

M1-21 農業用搬送車による圃場外走行のための GNSS を用いた自動運転

知能システム制御研究室 佐藤 史織

1. はじめに

近年、農業分野の動向として担い手の減少と高齢化の進行という問題がある。これによりスマート農業が推進されており、農業と先端技術を掛け合わせることで、農作業における省力・軽労化、新規就農者の確保、栽培技術力の継承などが期待されている。その中で、農業機械の現状として圃場による違いがある。田地のような整地された大面積の圃場では、自動走行するロボットトラクター [1]、自動運転アシスト機能付きコンバイン [2] などの開発がされている。対して果樹園のような樹木自体が障害物となる狭い圃場や作業の機械化が困難な分野では、アシストスーツ [3] や収穫や運搬を補助するロボット [4] が開発されている。これらの課題は圃場外走行は人の作業によるもので、操作には熟練した技術が必要になることである。このような背景から、本研究の目的は圃場外での運搬作業を自動化し作業の効率化・作業者の負担を軽減することである。本研究では、農業用搬送車に圃場から保管施設までの自動運転システムを実装することで圃場外での運搬作業の省力化を目指す。

2. 研究概要

車両の自己位置推定に GNSS (Global Navigation Satellite System/全地球航法衛星システム) を用いて自動運転の実装を行う。コンセプト図を Fig. 1 に示す。まず圃場から保管施設までを既定の経路としてスタート地点からゴール地点までの目標経路を作成する。始点、終点とともに経路上に通過点となる座標を設定し、車両はそれぞれの点を結んだ線分に追従しながら通過点を目指して走行する。その際車両は GNSS から受信したデータによって位置を確認し、経路追従するよう車両を制御する。目指していた通過点に到達すると次の目標経路に切り替えることを繰り返し、目的地の終点まで自動走行する。

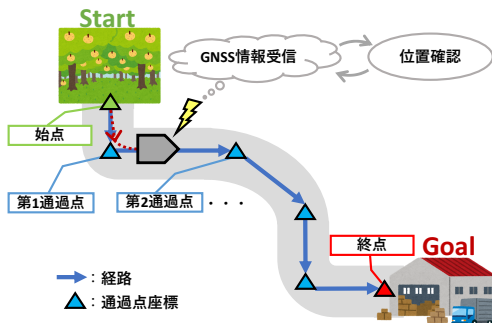


Fig. 1 コンセプト図

3. GNSS 受信機

受信機から得られるデータはセンテンスの集まりである NMEA フォーマットに従って表記されている。受信データの例を Fig. 2 に示す。NMEA の 1 つのセンテンスは「\$」で始まり、「カンマ」で個々の情報が区別され、「改行」で終わる構造となっている。センテンスの中から、協定世界時 (UTC)、緯度、経度、位置特定品質の情報を含んだ GNGGA センテンス、地表における移動の真方位、地表における移動の速度の情報を含んだ GNVTG センテンスを抽出することでデータを取得する。時刻は時 (h) 分 (m) 秒 (s) とした hhmmss.ss、緯度経度は度 (d) 分 (m) とした dddmm.mmmmm、真方位は真北を基準とした方位で 000.00°~359.99°、速度の単位はキロメートル毎時である。位置特定品質とは測位状況のクオリティを示しており、1 は単独測位、4 は RTK (Real Time Kinematic) 測位モードで Fix 状態である。本研究で用いる RTK 測位とは正確な位置が分かっている基準局の受信データを使って高精度な測位データを得る手法である。

```
$GNGGA,06.5439.00,35.30,95.94881,N,134.10,3308164,E,5,12,0.95,22.526,M,31.836,M,1.0,0000*5C
時刻 緯度 経度 位置特定品質
$GNVTG,93.14,T,M,2.417,N,4.477,K,D*19
真方位 速度
```

Fig. 2 NMEA フォーマットの例

4. 車両制御則

4.1 経路追従制御

車両の経路追従制御モデルを Fig. 3 に示す。目標経路に追従するよう車両を制御するには、目標角度 θ_{ref} と車両角 θ の差、目標経路までの垂線距離 d が必要である。車両の位置座標を経度 x_p 、緯度 y_p とするとき、目標経路 $y = ax + b$ までの垂線距離 d は、

$$d = \frac{a \cdot x_p - y_p + b}{\sqrt{a^2 + 1^2}} \quad (1)$$

となる。目標角度と車両角の差、垂線距離を用いて右車輪の速度 V_R および左車輪の速度 V_L を求める式は、

$$V_R = V_{ref} - \alpha(\theta_{ref} - \theta) - \beta \cdot d \quad (2)$$

$$V_L = V_{ref} + \alpha(\theta_{ref} - \theta) + \beta \cdot d \quad (3)$$

である。ここで α, β はゲイン、 V_{ref} は直進速度であり実機による実験結果に基づいて設定する。右車輪制御のブロック線図を Fig. 4 に示す。(2) 式で求めた右車輪の速度 V_R をタイヤ半径 r で除算、積分することで角度 θ_{Rref} に変換する。エンコーダで計測した角度 θ_R との差をとり PI 制御することで電圧 u_R とし、モータに流して右車輪を制御する。左車輪の制御も同様である。

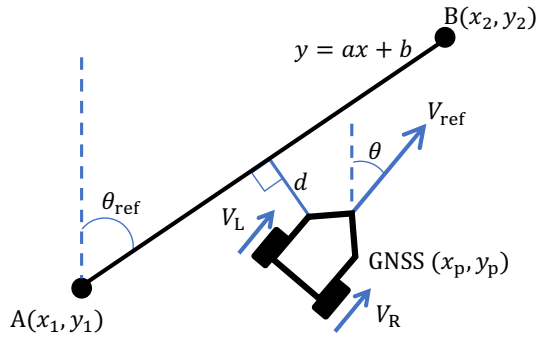


Fig. 3 経路追従制御モデル

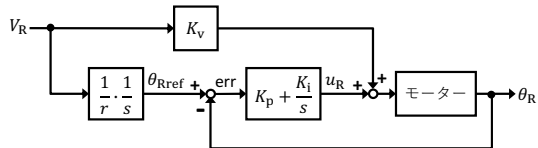


Fig. 4 速度制御システム (右モータ)

