

УДК 681

## **АНАЛИЗ РИТМИЧНОСТИ НАЗНАЧЕНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЛАНИРОВАНИЯ В ТРАНСПОРТНОЙ ЛОГИСТИКЕ**

© 2014 А.В. Иващенко, И.А. Сюсин, В.Л. Юмашев

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева  
(национальный исследовательский университет)

Поступила в редакцию 17.12.2013

В статье предлагается способ повышения эффективности распределения транспортных ресурсов в реальном времени в условиях неравномерности событий жизненного цикла заявки путем анализа ритмичности назначения ресурсов и управления очередью заявок.

*Ключевые слова:* транспортная логистика, интеллектуальные системы планирования, ритмичность назначения, кондиционное управление.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Функционирование современного логистического центра невозможно представить без согласованных расписаний различных подразделений: производственных, транспортных, сервисных, управляющих и других. Несмотря на то, что требуется контролировать деятельность этих подразделений в реальном времени, важной задачей также является построение стратегических планов на большой промежуток времени, позволяющих спрогнозировать потребности подразделений в ресурсах и обеспечить необходимые поставки. В качестве примера можно рассматривать авиационную и космическую логистику [1, 2], где поток событий отправления имеет нерегулярную дискретизацию во времени, а для эффективной подготовки грузов, наоборот, требуется обеспечить высокую ритмичность.

В связи с этими особенностями в данной работе предлагается разработать и реализовать многоакторную систему управления транспортными потоками, основанную на обеспечении ритмичности взаимодействия в интегрированной информационной среде предприятия.

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ФАКТОРА ВРЕМЕНИ В СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫМИ РЕСУРСАМИ**

Исследованию фактора времени в системах поддержки принятия решений в настоящее время уделяется достаточно много внимания [3]. Это связано с активным использованием распределенных интеллектуальных систем управления, в которых решение формируется в результате информационного взаимодействия автономных активных объектов, например, программных агентов [4]. Например, применение современных информационно-коммуникационных технологий для распределения ресурсов в реальном времени в транспортной логистике [5] позволяет по-новому решать задачи планирования с учетом распределенного принятия решений и фактора времени [6].

Однако существующие подходы не рассматривают особенности процесса обмена информацией между участниками процесса взаимодействия во времени. При этом потоки событий, характеризующих процессы обмена информацией между программными объектами, могут достаточно информативно характеризовать эффективность взаимодействия, что отражается, например, в ритмичности обмена сообщениями [7, 8]. С другой стороны, способность системы управления своевременно реагировать на происходящие события и определять последовательность действий по реализации своевременной реакции на их появление, может быть исследована и обеспечена путем задания интервалов ожидания и опережения в результате взаимного интервального корреляционного анализа [9].

---

*Иващенко Антон Владимирович, доктор технических наук, доцент кафедры информационных систем и технологий. E-mail: anton.ivashenko@gmail.com*

*Сюсин Илья Александрович, соискатель кафедры информационных систем и технологий.*

*E-mail: ilya.syusin@gmail.com*

*Юмашев Владимир Леонардович, соискатель кафедры информационных систем и технологий.*

*E-mail: vlad@imi-samara.ru*

Проведем аналогию с задачей построения грузопотока Международной космической станции [10]. Обычно это итеративный процесс, в ходе которого в результате обработки заявок кураторов на транспортировку грузов (систем жизнеобеспечения, рационов питания, воды и т.п.) проектное подразделение составляет общий план грузопотока, в котором плановая доставка грузов распределяется по моментам стыковки транспортных космических аппаратов. Несмотря на то, что события изготовления, транспортировки и размещения сильно распределены по времени, при планировании грузопотока возникает проблема согласования расписаний, поскольку доставка определенных грузов, с одной стороны, влияет на обеспечение жизнедеятельности станции, а, с другой стороны, определяет график производства.

Таким образом, можно выделить следующие особенности процессов управления транспортными потоками в авиационной и космической логистике:

- принятие решения происходит в результате согласованного взаимодействия многих участников (служб, проектных подразделений или физических лиц);

- принятие решения происходит в режиме реального времени, причем внешние события служат ограничением, определяющим темп взаимодействия в процессе согласования.

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ РИТМИЧНОСТИ НАЗНАЧЕНИЯ

Представим модель грузопотока в виде событий, отражающих распределение грузов (cargo)  $c_i$  между полетами  $v_j$  транспортных средств (vehicles). Основная особенность планирования грузопотока состоит в том, что летательный аппарат (транспортное средство) имеет заранее известное время отправления, соответственно необходимые для транспортировки грузы должны быть заказаны, произведены и загружены до этого момента.

