

自走式トレイ群の管理システム

杉正夫

情報理工学系研究科特任助手 (AE グループ)

概要

本報告では Attentive Workbench における自走式トレイ群管理システムを扱う。実機実装に向けて分散階層型のアーキテクチャを決定し、シミュレータで動作確認を行った。

1 はじめに

本グループでは Attentive Workbench (以下 AWB と記す) の試作を行っている。これは従来のセル生産方式を智能化することで人間の組立作業を支援するシステムである。システムはカメラや生体センサによって組立作業者の状態や意図を認識し、プロジェクタやディスプレイを用いて作業者に情報 (組立に使用する部品の種類や部品を組付ける位置など) を提示し、そして平面リニアモータ駆動式の自走式トレイで物理的な作業支援 (作業員への部品の手渡しや部組品の一時的な管理など) を行う。このシステムを用いることで、熟練度の低い作業員や肉体的ハンデキャップを持つ作業員でも組立作業を行うことができるようになると期待される。また部品の手渡し支援は、これまで作業員が部品箱へと手を伸ばすのに費やしていた時間を短縮し、部品の取り間違いに起因する作業ミスをなくす効果も期待できる。

本報告では、多数の自走式トレイ群を用いた AWB の物理的作業支援を扱い、自走式トレイ群を管理するシステムを構築する。

2. 自走式トレイ群の管理システム

2.1 前提

本研究で想定するリニアモータ駆動型トレイは x 方向と y 方向の 2 自由度を持ち、回転自由度は持たない。なおトレイの形状は一辺 80mm の正方形とする。

平面リニアモータの特徴として位置決め精度が極めて高い ($30\mu\text{m}$) ことが挙げられる。このため、各トレイはオドメトリだけから自己位置を精度よく知ることができる。

2.2 アーキテクチャ

トレイに与えられるタスクは、部品を作業員に配送すること、および作業員から部組品や製品を受け取ってそれらを一時的に保管したり片付けたりすることである。これらの作業は並列かつ非同期に発生する。

部品や製品のサイズは様々であり、必ずしも 1 枚のトレイには収まらない。大きな物を運ぶ場合、多数のトレイを合体させて 1 つの群とし、群全体で形状を保って移動することが必要となる。また、このようにトレイをグループ化して扱う場合、人間作業員にとっては、大きな 1 枚のトレイのように扱うことができる方が便利である。

以上の議論を踏まえて、トレイ群管理システムの階層型のアーキテクチャを図 1、図 2 のように定めた。上位の Tray Manager は人間からの支援要求を受けつけ、適切なトレイにタスクを割り振る。また Tray Manager は黒板型のデータサーバを兼ねており、異なるトレイ同士はこのデータサーバを通じて情報を交換することができる。前述のように各トレイはオドメトリから自己位置を精度よく知ることができるので、この黒板型データサーバを用いて互いの位置情報を交換することで、特別な相互位置計測を行わずに他のトレイの位置を知ることができる。一方、各トレイは Tray Manager から割り当てられた仕事を実行する。この際各トレイは、他のトレイの位置や状態を考慮して自己の移動経路を決定する。

トレイが合体せず単独で動いている場合、システムのアーキテクチャは単純な 2 階層となる (図 1)。次に複数のトレイが合体する場合のアーキテクチャを図 2 に示す。合体したトレイのグループにおいては、リーダーとなるトレイを 1 つ決め、そのトレイが群全体の形状の管理と群の経路計画を行うものとする。リーダーとなるトレイ (図 2 の場合は Tray1) だけが Tray Manager と通信し、他のトレイはリーダーの指示に従って動く。グループに属さないトレイ (図 2 の Tray4 など) や Tray Manager からこのグループを見た場合、

