

シミュレータとAIの活用による 3Dビジョンセンサ自動調整機能

櫻本泰憲*
菊池 徹**

Automatic Adjustment Function for 3D Vision Sensor by Using Simulator and AI

Yasunori Sakuramoto, Toru Kikuchi

要 旨

少子高齢化による労働力不足、製品のライフサイクルの短縮と品質の維持向上という課題を解決する手段として、柔軟にラインを構築でき、様々な作業が可能な汎用性の高いロボットを用いた自動化が近年脚光を浴びている。

特に三菱電機のメイン市場である電気電子分野の製造現場では、人手による複雑な工程の自動化と製造ラインの早期立ち上げ、そして製造ラインの安定稼働への要求が日々高まっている。この市場からの要求に応えるべく、三菱電機はこれまで製品性能の向上や知能化技術の研鑽(けんさん)を行い、産業用ロボット“MELFA FRシリーズ”や知能化オプション“MELFA Smart Plus”を市場に投入して

きた。しかしながら三菱電機が開発した知能化技術が性能を発揮するには、対象物や作業環境に依存した個別の条件設定が必要であり、この条件設定に長い時間を要し、技術支援が必要となる場合もあった。

三菱電機の知能化技術のうち、経験と感覚に依存する調整作業が必要であった三次元(3D)ビジョンセンサに対し、誰でも簡単かつ最適な調整を短時間で実現可能にするために、三菱電機独自のAI(Artificial Intelligence)技術である“Maisart”とシミュレータ技術を活用して、認識パラメータの自動調整をオフラインで実現するAI機能を開発した。



産業用ロボットMELFA FRシリーズの知能化オプション“MELFA Smart Plus”

柔軟な生産ラインの実現を強力にサポートするMELFA FRシリーズの新オプションMELFA Smart Plusは顧客の設計・立ち上げ・運用・保守の全てのフェーズで先端の機能を提供する。今回開発した機能は3Dビジョンセンサの立ち上げ支援機能であり、シミュレータを用いてばら積み状態のワークの計測・認識を再現し、ワークを正しく認識するための各種パラメータを自動調整できるAI機能を新たな付加価値として提供する。

1. ま え が き

少子高齢化による労働力不足と製品ライフサイクルの短縮化に伴い、製造現場では複雑な工程の自動化と生産ラインの早期稼働への要求が日々高まっている。これまで三菱電機はそのニーズに応えるべく3Dビジョンセンサや力覚センサといった知能化技術を開発してきた。しかし、顧客がその性能を十二分に発揮させるには、現場で試行錯誤を繰り返しながら最適な条件を一台ずつ調整する必要がある。この調整作業は対象となるワークの形状と作業環境によって大きく異なるものであり、また作業者によって調整結果にばらつきが生じるものであった。

そこで、3Dビジョンセンサでの調整結果のばらつきと長い作業時間に着目し、AIとシミュレータを活用することで、誰でも簡単かつ最適な調整を短時間で実現可能にする自動調整機能を開発し、知能化オプションMELFA Smart Plusとして発売した。

2. 製造現場を変える3Dビジョンセンサ

2.1 製造現場での課題

自動組立てシステムでのワーク供給では、人手によるトレイ整列供給、又はパーツフィーダと呼ばれる振動式の専用部品整列装置が用いられている。しかし、前者では人件費やトレイ運搬費・トレイ設置面積の増大が問題となる。また、後者では装置費や設置面積の増大、搬送トラブルによる操業停止などの問題がある。このため、乱雑に積み重ねられた状態のワーク(以下“ばら積みワーク”という。)を自動供給することは古くからの課題である。

2.2 MELFA-3D Vision

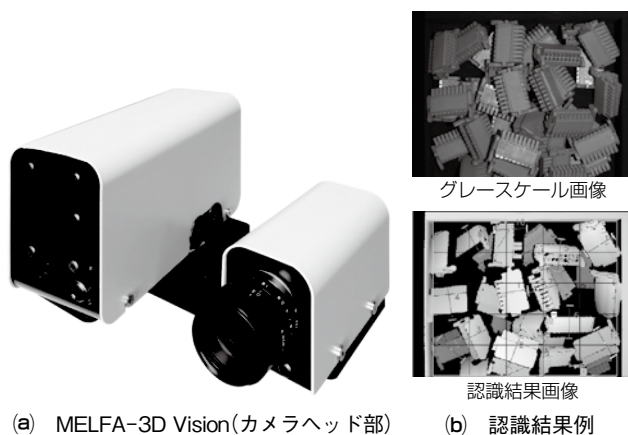
2.1節の課題に対して、近年では特に3Dビジョンセンサが有効なセンシング手段として注目を浴びている。三菱電機でも、これまでに3Dビジョンセンサを開発してきており、“MELFA-3D Vision”として製品化している。MELFA-3D Visionを図1(a)に示す。3Dビジョンセンサは、距離情報を取得できるため、ばら積みワークを計測し、そのデータの凹凸情報からワークを認識可能である。認識結果例を図1(b)に示す。