Общей целью программных агентов, представляющих заявки на грузы, является обеспечение их своевременной обработки акторами. Так, пассажирский самолет (лайнер) при приземлении сообщ

ает о необходимости обеспечения его рационами питания в соответствии с пожеланиями пассажиров, или проектант обеспечивает восполнение баланса рационов питания на МКС путем создания и отправления соответствующей заявки.

Обозначим следующие события жизненного цикла заявки на поставку груза  $c_i$  (см. рис. 1):

$e_{i,j} = e(c_i, v_j, t_{i,j})$  – поступление заявки на доставку груза на заданный полет;

$e'_{i,j} = e'(c_i, v_j, t'_{i,j})$  – назначение груза на полет (событие планирования);

$e''_{i,j} = e''(c_i, v_j, t''_{i,j})$  – готовность груза к поставке-погрузке;

$e^*_{i,j} = e^*(c_i, v_j, t^*_{i,j})$  – отправление груза  $c_i$  в полет  $v_j$ .

Совокупность событий  $e^*_{i,j}$  представляет собой план грузопотока, то есть в момент наступления  $e'_{i,j}$  для груза  $c_i$  становится известно время его планового отправления  $t^*_{i,j}$ . Особенностью данной модели является то, что время отправления полетов известно, а в процессе планирования полет, на который будет назначен данный груз, может отличаться от полета, на который он был заявлен. Таким образом, при построении грузопотока ставится задача минимизации отклонения планового времени от заявленного:

$$\sum_{i=1}^{N_c} \sum_{j=1}^{N_v} \sum_{k=1}^{N_v} e(c_i, v_j, t_{i,j}) \cdot e^*(c_i, v_k, t^*_{i,j}) \cdot \varepsilon(v_j, t^*_j) \cdot |t^*_j - t^*_{i,j}| \rightarrow \min, \quad (1)$$

где  $\varepsilon(v_j, t^*_j)$  – событие отправления транспортного средства (полет).

Между временами процесса планирования грузопотока должны быть установлены следующие соотношения, описывающие процесс согласованного взаимодействия по планированию грузов.

$$\forall e'(c_i, v_j, t'_{i,j}), e''(c_i, v_j, t''_{i,j}), e^*(c_i, v_j, t^*_{i,j}) = \varepsilon(v_j, t^*_j): \quad (2)$$

$$t''_{i,j} < t^*_{i,j}, \quad t'_{i,j} + \Delta t''_{i,j} < t''_{i,j},$$

где  $\Delta t''_{i,j}$  – интервал времени, затраченный на подготовку (производство) груза [7].

В авиационной логистике для эффективной загрузки ресурсов требуется обеспечение ритмич-

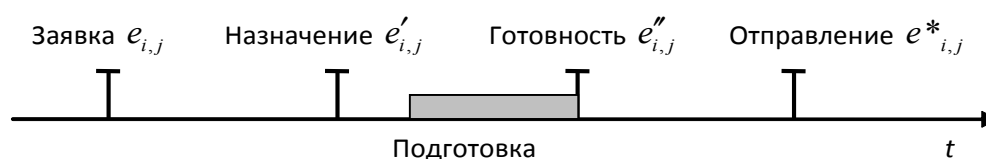


Рис. 1. Последовательность событий жизненного цикла заявки

ности производства и подготовки грузов. При планировании однотипных грузов требуется примерно одинаковое время на их подготовку (производство), в этом случае целесообразно реализовать равномерное распределение событий готовности грузов к поставке-погрузке. Это означает, что требуется:

$$\rho_k''(k \cdot \Delta\tau) = \sum_{i=1}^{N_c} e''(c_i, v_j, t_{i,j}'') \cdot \theta(k \cdot \Delta\tau - t_{i,j}'') \cdot \theta(t_{i,j}'' - (k-1) \cdot \Delta\tau) = const \quad (3)$$

где  $\Delta\tau$  – интервал принудительной дискретизации, определяемый возможностями производства,  $\theta(x)$  – ступенчатая функция Хэвисайда:

$$\theta(x) = \begin{cases} 0, & x < 0 \\ 1, & x \geq 0 \end{cases}$$

С другой стороны, события, соответствующие плановым полетам, не распределены равномерно по времени, что означает отсутствие ритмичности запусков:

$$\rho_k(v_j, t_j^v) = \sum_{j=1}^{N_v} \varepsilon(v_j, t_j^v) \cdot \theta(k \cdot \Delta\tau - t_j^v) \cdot \theta(t_j^v - (k-1) \cdot \Delta\tau) \neq const \quad (4)$$

