

## ОБЪЕДИНЕНИЕ РАБОТ В ГРУППЫ С УЧЕТОМ ИХ ПРИОРИТЕТОВ, ГОТОВНОСТИ К ВЫПОЛНЕНИЮ И ДИРЕКТИВНЫХ СРОКОВ

Розглядається алгоритм об'єднання робіт у групи при плануванні складних систем. У результаті об'єднання робіт істотно підвищується ефективність функціонування систем за рахунок більш дешевого або більш швидкого виконання робіт групами. Алгоритм розроблений для випадку, коли тривалість налагодження приладу істотно перевищує максимальну із тривалостей виконуваних робіт.

We consider the one machine scheduling problem of minimizing the total earliness and tardiness of independent tasks against due dates (ET) with setups. We propose a heuristic algorithm to search a local optimal solution of the problem. Experimental studies have shown the effectiveness of the algorithm, which allows to solve large dimensional problems for a short time.

### Введение

В последнее время наблюдается существенный интерес к составлению расписаний работ, использующему объединение работ в группы или семейства [1], т.к. в результате объединения работ существенно повышается эффективность функционирования систем за счет более дешевого или более быстрого выполнения работ группами. Например, уменьшается время переналадки, которое может превышать длительность выполнения самих работ. В химической промышленности объединение подготовительных работ может существенно сократить стоимость за счет более рационального использования дорогостоящих компонентов.

Представленный алгоритм входит в состав трехуровневой модели планирования функционирования сложных систем, имеющих сетевое представление технологических процессов и ограниченные ресурсы, описанной в [2]. На первом уровне модели на основе детальной информации, связанной с заданиями (комплексами взаимосвязанных работ, выполняемых в системе), ресурсами и технологией производства, строится агрегированная модель с помощью объединения отдельных ресурсов и операций в большие единицы. Агрегация осуществляется до уровня мультимануальных ресурсов (устойчивых групп совместно работающих ресурсов, например, бригад, групп однотипного оборудования, однопрофильных подразделений), и агрегированных работ (совокупностей работ, выполняемых в одном мультимануальном ресурсе в рамках одного захода в мультимануальный ресурс по одному заданию). На основе агрегированной информации для каждого задания строится агрегированный граф, определяющий взаи-

мосвязи и порядок выполнения агрегированных работ. В свою очередь, для каждого построенного агрегированного графа строится критический путь, определяющий минимальное время выполнения комплекса агрегированных работ, составляющих задание. Длительность выполнения задания и агрегированных работ, входящих в его состав, определяется критическим путем.

Завершающим этапом агрегации является построение агрегированной модели, в которой задача планирования сводится к задаче календарного планирования для одного прибора. На основе критических путей заданий строится граф, называемый далее графом на критических путях. Вершины полученного ориентированного ациклического графа – агрегированные работы, лежащие на критических путях заданий. Дуги отражают связи между агрегированными работами, которые выполняются в соответствующих мультимануальных ресурсах, регламентирующие технологию выполнения заданий. Конечные вершины соответствуют выполненным заданиям.

Некоторые агрегированные работы, принадлежащие критическим путям различных заданий и выполняемые в одном мультимануальном ресурсе, объединяются в общие агрегированные работы так, чтобы не требовалась наладка для работы, если она принадлежит той же вершине, что и агрегированная работа, выполненная перед ней. На графе связности это отображено общими вершинами. При объединении агрегированных работ в «общие вершины» исключается время переналадки для объединяемых работ, которое в отдельных случаях может существенно превышать длительность выполнения работ. Если объединение в «общие вершины» не реализуется

ся, то при выполнении каждой агрегированной работы необходимо учитывать время переналадки, что существенно увеличит время прохождения заданий в системе.

Весы всех вершин построенного графа на критических путях заданий равны нулю, веса конечных вершин равны весам выполненных заданий. Длительность выполнения «общей вершины» равна сумме длительностей выполнения входящих в ее состав агрегированных работ.

Для определения очередности назначения заданий на выполнение на построенном графе на критических путях заданий решается задача минимизации суммарного взвешенного момента окончания выполнения работ одним прибором (МВМ) при условии, что веса всех вершин, кроме конечных, равны нулю. Результат решения этой задачи – приоритетно-упорядоченная последовательность выполнения агрегированных работ, входящих в состав заданий, которая является основной информацией для второго уровня модели – согласованного планирования. В этой последовательности в первую очередь выполняются задания высшего приоритета, что обеспечивает получение эффективного решения задачи по рассматриваемым в системе критериям [2].

В данной статье рассматривается разработанный на основе требований к формированию «общих вершин» и правил их построения [2] алгоритм объединения агрегированных работ в «общие вершины» при построении графа на критических путях заданий.

Алгоритм построен на основе информации о приоритетах заданий, готовности агрегированных работ к выполнению, длительностях переналадок и директивных сроках и состоит из двух этапов. На первом этапе определяются группы агрегированных работ, претендующих на объединение в «общие вершины». На втором этапе производится построение «общих вершин» в соответствии с правилами, изложенными в [2].

