Вестник Омского университета, 2006, №4, с. 1–3.

УДК 519.8

О СВОЙСТВАХ ЛОКАЛЬНЫХ ОПТИМУМОВ ЗАДАЧИ РАЗМЕЩЕНИЯ БУФЕРНЫХ НАКОПИТЕЛЕЙ

В.С. Сигаев

Омский государственный технический университет, кафедра прикладной математики и информационных систем
644050, Омск пр.Мира 11[1]

Получена 10 апреля 2006 г.

In this paper, we consider a manufacturing flow-line organized as a series-parallel system of machines separated by finite buffers. The failure and repair times of machines are supposed to be exponentially distributed. The production rate of each machine is deterministic, and different machines may have different production rates. The buffer allocation problem consists in determining the buffer capacities with respect to a given optimality criterion, which depends on the average production rate of the line, the buffer acquisition and installation cost and the inventory cost. The tentative solutions are evaluated with an approximate method based on the Markov models aggregation approach. The computational experiments show better quality of solutions obtained by a genetic algorithm compared with the local descent and tabu-search algorithms. It is indicated that in many test problems several clusters of local optima can be found.

ВВЕДЕНИЕ

При проектировании производственных систем, таких как автоматические линии, гибкие производственные системы или автоматизированные сборочные линии, в которых детали перемещаются от одного станка к другому с помощью некоторого транспортного механизма, возникает следующая задача. Для повышения надежности технологических линий необходимо разместить буферные накопители между единицами оборудования (ЕО) так, чтобы максимизировать доход от использования линии за амортизационный период с учетом ее средней производительности, капитальных затрат на установку буферных устройств и стоимости хранения деталей. Далее в работе буферные устройства для краткости будут также называться буферами.

Причиной установки буферов служит то, что вследствии ненадежности оборудования в процессе работы линии возникают случайные по моменту возникновения и длительности остановки оборудования, вызванные его отказами. Последствия отказов имеют тенденцию распространяться на смежные операции из-за невозможности передать деталь на следующую операцию или отсутствия деталей на входе. Наличие промежуточных буферных емкостей между ЕО позволяет снизить влияние отказов на соседние операции и повысить среднюю производительность линии. Однако, установка буферов связана с дополнительными капитальными затратами.

Пусть n - количество ЕО в линии. Введем $h=(h_1,...,h_n)$, где $h_i \in Z$ - объем $i-$го буфера, i=1,...,n, который называется вектором размещения буферов.

Структура линии представляет собой ориентированный последовательно-параллельный граф G, у которого вершины $b_0,\dots,b_{n+1}$ отвечают буферным устройствам, а дуги $a_1,\dots,a_m$ соответствуют единицам оборудования. Каждая дуга направлена от вершины входного буфера b_0 соответствующей ЕО к вершине выходного b_{n+1}. Возможны кратные дуги, т.е. параллельно работающие ЕО с общими буферами. Единственная вершина b_0, не имеющая входящих дуг, соответствует входному буферу линии, а единственная вершина b_{n+1} без выходящих дуг - выходному. Каждой вершине b_j приписано число вмещаемых деталей h_j в буфер j, причем $h_0=h_{n+1}=\infty$.

Любая ЕО может находиться в состояниях «работа», «отказ» (идет восстановление ЕО после ее поломки), «блокировка» (невозможно передать обработанную деталь на следующую опе-

---

[1] e-mail: SigVS@yandex.ru
При поддержке INTAS 03-51-5501

рацию) и «простой» (отсутствие деталей на входе ЕО). Находясь в состоянии «работа», ЕО с номером i имеет постоянное время обработки детали, равное u_i, $i = 1, \dots, m$. В состояниях «блокировка» и «простой» ЕО не отказывает. Интенсивность отказов i-ой ЕО равна $\lambda_i = 1/T_O^i$, интенсивность восстановления $\mu_i = 1/T_B^i$, где T_O^i, T_B^i - среднее время наработки на отказ и среднее время восстановления ЕО, $i = 1, \dots, m$. Отказы и восстановления различных ЕО независимы. Таким образом, каждая дуга a_i, графа G характеризуется тройкой параметров (u_i, λ_i, μ_i).

