

Моделирование многофазных обслуживающих комплексов с постоянным циклом

Али Найф Халил Альхжуж, С. Ю. Игнатов

Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина, Украина

The problem of the mathematical modeling of the multiphase service complexes with the constant cycle is considered in the present paper. The mathematical model and the algorithm of the structure synthesis of the multiphase service complexes with the constant cycle have been built as a result. The period (length of cycle) of the requests service for such complexes was developed too.

1. Общая постановка задачи и её актуальность

В настоящей работе предлагается общая математическая модель многофазного обслуживающего комплекса с постоянным циклом. Показано, как в терминах этой модели могут быть сформулированы задачи проектирования цифровых управляющих систем и производственных систем дискретного типа с постоянным циклом обслуживания. Приведено определение сбалансированной структуры многофазного обслуживающего комплекса с постоянным циклом. Построен алгоритм синтеза структуры и приведен расчёт длительности цикла управления.

Комплексом называться набор приборов, способных обслуживать некоторые требования. Фаза обслуживания одного требования одним конкретным прибором (от начала до конца) будет называться операцией. Набор операций по обслуживанию конкретного требования будет называться маршрутом.

Целью обслуживания требований является формирование на их основе некоторого набора конечных (сборочных) пакетов требований.

Для систем цифрового управления реальными объектами в качестве требований могут выступать кадры телеметрии, а конечными сборочными пакетами могут быть кадры управляющих воздействий. Для дискретных производственных систем требованиями являются заготовки, детали, узлы, а конечными сборочными пакетами – изделия.

Номенклатура, количества и сроки формирования конечных сборочных пакетов определяются портфелем заявок обслуживающего комплекса.

Для синтеза обслуживающих комплексов необходимо использовать следующие соображения:

- определить тип обслуживающей системы (на одних и тех же приборах или оборудовании и с одним и тем же персоналом невозможно обслуживать управление спутниками связи и доменными печами, как и невозможно производить, например, мотоциклы и электробритвы - хоть одновременно, хоть поочередно);
- проанализировать количества и сложность объектов управления или провести маркетинговые исследования сбыта выбранной продукции и

определить номенклатуру, объёмы и периодичность пакетов кадров телеметрии и кадров управляющих воздействий или выпуска изделий;

– определить количество управляющих серверов или комплексов конечной сборки изделий (один - с переналадкой на обслуживание различных модификаций управляемых объектов или выпускаемых изделий, или несколько - параллельно обслуживающих различные наименования объектов или выпускающих различные изделия);

– произвести спецификацию кадров телеметрии по группам функционального подобию или разузлование изделий, группировку узлов по принципу технологического подобию сборки (здесь же определяются задания для служб снабжения на покупные узлы), и определить состав промежуточных сборочных участков;

– произвести спецификацию кадров в группах по алгоритмическому подобию или раздетализацию узлов, группировку деталей по принципу подобию технологических маршрутов (здесь же определяются задания для служб снабжения на покупные детали), и определить составы ЛВС спецвычислителей или производственных участков по принципу технологического подобию (токарные, корпусные, металлического или пластмассового литья и т.п.).

В процессе этих работ зачастую возникают ситуации, когда одно и то же требование участвует в формировании всех или большей части конечных пакетов и, следовательно, повторяемость такого требования достаточно высока. Для обслуживания именно этого требования обычно создают специальный комплекс, который называется обслуживающим комплексом с постоянным циклом. Это может быть специальный мультипроцессорный комплекс для решения системы дифференциальных уравнений определённого вида или линия по производству автомобильных шаровых опор и т.п. Задача определения структуры и задача управления обслуживанием требований для таких комплексов являются актуальными в данных областях применения.

2. Классификация обслуживающих комплексов с постоянным циклом

Различают два основных типа обслуживающих комплексов с постоянным циклом [3, 4, 5]:

- непрерывно-поточные;
- прерывно-поточные.

К непрерывно-поточным относятся комплексы, у которых транспортировка требований совмещена с обслуживающими операциями, а длительности операций равны или кратны друг другу. Типичным представителем многофазных обслуживающих комплексов этого типа являются роторные линии [1, 2]. Общая схема роторной линии представлена на рис.1.

Роторная линия разрабатывается специально, как единое целое, и её такт обслуживания равен времени одного угла поворота самого «медленного» из роторов.

Непрерывно-поточные обслуживающие комплексы обладают высокой производительностью и надёжностью обслуживания требований, но требуют огромных затрат на проектирование и создание уникальных роторов и дополнительных устройств. Кроме того, никакие изменения в маршруте

требования, особенно во временных характеристиках операций и порядке их следования, практически невозможны. Поэтому непрерывно-поточные обслуживающие комплексы создаются для обслуживания требований от сотен тысяч до десятков миллионов штук в год и с гарантией отсутствия существенных изменений в маршрутах в течение 5 – 10 лет.

