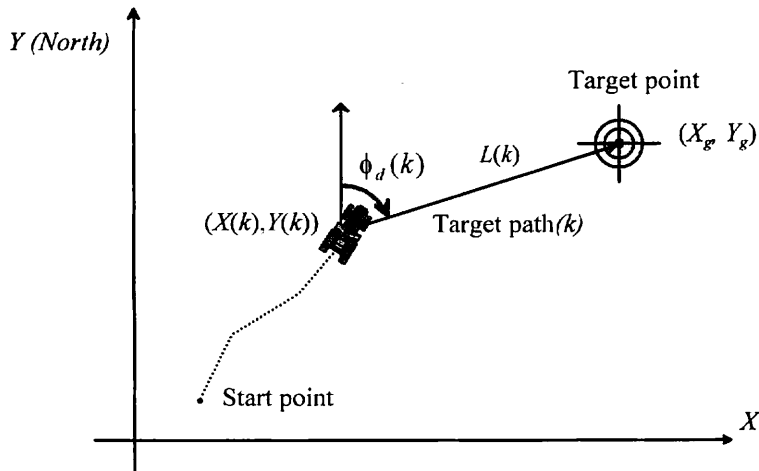


図2 オンライン目標方位算出アルゴリズム
Fig. 2 Cyclic modification of desired heading angle

差が大きい場合、そのまま制御系に適用することはできない。本システムでは時刻 k において DGPS から算出された横方向偏差 $d(k)$ に移動平均を適用して計測ノイズの除去を試みた。

$$d_{MA}(k) = \frac{\sum_{i=k-t+1}^k d(i)}{t} \quad (5)$$

ここで $d_{MA}(k)$ は時刻 k における $d(k)$ の移動平均、 t は移動平均を行う点数である。

本システムでは $t=3$ としたため、式(5)は以下ようになった。

$$d_{MA}(k) = \frac{\sum_{i=k-2}^k d(i)}{3} \quad (6)$$

$d_{MA}(k)$ は過去の値の影響を受けるため時間遅れが存在する。この場合単純に時刻を平均すると $\frac{k+(k-1)+(k-2)}{3} = k-1$ となり、1刻みの時間遅れが存在することが予測される。

この時間遅れを補償するため、 $d_{MA}(k)$ に AR モデル (Auto Regressive Model) を適用した。AR モデルは定常エルゴード性を示す時系列データに対して、過去の有限個データで表わされる線形予測器である。現時点における信号の値 $z(t)$ が過去幾つかの値の線形結合で次式の様に表わされるとする。

$$z(t) = -\sum_{l=1}^n a_l z(t-l) + e(t) \quad (7)$$

ここで a_l ($l=1, 2, \dots, n$) は係数である。誤差 $e(t)$ が白色雑音のとき、式(6)は次数 n の AR モデルという¹⁵⁾。本研究では $z(t)$ は車両の横方向偏差に相当する。走行軌跡には連続性を有しており、現在の座標は過去の走行経路と関連をもつことは自明であることから、AR モデルによって横方向偏差の短期推定は可能と判断した。ここで短期推定とは1刻み後のデータの推定を指す。AR モデルによって推定される1刻み後の横方向偏差の移動平均の推定値は以下で表わされる。

$$\hat{d}_{MA}(k) = -\sum_{l=1}^N \alpha_l d_{MA}(k-l) \quad (8)$$

ここで $\hat{d}_{MA}(k)$ は AR モデルによって時刻 k において推定された1刻み後の移動平均、 N は AR モデルの次数、 α は AR モデルの係数であり、毎時刻ごとに α を算出することによって $\hat{d}_{MA}(k)$ を推測した。 α は Levinson-Durbin のアルゴリズムや Burg のアルゴリズム¹⁶⁾を用いることによって導くことができ、本システムでは Burg のアルゴリズムを用いた。