Определим множество допустимых решений как $D = \{h \mid 0 \le h_i \le d_i, i = 1, ..., n\}$, где d_i - максимально допустимый размер $i-$го буфера.

Автором рассматривается задача размещения буферных накопителей для последовательно-параллельной структуры линии в следующей постановке [4]: найти

$$max\{\phi(h) \mid h \in D\},$$

где

$$\phi(h) = T_{\text{ам}}\ S(V(h)) - J(h) - T_{\text{ам}}\ \sum_{j=1}^{n} c_j q_j(h),$$

$T_{\text{ам}}$ - период амортизации линии; $S(V(h))$ - доход от продажи готовой продукции за единицу времени; c_j - затраты на хранение одной детали в буфере j в единицу времени; $J(h)$ - капитальные затраты на установку буферов.

В данной работе в качестве метода приближенного вычисления производительности линии $\widehat{V}(H)$ рассматривается эффективный метод анализа линии [4], основанный на замене участков линии эквивалентными ЕО с применением марковских моделей для пар последовательных и параллельных ЕО. Данный алгоритм агрегирования разработан для двух участков линии: с последовательными ЕО (первый тип) и с параллельными ЕО (второй тип). В процессе работы этого агоритма каждый из таких участков последовательно заменяется одной ЕО с эквивалентными параметрами.

Точность этой эвристики зависит от порядка, в котором сворачивалась линия. В нашем случае преобразование первого типа всегда, где это возможно, имеет приоритет перед применением преобразования второго типа. В случае, если имеется несколько альтернатив при выборе пары с последовательными ЕО, приоритетной является пара, отделенная буфером наименьшей емкости.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Локальным оптимумом задачи будем называть допустимое решение, для которого в окрестности радиуса 1 (в метрике l_1) в множестве D отсутствуют улучшающие его решения. Элементы указанной окрестности будем называть соседними к указаному решению.

Рис. 1. Средние значения целевой функции задачи as.4. для алгоритмов ГА, АПЗ и АЛП

Для вычислительных экспериментов была сгенерирована серия задач со следующими параметрами: $u_i = 1$; λ_i и μ_i выбраны с равномерным распределением из отрезка $[1, 100]$, $i = 1, ..., m$. Рассматривались также задачи as.1. – as.6. из [2, 4]. На указанных задачах тестировались следующие алгоритмы:

- алгоритм локального поиска (АЛП). АЛП начинает свою работу с некоторого случайным образом сгенерированного решения [1]. На каждом шаге алгоритма выполняется переход от текущего решения к соседнему с лучшим значением целевой функции до тех пор, пока не будет достигнут локальный оптимум;
- алгоритм поиска с запретами (АПЗ). Основным отличием АПЗ от АЛП является использование списка запретов, в котором хранится информация о нескольких предшествующих итерациях алгоритма;
- генетический алгоритм (ГА). ГА представляет собой метод эволюционного моделирования, где поиск приближенного решения ведется с помощью популяции пробных точек, к которым применяются операторы селекции, скрещивания и мутации [2, 4];

В ходе эксперимента всем алгоритмам отводилось время, равное одному запуску ГА с числом итераций 1000. На каждой из задач алгоритмы запускались 100 раз.

Лучшие результаты показал генетический алгоритм. В качестве примера на рис. 1 представлено среднее значение целевой функции в зависимости от алгоритма для задачи as.4. Подобная картина наблюдалась и на остальных задачах.

Для выяснения причины лучшей работоспособности ГА были проведены исследования расположения локальных оптимумов. С помощью

Рис. 2. Расстояния множества лок. оптимумов для задачи as.4.

