

Минимизация времени обработки идентичных деталей

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного
фонда № 22-71-10015

4 ноября 2022 г.

Тавченко Вероника Юрьевна
Институт математики им. С.Л. Соболева СО РАН

Введение

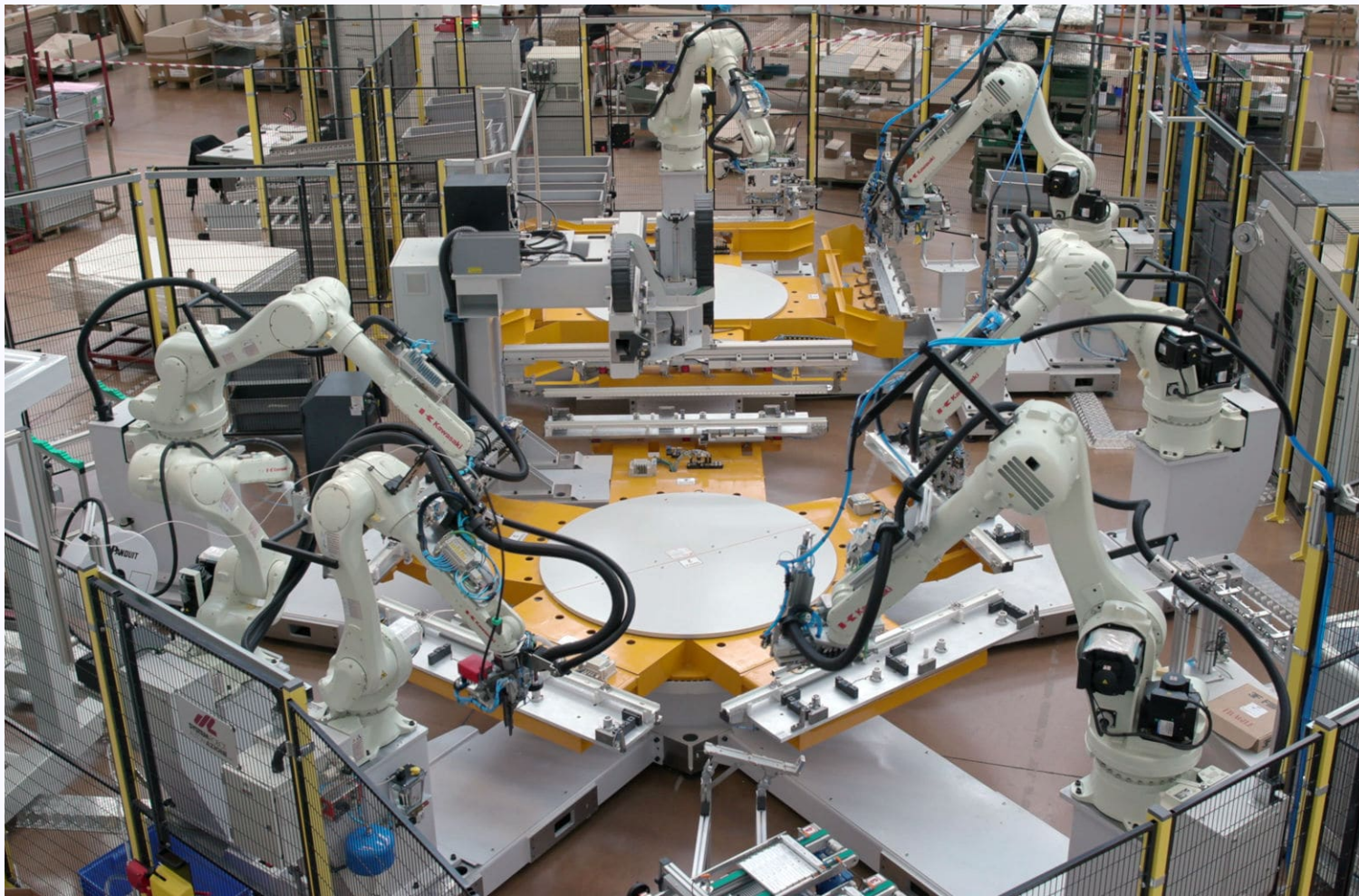
В последнее время в связи с использованием сложных роботизированных производственных линий возросла актуальность задачи минимизации общего времени обработки партии идентичных деталей.