Таким образом, для выполнения (1) необходимо согласовать поток событий готовности и поток заявок. То есть должны быть сформулированы прогнозные задержки и опережения, которые бы компенсировали отличия между графиком поступления заявок на доставку ресурсов и графиком полетов (отправления транспортных средств). Для этого предлагается установить предельные интервалы планирования: такие, что с учетом (2):

$$\rho_k(c_i, v_j, t_{i,j}') \cdot e'(c_i, v_j, t_{i,j}') \cdot \varepsilon(v_j, t_j^v) \cdot \theta(k \cdot \Delta\tau - t_j^v) \cdot \theta(k \cdot \Delta\tau - t_{i,j}' - \Delta t_{i,j}'') \rightarrow \max \quad (5)$$

Выражение (5) определяет общее требование ритмичности назначения, которое позволяет устанавливать приоритеты планирования заявок в автоматизированных системах управления транспортными потоками материально-технического обеспечения в авиационной и космической логистике. На практике, учитывая разный темп подготовки грузов необходимо обеспечивать ритмичность поступления заявок с учетом времени на подготовку груза, а также внедрить механизм формирования напоминаний.

## АНАЛИЗ РИТМИЧНОСТИ НАЗНАЧЕНИЯ В ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕМ

Анализ показателя ритмичности назначения может быть использован при предварительной обработке данных перед процессом планирования заявок. В этом случае главная цель применения метода – повысить эффективность планирования.

Выражение (5) может быть представлено в следующем частном виде в случае, если необходимо ограничить интервалы поступления событий готовности по отношению к событиям отправления:

$$\rho_k(k \cdot \Delta\tau) = \sum_{i=1}^{N_c} \sum_{j=1}^{N_v} e'(c_i, v_j, t_{i,j}') \cdot e'(c_i, v_j, t_{i,j}') \cdot \varepsilon(v_j, t_j^v) \cdot \varepsilon(v_j, t_j^v) \cdot \theta(k \cdot \Delta\tau - t_{i,j}' - \Delta t_{i,j}'') \cdot \theta(t_{i,j}' + \Delta t_{i,j}'' - (k-n) \cdot \Delta\tau) \cdot \theta((k+1) \cdot \Delta\tau - t_j^v) \cdot \theta(t_j^v - k \cdot \Delta\tau) \rightarrow \max \quad (6)$$

Для проверки и визуализации метода ритмичности назначения была разработана автоматизированная подсистема, позволяющая:

- моделировать потоки заявок и отправлений по заданным законам распределения;
- генерировать события назначения для заданных интервалов дискретизации;
- рассчитывать плотность распределения событий готовности в соответствии с (1), строить графики распределения;
- моделировать процесс планирования заявок с использованием метода ритмичности назначения или без использования.

После задания необходимых начальных параметров моделирования подсистема позволяет выполнить:

- генерацию событий заявок и отправлений;
- дискретизацию временного отрезка на интервалы заданной длины;
- генерацию событий назначения (по одному для каждого интервала дискретизации);
- анализ и предварительную обработку событий заявок при каждом назначении в соответствии с заданным алгоритмом;
- планирование заявок, как с учетом предварительной обработки, так и без нее;
- сравнение результатов планирования с использованием заданных критериев;
- визуализацию результатов работы;

На рис. 2 показано окно визуализации результатов работы системы.

Потоки заявок и отправлений в верхней части экрана – исходные распределения событий  $e_{i,j}$  и  $e_{i,j}^*$ . Распределение событий на интервалах дискретизации в средней части экрана – результат предварительной обработки заявок в момент назначения. Одним цветом подкрашены те события прихода заявки, готовности, которые назначены