Рис. 3. Значения целевой функции на множестве D для задачи t.1

многократного запуска алгоритма локального поиска была получена случайная выборка локальных оптимумов для каждой из задач. Установлено, что множество локальных оптимумов во многих рассмотренных задачах состоит из кластеров, удаленных друг от друга [3]. Это продемонстрировано на рис. 2, где показана зависимость значений целевой функции для локальных оптимумов от расстояния d до лучшего найденного решения в задаче as. 4.

Одной из причин эффекта кластеризации является свойство ***симметрии*** линии. Данное свойство установлено в [5] для последовательной линии, состоящей из двух ЕО и буфера между ними. Если поменять местами параметры первой и второй ЕО так, что входной участок линии станет выходным, а выходной – входным, то производительность линии не изменится.

Рассмотрим пример последовательной линии t.1. из трех ЕО и двух буферов между ними со следующими параметрами: $\lambda_i = \mu_i = 1$, $i = 1,\ldots,3$; $u_1 = 1$, $u_2 = 0.5$, $u_3 = 1$; $d_j = 4$, $c_j = 0$, $j = 1,\ldots,2$; $T_{\text{АМ}} = 7000$; $J(h) = 50 \cdot (h_1 + h_2)$; если $V(h) < 2570$, то $S(V(h)) = 0.9 \cdot V(h)$, в противном случае $S(V(h)) = 2570$. Множество решений данного примера распадается на два кластера. В первый кластер входят решения $h^1 = (1,2)$ и $h^2 = (1,3)$, а во второй – решения $h^3 = (2,1)$ и $h^4 = (3,1)$. Данные решения являются глобальными оптимумами (рис. 3). Кластеризация оптимумов в рассмотренном примере является следствием симметрии и особенностями алгоритма агрегирования, используемого при вычислении средней производительности линии.

В общем случае для линий с количеством буферов $n \geq 3$ эффект симметрии может наблюдаться на нескольких внутренних участках линиии. Это приводит к тому, что при данном алгоритме агрегирования множество локальных оптимумов распадается на несколько кластеров. Если задача размещения буферных накопителей имеет локальные оптимумы с различными значениями целевой функции, то она может стать трудной для алгоритма локального поиска. Последовательность точек, порождаемая данным алгоритмом и попавшая в один из кластеров, как правило, остается в нем до конца вычислений. Для алгоритма поиска с запретами переход между кластерами маловероятен, что также делает для него подобные задачи трудными. Лучшую работоспособность на рассмотренных задачах, по сравнению с двумя другими алгоритмами, показал генетический алгоритм. Это объясняется использованием популяции и оператора мутации в ГА, увеличивающими вероятность сходимости ГА к кластеру, который содержит глобальный оптимум.

---

1. Boese K.D., Kahng A.B., Muddu S. A new adaptive multi-start technique for combinatorial global optimizations // Operations Research Letters 1994.- V. 16.- N. 2.- P. 101-114.
2. Dolgui A., Eremeev A., Kolokolov A., Sigaev V. A Genetic Algorithm for the Allocation of Buffer Storage Capacities in a Production Line with Unreliable Machines// Journal of Mathematical Modeling and Algorithms. 2002.- V. 1.- P. 89-104.
3. Гончаров Е.Н., Кочетов Ю.А. Скопления локальных оптимумов в многостадийной задаче размещения // Материалы Российской конф. «Дискретный анализ и исследование операций», Новосибирск. 2002. С.228.
4. Долгий А.Б., Еремеев А.В., Колоколов А.А., Сигаев В.С. Оптимизация размещения буферных устройств в автоматических линиях.// Труды 12-й Байкальской международной школы-семинара "Методы оптимизации и их приложения Иркутск. 2001.-Т. 1.- С. 138-143.
5. Левин А.А., Пасько Н.И. Расчет производительности автоматических линий.// Станки и инструмент, № 8, 1969.- С. 8-10.