

オーダーに応じて構成可能な生産システムの設計と運用への ZDD の適用

北海道大学大学院情報科学研究科 システム情報科学専攻 ○森 裕介, 小野里 雅彦, 田中 文基

要旨

グローバル化により市場競争の激化が起きている。従来の生産システムはコスト、リードタイム等にウェイトを置き、変化への対応力を活かすための設計がされていない。本講演では、Hexagonal Base という六角形型のモジュールを用いて再構成可能な生産システムを構成し、オーダーに応じて最適なレイアウト設計とワークの搬送経路計画の制約充足解空間を ZDD を用いて導出し、評価を行った。制約充足解空間から評価項目に応じて最適解の導出に成功し、その手法を示した。

1 はじめに

現在、生産システムは市場競争の激化により変種変量生産に対応するため、柔軟であることが求められている [1]。柔軟な自動化システムの一つに、生産ラインのレイアウト自体を変化させる再構成可能な生産システムがある。本研究では、Hexagonal Base(以下 HexB)という六角形型のモジュールを用いて生産システムを構成し、オーダーに応じて最適なレイアウト設計とワークの搬送経路計画を ZDD を用いて組合せ爆発を抑制して制約充足解空間を導出し評価を行う手法を提案する。

2 HexB を用いた生産システムの概要

本研究で提案する生産システムは、HexB によってモジュール化される。HexB は六角形の形をした移動可能なベースで、加工・運搬・搬入/搬出等の単一機能を持つ。モジュールの形状を六角形とした理由は、平面上に敷き詰めることができる最多角形であり、以下の利点が得られる。

1. すきまなくフロアを使用できる。
2. ワークの移動が 6 方向で選択肢が多い。
3. HexB 間の接続が強固となりずれが生じにくい。

本システムでは、この HexB をオーダーに応じて適したレイアウトを行う。図 1 にシステムのレイアウト例を示す。この構成されたレイアウト上でワークの移動を考える。

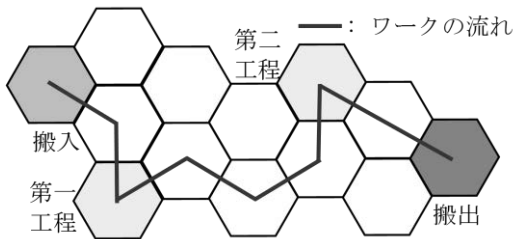


図 1 システムのレイアウト例

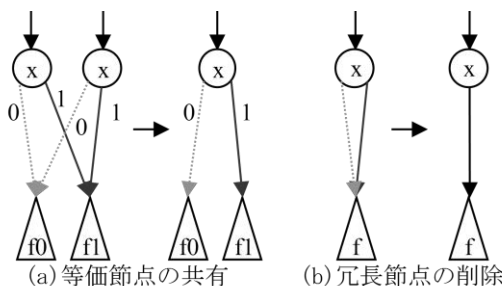


図 2 二分決定木と ZDD

各ジョブはまず、入荷され搬入ベースへと運ばれる。次に運搬ベースによって加工ベースへと運ばれ、オーダーに従った順序で各機能が実行される。オーダーの内容が全て終了されるまでその処理が繰り返されたのち、搬出ベースへと運ばれ、出荷される。

3 組合せ爆発と ZDD

生産システムのレイアウト設計とワークの搬送経路計画の問題では、ある HexB のレイアウトにベースを 1 つ追加する場合、ワークの搬送経路の解候補数は急激に増加する。したがって本研究では、問題のもつ制約を充足したもののみを表現する制約充足解空間を ZDD を用いて構成する。