2.3 MELFA-3D Visionの適用事例

ロボットとMELFA-3D Visionを組み合わせ、部品箱にばら積みされたワークを取り出し、トレイ上に整列させるキッキングシステムを構成した例を図2に示す。

このシステムでは、ばら積みワーク群から一つのワークを取り出す工程(分離工程)と、取り出したワークの姿勢を補正して目標の位置へ運ぶ工程(整列工程)から構成される。

一つ目の分離工程では、MELFA-3D Visionを用いてばら積みワークを認識し、一つのワークを取り出し、仮置き台へ搬送する。二つ目の整列工程では、仮置き台の上に設



(a) MELFA-3D Vision(カメラヘッド部) (b) 認識結果例

図1. MELFA-3D Visionと認識結果例

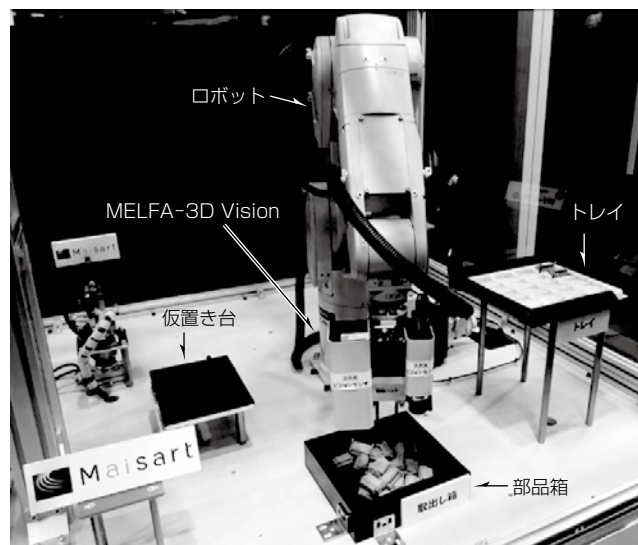


図2. キッキングシステム

置された二次元ビジョンセンサがワーク形状及び姿勢を正確に認識し、ワークの位置姿勢を調整した後に、トレイ上にワークを整列させる。このようにMELFA-3D Visionを活用することで、ばら積みワークの供給を自動化できる。これによって、専用治具やパーツフィーダが不要となり、省スペース・低コストでシステムを構築可能である。

3. 柔軟な生産体制に対応するための課題

IoT(Internet of Things)の広がりや消費者ニーズの多様化が進む現代で、製造現場では柔軟な生産体制(すぐに動く、無駄がない、止まらない)が求められている。

しかし、2.3節のようなシステムの立ち上げには、ワークを正しく認識するために各種パラメータの設定が重要であり、画像処理や対象ワーク、動作環境に関するノウハウを持った専門エンジニアが調整しないと3Dビジョンセンサの性能を十分に引き出せないという課題がある。

3Dビジョンセンサの立ち上げ手順を図3に示す。

まず、ばら積み状態を作るため、対象となるワークを多数準備し、ばら積み状態を準備する。次に、ばら積みワークを3Dビジョンセンサで撮像し、距離画像を生成する。

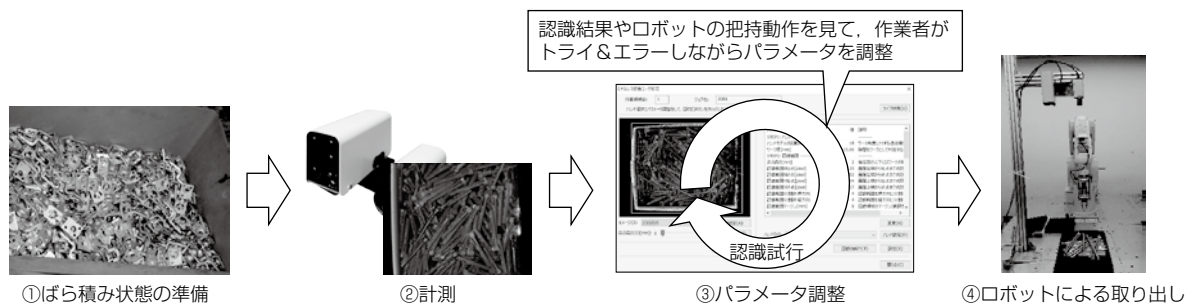


図3. 3Dビジョンセンサの立ち上げ手順(従来)