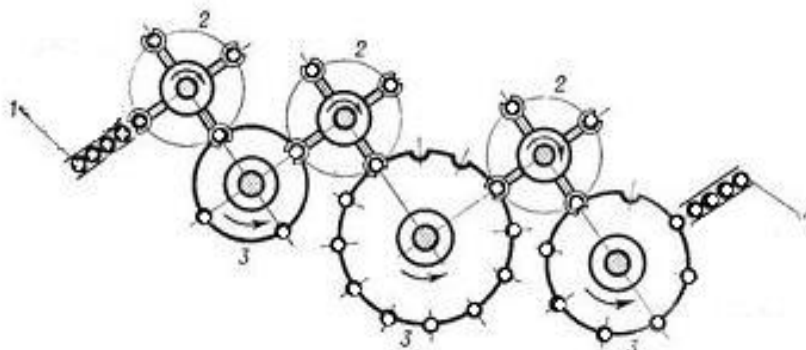


Рис. 1. Схема роторной линии: 1 — питающие устройства; 2 — транспортный ротор; 3 — рабочий ротор; 4 — приёмные устройства.

Прерывно-поточные обслуживающие комплексы разделяют транспортировку и обслуживание требований и не предъявляют ограничений на соотношение длительностей операций.

Из соображений возможности изменений в маршруте обслуживаемого требования, продиктованных объективной необходимостью, следует отдать предпочтение прерывно-поточным комплексам, создаваемым в основном на базе серийно производимых обслуживающих приборов. Общая схема прерывно-поточного комплекса представлена на рис.2.

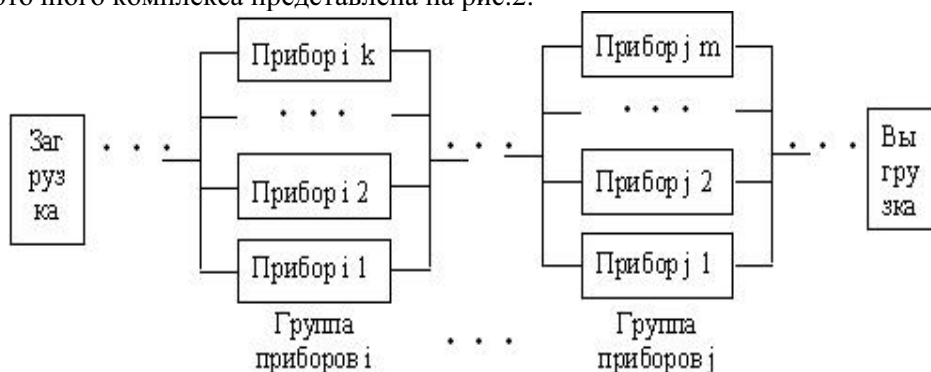


Рис. 2. Схема прерывно-поточного комплекса на базе серийных обслуживающих приборов.

3. Построение математической модели обслуживающего комплекса с постоянным циклом

Комплекс с постоянным циклом, обслуживающий требование d есть множество

$$W = \left(d, pu, mp, kz, kb, s, \left\{ (i, p_i, n_i) \mid i = 1, \dots, I \right\} \right),$$

где:

pu – коэффициент перерывов в обслуживании ($0 < pu < 1$ при наличии обслуживающего персонала, в противном случае $pu = 0$);

mp – коэффициент возможного развития производительности комплекса;

kz – коэффициент задела (запасных частей);

kb – коэффициент сбоев обслуживания (брака);

s – сменность обслуживания комплекса (1, 2, 3 – смены);

i – номер (код) модели прибора;

p_i – коэффициент профилактических (регламентных) простоев прибора i ($0 < p_i < 1$, причем его конкретное значение определяется паспортными характеристиками прибора, установленными изготовителем);

n_i – количество приборов модели i в составе комплекса;

I – количество моделей приборов в составе комплекса.

Представим маршрут обслуживания требования d на комплексе с постоянным циклом в виде множества:

$$d = \{ (j, i(j), ki(j), ps(j), pd(j), zd(j), pi(j), zi(j), t(j)) \mid j = 1..I \},$$

Где:

j – номер операции;

$i(j)$ – модель обслуживающего прибора ($i(j) = 1..I$);

$pd(j)$ – время подготовительное требования (загрузка требования);

$zd(j)$ – время заключительное требования (выгрузка требования);

$ki(j)$ – код инструмента (набора инструментов);

$ps(j)$ – размер партии по стойкости инструмента;

$pi(j)$ – время подготовительное инструмента (установка инструмента);

$zi(j)$ – время заключительное инструмента (удаление инструмента);

$pt(j)$ – размер транспортной партии;

$mt(j)$ – среднее время транспортировки до следующего прибора;

$t(j)$ – длительность собственно операции j .