1. 等価接点の共有
2. 冗長節点の削除

の簡易化規則により図 2 のように構成される。

4 HexB レイアウトとワークの搬送経路の導出と評価

4.1 HexB を用いた生産システムへの ZDD の適用

与えられたオーダーに応じて ZDD を用いて制約充足解空間を構成し、適切なレイアウト設計とワークの搬送経路を導出する。本研究では HexB を用いた生産システムをグラフと捉える。グラフの頂点を HexB、辺を HexB の接続関係と設定する。HexB を用いた生産システムをグラフとして表現することで、集合族演算ライブラリ Graphillion[2] を利用して ZDD を適用することが可能となる。

4.2 ワークの移動と $s-t$ 経路

ワークの移動は全体グラフに対して、制約を充足した解空間に含まれる部分グラフの辺として捉える。本研究では、各 HexB 間の移動時間は単位時間としているため、各 HexB を表す頂点までの辺の合計数とその頂点へのワークの到達時間となる。同時刻に複数のワークが同一ベースに存在すると、ワークが衝突すると考えられるため、同時刻に同一ベースにワークは存在してはならない。

HexB を用いた生産システムでは、各ジョブは搬入ベースから投入され、加工ベースにて各ジョブに応じて必要工程を行い、搬出ベースから倉庫に搬出される。図 3 に示すように搬入ベースを s 、搬出ベースを t とし、必要な加工ベースを経由する $s-t$ 経路を部分グラフとして全て導出する。 $s-t$ 経路とはグラフ上に s, t の 2 点を設定し、 s から t までの経路を指す。導出した $s-t$ 経路の集合は各ワークが生産システム上で移動する全ての経路を含んでいるので、局所解に陥り、準最適解しか求められない状態を避けることができる。

4.3 本研究で扱うオーダーと制約充足解空間の構成法

本研究では表 1 に示すオーダーを扱う. 各ジョブには搬入, 搬出, 第一工程, 第二工程. 投入時刻を定義する.

図 4 に示す HexB レイアウトのワーク搬送経路を導出したところ, 運搬ベース, 加工ベースで各ワークの衝突の可能性がある解空間は表 2 に示すように 490,331,338 個と導出された. 次に運搬ベース, 加工ベースで各ワークが衝突しない経路のみを含む制約充足解空間を構成することを考える. 制約充足解空間を構成する制約として以下の制約を設ける.

1. 各ジョブの各加工時間は全て単位時間とする.
2. 各ジョブは任意のジョブと少なくとも 1 つは使用する加工ベースが同じである.
3. 各加工ベースで処理するジョブの最大数は 3 とする.
4. 各ワークは運搬ベースを共有しない.

運搬ベース上でのワークの衝突判定として, 上記の制約をグラフ理論で表現すると, 各ベースの機能を表現する頂点には次数の制約が存在する. また 2 の制約より各ワークの経路を 1 つにまとめたグラフは連結グラフである必要がある. しかし導出した経路の集合には加工ベースで各ワークが衝突する経路が含まれている. したがって, 先ほど導出した経路の集合から加工ベースで各ワークが衝突している経路を取り除き, 得られた経路は運搬ベース, 加工ベースで各ワークが衝突しない経路となる. 衝突が発生しない解空間は表 2 に示すように 4,386 個となる.

4.4 制約充足解空間の評価

構成した制約充足解空間の評価手法として本研究では以下の評価項目を提案する.

1. オーダーの総処理時間による評価
2. 使用する HexB 数による評価

1 に関してオーダーの総処理時間とは生産システムの搬入ベースに最初のジョブが投入された時間から搬出ベースから最後にジョブが搬出されるまでの時間を指す. オーダーの総処理時間を最小にすることは, 生産性の向上につながるため重要な評価項目である. 2 に関して生産システムを構築するベース数を求めることで, コスト面, フロア面積等への評価につながるため重要な評価項目となる. 評価を行った結果は表 2 となる. 総処理時間最小となる解は 184 個, 使用するベース数最小となる解は 2 個, 双方の解空間に含まれている解は 2 個と導出でき, 双方に含まれている解の 1 つを図 5 に示す.