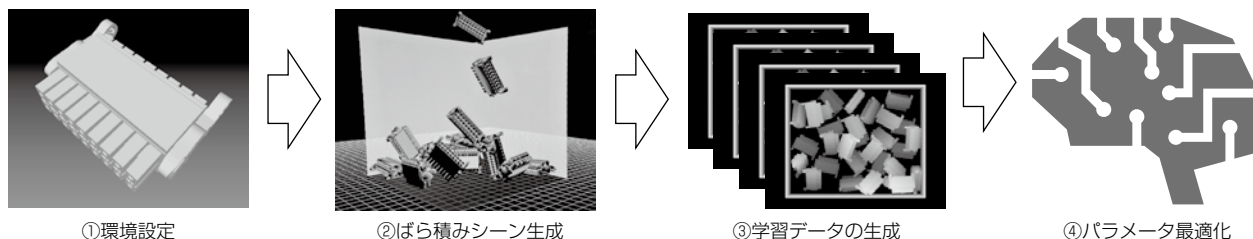


図4. 認識パラメータ自動調整の流れ

そして、作業者が計測した距離画像に対して認識を試行し、実際にロボットでワークを取り出して、認識パラメータを設定する。満足する認識率や把持成功率になるまで、トライ&エラーを繰り返しながらパラメータを再調整する。

このようにパラメータの調整には、実際に対象ワークを計測・認識し、ロボットによる取り出しを繰り返す必要がある。そのため、パラメータの調整に多くの時間を要した。この作業は、3Dビジョンセンサを使い慣れた熟練者でも短時間で調整することは難しく、“すぐに動く”という観点でまだまだ課題があった。

4. 3Dビジョンセンサ×AI技術

顧客の環境に合わせて誰でも簡単に3Dビジョンセンサの性能を引き出せるように、認識パラメータの自動調整AI機能を開発した。なお、この機能は高度な作業の自動化を容易に導入できる“MELFA Smart Plus”⁽¹⁾に、新たに追加した機能である。

4.1 認識パラメータ自動調整AI機能

従来、認識パラメータを調整するためには実機を立ち上げて検証する必要があり、実機検証にはコストがかかるという問題があった。そこで、ワークのばら積み状態を再現できる物理シミュレータ⁽²⁾、三菱電機のAI技術(最適探索)“Maisart”及び三菱電機保有のドメイン知識を活用することによって、認識パラメータを自動調整するAI機能を実現した。

図4に認識パラメータ自動調整の流れを示す。まず、ワークモデルと動作環境を設定する。次に、シミュレータを用いてワークのばら積み状態を模擬し、多数の距離画像(学習データ)を生成する。そして、学習データに対して認識パラメータ値を変動させながら認識処理を実行し、そのパラメータ値を評価する。その評価値が最大となるパラ



図5. パラメータ自動調整機能の使い方

メータを最適なパラメータとして探索する。この機能は、エンジニアリングツール“RT ToolBox3”の専用画面(図5)に従い、三つのステップを実行するだけで、簡単に認識パラメータを自動調整できる。

4.2 AI技術“Maisart”の活用

開発した機能は、AI技術Maisartを活用して、仮想空間上に生成される大量の学習データを使って効率的に最適パラメータを自動調整する三菱電機独自のAI技術である。物理シミュレータで、ばら積み状態を忠実に模擬するためには部品形状に沿った干渉領域(干渉モデル)が必要であり、この干渉領域に基づき物体同士の衝突を判定す