本フィルタリング法の妥当性を評価するために、ロボット走行時に供試 DGPS で算出した横方向偏差と移動平均を適用した横方向偏差との相互相関係数 $C_{d,MA}(\tau)$ を式(8)によって算出し、図3に示した。

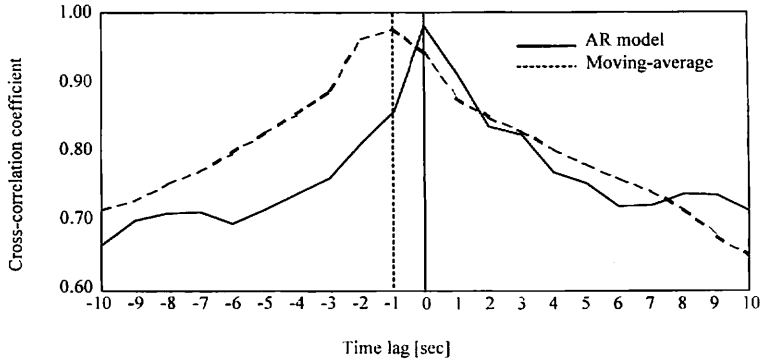


図3 相互相関係数によるフィルタリング法の妥当性評価

Fig. 3 Assessment of filtering method composed of AR model and moving average by calculating cross correlation coefficients

$$C_{d,MA}(\tau) = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=0}^n d(i)d_{MA}(i+\tau)}{\sqrt{\overline{d^2} \overline{d_{MA}^2}}} \quad (9)$$

ここで $\overline{d^2}$, $\overline{d_{MA}^2}$ はそれぞれの信号の2乗平均, τ はラグ, 刻みは1秒である。破線がこのときの相互相関係数を表わしており, $C_{d,MA}(-1) = 0.977$ で最大値を示した。これは移動平均を適用したことによって1秒の時間遅れが生じたことを表わしており, 予想された時間遅れと一致する。

同様に横方向偏差と式(7)によってフィルタリングされた横方向偏差との相互相関係数 $C_{d,AR}(\tau)$ を示した。

$$C_{d,AR}(\tau) = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=0}^n d(i)\hat{d}_{MA}(i+\tau)}{\sqrt{\overline{d^2} \overline{\hat{d}_{MA}^2}}} \quad (10)$$

ここで $\overline{\hat{d}_{MA}^2}$ は信号の2乗平均, $N=7$ とした。実線がこのときの相互相関係数を表わしており, $C_{d,AR}(0) = 0.983$ で最大値を示した。これはARモデルによって時間遅れが保証されたことを表わしており, 本モデルにARモデルを適用して横方向偏差の推定を行うことの正当性を得たと考える。

これらの値を用いて, ステアリングコントローラを以下のように設計した。

$$\phi(k) = k_n \hat{d}_{MA}(k) + k_h \Delta\phi(k) \quad (11)$$

ここで $\phi(k)$ は実舵角, $\Delta\phi(k)$ はGDSによる方位偏差, k_n , k_h は制御ゲインである。

III 走行試験によるシステムの評価

1. NAV-1の自動走行結果

実験は北海道大学農学部付属農場内の芝生上で行った。NAV-1は走行速度を1.0, 1.3, 1.7 m/sの3水準について実施した。走行開始点から目標点までの距離はいずれも120 mであった。

考案したシステムの走行精度を評価するため, GDSの方位情報のみを適用したデッドレコニングによる自動走行も併せて行った。走行速度は1.3 m/s, GDSの目標方位は一定とした。図4にそのときのRTK-GPSで計測した走行軌跡を示した。X軸は目標とした経路を表わしている。なお, 目標経路は目標位置を視準して取得した。本図からデッドレコニングによる走行は直線性は高いものの, 目標経路に対する横方向偏差は走行開始から100 m程度で3.5 mにも達していることが分かった。

