

Экспериментальное сравнение задач оперативного планирования биохимического производства

Виталий Вячеславович Пырэу

Московский физико-технический институт

Курс: Автоматизация научных исследований
(практика, В. В. Стрижов)/Группа Б05-821

Эксперт: С. А. Тренин

2021

Моделирование расписания для производства

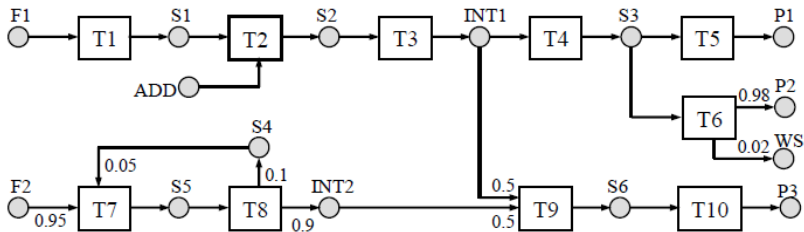
Основная решаемая задача: получить оптимальное или качественное допустимое расписание для производства, используя как можно более простую модель.

Цель исследования: сравнить дискретный и непрерывный подходы к моделированию расписаний и описать классы задач, в которых модели, полученные в рамках каждого из подходов будут проще.

Критерии качества: число переменных и ограничений модели, производящей расписание для различных процессов

Постановка практической задачи

1. Известны рецепты промежуточных прекурсоров и продуктов производства (в виде STN диаграммы).
2. Известны длительности промежуточных работ
3. Известны параметры производственных узлов и складов завода.
4. Известны количество материала в момент начала производства и требования на продукт.



Подходы к моделированию требований к расписанию

1. Практические требования моделируются как задачи ЦЛП в общей форме
2. Индикаторы начала и конца работы в заданный момент времени
3. Использование прореженной сетки с последующим сдвигом расписания влево (двухступенчатая схема)
4. Индикаторы порядка на событиях начала и конца работы (схема порядка)

1. **STN-диаграммы:** E. Kondili, C. C. Pantelides and R. W. H. Sargent. A general algorithm for short-term scheduling of batch operations-i. MILP formulation
2. **Обзор современных достижений:** Georgios P. Georgiadis, Apostolos P. Elekidis and Michael C. Georgiadis. Optimization-based scheduling for the process Industries: from theory to real-life Industrial applications.
3. **Двухступенчатая схема:** F. Blomer, H.-O. Gunther. LP-based heuristics for scheduling chemical batch processes.
4. **Схема, основанная на порядке:** C.A. Mendez, G.P. Henning, J. Cerda. An MILP continuous-time approach to short-term scheduling of resource-constrained multistage flowshop batch facilities.

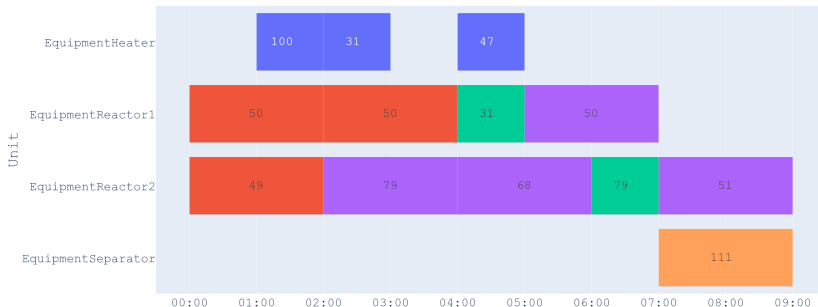
Требования к расписанию

Расписание должно быть оптимальным с точки зрения целевой функции - Makespan и учитывать следующие ограничения:

1. На конец производства выполнен весь заказ, то есть произведено как минимум столько продукта, сколько требовалось
2. Склад не переполнен в течении всего времени производства
3. Всякий процесс в расписании может взять со склада требуемый ему материал
4. Один узел в каждый момент времени занимается не более, чем одной задачей

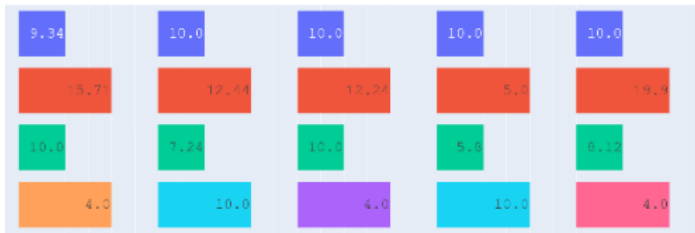
Дискретная модель с плотным временем

1. Переменные-индикаторы того, что процесс берёт задачу в некоторый момент
2. Поток материала в каждый момент времени — взвешанная сумма индикаторов
3. Гарантируется получение оптимального расписания
4. С удлинением временной шкалы число переменных резко возрастает даже при небольшом числе задач.



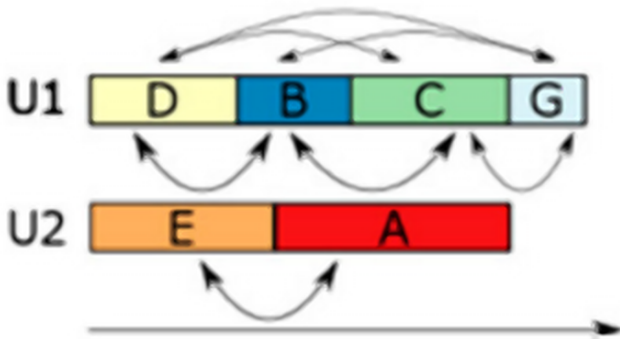
Двухступенчатая схема

1. Решает проблему длинной временной шкалы
2. Делит получение расписания на две фазы: грубое приближение и уточнение
3. На первой фазе задачам разрешено начинаться только в малое число точек времени
4. Не гарантирует получение оптимального расписания, но даёт качественные практичные приближения.
5. Подбор разряженности временной шкалы позволяет настроить степень сложности модели и оптимальности получаемого расписания



Схема, основанная на порядке

1. Минимально моделирует временную шкалу
2. Берёт во внимание не точное время событий, а их очерёдность
3. Число переменных растёт квадратично от числа задач, но не зависит от плотности временной шкалы.
4. Модели становятся более сложными, если процесс сетевой и простыми, если процесс линейный.



Итоги эксперимента по моделированию расписаний

Процесс/модель	Дискретная	Двухступенчатая	Порядковая
Demand 500, время 50, простой сетевой процесс	1276/1859	276+1471/379+1589	41431/121494
Demand 50, время 10, простой сетевой процесс	276/379	151+829/194+854	1735/5070
Модельный немецкий пример, время 120	8108/12019	1408+26965/2019+32276	37761/106801
Поэтапный процесс, время	4115/6014	1735+72749/2514+88422	10801/31373
Общий случай	$O(Tn)$	$O(\frac{Tn}{L_{\max}}) + O(n + Tn)$	$O(n^2)$

Заключение

1. Модели расписания (двухступенчатой схемы в частности) достаточно просты и производят практически применимые расписания, что делает системы автопланирования жизнеспособными.
2. Модели были запущены на трех различных процессах при различных требованиях на заказ.
3. Рассмотрен простой сетевой процесс, известная задача бенчмарка Westenberger and Kallrath (1994) и линейный процесс, исполняемый параллельно.
4. Описаны классы задач, на которых методы показывают приемлимое для практики качество
5. Двухступенчатая схема доведена до фреймворка и готовится к демонстрации