УДК 681.31+519.8

А.И. ЦВЕТКОВ, асп. Волжской государственной академии водного ранспорта, Нижний Новгород

БИКРИТЕРИАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ОБСЛУЖИВАНИЯ ПОТОКА ОБЪЕКТОВ В РАЗВЕТВЛЕННОЙ РАБОЧЕЙ ЗОНЕ ОБСЛУЖИВАЮЩЕГО ПРОЦЕССОРА

Рассматривается модель обслуживания детерминированного потока объектов, проходящих транзитом узловую рабочую зону обслуживающего mobile-процессора. Эффективность стратегий обслуживания оценивается по значению двух критериев. Предлагается алгоритм синтеза оптимальных по Парето стратегий обслуживания. Приводится результат численного эксперимента. Ил.: 1. Библиогр.: 7 назв.

Ключевые слова: детерминированный поток объектов, стратегия обслуживания, оптимальность по Парето.

Постановка проблемы и анализ литературы. Технология обслуживания судов на ходу при транзитном прохождении ими крупномасштабной зоны ответственности сервисного предприятия получает все большее распространение на внутреннем водном транспорте РФ. В качестве обслуживающего выступает специализированное судно, предназначенное для выполнения одного или некоторого фиксированного набора работ: материально-технического снабжения, сбора подслaниевых вод, ремонта и т.п.

Любое транзитное судно при прохождении зоны ответственности сервисного предприятия может запросить обслуживание, получить его или не быть обслуженным в зависимости от складывающейся ситуации.

Одна из задач диспетчера сервисного предприятия (лица принимающего решения – ЛПР) заключается в выработке (и последующем обеспечении реализации) наиболее рациональной в конкретной оперативной обстановке стратегии обслуживания потока судов. В условиях интенсивного судоходства оперативная выработка таких стратегий традиционными средствами, базирующимися на субъективных оценках и ситуационных представлениях ЛПР, весьма затруднена. В то же время существенную помощь в повышении эффективности функционирования сервисного предприятия может оказать автоматизация синтеза проектов стратегий обслуживания в процессе вычислительного анализа адекватной математической модели и решения соответствующих оптимизационных задач. Отметим при этом, что регламенты диспетчерского управления устанавливают, как правило, достаточно жесткие ограничения на длительность формирования стратегий обслуживания. Очевидно, что эти ограничения должны соблюдаться и при автоматизированной технологии. В рамках проектов по её созданию удалось сформулировать [1 – 2] адекватные реальным транспортно-технологическим процессам базовые модели обслуживания, в которых понятие "mobile-процессор" было введено для обозначения обслуживающего судна; были предложены и алгоритмы синтеза стратегий обслуживания, построенные с соблюдением принципа оптимальности динамического программирования [3, 4].

Цель статьи заключается в дальнейшем развитии модельно-алгоритмического обеспечения автоматизированной технологии синтеза стратегий обслуживания путем решения в комплексе следующих задач:

1. Обобщение линейной модели [1 – 2] на практически значимый случай трехкомпонентной узловой рабочей зоны mobile-процессора.
2. Формализация бикритериального принципа оценки стратегий обслуживания; такой подход, переводя классическую постановку задачи оптимизации в разряд задач принятия решений, позволяет при оперативном планировании учитывать наряду с доходом за обслуживание также штраф за отказы в обслуживании.
3. Разработка алгоритма синтеза Парето-оптимальных [5, 6] стратегий обслуживания, конструктивно реализующего идеологию бикритериального динамического программирования [7], и его экспериментальная оценка.

Математическая модель обслуживания. Имеется n-элементный детерминированный поток объектов $O(n) = \{o(1), o(2), \ldots, o(n)\}$, проходящих транзитом трехкомпонентную узловую рабочую зону Ξ процессора P, предназначенного для реализации однофазного обслуживания объектов (см. рис.).

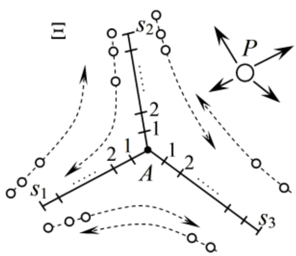

Рис. Трехкомпанентная узловая рабочая зона

В дискретной идеализации представляем зону Ξ как набор упорядоченных последовательностей элементарных участков с номерами 1, 2, … s_q, каждая из которых соответствует ветви зоны Ξ $(q = \overline{1, 3})$.

