

Управление операционными процессами операторов сложных систем

Д.А. Андреев, А.Н. Панфилов, А.Н. Скоба

*Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова, г. Новочеркасск*

Аннотация: В данной статье рассматривается проблема управления операционными процессами операторов сложных систем на примере работы операторов Российского сегмента Международной космической станции. Описывается структура бортовой документации и способы составления радиограмм. Указывается сложность работы космонавта со ссылочными радиограммами. Обосновывается использование инструментов ситуационного моделирования и нечеткой логики в задаче управления операционными процессами сложных систем. Предлагается математическая модель сложных систем на основе нечетких ситуационных сетей. Производится постановка задачи нахождения пути от неизвестной ситуации до графа, описывающего штатные состояния системы. Формулируются начальные условия, необходимые для решения задачи. Устанавливаются требования, предъявляемые к решению данной задачи в виде математических уравнений. Строится графическое представление данной задачи в виде ориентированного графа.

Ключевые слова: ситуационное моделирование, нечеткие множества, теория графов, теория принятия решений, документация, сложные системы, нечеткая логика, нечеткие ситуационные сети, теория множеств, теория оптимального управления.

В работе [1] изложена проблема управления операционными процессами операторов сложных систем. Под операционным процессом в данной работе понимается совокупность функциональных операций управления, организованных во времени и пространстве в результате которых осуществляется изменение системы.

Примером сложной системы является Российский сегмент международной космической станции (РС МКС). На РС МКС космонавты (операторы системы) выполняют поставленные задачи и регламентированные действия в ходе своего пребывания на станции: космические эксперименты, санитарные мероприятия, разгрузочно-погрузочные работы и т. д. Действия операторов на РС МКС регламентируются 48 книгами бортовой документации. Они представляют собой либо список определенных полетных операций (Книга «Геофизические

эксперименты»), либо список описания оборудования и действий с ними (Книга «Внутрикорабельные системы») [2-4].

В состав описания полетной операции входит цель данной полетной операции, описание требуемого для ее выполнения оборудования, организованного в виде списка или таблицы (с указанием количества, наименования, обозначения оборудования (идентификационного кода), а также расположения оборудования в модуле станции), циклограмма полетной операции (таблица с указанием времени выполнения действий), а также последовательность действий, входящих в операцию.

В состав описания определенного оборудования входит назначение данного оборудования, его схема, регламент, а также список штатных операций с ним.

Книга бортовой документация состоит из глав, каждая из которых содержит список бортовых процедур, в которых описывается определенный этап полетной операции или штатное действие с оборудованием. Каждая процедура состоит из действий – элементарных манипуляций оператора с окружающей средой на станции [5].

В книгах также регламентированы альтернативные варианты действий, которые могут быть выполнены на том или ином этапе полетной операции. Для этих альтернатив задаются четкие условия выбора альтернатив. Кроме того, в книгах заданы алгоритмы устранения выявленных инженерами-методистами группы обеспечения действий экипажа МКС (ГОДЭ) нештатных ситуаций. Помимо этого, в тексте полетных процедур предусмотрены моменты взаимодействия с Землей, отраженная следующими атрибутами: «Доложить на Землю» - ДнаЗ и «Действовать по Указанию Земли» - ДпоУЗ. В тексте процедур могут встречаться ссылки на другие процедуры.

На основании Библиотеки книг бортовых инструкций на порт по определенному регламенту могут быть высланы так называемые Радиограммы: последовательность действий, которая состоит из фрагментов полетных процедур, а также определенных уникальных действий. Фрагменты процедур указаны в виде ссылок на соответствующие книги.

Проблема работы с радиограммами, представленными ссылками на различные полетные процедуры, заключается в том, что восстановление полного текста радиограммы является проблематичным и затратным по времени для космонавта, так как компиляция инструкции из 48 книг бортовой документации ложится на плечи оператора.

Проблема управления вызвана тем, что стандартные точные модели часто не способны полностью описать данные системе в форме, пригодной для их использования. Как указано в [1], описательная модель получается либо слишком громоздкой при тактике подробного учета влияния компонент, либо слишком неточной из-за тактики их урезания. Таким образом, задача заключается в построении модели системы или ее элемента, на основе которой можно было бы формировать описания, доступные для понимания оператором и учитывающие основные характеристики системы.

