

Научная статья
УДК 621.865.8
DOI: <https://doi.org/10.18127/j19998554-202506-08>

Метод оптимизации действий оператора радиолокационной станции мониторинга космического пространства на основе графового представления

С.В. Мацеевич¹, А.К. Усачева², А.С. Захаров³

^{1–3} Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации (Москва, Россия)

¹ cvmac@mail.ru; ³ zakharov.as17@physics.msu.ru;

Аннотация

Постановка проблемы. Основным элементом системы мониторинга космического пространства (СМКП) являются радиолокационные станции, которые после зондирования обрабатывают сигнал и передают в центр управления информацию о координатах и состоянии космических аппаратов. Ключевая роль в поддержании характеристик станции на заданном уровне принадлежит операторам. Значительное техническое усложнение радиолокационных станций приводит к увеличению количества информации, предоставляемой оператору. Кроме того, частая необходимость в прогнозировании технических характеристик СМКП также усложняет процесс проведения анализа функционирования системы. В связи с этим появляется необходимость в оптимизации действий оператора.

Цель. Разработать метод оптимизации действий оператора на основе графового представления.

Результаты. Проведён анализ применения методов искусственного интеллекта, в частности, машинного обучения и нейронных сетей, в системах поддержки принятия решений. Для анализа текстовой регламентирующей информации выбрана большая языковая модель BLOOM с открытым исходным кодом, позволяющая сформировать граф последовательности действий. Для анализа и оптимизации графа разработаны оригинальные метод и алгоритм оптимизации последовательности действий оператора, что позволяет повысить эффективность работы его работы за счёт совершенствования методов поддержки принятия решений.

Практическая значимость. Разработанная в рамках исследования программа позволяет сформировать оптимизированную последовательность действий оператора на основе многокритериального анализа (выбор парето-оптимальных решений). Результаты оптимизации могут быть использованы при проектировании систем поддержки принятия решений в части обоснования необходимости и достаточности отображаемой информации на экранах.

Ключевые слова

Центр мониторинга космического пространства, радиолокационные станции, NP-полные графы, интеллектуальный модуль, теория графов

Работа выполнена временными трудовым студенческим коллективом Финансового Университета при Правительстве Российской Федерации.

Для цитирования

Мацеевич С.В., Усачева А.К., Захаров А.С. Метод оптимизации действий оператора радиолокационной станции мониторинга космического пространства на основе графового представления // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2025. Т. 27. № 6. С. 77–87. DOI: [10.18127/j19998554-202506-08](https://doi.org/10.18127/j19998554-202506-08)

A brief version in English is given at the end of the article

Введение

Мониторинг околоземного космического пространства (ОКП) в последнее время приобретает все большее значение. Это обусловлено ростом количества космических аппаратов (спутников), активных космических объектов, а также объема космического мусора. Постоянное отслеживание их положения, орбитальных параметров и прогнозирование возможных столкновений объектов позволяет обеспечить безопасность движения объектов ОКП. Наиболее распространёнными системами мониторинга ОКП являются радиотехнические системы.

Современные РЛС системы мониторинга космического пространства (СМКП) являются сложными эргатическими системами, в которых главную работу выполняют операторы – лица, контролирующие процесс функционирования всех элементов системы и осуществляющие принятие реше-

ний на основе поступающей им информации. 90% информации о состоянии СМКП операторы получают от системы визуализации на своих рабочих местах. По результатам анализа данной информации они принимают решения о своих дальнейших действиях и идентифицируют текущую ситуацию, в том числе нештатную. Значительное техническое усложнение СМКП приводит к увеличению количества информации, предоставляемой оператору [1]. Кроме того, частая необходимость в прогнозировании технических характеристик СМКП также усложняет процесс проведения анализа функционирования системы.

Повысить эффективность работы оператора СМКП возможно за счёт использования системы поддержки принятия решения (СППР) [2, 3]. СППР – это информационные системы, которые получают данные из различных источников, применяют аналитические методы для их анализа и обеспечивают удобные инструменты для предоставления информации оператору.

Основными проблемами, которые могут быть решены СППР, являются:

- ограничения на доступные временные ресурсы;
- большие объёмы информации для понимания и интерпретации;
- высокая стрессовая нагрузка.

Использование СППР требует решения важных задач, связанных с определением областей ответственности в человеко-машинной системе. Необходимо обосновать, какие действия и решения могут быть приняты «машиной» в автоматическом режиме, не ожидая оператора. Также важно выявить влияние когнитивных характеристик человека на способы предоставления ему рекомендательной информации, поскольку возможны случаи, когда в состоянии стресса оператор запутается в предоставляемых ему рекомендациях. Таким образом, для успешной интеграции СППР в работу оператора необходимо сформировать метод, оптимизирующий действия оператора согласно областям ответственности, который определяет места применимости инструментария СППР.