Поток $O(n)$ состоит из 6 подпотоков O_j ($j = \overline{1, 6}$) таких, что $\bigcup_{j=1}^{6} O_j = O(n)$ и $\bigcap_{j=1}^{6} O_j = \varnothing$. Объекты каждого подпотока поступают в зону Ξ по некоторой ветви, проходят через точку A и покидают ее по другой ветви. В пределах любого компонента зоны Ξ перемещение любого объекта осуществляется равномерно.

Обслуживающий объекты потока $O(n)$ процессор P характеризуется следующими целочисленными параметрами: u – номер ветви рабочей зоны, на которой расположен процессор P в начальный момент времени $t = 0$; z – номер элементарного участка на ветви u, на котором расположен процессор P в момент $t = 0$; T_{-q} (T_{+q}) – норма времени пребывания процессора P на элементарном участке при его автономном движении по q–й ветви рабочей зоны по направлению к точке A (от точки A), $q = \overline{1, 3}$; $w^{+}(i)$ – доход за обслуживание объекта $o(i)$, $i = \overline{1, n}$; $w^{-}(i)$ – штраф за отказ в обслуживании объекта $o(i)$, $i = \overline{1, n}$.

Каждый объект $o(i)$ характеризуется следующими целочисленными параметрами: $t(i)$ – момент поступления объекта в зону Ξ; $\chi^{-}(i)$ ($\chi^{+}(i)$) – норма времени пребывания объекта на элементарном участке при движении по направлению к точке A (от точки A); $d^{-}(i)$ ($d^{+}(i)$) – номер ветви, по которой объект начинает движение в зоне Ξ (покидает зону Ξ), $d^{-}(i) \neq d^{+}(i)$; $\tau(i)$ – норма длительности обслуживания объекта $o(i)$ процессором P.

Стратегия ρ обслуживания объектов потока $O(n)$ процессором P представляет собой m-элементный кортеж ($m \in [0, n]$)

$$\rho = \begin{cases} (\varphi_1, \psi_1, \theta_1), (\varphi_2, \psi_2, \theta_2), \ldots, (\varphi_m, \psi_m, \theta_m), & \text{при } m \geq 1, \\ \varnothing, \text{ при } m = 0, & \end{cases}$$

в записи которого использованы следующие обозначения:

φ_j – идентификатор объекта $o(\varphi_j)$, обслуживаемого процессором P в очередь j ($\varphi_j \in [1, n]$); ψ_j – номер участка начала обслуживания объекта $o(\varphi_j)$ в очередь j ($\psi_j \in [1, s_q]$); θ_j – номер ветви зоны Ξ, на которой расположен участок начала обслуживания ψ_j ($\theta_j = [1, k]$); $j = \overline{1, m}$.

Множество допустимых стратегий обслуживания Ω однозначно определяется следующими ограничениями: каждая стратегия содержит только объекты, запросившие обслуживание; каждый объект $o(\varphi_j)$ в допустимой стратегии может быть обслужен процессором P не более одного раза; обслуживание более одного объекта одновременно запрещено; обслуживание объекта начинается и заканчивается в пределах зоны Ξ. Суммарный доход от обслуживания объектов потока $O(n)$ при реализации стратегии ρ обозначим через $W^{+}(\rho)$, а суммарный штраф за отказы в обслуживании объектов – через $W^{-}(\rho)$. Как очевидно, указанные характеристики стратегии определяются выражениями

$$W^{+}(\rho) = \sum_{j=1}^{m} w^{+}(\phi_j)\,,\ W^{-}(\rho) = \sum_{j=1}^{m} w^{-}(\phi_j)\,.$$

Общий подход к исследованию проблемы принятия решений при наличии нескольких критериев оценки базируется на концепции Парето [1] и в условиях рассматриваемой модели приводит к следующей бикритериальной задаче

$$\{\max_{\rho\in\Omega}(W^{+}(\rho)),\ \min_{\rho\in\Omega}(W^{-}(\rho))\}\,. \qquad (1)$$

Решающий алгоритм. Поток объектов $O(n)$ и обслуживающий их процессор будем рассматривать как дискретную управляемую систему, на каждом этапе j управления которой для свободного процессора формируется вектор $\{\upsilon_j, \omega_j, \eta_j\}$. Здесь υ_j – номер назначенного на обслуживание на этапе j объекта, ω_j – номер участка начала его обслуживания, η_j – номер ветви рабочей зоны, на которой начинается обслуживание объекта. Данный вектор будем называть управлением.