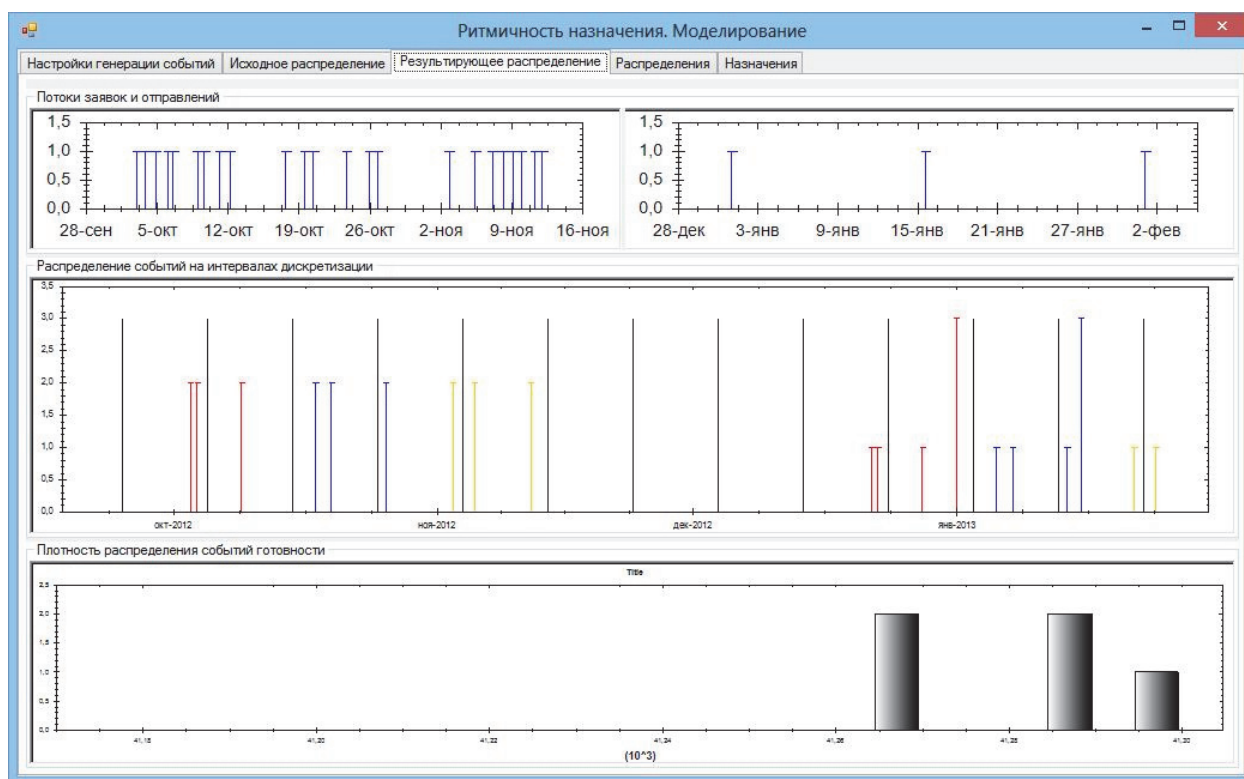


Рис. 2. Анализ ритмичности назначения в автоматизированной системе

на одно отправление. События прихода заявки представлены столбцами высотой 2 единицы, события готовности – 1 единица, а события отправления – 3 единицы. Черными линиями обозначены границы интервалов дискретизации, при этом возникновение события назначения совпадает с границей интервала (не отображены на графике). На третьем графике в нижней части экрана показана плотность распределения событий в соответствии с требованием (6).

Анализ ритмичности назначения может быть использован, например, для предварительной обработки заявок при планировании. В этом случае основная цель применения метода – повышения эффективности процесса планирования за счет подготовки входных данных (заявок на производство).

В качестве примера рассмотрим процесс планирования заявок на включение в грузопоток. Пусть у нас имеется  $j$  транспортных средств  $v_j$ , для которых назначены отправления  $e^*_{i,j}$ . Пусть также имеется набор грузов  $c_i$ , для каждого из которого формируется заявка на включение в грузопоток  $e_{i,j}$ . При этом грузоподъемность транспортного средства ограничена, а суммарная масса всех заявленных на доставку грузов превышает суммарную грузоподъемность всех транспортных средств. Кроме того, у каждого груза есть параметр “важность доставки” (приоритет  $p = \{1..5\}$ ). В качестве алгоритма планирования применим наиболее прозрачный и распространенный – метод ранца с 3 критериями – приоритет, масса, время (в порядке убывания

значимости). Критерием эффективности планирования грузопотока будем считать количество перепланирований (изменений) до получения финального результата.

Без предварительной обработки все заявки сразу поступают на планирование, число итераций планирования в этом случае высоко. С предварительной обработкой имеется возможность подавать заявки на вход планировщика таким образом, чтобы уменьшить количество итераций и тем самым повысить качество самого планирования. В данном эксперименте в качестве предварительной обработки используем ранжирование поступающих на интервале  $\Delta\tau$  заявок по следующим критериям:

- 1) Приоритет (по возрастанию);
- 2) Масса (по убыванию);
- 3) Предпочитаемое отправление (по возрастанию по времени удаленности от  $e^*_{i,j}$ ).

Результат моделирования приведен в табл. 1.