4. Структура обслуживающего комплекса с постоянным циклом

Итак, дано:

– Портфель заявок в виде множества

$$P = \left\{ (Z_l, B_l, E_l, \{ (P_k^l, N_k^l, k_k^l) \mid k = 1..K \}) \mid l = 1..L \right\},$$

где: Z_l – номер заявки; B_l, E_l – календарные сроки начала и конца обслуживания заявки Z_l , P_k^l – код конечного (сборочного) пакета, N_k^l – требуемое количество экземпляров пакета P_k^l , k_k^l – количество требований d_i ,

необходимых для формирования одного пакета P_k^l , K - количество различных пакетов в заявке Z_l , L - количество заявок в P ;

- коэффициент возможного развития производительности комплекса mp ;
- коэффициент задела требования d (запасные части) kz ;
- коэффициент сбоев обслуживания требования d (брака) kb ;
- сменность обслуживания для комплекса s ;
- коэффициент перерывов в обслуживании pu ($0 < pu < 1$ при наличии обслуживающего персонала, в противном случае $pu = 0$);
- множество моделей (марок) приборов $\{(i, p_i)\}$;
- маршрут требования d .

Требуется определить количество единиц приборов n_i для каждой группы $\forall i = 1..I$.

5. Алгоритм синтеза структуры обслуживающего комплекса с постоянным циклом

1. Преобразовать портфель заявок

$$P = \left\{ (Z_l, B_l, E_l, \{(P_k^l, N_k^l, k_k^l) \mid k = 1..K\}) \mid l = 1..L \right\}.$$

Для этого любую пару пересекающихся по времени заявок из P (рис. 3)

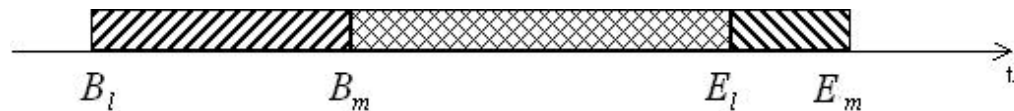


Рис. 3. Преобразование портфеля заявок.

необходимо преобразовать в тройку непересекающихся временных интервалов планирования $(B_1 = B_l, E_1 = B_m)$, $(B_2 = B_m, E_2 = E_l)$, $(B_3 = E_l, E_3 = E_m)$ и рассчитать для каждого из них количества k_1, k_2, k_3 требований d по принципу пропорциональности вхождения N_k^l пакетов P_k^l и N_k^m пакетов P_k^m в каждый из интервалов. Операцию повторять для всех строк из P со всеми ранее полученными непересекающимися интервалами.

2. В полученном множестве троек $\{(B_q, E_q, k_q) \mid q = 1..M\}$, где M - количество непересекающихся временных интервалов планирования, определить интервал r такой, что

$$\frac{k_r}{E_r - B_r} = \max_{q=1..M} \frac{k_q}{E_q - B_q};$$

3. Вычислить $k = kr \cdot (1 + mp + kz + kb)$ – количество требований d с учетом коэффициентов возможного развития производительности, заделов (запасных частей) и возможных сбоев обслуживания (брак);
4. $j = 1$;
5. Для операции j над требованием d вычислить фонд эффективного времени работы одной единицы прибора группы $i = i(j)$ по формуле:

$$T_i = k \cdot \left(t(j) \cdot (1 + p_i) + pd(j) + zd(j) + \frac{pi(j) + zi(j)}{ps(j)} + \frac{mt(j)}{pt(j)} \right)$$

6. Вычислить приближённое количество единиц приборов группы i по формуле:

$$n = \frac{3 \cdot T_i \cdot (1 + pu)}{s \cdot (E_r - B_r)};$$

7. $n_i = \lfloor n \rfloor + 1$;
8. $j = j + 1$;
9. Если $j \leq I$, то перейти к п. 5;
10. Конец алгоритма.

Таким образом, алгоритм рассчитывает структуру обслуживающего комплекса с постоянным циклом

$$W = (d, pu, kz, kb, s, \{(i, p_i, n_i) \mid i = 1, \dots, I\})$$

при заданном портфеле заявок

$$P = \{(Z_l, B_l, E_l, \{(P_k^l, N_k^l, k_k^l) \mid k = 1..K\}) \mid l = 1..L\}.$$

Небольшое замечание:

Рассмотрим разницу между дробной величиной n (см. п.6 алгоритма) и целой n_i (см. п.7 алгоритма), $\forall i = 1..I$, которая появляется из-за того, что например 0,3 единицы обслуживающего прибора, к сожалению, не бывает. Если $\exists i$ такие, что $n - n_i > 0.5$, то можно попытаться либо выбрать более производительную модель прибора, либо уменьшить коэффициент развития обслуживания пакетов, либо перенести профилактики приборов в нерабочую смену ($p_i = 0$) и т.п. После чего повторить алгоритм.