Решением данной задачи может послужить использование нечетких ситуационных моделей. Согласно [6], преимущество данного подхода заключается в аспектах, связанных с теорией нечетких множеств и ситуационным моделированием. Использование теории нечетких множеств позволяет оперировать параметрами системы, описанными в виде лингвистических переменных на естественном языке, что явно улучшает понимание модели оператором. Ситуационное моделирование является одним из лучших инструментов описания операционных процессов операторов сложных систем, так как оно учитывает причины перехода системы между состояниями, а также составной характер систем.

Основным способом представления ситуационных моделей является нечеткая ситуационная сеть (НСС), которая представляет собой инструмент для описания систем через набор состояний системы, описанных с помощью параметров, представленных в виде переменных нечеткой логики, а также набором действий, – или управлений – описывающих переходы системы из одного состояния в другое. Она может быть описана ориентированным графом, который содержит вершины, интерпретируемые как состояния системы, и дуги, являющиеся отражением переходов между состояниями, которые происходят при воздействии на систему определенных управляющих (или внешних) воздействий [7-8].

Основным элементом, рассматриваемым в НСС, является ситуация – структура, включающая в себя состояние системы и совокупность переходов (одношаговых решений), переводящих систему из данного состояния в другие.

Математически НСС описывается графом вида $G(S, V)$. S – это множество состояний системы, V – множество управлений, переводящих систему из одного состояния в другое. Состояние представляется формулой:

$$S_h = (Y, U_h, D, M, \mu_{S_h}(y_i)), \quad (1)$$

где Y – множество компонент состояния системы $Y = \{y_i\}, i = \overline{1, n}$. Каждая составляющая описывается лингвистической переменной, представленной в виде конструкции $y_i = \{T_i\} = (T_i^1, T_i^2, \dots, T_i^j, \dots, T_i^{k_i}), j = \overline{1, k_i}, |T_i| = k_i$, на где T_i – множество термов $T_i^1, T_i^2, \dots, T_i^j, \dots, T_i^{k_i}$ лингвистической переменной y_i – ее значений на естественном языке.

U_h – множество управляющих воздействий, которые могут повлиять на систему в данном состоянии; $U_h \in U, U_h = \{u_f\}, f = \overline{1, l_h}$, где U – множество всех возможных управляющих воздействий.

N – Множество матриц, отражающих степень изменения значения компоненты состояния при непосредственном воздействии на нее определенного управляющего воздействия u_f :

$$D = \{D(u_f) = \|n_{xy}\|\},$$

$$x = \overline{1, k_i},$$

$$y = \overline{1, k_i},$$

$$D(u_f) = T_i \times T_i,$$

$$d_{xy} = \{0, 1\}$$

где $N(u_f)$ – матрица, отражающая степень изменения компоненты, на которую нацелено воздействие u_f .

M – Множество матриц, отражающих опосредованное изменение одной компоненты y_{i2} при изменении другой компоненты y_{i1} :

$$M = \{M_{i_1 i_2} = \|m_{xy}\|\},$$

$$x = \overline{1, k_{i_1}},$$

$$y = \overline{1, k_{i_2}},$$

$$M_{i_1 i_2} = T_{i_1} \times T_{i_2},$$

$$m_{xy} = \{0, 1\}$$

$\mu_{S_h}(y_i) / y_i$ – ряд нечетких функций принадлежности компонент состояний, описывающих текущую нечеткую ситуацию: $\mu_{S_h}(y_i) / y_i \in \{0, 1\}$.

При рассмотрении модели ситуационной сети следует рассмотреть следующую проблему: в произвольный момент времени t при воздействии управления u_f на текущее состояние системы S_h система может перейти вместо запланированной ситуации S_{h+1} в незапланированную ситуацию S^* , такую, что:

$$S^* \notin G(S, V); \tag{2}$$

В данном случае под незапланированной ситуацией называется ситуация, непредусмотренная документацией [9]. Перед оператором ставится задача вернуть систему в одно из штатных состояний. Для этого требуется построить подграфы, ведущие от незапланированной ситуации к штатным ситуациям, избегая запрещенных ситуаций $S_{\text{запр}}$. Под запрещенными ситуациями понимаются ситуации, которые не могут существовать по законам логики, или ситуации, попадание в которые могут вызвать ущерб для системы или оператора. Математически задача будет выглядеть следующим образом: Задана ситуация S^* , заданная согласно формуле 1, а также ситуационный граф $G(S, V)$ [10], описывающий штатное поведение системы.

