

農作業機制御のためのロバスト実速度センシング

北海道大学大学院情報科学研究科 ○中原 和哉 金子 俊一 田中 孝之
東洋農機株式会社 清水 将志

要旨

本研究は、圃場における農耕用トラクタの対地面実速度を実時間で計測することを目的としている。従来の速度センサは、タイヤホイールの回転を近接センサなどで検出する方法で、スリップなどによる回転数の変化から高精度の速度の検出は困難であった。そこで、ロバスト画像照合アルゴリズムに基づいて試作システムを設計し、実圃場で農耕用トラクタに搭載して速度計測実験を行うことにより有効性を検証した。

1 はじめに

作業者の高齢化および技術の高度化のために、近年農業水産漁業における IT 導入の必要性が高まっている [1]。特に農業分野においては、地域ごとの気候の違い、地理条件における要請の違い、安価なシステムへの強い要求などを十分検討しなければならない。本研究は、圃場における農耕用トラクタの対地面実速度を実時間で計測することを目的としている。従来の速度センサでは、タイヤへの荷重状況の変化などによる有効径の変化や、スリップなどによる回転数の変化から、高精度の速度の検出は困難であった。そこで速度検出に、屋外における激しい明度変動や遮蔽などに高いロバスト性を有する方向符号照合法 [2] を用いることが本手法の特徴である。ロバスト画像照合アルゴリズムに基づき、小型マイコンへの実装を考慮した、簡明で高速な移動速度を計測する新しい速度センサを開発した。試作システムを農耕用トラクタに搭載し、実圃場において速度計測実験を行うことにより有効性を検証した。

2 実速度計測方法

2.1 計測原理

圃場での実際の移動距離を、カメラで撮影した画像内での移動画素数として検出し、この移動画素数と移動時間の関係から相対速度を導出する。カメラレンズの圃場からの高さ H と、カメラの焦点距離 f を用いると実速度は (1) 式であらわせる関係になる。本研究では、この関係式よりパラメータ H を一定に保つために、トラクタにより踏み固められたタイヤ跡を撮影している。また移動画素数を求めるために、本研究では方向符号照合法を用いており、移動時間は画像取得間隔より求めることができる。

$$\text{実速度} = \frac{(\text{移動画素数}) \times (\text{受光素子の大きさ}) \times H}{(\text{移動時間 } t) \times f} \quad (1)$$

2.2 方向符号照合法 (OCM)

方向符号照合法 [2] は、画素の明度ではなく画素近傍における明度変化が最大となる勾配方向を量子化した値を符号として用いる。この方向符号の分布は画像ごとで固有性が強く、明度の勾配方向は照度変動に影響されにくいという特徴があることから、圃場のような明度変化や遮蔽が起こりうる環境で、良好な性能を発揮するため、本研究では用いている。

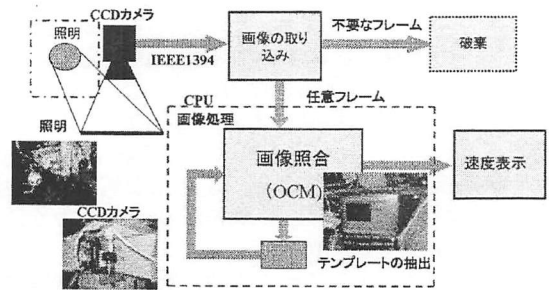


図1 システムの構成

3 試作システム

3.1 システムの概要

以下、システムの概要を説明する。圃場の撮影は CCD カメラで行い、IEEE1394 でデジタル入力される。次に、任意フレームを CPU に取り込み OCM を用いた画像処理を行う。画像処理の結果から導出された速度を画面に表示する。システムの構成を図 1 に示す。照明を用いているのは、夜間や曇りのような天候によるコントラストの低下などを想定したためである。

3.2 動画処理基本アルゴリズム

以下に動画処理の基本アルゴリズムを示す。参照画像を取得してから対象画像の取得する間に、参照画像から大きさ一定のテンプレートを切り出し、OC化する処理を挿入することで、照合を行った際にある程度の移動画素数を確保できるように設計している。

- Step1 速度域(高中低)を選択し、フレーム間隔を決定する。
- Step2 動画像から参照画像(テンプレートを切り出す画像)を取得する。
- Step3 参照画像から大きさ一定のテンプレートを切り出し、OC化する。
- Step4 参照画像を取得してから、ある程度間隔をおいた所で対象画像を取得する。
- Step5 限定された探索範囲を OC 化する。
- Step6 水平方向の間引きと、探索範囲を限定して OCM を行う(高速化)。
- Step7 OCM の結果、垂直方向の移動画素数を算出する。
- Step8 パラメータ (H, f, t , 受光素子の大きさ) に基づき速度を算出する。
- Step9 算出された速度を表示し、Step2 へ戻り同様の処理を繰り返す。

表 1 実験結果

実測値 (km/h)	平均速度 (km/h)	精密さ (%)
2.33	2.58	8.45
4.26	4.34	5.65
7.23	7.98	6.95
9.68	10.31	7.07

ここで本研究では、OCM を高速化するためにマッチングの打ち切り処理を導入している。これにより類似度が低い画像どうしの場合、大幅に計算回数を削減することができる。