図5にNAV-1による1.7 m/sでの自動走行中の目標方位と目標方位算出誤差の推移を示した。横軸が走行開始点からの走行距離, 縦軸が方位であり, 下図が自動走行中のDGPSによって算出した目標方位, 上図はその誤差を表わしている。なお, 誤差はRTK-GPSによって算出された目標方位を真の値として計算した。走行開始から中盤にかけて, 目標方位はあまり変化せず, 終盤で変化量が増加する傾向が見られ, 走行開始地点と終了地点で目標方位が7°以上も変化している。また目標に近づくにしたがって位置計測誤差の方位に

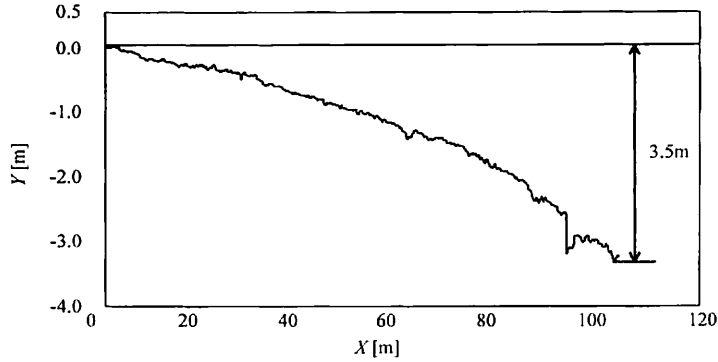


図4 デッドレコニングによる自動走行軌跡

Fig. 4 Guided path based on dead reckoning of the robot

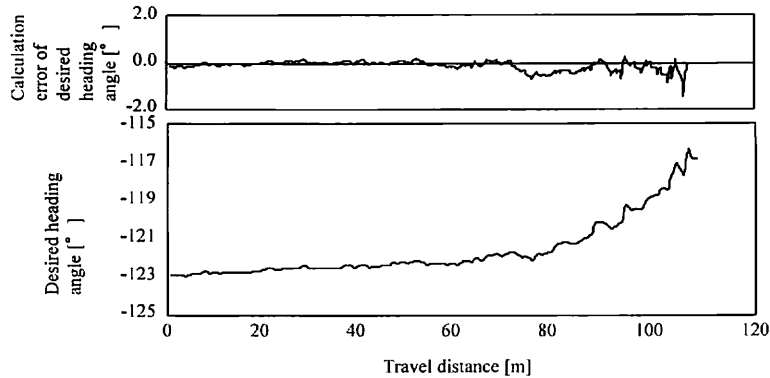


図5 1.7m/sにおけるNAV-1の目標方位とDGPS測位誤差の推移

Fig. 5 Trajectories of a desired heading angle and calculation error of desired heading angle on NAV-1 at 1.7m/s

及ぼす影響は大きくなるために、走行後半においてDGPSによって計算された目標方位の誤差が大きくなっている。

図6にRTK-GPSで計測した1.7m/sにおける走行軌跡を示した。左図における原点は走行開始点であり、走行開始点と目標点を結ぶ直線をX軸とした。右図は目標点付近の拡大図である。軌跡は右下がりの軌跡を描いているが、80mから100mにかけて車両が目標点に接近しようとする軌道修正が見られ、目標方位を逐次修正して目標点へ車両を誘導する本システムの特徴が発揮されている。次に右図に注目する。本図は目標点付近の走行軌跡であり、目標点への車両の接近性を表わしている。目標点を中心とした半径1mの範囲内で車両を停止させることができ、これは既述し

表1 NAV-1走行精度結果

Table 1 Performance of vehicle guidance on NAV-1 guidance system

Travel speed [m/s]	Max heading error [°]	Max lateral error [m]	Accuracy on final location [m]
1.0	4.7	1.14	0.64 (O.K)
1.3	6.1	1.09	0.83 (O.K)
1.7	7.2	1.63	0.87 (O.K)