Появилась возможность оперативной настройки производственной линии на выпуск продукции большей номенклатуры.

Для построения приближенных решений задачи обработки деталей со сложным технологическим маршрутом успешно используются циклические расписания.

Однако, вопрос о вычислительной сложности точных алгоритмов решения задачи минимизации общего времени обработки партии идентичных деталей остается открытым.

Роботизированная сборка изделий



Химическая обработка деталей



Постановка задачи

Требуется обработать N идентичных деталей.

Каждая деталь состоит из n последовательно выполняемых операций:
 $O_1 \rightarrow O_2 \rightarrow \dots \rightarrow O_n$;

Имеется m различных машин M_1, M_2, \dots, M_m .

Операция O_i выполняется на определенной машине M в течение $p_i \in \mathbf{Z}^+$ единиц времени;

- Машины в технологическом маршруте могут повторяться;
- Одновременное выполнение двух и более операций на одной машине не допускается;
- Прерывания операций запрещены.

Необходимо минимизировать общее время обработки всех деталей.

Вычислительная сложность задачи

Гипотеза. Задача минимизации общего времени обработки однотипных деталей является NP-трудной.

В работе **Middendorf M., Timkovsky V.G.** *Transversal graphs for partially ordered sets: Sequencing, Merging and Scheduling problems* // Journal of Combinatorial Optimization, 1999.– V.3, N.4.– P.417-435. доказана псевдополиномиальная разрешимость задачи с фиксированным числом деталей.

В работе **Shufan E., Ikar E., Grinshpoun T., Ilani H.** *Reentrant flow shop with identical jobs and makespan criterion* приведен пример, который противоречит оптимальности алгоритма ObO для единичных длительностей.

Вычислительная сложность задачи

При количестве деталей $N \rightarrow \infty$ существует полиномиальный асимптотически точный алгоритм решения задачи

Boudoukh T., Penn M., Weiss G. *Scheduling jobshops with some identical or similar jobs* // Journal of Scheduling, 2001. – V.4. – P.177-199.

Таким образом, при малых N можно использовать точный псевдополиномиальный алгоритм, а при больших N асимптотически точный.

Остается проблема "средних значений" N до нескольких сотен.

Циклические расписания

Для построения приближенного решения рассматриваемой задачи предлагается использовать циклические расписания.

Пусть s_{ij} – начало выполнения операции i детали j . Расписание называется *циклическим*, если для любого $i = 1, 2, \dots, r$ и для любого $j = 1, 2, \dots, n$ выполняется $s_{ij} = s_{i1} + C(j - 1)$, где C – длина цикла или циклическое время.

В циклических расписаниях выполнение соответствующих операций любых двух последовательно обрабатываемых деталей происходит через промежуток времени равный C .

1	1		2	3	4				
2		1		2	3	4			
3				1		2	3	4	
4					1		2	3	4

Решение задачи на базе циклических расписаний

В отличие от исходной, задача минимизации циклического времени полиномиально разрешима.

Roundy R. *Cyclic schedules for job shops with identical jobs* // Mathematics of Operations Research, 1992, – V.17, N.4, – P.842-865.

Длина цикла C равна сумме длительностей операций на самой загруженной машине.

Циклические расписания обеспечивают ритмичность производства, равномерный выпуск готовой продукции, устойчивость производственного процесса.

Но циклические расписания не обеспечивают минимум общего времени обработки деталей. В процессе запуска партии деталей и при ее завершении возникают простои оборудования.

Алгоритм уплотнения

Используем малотрудоемкий алгоритм построения циклических расписаний для построения приближенного решения NP-трудной задачи минимизации общего времени выполнения заказа. Для этого необходимо уплотнить неполные циклы такого расписания.

Алгоритм уплотнения.

Шаг 0. Строим циклическое расписание с минимальным временем цикла.