5 結論

本研究では, オーダーに応じて構成可能な生産システムの設計と運用への ZDD の適用法について示した. オーダーに応じて, HexB のレイアウトとワークの搬送経路を表現したグラフの制約充足解空間を ZDD を用いて導出することで, 準最適解に陥ることを防ぎ, 構成した制約充足解空間から 2 つの評価項目について最適解の導出に成功した. 今後の課題として, ジョブの投入時間決定方法, 各ワークでの運搬ベースの共有, 加工時間の設定が挙げられる.

参考文献

- [1] 日本機械学会編, 機械工学便覧-デザイン編 β7 生産システム工学, p.83(2005).
- [2] T.Inoue, H.Iwashita, J.Kawahara, S.Minato, "Graphillion: Software Library Designed for Very Large Sets of Labeled Graphs", International Journal on Software Tools for Technology Transfer, Springer, Vol.18, pp.57-66 (2016).

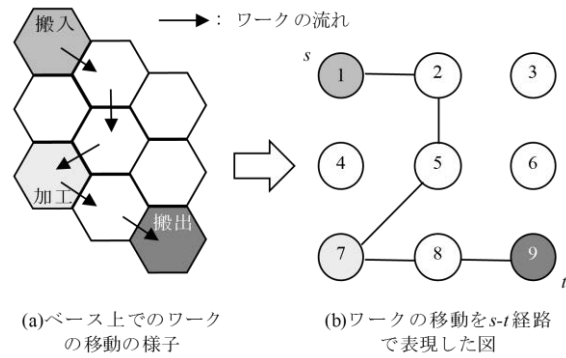


図 3 ワークの移動の様子と $s-t$ 経路表現

表 1 本研究で扱うオーダー

ジョブ Number	搬入 HexB	搬出 HexB	第一工程	第二工程	投入時刻
1	21	5	8	23	0
2	21	25	23	13	1
3	21	1	13	8	2

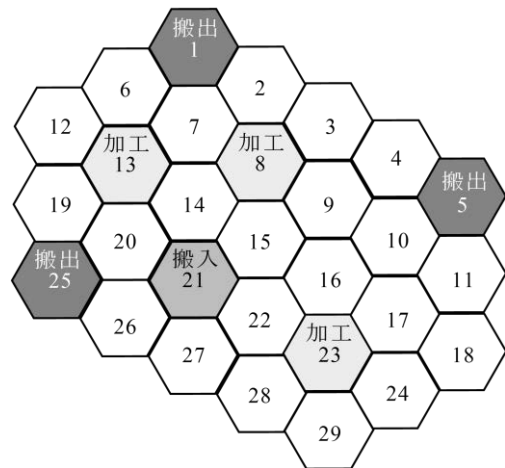


図 4 例題として用いる HexB レイアウト

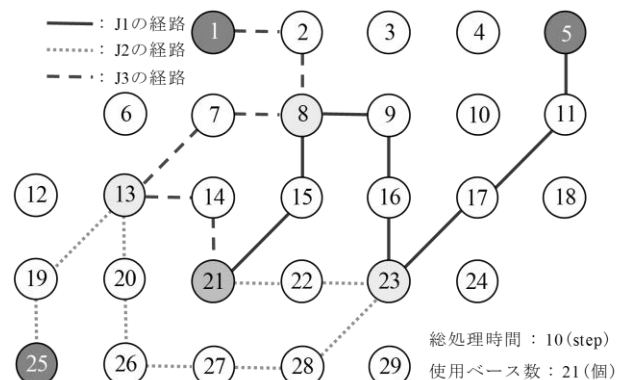


図 5 総処理時間最小かつベース数最小となる経路

表 2 構成する制約充足解空間と解の個数

構成する制約充足解空間	解の個数
衝突の可能性がある解空間	490,331,338
衝突が発生しない解空間	4,386
総処理時間最小となる解空間(A)	184
使用するベース数最小の解空間(B)	2
(A), (B) どちらにも含まれている解空間	2