6. Такт обслуживающего комплекса с постоянным циклом

Тактом обслуживающего комплекса с постоянным циклом называется промежуток времени между запуском требований на первую операцию комплекса или их выпуском с последней операции.

$$\text{Величина } \tau_r = \frac{s \cdot (E_r - B_r)}{3 \cdot (1 + pu) \cdot k_r \cdot (1 + mp + kz + kb)} \quad \text{для } r\text{-того из}$$

непересекающихся временных интервалов планирования (B_r, E_r) , является минимальным тактом комплекса W .

Для $\forall \tau_q, q \neq r, q = 1..M$, таких, что

$$\tau_q = \frac{s \cdot (E_q - B_q)}{3 \cdot (1 + pu) \cdot k_q \cdot (1 + mp + kz + kb)},$$

τ_q является тактом комплекса W для интервалов планирования (B_q, E_q) , причём $\tau_q \geq \tau_r$.

Очевидно, что во всех интервалах (B_q, E_q) , $q \neq r, q = 1..M$, комплекс будет работать с пониженной производительностью, т.е. приборы комплекса будут недогружены требованиями d (простаивать).

Произойдёт это в том случае, когда портфель заявок P неуравновешен.

В п.2 алгоритма кроме $\frac{k_r}{E_r - B_r} = \max_{q=1..M} \frac{k_q}{E_q - B_q}$

можно вычислить ещё и $\frac{k_p}{E_p - B_p} = \min_{q=1..M} \frac{k_q}{E_q - B_q}$.

Тогда, если разница между \max и \min больше 5-10%, то такой портфель заявок называется неуравновешенным. В этом случае можно принять меры для уравнивания портфеля заявок P и повторить алгоритм синтеза структуры обслуживающего комплекса с постоянным циклом заново.

7. Вывод

Итак, в п. 3 данной статьи разработаны математические модели:

- комплекса с постоянным циклом на базе серийных обслуживающих приборов W с учётом коэффициентов возможного роста производительности, сменности, профилактических регламентных работ, возможных сбоев обслуживания, запасных частей;
- маршрута требования d с учётом подготовительно-заключительного времени, времени смены инструмента и размеров партий по его стойкости.
- портфеля заявок P , представляющего собой готовый или предлагаемый план выпуска конечных сборочных пакетов и потребность в обслуживании требования d для формирования каждого из них.

На основании этих моделей разработаны алгоритм синтеза структуры комплекса W п. 5 и расчёты тактов обслуживания таким комплексом требований d в любом из непересекающихся периодов планирования п. 6.

Конечно, для цифровых управляющих систем некоторые временные величины и коэффициенты приведенных математических моделей не имеют смысла, в отличие от управления дискретными производствами, но приравнивание к нулю этих величин никак не отражается на достоверности полученных результатов.

В работах [3–7] приводятся расчёты комплексов с постоянным циклом, но ни один из них не связывает их структуру и такт с портфелем заявок конечных (сборочных) пакетов и учитывают меньше особенностей маршрутов и конечных целей обслуживания требований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кошкин Л. Н., Густов А. А., Роторные машины для механической обработки, К., 1964;
2. Кошкин Л. Н., Комплексная автоматизация на базе роторных линий, М., 1965.
3. Организация поточного производства [Электронный ресурс] / et al. – 2002. Режим доступа: <http://www.nntu.sci-nnov.ru/RUS/fakyl/VECH/metod/orgprod1/part3.htm>– Последнее обращение: 12.07.2006. – Загл. с экрана.
4. ПОТОЧНЫЕ ЛИНИИ [Электронный ресурс] / et al. – 2004. Режим доступа: http://www.conveyor.ru/ru/articles/?cmd=full&nid=1598&tid=636&return_url=%3ftid%3d636%26st%3d0%26st1%3d%26tid1%3d– Последнее обращение: 12.07.2006. – Загл. с экрана.
5. Ребрин Ю.И., Основы экономики и управления производством, Гл.7, Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2000.
6. Ruiz R., Maroto C., Alcaraz J. Two New Robust Genetic Algorithms for the Flowshop Scheduling Problem // OMEGA, 7The International Journal of Management Science. - № 34, 2006. - Pp. 461-476.
7. Pyke D. F., Powell S. G. Allocation of Buffers to Serial Production Lines with Bottlenecks. - IIE Transactions. - Vol. 28, 1996. - Pp. 18-29.