Было показано, что в случае предварительной обработки количество итераций планирования при построении грузопотока для того же объема заявок оказывается меньше, что указывает на повышение эффективности процедуры планирования.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проблемы управления временем в транспортной логистике позволил сформулировать требования по ритмичности назначения. Предложенная модель интеллектуальной системы уп-

**Таблица 1.** Сравнение эффективности планирования

Кол-во событий отправления $e^*_{i,j}$	Кол-во событий получения заявок $e_{i,j}$ , на каждое отправление	Величина интервала дискретизации и $\Delta\tau$ , дн.	Время подготовки груза $\Delta t'_{i,j}$ , дн.	Кол-во итераций при предварительной обработке	Количество итераций без предварительной обработки
1	10	10	80	4	6
3				11	17
4				23	43
6				68	95

правления транспортными потоками по обеспечению полетов ресурсами может быть применена совместно с планированием ресурсов, ее использование позволяет повысить эффективность процедуры планирования в смысле сокращения количества рассматриваемых вариантов. Для исследования предложенного подхода была разработана автоматизированная система, позволяющая генерировать исходные данные (потоки заявок, готовности и отправок) и моделировать процессы назначения и планирования с различными параметрами.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. *Иващенко А.В., Сюзин И.А.* Сетевой принцип взаимодействия в мультиагентной системе построения программы полета, грузопотока и расчета ресурсов МКС. Теория активных систем / Труды международной научно-практической конференции (14-16 ноября 2011 г., Москва, Россия). Том 3. М.: ИПУ РАН, 2011. С. 225 – 229
2. *Inden U., Rzevski G., Skobelev P.O., Tsarev A.V., Vittikh V.A.* Multi-agent adaptive planning platform for complex airport service systems / Труды X Международной конференции “Проблемы управления и моделирования в сложных системах”. Самара: Самарский научный центр РАН, 23 июня- 25 июня 2008. С.399-413
3. *Anicic D., Fodor P., Rudolph S., Stuhmer R., Stojanovic N.,*

- Studer R.* A rule-based language for complex event processing and reasoning // Hitzler, P., Lukasiewicz, T. (eds.) RR 2010. LNCS, vol. 6333, Springer, Heidelberg, 2010. pp. 42 – 57
4. *Городецкий В.И.* Самоорганизация и многоагентные системы. II. Приложения и технология разработки. Известия РАН. Теория и системы управления. 2012. № 3. С. 55 – 75
5. *Ghiani G., Guerriero F., Laporte G., Musmanno R.* Real-time vehicle routing: solution concepts, algorithms and parallel computing strategies // European Journal of Operational Research, Elsevier, 2003, Vol. 151. p. 1 – 11
6. *Kalina, P., Marik, V., Vokrinek, J.,* 2013. The art of negotiation: developing efficient agent-based algorithms for solving vehicle routing problem with time windows, HoloMAS 2013, LNCS 8062, pp. 187-198
7. *Иващенко А.В.* Интервально-корреляционный анализ ритмичности взаимодействия в интегрированной информационной среде предприятия // Системы управления и информационные технологии. 2010. № 1(39). С. 32 – 36.
8. *Иващенко А.В.* Управление взаимодействием персонала предприятия в многоагентной интегрированной информационной среде // Программные продукты и системы, 2012. № 3. С. 18 – 22
9. Прикладной анализ случайных процессов [под ред. С.А. Прохорова]. Самара: Издательство СНЦ РАН, 2007. 582 с.
10. *Ivaschenko A., Khamits I., Skobelev P., Sychova M.* Multi-agent system for scheduling of flight program, cargo flow and resources of International space station / HoloMAS 2011, LNAI 6867, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2011. pp. 165 – 174.

**ASSIGNMENT RHYTHM ANALYSIS FOR BETTER SCHEDULING IN TRANSPORTATION LOGISTICS**

© 2014 A.V. Ivaschenko, I.A. Syusin, V.L. Yumashev

Samara State Aerospace University named after Academician S.P. Korolyov (National Research University)

This paper describes an approach to increase the efficiency of transportation resources scheduling in real time. This approach considers variation of times of the events that characterize transportation order lifecycle and results in events queue management based on the analysis of resources assignment rythmicity. *Keywords:* transportation logistics, intelligent scheduling systems, allocation rythmicity, scheduling by conditions.

*Anton Ivaschenko, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor at the Information Systems and Technologies Department. E-mail: anton.ivashenko@gmail.com*  
*Ilya Syusing, Post Graduate Student at the Information Systems and Technologies Department. E-mail: ilya.syusin@gmail.com*  
*Vladimir Yumashev, Post Graduate Student at the Information Systems and Technologies Department. E-mail: vlad@imi-samara.ru*