#### Алгоритм определения претендентов для объединения в «общие вершины»

5. Упорядочиваем мультиресурсы по невозрастанию значений их времен наладок (последовательность  $\sigma^1$ ).
6. Упорядочиваем критические пути заданий по невозрастанию их приоритетов (последовательность  $\sigma^2$ ).

7. Выбираем из последовательности  $\sigma^1$  мультиресурс  $i_s$ , требующий максимального времени наладки при переходе от одного типа работ к другому.
8. Просматриваем последовательность  $\sigma^2$ , начиная с критического пути задания наивысшего приоритета. Находим первую агрегированную работу  $j_r$ , требующую выполнения в мультиресурсе  $i_s$ . Пусть она находится на критическом пути задания  $J_p$ . Формируем группу претендентов на объединение с работой  $j_r$  следующим образом. В последовательности  $\sigma^2$  на интервале  $[p+1, n]$  находим следующую агрегированную работу  $j_u$ , требующую выполнения в мультиресурсе  $i_s$ . Пусть она находится на критическом пути задания  $J_t$ . Проверяем условия:

$$\Omega_{J_t} \sum_{q=p+1}^{t-1} L_{J_q} + l_{i_s}^H \sum_{q=t+1}^n \Omega_{J_q} > (L_{J_t} - l_{i_s}^H) \sum_{q=p+1}^{t-1} \Omega_{J_q}, \quad (1)$$

$$\frac{\Omega_{J_p}}{L_{J_p}} - \frac{\Omega_{J_p} + \Omega_{J_t}}{L_{J_p} + L_{J_t} - l_{i_s}^H} \leq \Delta,$$

- где  $\Omega_{J_q}$  – вес задания  $J_q$ ;  $L_{J_q}$  – длительность его критического пути;  $l_{i_s}^H$  – длительность наладки в мультиресурсе  $i_s$ ;  $\Delta \approx 8-10\%$  от максимального приоритета. В левой части неравенства (1) отражено уменьшение значения функционала МВМ в случае встраивания задания  $J_t$  (агрегированных работ, принадлежащих его критическому пути) после задания  $J_p$  в последовательности  $\sigma^2$  и в результате уменьшения числа переналадок, а в правой части – увеличение значения функционала в результате смещения заданий на интервале  $\overline{p+1, t-1}$  на более поздние позиции. В соответствии с (2), приоритет «общей вершины» не должен быть меньше приоритета задания  $J_p$  более, чем на величину  $\Delta$ . Если не выполняется объединение, то длительность агрегированной работы включает время переналадки  $l_{i_s}^H$ . Если условия (1) и (2) выполняются,  $j_u$  включается в группу претендентов на объединение с работой  $j_r$ . Аналогичным образом находим всех претендентов на объединение с работой  $j_r$ , просматривая критические пути заданий  $\overline{p+1, n}$ .
9. Переходим к следующему мультиресурсу в последовательности  $\sigma^1$ , переход на шаг 3. Если все мультиресурсы рассмотрены, конец алгоритма.

### Формирование «общих вершин» на основе групп претендентов

Приведенный выше алгоритм разработан для случая, когда длительность наладки прибора существенно превышает максимальную из длительностей выполняемых работ. Поэтому «общие вершины» на графе критических путей заданий формируются на основе Правил 1–2, изложенных в [2]. Правило 1 используется в случае отсутствия директивных сроков заданий, Правило 2 – при их наличии.

*Правило 1.* В случае отсутствия директивных сроков заданий объединение агрегированных работ выполняется при выполнении условий (1) и (2), а также если разность моментов готовности агрегированных работ к выполнению (длительностей путей от начала критических путей заданий, которым принадлежат рассматриваемые агрегированные работы, до этих работ) не превышает длительности переналадки в мультиресурсе. Если критические пути некоторых заданий имеют несколько «общих вершин», то объединение агрегированных работ выполняется при выполнении условий (1) и (2), а также если разность моментов готовности агрегированных работ к выполнению с минимальным временем начала выполнения не пре-

вышает суммарного времени переналадок для объединяемых вершин на этом интервале.

*Правило 2.* В случае наличия директивных сроков агрегированные работы объединяются в «общие вершины» при выполнении условий (1) и (2). Объединение выполняется, если их директивные сроки (определенные как директивный срок задания минус длительности выполнения агрегированных работ, следующих за назначаемой работой по критическому пути до конечной вершины) равны или отличаются не более, чем на величину  $\Delta \approx 5\text{--}7\%$  от меньшего директивного срока, определяемую на основе экспериментальных исследований.

### Выводы

Предложен алгоритм формирования «общих вершин» на критических путях выполнения заданий с учетом их приоритетов, моментов готовности агрегированных работ к выполнению и директивных сроков. Эффективность предложенного алгоритма подтверждается результатами просчета ряда примеров построения календарных планов выполнения заданий в компьютерной системе на основе реальных данных практической производственной размерности.

### Список литературы

6. Chris N. Potts, Mikhail Y. Kovalyov. Scheduling with batching: A review // European Journal of Operational Research.– 2000, Vol.120.– P.228-249.
7. Згуровский М.З., Павлов А.А. Принятие решений в сетевых системах с ограниченными ресурсами: Монография.– К.: Наукова думка, – 2010.– 573 с.