た開発目標を満足している。

以上の走行成績をまとめて、表1に各走行速度における走行精度の詳細を示した。NAV-1は3走行共に1mの範囲内で車両を停止させることができ、目標とした接近性を満足するナビゲーションシステムと判定された。

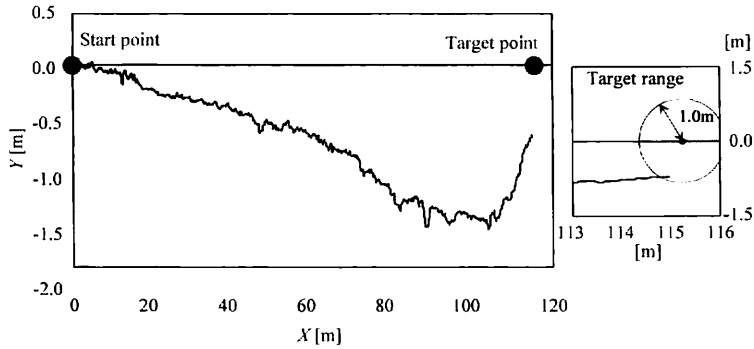


図 6 1.7m/s での NAV-1 による自動走行軌跡
Fig. 6 Guided path by NAV-1 at 1.7m/s

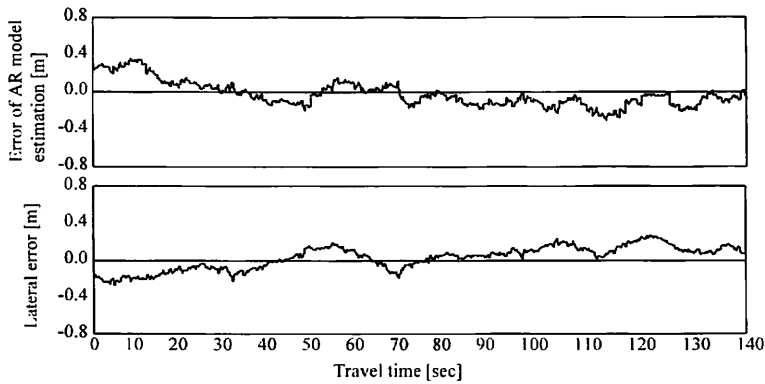


図 7 NAV-2 による横方向偏差とフィルタリング誤差の推移
Fig. 7 Trajectories of error of AR model estimation and lateral error on NAV-2

2. NAV-2 の自動走行結果

本方式による自動走行実験も NAV-1 同様、北海道大学農学部附属農場内の芝生上で実施した。走行速度は 1.3m/s、走行距離は 170 m、初期横方向偏差を与えなかった場合と与えた場合の 2 種類の実験を行った。

図 7 に初期横方向偏差を与えなかったときの横方向偏差とフィルタリング推定誤差の推移を示した。横軸が走行時間、縦軸が偏差であり、下図が RTK-GPS で計測した横方向偏差、上図が AR モデルによってフィルタリング推定された横方向偏差から RTK-GPS による横方向偏差を減じたものである。すなわち、フィルタリング推定誤差を表わしている。このとき DGPS 誤差の r. m. s. は 22 cm となり、フィルタリング推定によってその精度は 5 cm 向上した。走行精度については目標

経路に対する RTK-GPS によって測定された走行軌跡の誤差は r. m. s. で 13 cm となり、当初の目標精度を十分に満足する結果を得た。また、図 8 に車両方位偏差の推移を示した。下図が FOG で計測した真の方位偏差、上図が GDS の計測誤差である。方位偏差は走行全体でほぼ 0° 付近に収束しており、適用したステアリング制御系が適切であったことを表わしている。このときの方位偏差の r. m. s. は 1.0° 、GDS 計測誤差の r. m. s. は 0.53° であった。