3.3 ロバスト性の確保

基本アルゴリズムに加えロバスト性を確保するために、テンプレートを複数枚用意し、導出速度の信頼性の向上を目指す処理を追加する。3つのテンプレートの移動画素数をソートし4つの場合に分類する。求めたい移動画素数を \hat{d} とすると \hat{d} は(2)式で表される。ここで閾値 ϵ はトラクタの加速度を考慮し、速度を導出する際の分解能が小数点第一位までになるように決定した。エラーの場合は、 \hat{d} は1つ前の処理で計算された移動画素数を用いることとした。

$$\hat{d} = \begin{cases} \frac{1}{3}(d1 + d2 + d3) & \text{if } d2 - d1 \leq \epsilon, d3 - d2 \leq \epsilon \\ \frac{1}{2}(2 * d2 \pm \Delta) & \Delta = \min\{d2 - d1, d3 - d2\} \\ \text{error} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

4 実圃場での速度計測実験

4.1 実験方法

設計システムをトラクタに牽引する作業機に取り付け、5m 間隔で圃場に目印を設置して、熟練した運転手が速度一定となるように圃場を走行し目印を通過する。目視により目印の通過時間を毎回計測し、5m の平均通過時間から速度を求める。これを本研究では表 1 の実測値とした。画像処理の結果得られた速度の平均値を求め実測値との比較を行い、動画処理アルゴリズムの有効性の検証を行うものとする。また、ロバスト性を確保したアルゴリズムによる実験も同様に行った。実験環境は試作システムの汎用性も検証するために作物(小麦)が生長した状態で、雨天で行った。実験での実測値は 1.78km/h とした。各テンプレートの探索範囲をトラクタの作業時の加減速度を考慮して決定し、探索範囲がトラクタの動作に連動してシフトするようにした。これらにより探索範囲が大幅に減少され、高速化が実現できた。さらに、探索範囲を動作状態によってシフトさせることにより、加減速にも対応でき、画像照合においても次の探索を効率的に行うことができる。

4.2 実験結果

画像処理により得られた各実測値における計測速度のヒストグラムを図 2 に示す。表 1 の精密さは標準偏差を平均速度で除した値で与えられる。ここで分散が速度の上昇とともに増加しているのは、速度が上昇するにつれて取得画像に流れが生じ、画像照合の結果、移動画素数にばらつきが出て速度の導出に影響しているためであると考えられるが、東洋農機の評価により実際の圃場での使用でも十分に実用化を目指すことが出来る結果である。また、実際に作業機を牽引したトラクタで計測したスリップ率と、表 1 に示す各速度における精密さを比較すると、同等以上の結果を得ることができた。さらに実測値 4.26km/h では、測定速度の平均値が 4.34km/h、速度の変動は 4.095~4.545km/h であった。この値は実測値を含んでおり、設計シ

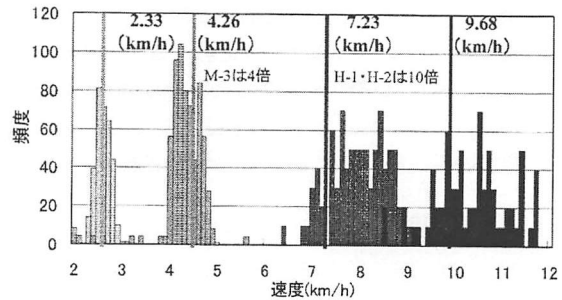


図 2 各実測値における計測速度のヒストグラム

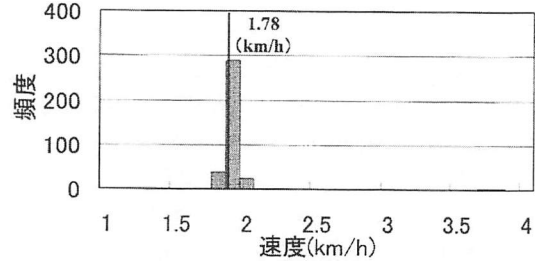


図 3 テンプレート 3 枚処理導入後のヒストグラム

テムで速度計測が十分に行えていると言える。また、ロバスト性を確保した実験では、先に行った基本アルゴリズムを用いた実験と比較して分散が抑えられていることから、テンプレート 3 枚を用いた処理は有効に作用していると言える。また実験圃場は作物が生長した状態で行ったので、本研究のパラメータ H を一定に保つ手法は有効であり、実験結果からも実際の使用に十分対応できるといえる。

5 まとめ

本研究では、明度変化や遮蔽にロバストである方向符号照合法を用いて、圃場のようなスリップ等が生じる悪条件では難しい、実速度を導出するロバストなアルゴリズムの設計を行い、このアルゴリズムを用いて実環境(圃場)で実験を行い、その有効性を検討した。またテンプレートを 3 枚用いた処理を導入することによって、テンプレートが 1 枚の場合と比較して分散が抑えられ、導出速度の信頼性が向上したといえる。今後の課題として、画像照合回数の削減や照合の判定に類似度の応用があげられる。また現在はアルゴリズムの基本的な設計の提案のみであったが、最終的にはそれを小型マイコンに実装するためのアルゴリズムの設計と、ハードウェア化を目指す。

参考文献

- [1] 石川豊: “ポストハーベストにおける画像計測の応用”, 計測と制御, Vol.37, No.2, pp.91-94 (1998-2).
- [2] F.Ullah and S.Kaneko: “Using orientation codes for rotation-invariant template matching”, Pattern Recognition, Vol.37, No.2, pp.201-209 (2004-2).