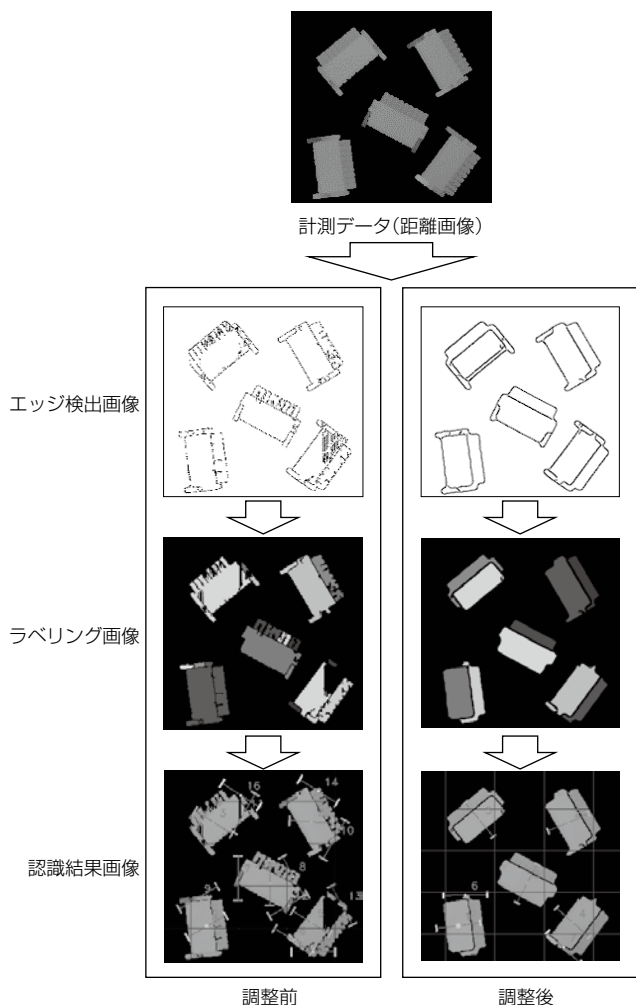


図6. パラメータ調整前後の認識処理過程の比較

る。ワーク形状は3DCADデータ等から得られるが、CADデータをそのまま干渉モデルとして用いると、計算時間が膨大になる。そこで、干渉モデルを直方体などのプリミティブの組合せで近似して表現することによって衝突判定処理を高速化する。

さらに最適探索では、最適化するパラメータ数が12個と多いため、パラメータを同時に最適化すると組合せ数(探索空間)が膨大となり、現実的な時間で探索することが困難である。そこで、熟練者の思考及び作業手順を分析し、個々のパラメータを順次最適化することで探索空間を縮小し、探索処理を高速化する。

このようにAI技術に三菱電機保有のドメイン知識を活用することで、効率的に最適パラメータを決定でき、計算リソースの少ないコンピュータ(GPU(Graphics Processing Unit)未搭載)でも使用可能である。

4.3 認識パラメータ自動調整AI機能の効果

認識パラメータ自動調整AI機能の効果について述べる。

AI機能が正しく動作していることを確認するために、自動調整前後を比較し、認識処理過程について分析した。図6にパラメータ調整前後の認識処理過程の比較を示す。

エッジ検出画像、ラベリング画像は、それぞれワークの

表1. 熟練者とAIによるパラメータ調整結果

対象ワーク	熟練者による調整 把持性能	調整時間	AIによる自動調整	
			把持性能	調整時間
CNUSR12 コネクタ	100%	480分	112%	25分
M4×6 ボルト	100%	160分	103%	11分
5ピンコネクタ	100%	140分	93%	40分
LANコネクタ	100%	140分	96%	30分

輪郭を抽出した結果、ワークの領域を抽出した結果を示している。調整前と比較して、調整後の方がワークの輪郭及び領域を正しく抽出できることを確認した。また、最終的な把持位置を示した認識結果画像でも、調整後の方が安定性の高い把持位置を認識できることを確認した。

次に、自動調整AI機能の性能を評価するためにロボットを用いた把持試験を実施した。比較対象としては、数十種以上のワークに対して認識経験のある熟練者による手動調整とした。それぞれの把持性能及び調整時間を比較した結果を表1に示す。なお、把持性能は“熟練者の把持成功率”に対する“AI調整による把持成功率”と表現した。

自動調整AI機能の性能は、熟練者調整の約90~110%の性能であり、熟練者と同等の調整能力であることを確認した。さらに、調整時間は熟練者よりも短時間で調整できることを確認した。

5. む す び

最先端の技術を付加価値として提供する機能オプションMELFA Smart Plusのうち、三菱電機の知能化技術の一つである3DビジョンセンサでのシミュレータとAIを活用した認識パラメータ自動調整機能の開発について述べた。三菱電機がこれまで研鑽を積んできた知能化技術は、自動化が進む市場で必要不可欠になっていくものであり、今後もその技術を伸長させる必要がある。さらに、提供する機能が十分に発揮されるようにすることも重要である。技術的な要求レベルが日々高まっていく自動化市場に対し、機能・性能はもちろんのこと、使い勝手にも配慮した最高の付加価値をこれからも開発・展開していく予定である。

参 考 文 献

- (1) 村田健二：産業用ロボットFRシリーズ“MELFA Smart Plus”，三菱電機技報，92，No.4，249~252（2018）
- (2) 川西亮輔，ほか：ピンピッキングシミュレータにおける部品絡まりの再現性評価，第32回日本ロボット学会学術講演会（2014）