図 9 に初期横方向偏差として約 80 cm 与えたときの横方向偏差とフィルタリング推定誤差の推移を示した。本図から初期横方向偏差を有していたにもかかわらず、走行開始から 10 秒後には偏差が 20 cm 以内となり、以後もその精度を維持して走行できた。10 秒後とは走行開始後約 12 m を

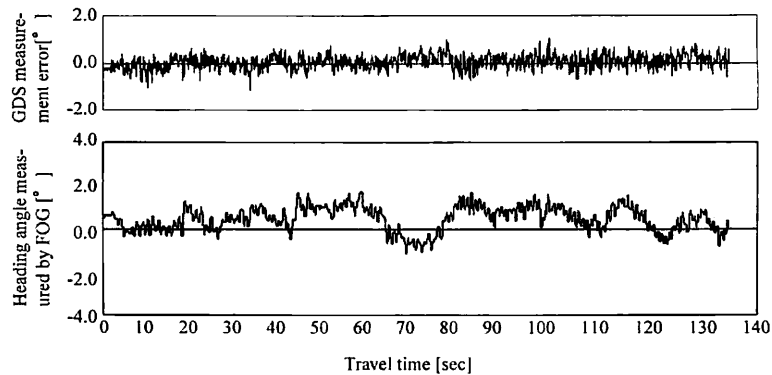


図8 NAV-2による車両方位偏差とGDS誤差の推移

Fig. 8 Trajectories of a heading error measured by FOG and GDS measurement error by NAV-2

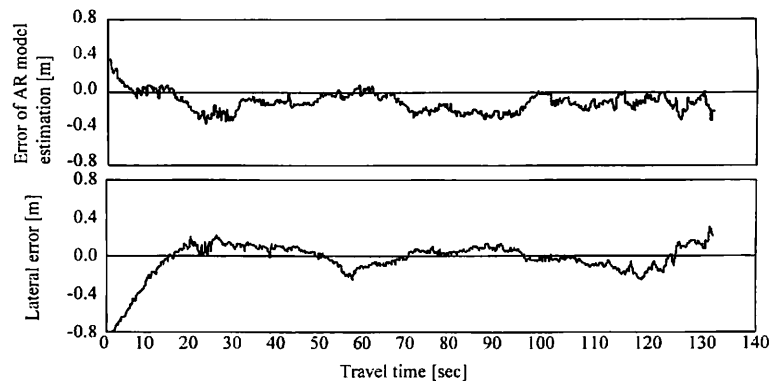


図9 初期横方向偏差を有したNAV-2による横方向偏差とフィルタリング誤差の推移
Fig. 9 Trajectories of lateral error of AR model on NAV-2 when giving initial lateral error of 80cm

指している。このことから本システムはある程度の初期偏差を有していても目標経路に対して追従することのできるシステムといえる。例えば牧草刈取などの往復作業にロボット作業を適用する場合、旋回動作が必要となる。ロボット作業において旋回後の位置を次行程目標経路と正確に一致させることは困難であり、数10cmの誤差を有することが多い。しかしこの結果は本システムがこのような場面に対しても有効であることを意味している。このときDGPS誤差のr. m. s. は22 cm, フィルタリング推定によってその精度は6 cm向上した。また目標経路に対するRTK-GPS走行軌跡の誤差のr. m. s. は走行開始10秒後の走行で20 cmとなった。

IV 摘要

(1) 本報では粗飼料生産作業に使用することを念頭においた低コストな自動走行システムを開発することを目的とし、ディファレンシャルGPSと地磁気方位センサを用いて2種類の自動走行システム(NAV-1, NAV-2)を考案した。

(2) NAV-1はあらかじめ設定した目標点へ車両を誘導するナビゲーションシステムであり、目標点への接近性などを評価した。自動走行はGDSによる車両方位情報をベースに行い、0.5~1.0mの誤差を有するDGPSを目標方位決定と目標点までの距離推定に用いた。3つの走行速度で実験を行ったところ、全走行とも目標点から1m