Как очевидно, состояние ξ_j рассматриваемой системы на j-м этапе управления характеризуется значениями набора характеристик $t_{\text{пр}}, p, p_q, \Lambda$, где $t_{\text{пр}}$ – момент принятия решения, p и p_q – соответственно участок зоны Ξ и номер ветви расположения освободившегося процессора P, Λ – множество обслуженных на момент времени t объектов; состояние системы на начальном этапе обслуживания определяется набором $\xi_0 = (0, z, u, \varnothing)$. Множество $\Phi(\xi_j)$ допустимых управлений $\{\upsilon_j, \omega_j, \eta_j\}$ на j-м этапе может быть получено из кинематических соображений.

Пусть $\boldsymbol{x}$ – вектор, Y – множество векторов той же размерности. Через $\boldsymbol{x} \oplus Y$ обозначим совокупность всех векторов $\boldsymbol{v}$, представимых в виде $\boldsymbol{v} = \boldsymbol{x} + \boldsymbol{y}$ ($\boldsymbol{y} \in Y$).

Обозначим через M множество векторов-оценок, а через $eff(M)$ – максимальное по включению подмножество недоминируемых в M векторов. Под действием управлений $\{\upsilon_j, \omega_j, \eta_j\}$ система переходит из состояния ξ_j в состояние ξ_{j+1}. Выбранные управления позволяют обеспечить любую оценку из совокупности $[(w^{+}(\upsilon_j), -w^{-}(\upsilon_j)) \oplus B(\xi_{j+1})]$.

Тогда

$$B(\xi_j) = eff\left\{ \bigcup_{\{\upsilon_j,\omega_j,\eta_j\}\in\Phi(\xi_j)} \left[\left(w^{+}(\upsilon_j), -w^{-}(\upsilon_j)\right) \oplus B(\xi_{j+1})\right] \right\}. \qquad (2)$$

На финальном этапе обслуживания имеет место соотношение

$$B(\xi) = \{(0, \sum_{j=1}^{n} w^{-}(\upsilon_j))\}. \qquad (3)$$

Выражения (2) – (3) образуют рекуррентные соотношения динамического программирования, позволяющие реализовать синтез полной совокупности эффективных оценок и соответствующих им оптимально-компромиссных стратегий обслуживания в задаче (1).

Результаты вычислительных экспериментов и выводы. Приведем в табл. 1 результаты численного эксперимента для случая обслуживания объектов потока $O(11)$ с характеристиками $s_1 = 10$, $s_2 = 12$, $s_3 = 9$, u = 1, z = 5, $T_{-1} = 1$, $T_{-2} = 2$, $T_{-3} = 2$, $T_{+1} = 1$, $T_{+2} = 1$, $T_{+3} = 1$; значения параметров объектов потока приведены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты численного эксперимента

i	$t(i)$	$\tau(i)$	$d^{-}(i)$	$d^{+}(i)$	$\chi^{-}(i)$	$\chi^{+}(i)$	$w^{+}(i)$	$w^{-}(i)$
1	1	6	1	2	1	4	30	10
2	4	8	1	3	2	3	45	20
3	8	5	2	1	3	4	20	12
4	10	6	3	2	2	3	21	5
5	15	4	1	2	2	4	12	9
6	18	6	2	3	3	4	28	10
7	20	9	3	2	2	3	14	11
8	22	8	1	2	1	3	17	15
9	24	6	2	1	2	3	39	14
10	28	5	3	2	2	4	30	12
11	30	4	1	3	1	2	25	15

Полная совокупность эффективных оценок и соответствующие им оптимально-компромиссные стратегии обслуживания приведены в табл. 2. Продолжительность решения задачи синтеза на компьютере с процессором AMD Turion 1,8 ГГц составила 63 с.