4.2 旋回制御

車両の旋回制御モデルを Fig. 5 に示す. 車両は半径 r の通過点を中心とした円内にいることを認識すると目標経路を切り替え旋回動作を開始する. 通過点 M の経度を x_m , 緯度を y_m とするとき, 車両と通過点までの距離は,

$$l = \sqrt{(x_m - x_p)^2 + (y_m - y_p)^2} \quad (4)$$

のユークリッド距離 l によって求める. $r < l$ のとき車両は円外, $r > l$ のとき円内である. 円内に入った際の目標角度の切り替えは, 切替後の目標角度を θ_{refa} , 切替前の目標角度を θ_{refb} とすると,

$$\theta_{refa} = \theta_{refb} + (\theta_{refa} - \theta_{refb})(1 - e^{-\gamma t}) \quad (5)$$

$$t = T_s(loop - loop_0) \quad (6)$$

によって求める. ここで γ はゲイン, T_s はサンプリング時間で 0.005 s に設定, $loop$ は制御ループ数, $loop_0$ は切替り時の制御ループ数である. γ 値の設定により目標角度切り替え時の収束時間を追従性の良い最適な値に調整する. また旋回動作中は経路追従の垂線距離成分を除き方位角制御を優先させる.

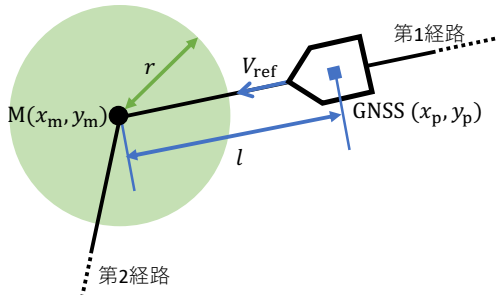


Fig. 5 旋回制御モデル

5. 圃場外走行を想定した実機実験

圃場外走行を想定した実機実験を行い, 実装した自動運転システムの有効性を検証した. 実験では鳥取大学湖山キャンパスの基準局に通信し RTK 測位を行った. 目標経路は始点, 終点と経路上を通過

する 4 点の中間点により作成した. 目標角度 θ_{ref1} は 72.44° , θ_{ref2} は 83.58° , θ_{ref3} は 28.33° , θ_{ref4} は -35.49° , θ_{ref5} は -13.39° である. 実験結果として目標経路と車両走行軌道の図を Fig. 6, 目標経路までの垂線距離のグラフを Fig. 7, 目標角度と車両角のグラフを Fig. 8 に示す. これより始点から終点までの車両の自動走行を確認し, 終点で垂線距離は $\pm 100 \text{ mm}$, 方位角は $\pm 10^\circ$ に収束する追従性を実現した.

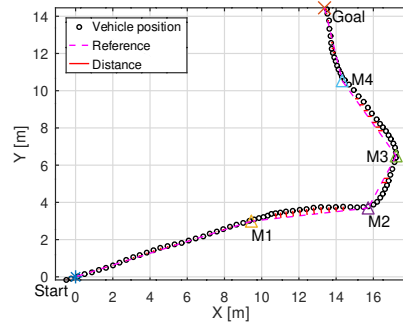


Fig. 6 車両軌道

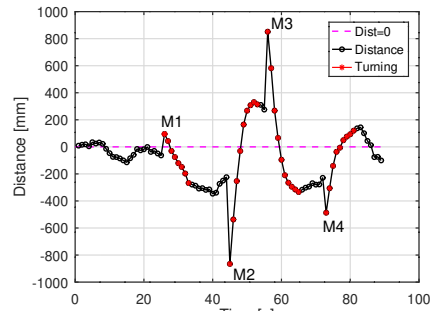


Fig. 7 垂線距離

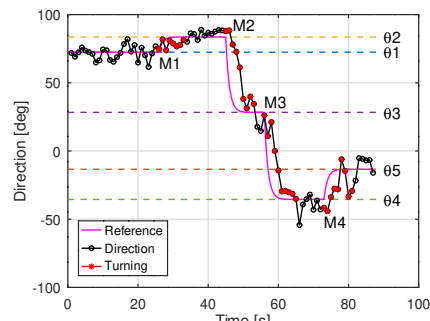


Fig. 8 方位角

6. まとめ

本研究では農業用搬送車に自動運転システムを実装することで農作業における省力化を目的とした. 実験より農業用搬送車が農道を走行して収穫物を自動搬送するのに十分な性能であると示した.

参考文献

- [1] 松本, 小倉, 西井: 農業分野での GNSS 活用事例, 日本ロボット学会誌, Vol. 37, No. 7, pp. 598-602, 2019
- [2] 仲島, 奥山, 中林, 他: 自動運転アシスト機能付きコンバインの開発, 関西支部講演会講演論文集, p. 801, 2019
- [3] 大西, 深井, 太田: 平棚栽培果樹用腕上げ作業補助器具の開発, 農業食料工学会誌, Vol. 78, No. 2, pp. 179-187, 2016
- [4] 柳澤, 松浦, 大谷, 他: 傾斜果樹園における電動作業台車兼搬送車の無人運搬システム, 産業応用工学会論文集, Vol. 9, No. 2, pp. 107-117, 2021