

## 【学位論文審査の要旨】

物流倉庫では作業効率化を目的として画像処理、電波、超音波等を用いた様々なセンシング技術が用いられている。従来のセンシング技術はセンシングされた過去の学習データに対しては検査、作業分析等において高い推定精度が得られるが、推定モデルの汎化能力が考慮されていないために未知の測定データに対しては推定誤差が大きくなるという課題がある。そこで、本論文では倉庫管理のためのセンシング技術における推定モデルの汎化能力を向上する方法について論じている。本論文で得られた成果を整理すると以下のようになる。

- (1) **RFID (Radio frequency identifier)**電波を用いて屋内における人及び物の動線を測定する方法が提案された。RFID を用いた屋内測位では、マルチパスにより位置推定精度が著しく低下する場所が生じる課題がある。そこで、測位対象に複数のタグを取り付けることにより、常に一つ以上のタグが検知されるようにする。次に、測位対象の位置を変え、タグの読取試行回数と読取成功回数の比で表される読取率を測定し、読取率を入力データ、測位対象の位置を出力データとするデータセットを作成する。データセットを用いて測位対象の位置を推定するための推定モデルを求める。位置推定モデルとして、線形判別関数、決定木などの統計モデルを候補とし、交差検証法による汎化誤差を指標として選定する。適用例において、静止対象の位置推定誤差の最大値が 1.0m 以内となること、測位対象に 0.8m の高低差があれば、すべての測定点で正しく測位対象の高低を推定できることが示された。さらに、移動対象の動線測定では、位置推定誤差の最大値が 0.5m 以下に改善されることが示された。
- (2) 流通加工を対象とする作業分析支援システムが提案された。本システムでは、超音波センサーにより作業者の動線を測定し、スマートフォンにより利き腕の加速度を測定することで測定データを得る。測定データから作業者の動作を推定するための推定モデルを求める。推定モデルとして、線形判別関数、決定木などの統計モデルを候補とし、交差検証法による汎化誤差を指標として選定する。以上の機材および推定モデル選定方法を用い、作業分析支援システムを構築した。適用例として、本システムを衣類流通加工の作業分析に用いた。フィルム分析による作業分析結果と本システムによる作業分析結果との一致度を表す  $\kappa$  係数は 0.6 以上となり、本システムによる作業分析結果の妥当性が示された。
- (3) 目視により行われている積層合板の枚数測定作業を自動化するためのセンシング方法およびその装置が提案された。提案方法では、合板断面の濃淡の差が大きい場合には、正規化相互相関によるテンプレートマッチング (NCC 法) を用いて合板を一枚毎に検出する。合板断面の濃淡の差が小さい場合には、心板および表板内部の輝度値のばらつきを少数の特徴量により表し、推定モデルを用いて合板枚数を検出する。推定モデルとして線形判別関数、決定木、ニューラルネットワーク

クを候補に用い、それぞれの推定性能を汎化誤差により評価し、汎化性能が最良となる推定モデルを選択する。適用例において、板厚 2.4mm の普通合板を測定対象として、提案手法の測定精度を比較した。推定モデルの中では、決定木の汎化誤差が最小となることが示された。合板枚数を 450 枚から 500 枚の範囲で 20 通りに変えて測定した結果、両手法とも、全て正しく枚数が測定された。さらに、推定モデルによる方法は NCC 法と比較して、計算時間を顕著に短縮できることが示された。

以上のように、本論文は倉庫管理のためのセンシング技術における推定モデルの汎化能力向上に着目し、学術的に波及効果の大きい課題を解決する方法が提案された。そして、適用例により提案方法の有効性が検証されており、実用性の観点からも工学的に高い価値が認められ、経営工学分野の研究に対する貢献も大きいものと判断される。従って、本論文は博士（工学）の学位を授与するに十分な価値があるものと認められる。

#### （最終試験の結果）

本学の学位規則に従い、最終試験を行った。公開の席上で論文発表を行い、学内外の複数の教員による質疑応答を行った。また、論文審査委員により本論文及び関連分野に関する試問を行った。これらの結果を総合的に審査した結果、専門科目についても十分な学力があるものと認め、合格と判定した。