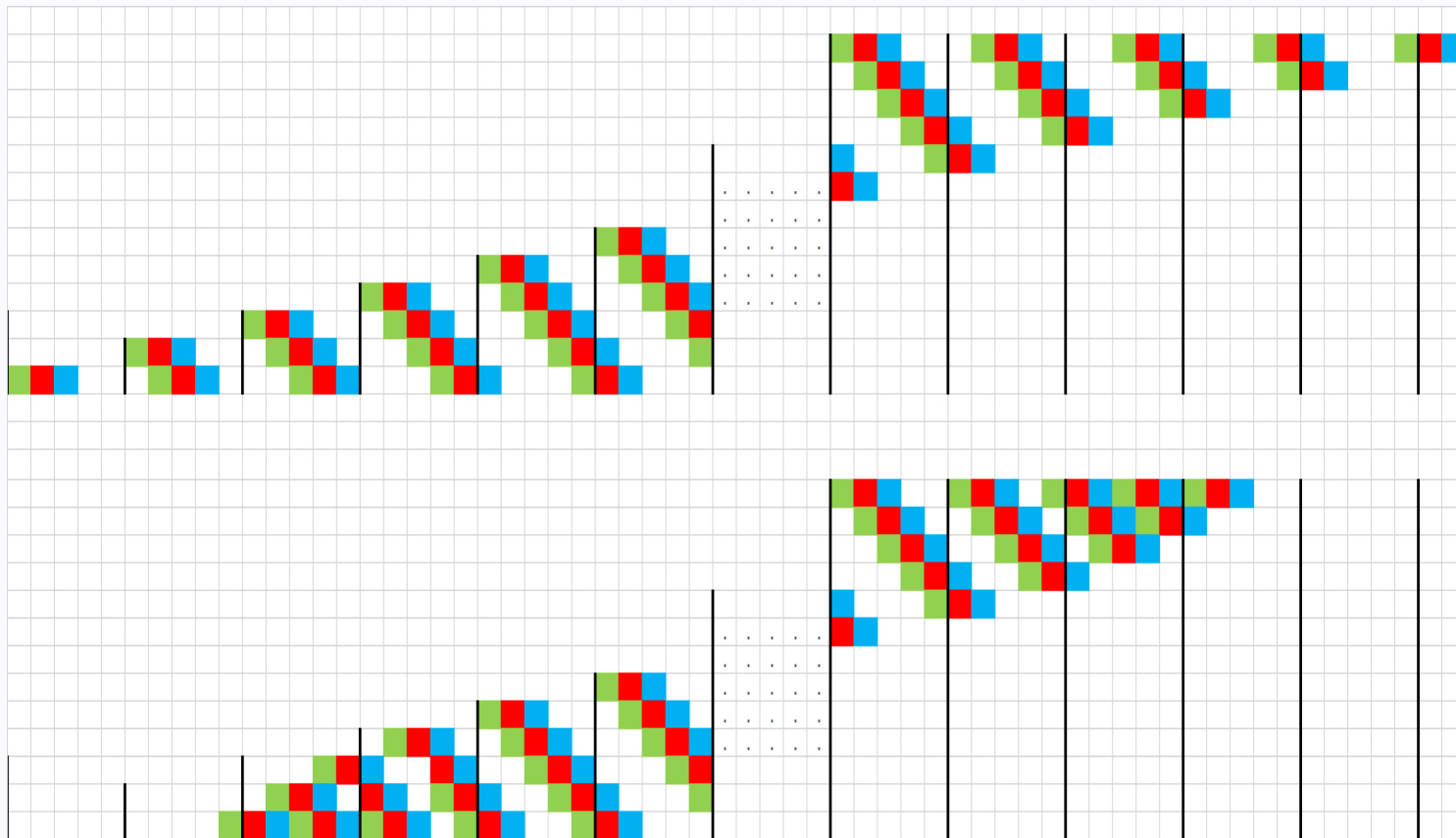
Шаг 1. Выделяем первый цикл с полным набором операций.

Шаг 2. Операции входящие в этот цикл и предшествующие циклы упорядочиваем по невозрастанию их времени окончания.

Шаг 3. Просматриваем этот список с конца каждую операцию сдвигаем как можно позднее, пока не нарушится отношение предшествования или две операции не поступят на одну машину.

Шаг 4. Аналогично действуем при завершении заказа.

Алгоритм уплотнения



Заключение

В работе для NP -трудной задачи минимизации общего времени обработки идентичных деталей предложен полиномиальный алгоритм построения приближенного решения на базе циклических расписаний.

Спасибо за внимание!