以内の範囲に停止することができ、当初の目標精度を達成した。GDSを基盤センサとしていることから、DGPSの計測誤差に対しては比較的ロバストで、例えば5m程度の誤差を有するDGPSでも半径5mの円内に誘導できると考えられ、低精度なDGPSで安定したロボット誘導が期待できる。

(3) NAV-2は、直線を目標経路として車両を追従させるシステムである。このとき算出される横方向偏差に移動平均とARモデルを適用して誤差フィルタリングを試みた。走行試験の結果目標経路とした直線に対して、20cmの精度で走行させることができた。供試GPS、GDSのもとで全走行を通して20cmの精度で走行できたことから、採草地における大部分の作業に適用できる。

参 考 文 献

- 1) 長坂善禎, 大谷隆二, 重田一人: ハイブリッドセンシングによる水田作業車の自律走行の研究(第2報), 第57回農業機械学会年次大会講演要旨, 405-406, 1998
- 2) Tillett, N., Marchant, J., Hague, T.: Autonomous Plant Scale Crop Protection, International AgEng'96 Conference on Agricultural Engineering, PAPER96A-124, 1996
- 3) Pinto, F., Reid, J.: Heading angle and offset determination using principal component analysis, 1998 American Society of Agricultural Engineers Meeting, Paper No. 983113, 1998
- 4) O'Connor, L., Elkaim, G., Parkinson, B.: Carrier-Phase DGPS for Closed-Loop Control of Farm and Construction Vehicles, Journal of The Institute of Navigation, Vol. 43, No. 2, 167-178, 1996
- 5) 石井一暢, 寺尾日出男, 野口 伸: 学習機能を有した自律走行車両に関する研究(第3報), 農機誌, 60(1), 51-58, 1998
- 6) 大田克行, 寺尾日出男, 野口 伸, 入交智彦, 久保田守: 視覚センサによる農用車両の位置計測法の開発(第1報), 農業機械学会誌, 55(6), 59-67, 1993
- 7) Yukumoto, O., Matsuo, Y.: Navigation technology for tilling robots, Proceeding of mobile Int. symposium on agricultural Bus-system I.BS and PA, 59-94, 1997
- 8) 石田三佳, 芋生憲司, 岡戸敦史, 武永 博, ほか: 飼料生産圃場における自律走行トラクタに関する研究, 農機誌 60(2), 59-66, 1998
- 9) 川村 登: 農業におけるロボティクス, 計測と制御, 26(3), 189-194, 1987
- 10) 石井一暢, 寺尾日出男, 野口 伸: 学習機能を有した自律走行車両に関する研究(第2報), 農機誌, 57(6), 61-67, 1995
- 11) Benson, E., Stombaugh, T., Noguchi, N., Will, J., Reid, J.: An evaluation of a geomagnetic direction sensor for vehicle guidance in precision agriculture applications, 1998 American Society of Agricultural Engineers Meeting, Paper No.983203, 1998
- 12) 中島健一郎, 寺尾日出男, 野口 伸: 航法用地磁気方位センサの高精度補正法(第1報), 農機誌, 59(1), 49-58, 1997
- 13) Noguchi, N., Shibuya, Y., Terao, H.: Optimization of Work Schedule for Agricultural Machines by Using Genetic Algorithms, 1997 American Society of Agricultural Engineers Meeting, Paper No. 973087, 1997
- 14) Noguchi, N., Reid, J., Will, J., Benson, E., Stombaugh, T.: Vehicle Automation System Based on Multi-Sensor Integration, 1998 American Society of Agricultural Engineers Meeting, Paper No. 983111, 1998
- 15) 有本 卓: 信号画像のデジタル処理, 産業図書, 197-205, 1980
- 16) 中溝高好: 信号解析とシステム同定, コロナ社, 77-86, 1988
(原稿受理: 1999年2月14日・質問期限: 2001年1月31日)