Tray1 以外のトレイの存在は隠蔽され、1 枚のトレイとして扱うことができる。

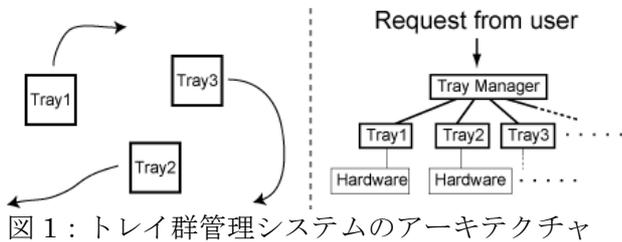


図 1: トレイ群管理システムのアーキテクチャ

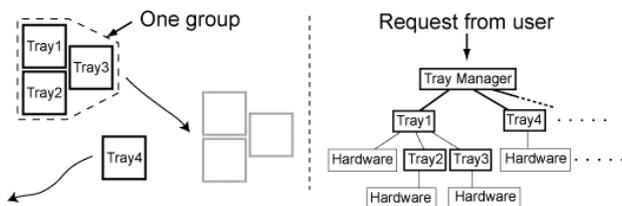


図 2: トレイ群管理システムのアーキテクチャ (複数のトレイをグループ化する場合)

2.3 トレイ群の形状表現と動作計画

各トレイ (または各トレイ群) は移動する際、他のトレイの位置や形状を調べ、自分が他と干渉するかを調査する。他のトレイとの干渉がない場合、トレイは自己位置とゴール位置の x 座標の差および y 座標の差をそれぞれ調べ、差を減らすように動く。他のトレイとの干渉がある場合、トレイは接触している相手の周りを左回りに迂回して回避行動を取る。この時、2 つのトレイの形状に凹部が存在するとデッドロックに陥る可能性がある。そこで本研究では、複数のトレイをグループ化した場合、群全体の形状を、群内のトレイ全てを被覆する凸多角形によって与える。

なお前述したように、グループ内の全てのトレイの経路はリーダーとなるトレイによって計算される。本研究ではトレイは並進 2 自由度のみで回転自由度を持たないため、群内のトレイはすべて同一形状となる。従ってリーダーが自分について経路を決めれば、他のトレイの挙動は自動的に求まる。

3. シミュレーション

提案アーキテクチャに基づいてシミュレータを作成した。

AWB ではジェスチャを用いてユーザの指令をトレイ群管理システムに与える予定であるが、本シミュレータではマウスとキーボードを用いた。具体的には以下のように与えた。

- ・マウス左クリック：トレイを選択 (Shift+左クリックで複数個選択)
- ・マウス右クリック：搬送目的地の指示
- ・Enter キー：複数個選択したトレイのグループ化指示
- ・Esc キー：トレイ群のグループ化解除

動作テストの結果、提案した方法によってトレイ群が非同期並列に動作でき、かつ互いに干渉を回避できること、複数のトレイをグループ化し、大きな 1 枚のトレイとして単独のトレイと同じように扱えることが確かめられた

4. おわりに

Attentive Workbench における自走式トレイ群の制御方法を扱い、分散的な制御アーキテクチャを提案した。シミュレータで動作確認を行い、トレイの非同期並列な動作や干渉回避を確認した。

今後は提案手法を実際の自走式トレイに実装し、作業支援の実験を行う予定である。そのためには、トレイ群管理システムにはさらに以下のような機能が必要となる。

- ・状況に応じた群形態の自動生成：複数トレイをグループ化する際、人間がトレイの枚数や並べ方を指定するのは不便である。例えば大型物体をトレイに乗せる場合、トレイ群管理システムを対象物の形状に応じてトレイ枚数やレイアウトを自動的に計算することが必要である。
- ・搬送目的地の自動決定：人間から部品を受け取って一時的に保管するタスクの場合、人間が保管場所を指示するのではなく、トレイ群管理システムが適切な場所を決めるべきである。
- ・タスクの優先度設定：各トレイが部品の供給あるいは受取りのためにユーザの手元へと移動する場合、ユーザが作業しやすいタイミングで手元に到着しなければならない。一方でタスクが終了してユーザの手元から引き上げる場合、時間的制約は発生しない。このように各トレイは状態により求められる時間的厳密さが異なる。トレイに優先度を設け、優先度の高いものを Just-in-time で移動させることができるようなスケジューリングを行うべきである。また本発表ではマウスとキーボードによるインターフェースを用いたが、実装の際には人間作業者のジェスチャを用いる。人間にとって覚えやすく、かつ機械にとって認識しやすいジェスチャ命令体系の構築も今後の重要な課題である。