Начальными условиями задачи выступают граф штатных ситуаций $G(S, V)$ со всеми возможными управлениями, незапланированная ситуация s^* и ряд запрещенных ситуаций, которые не могут или не должны возникнуть при выполнении процессов на сложных системах, также в начальных условиях выступает функция перехода от одного состояния в другое:

$$\exists G(S, V) \tag{3}$$

$$\exists s^* \notin G(S, V); \tag{4}$$

$$\exists S^{\text{запр}} = \{s_1^{\text{запр}}, \dots, s_q^{\text{запр}}\} \tag{5}$$

$$\exists \varphi(s_i, U_i) = f : S, U \rightarrow S \tag{6}$$

Требуется построить такие подграфы G_s^* , для которых выполняются следующие условия:

$$G(S, V) \cap G_s^* \neq \emptyset; \quad (7)$$

$$s^* \in G_s^*; \quad (8)$$

$$\exists \bar{U}^* = (u_1^*, u_2^*, \dots, u_l^*) \quad (9)$$

$$s^{уел} = F(s^*, \bar{U}^*) = \varphi(\dots \varphi(\varphi(s^*, u_1^*), u_2^*) \dots U, u_l^*) \in G(S, V) \quad (10)$$

$$S^{запр} \notin G(S, V) \cup G_s^*; \quad (11)$$

Указанная выше группа формул показывает, что требуется найти такой подграф G_s^* , чтобы он имел общие вершины с графом штатных ситуаций. Также требуется, чтобы включал в себя вершину незапланированной ситуации s^* , не включал в себя вершины из множества запрещенных ситуаций, а также существовала такая цепочка управлений (переходов по ребрам графа), которая может привести из незапланированного состояния в одно из запланированных состояний графа штатных ситуаций.

Графически данная задача изображена на рисунке 1.

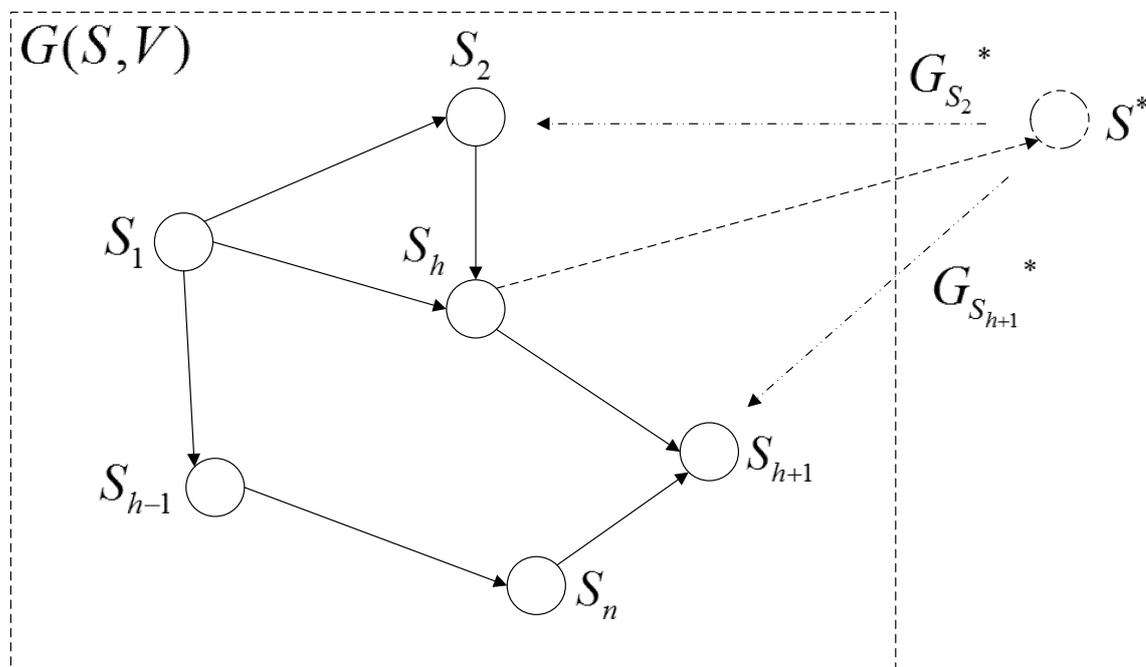


Рисунок 1. – Иллюстрация попадания системы в незапланированную ситуацию.