Таблица 2. Эффективные оценки и оптимально-компромисные стратегии

$(W^{+}(\rho), W^{-}(\rho))$	ρ
(217, 40)	(1, 3, 1), (2, 3, 1), (10, 3, 3), (11, 2, 1), (6, 1, 3), (3, 8, 1), (9, 10, 1)
(204, 37)	(1, 8, 1), (2, 6, 1), (8, 6, 1), (11, 2, 1), (6, 1, 3), (3, 8, 1), (9, 10, 1)
(188, 36)	(2, 11, 1), (5, 10, 1), (8, 9, 1), (10, 1, 3), (11, 3, 3), (3, 8, 1), (9, 10, 1)

В работе построена математическая модель обслуживания конечного детерминированного потока объектов в трехкомпонентной узловой рабочей зоне mobile-процессора при наличии двух критериев оценки эффективности управления обслуживанием. Разработан алгоритм синтеза полной совокупности эффективных оценок и соответствующих им оптимально-компромиссных стратегий обслуживания. Приведены результаты вычислительного эксперимента, демонстрирующие возможность штатной реализации алгоритма в системах поддержки принятия решений при диспетчерском управлении транспортно-технологическими процессами рассматриваемого типа.

Список литературы: **1**. *Коган Д.И.* Проблема синтеза оптимального расписания обслуживания бинарного потока объектов mobile-процессором / *Д.И. Коган, Ю.С. Федосенко, А.В. Шеянов* / Труды III Международной конференции "Дискретные модели в теории управляющих систем", Москва, 1998. – М.: Изд-во МГУ им. М.В. Ломоносова, 1998. – С. 43-46. **2.** *Коган Д.И.* Задача синтеза оптимального расписания обслуживания бинарного потока объектов в рабочей зоне mobile-процессора / *Д.И. Коган, Ю.С. Федосенко.* – Вестник Нижегородского университета. Математическое моделирование и оптимальное управление. – 1999. – Вып. 1 (20). – С. 179-187. **3**. *Беллман Р.* Прикладные задачи динамического программирования / *Р. Беллман, С. Дрейфус.* – М.: – Наука, 1965. – 457 с. **4.** *Коган Д.И.* Задачи синтеза оптимальных стратегий обслуживания стационарных объектов в одномерной рабочей зоне процессора / *Д.И. Коган, Ю.С. Федосенко* // Автоматика и телемеханика. – 2010. – № 10. – С. 50-62. **5.** *Подиновский В.В.* Парето-оптимальные решения многокритериальных задач / *В.В. Подиновский, В.Д. Ногин.* – М.: Физматлит, 2007. – 256 с. **6.** *Лотов В.А.* Многокритериальные задачи принятия решений / *В.А. Лотов, И.И. Поспелова.* – М: МАКС Пресс, 2008. – 197 с. **7.** *Коган Д.И.* Динамическое программирование и дискретная многокритериальная оптимизация / *Д.И. Коган.* – Н.Новгород: Изд-во ННГУ, 2005. – 260 с.

Статья представлена д.ф.-м.н. проф. М.И. Фейгин

УДК 681.31+519.8

Бікрітеріальная модель обслуговування потоку об'єктів в розгалуженій робочій зоні обслуговуючого процесора / Цвєтков А.И. // Вісник НТУ "ХПІ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2011. – № 17. – С. 175 – 180.

Розглядається модель обслуговування детермінованого потоку об'єктів, проходящих транзитом вузлову робочу зону обслуговуючого mobile-процесора. Ефективність стратегій обслуговування оцінюється за значенням двох критеріїв. Пропонується алгоритм синтезу оптимальних по Парето стратегій обслуговування. Наводиться результат чисельного експерименту. Іл.: 1. Бібліогр.: 7 назв.

Ключові слова: детермінований потік об'єктів, стратегія обслуговування, оптимальність по Парето.

UDC 681.31+519.8

The bicriteria service model for the flow of objects in the ramified work area of service processor / Tsvetkov A.I. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2011. – №. 17. – P. 175 – 180.

The service model for the deterministic flow of objects going through nodal work area of service mobile processor is described. Values of two criteria have been taken into account when assessing the quality of the control policies. The algorithm of the Pareto optimal service policies is offered. The numerical experiment results are given. Figs.: 1. Refs.: 7 titles.

Keywords: deterministic flow of objects, service policy, Pareto optimality.

Поступила в редакцию 15.02.2011