Таким образом, формулами (1-11) описывается задача нахождения цепочки выхода к графу плана работ из незапланированной ситуации. Данная математическая постановка позволит формализовано представлять решение данной задачи.

В процессе дальнейших исследований планируется исследовать задачу нахождения оптимального пути на ситуационном графе, решаемую наряду с данной, а также сформулировать постановку и решение комбинированной задачи процедурного построения оптимального пути.

Литература

1. Мелихов А.Н., Бернштейн Л.С., Коровин С.Я. Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой - М.: Наука. Гл. Ред. физ.-мат. лит., 1990. – 272 с.

2. Андреев Д. А., Панфилов А. Н., Погорелов А. С. Математическое моделирование и исследование процессов интерактивного взаимодействия в виртуальной среде: проблематика и основные тезисы // Инженерный вестник Дона, 2015, №2 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3135

3. Орловский Н.М. Решение задачи однокритериальной оптимизации процесса планирования действий экипажа Российского сегмента Международной космической станции на основе генетического алгоритма // Инженерный вестник Дона, 2013, №3 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1787

4. Степанов В.В., Андреев Д.А., Геркен Е.А., Обыденов С.С. Информационная поддержка космических экспериментов. Международный научно-практический журнал // Программные продукты и системы, 2015, №4 (112) С. 55-57.

5. Operations Data File Standards. International Space Station Program : National Aeronautics and Space Administration International Space Station

Program Johnson Space Center Houston, Texas ; Revision L, December 2004. – 196 p. – (International Space Station Program Operations Data File Standards).

6. Астанин С.В., Жуковская Н.К. Управление бизнес-процессами на основе их моделирования нечеткими ситуационными сетями // Управление большими системами: сборник трудов, 2012. №37 С. 145-163.

7. Люгер Дж. Ф. Искусственный интеллект: Стратегии и методы решения сложных проблем, пер. с англ./ 4-е изд. - М.: Вильямс, 2005. - 864 с.

8. Черноморов Г.А. Теория принятия решений: Учебное пособие / Юж.-Рос. гос. тех. ун-т. – 3-е изд. перераб. и доп. – Новочеркасск: Ред. журн. «Изв. вузов. Электромеханика», 2005, 448 с.

9. Фараонов А.В. Ситуационные центры как инструмент оценки подготовки специалистов и эффективности принятия решения // International Journal of Open Information Technologies, 2015. Vol 3 No 4, С. 1-7.

10. Narsingh Deo. Graph Theory with Applications to Engineering and Computer Science. Mineola, New York: Dover Publications, inc, 2016. 469 p.

References

1. Melihov A.N, Bernshtejn L.S., Korovin S.Ja. Situacionnye sovetujushhie sistemy s nechetkoj logikoj [Situational advisory systems with fuzzy logic]. М.: Nauka. Gl. Red. fiz.-mat. lit., 1990. 272 p.

2. Andreev D. A., Panfilov A. N., Pogorelov A. S. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2015, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3135

3. Orlovskij N.M. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2013, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1787

4. Stepanov V.V., Andreev D.A., Gerken E.A., Obydenov S.S. Programmnye produkty i sistemy, 2015, №4 (112) p. 55-57.

5. Operations Data File Standards. International Space Station Program: National Aeronautics and Space Administration International Space Station



Program Johnson Space Center Houston, Texas ; Revision L, December 2004. 196 p. (International Space Station Program Operations Data File Standards).

6. Astanin S.V., Zhukovskaja N.K. Upravlenie bol'shimi sistemami: sbornik trudov, 2012. №37 p. 145-163.

7. Ljuger Dzh. F. Iskusstvennyj intellekt: Strategii i metody reshenija slozhnyh problem [Artificial intelligence: Strategies and methods for complex problem solving], per. s angl. 4-e izd. M.: Vil'jams, 2005. 864 p.

8. Chernomorov G.A. Teorija prinjatija reshenij: Uchebnoe posobie [Decision Theory: Textbook] .Juzh.-Ros. gos. teh. un-t. 3u izd. pererab. i dop. Novocherkassk: Red. zhurn. «Izv. vuzov. Jelektromehanika», 2005, 448 p.

9. Faraonov A.V. International Journal of Open Information Technologies, 2015. Vol 3 no 4, pp. 1-7.

10. Narsingh Deo. Graph Theory with Applications to Engineering and Computer Science. Mineola, New York: Dover Publications, inc, 2016. 469 p.