Основная цель СППР – повысить эффективность процесса принятия решений человеком за счет предоставления своевременной, релевантной и проанализированной информации, а также за счет применения инструментов для оценки различных вариантов действий.

Исходя из этого, основными задачами, решаемыми СППР, являются:

- 1) сбор и структуризация данных – оперативный сбор разнородных данных из различных источников, их структуризация;
- 2) анализ данных – проведение анализа информации с использованием различных методов и подходов;
- 3) моделирование ситуации – предоставление инструментария для создания и использования моделей, позволяющих имитировать развитие ситуации, прогнозировать результаты действий или оценивать альтернативы;
- 4) формирование решений – формирование множества решений (множества альтернатив) и их визуальное представление диспетчеру;
- 5) оценка решений – предоставление инструментария для сравнения и оценки эффективности различных вариантов решений на основе заданных критериев;
- 6) визуализация информации – отображение данных и результатов анализа в наглядной и понятной форме;
- 7) формирование отчетов – формирование отчётов и сводок для документирования процесса принятия решений.

Существуют различные методы и алгоритмы поддержки принятия решения, используемые в классических СППР [4]:

- статистические методы (анализ трендов, корреляционный анализ);
- математическое моделирование (оптимизационные модели, имитационное моделирование);
- анализ «что-если» (сценарный анализ);
- OLAP (оперативный аналитический процессинг);
- многомерный анализ данных;
- Data Mining (некоторые базовые техники обнаружения закономерностей);

экспертные оценки (структуривание мнений экспертов).

Однако в условиях значительно возросшей цифровизации современных систем управления актуальной становится задача разработки интеллектуальной системы поддержки принятия решения (ИСППР).

Главная особенность ИСППР заключается в интеграции методов и технологий искусственного интеллекта (ИИ) [5–7], что позволяет системе совершать более «умные» действия, выходящие за рамки простого извлечения и обработки данных по заданным правилам.

Приведем основные элементы ИИ, отличающие ИСППР от классических СППР:

1. *Машинное обучение* [8]. ИСППР способна учиться на данных без явного программирования, может выявлять сложные, неочевидные закономерности, классифицировать ситуации, обнаруживать аномалии, кластеризовать данные, адаптироваться к меняющейся обстановке на основе исторических данных. Например, система может научиться распознавать паттерны изменения функциональных характеристик радиотехнической системы, предсказывать потенциальные аварийные ситуации или автоматически классифицировать их тип на основе параметров системы.

2. *Экспертные системы*. ИСППР включает в себя базы знаний, формализующие опыт экспертов в определенной предметной области. Система может использовать эту базу знаний для рассуждений, оценки ситуации, объяснения своих выводов и выдачи рекомендаций, имитируя логику человека-специалиста.

3. *Предиктивная аналитика* [9]. ИСППР использует методы машинного обучения и статистики для прогнозирования будущих событий или тенденций и рекомендаций по оптимальным действиям для достижения желаемого результата. Для диспетчера ситуационного центра это может быть прогнозирование мощностных характеристик системы, возникновения или распространения пожара, оценки загруженности дорог, вероятности возникновения происшествия в определенном районе и т.п.

4. *Расширенный анализ данных* [10]. Хотя анализ данных является частью СППР, в ИСППР он дополняется методами ИИ. Это включает в себя обработку естественного языка (языковые модели) для анализа сообщений и отчетов, компьютерное зрение для распознавания объектов на видео, анализ неструктурированных данных из социальных сетей и т.д. Кроме того, ИСППР способна извлекать полезную информацию из более широкого спектра данных, в том числе «шумные» и неполные данные.

Таким образом, интеграция ИИ в ИСППР позволит значительно повысить скорость принятия решений оператором. Однако для этого необходимо решить проблемы, связанные с потоками информации – оптимизировать последовательность действий оператора так, чтобы часть информации, являющаяся избыточной на текущем этапе для оператора, предоставлялась ему в те моменты, когда она ему нужна.

Цель работы – разработать метод оптимизации действий оператора на основе графового представления.

Исходные данные

Исходными данными для этой работы является регламентированная последовательность действий оператора СМКП, предоставленная факультетом космических исследований (ФКИ) МГУ им. М.В. Ломоносова. На основании указанной последовательности действий был составлен граф (рис. 1), который в дальнейшем будет оптимизирован.

Для построения графа была задействована языковая модель BLOOM с открытым исходным кодом, обладающая широкими возможностями обработки естественного языка. Алгоритм последовательно проанализировал входной текстовый файл с регламентом действий, проведя комплексную обработку содержащейся в нём информации.

В процессе работы модель осуществила извлечение ключевых элементов регламента, включая последовательность операций, условия переходов между этапами и взаимосвязи между различными компонентами процесса.

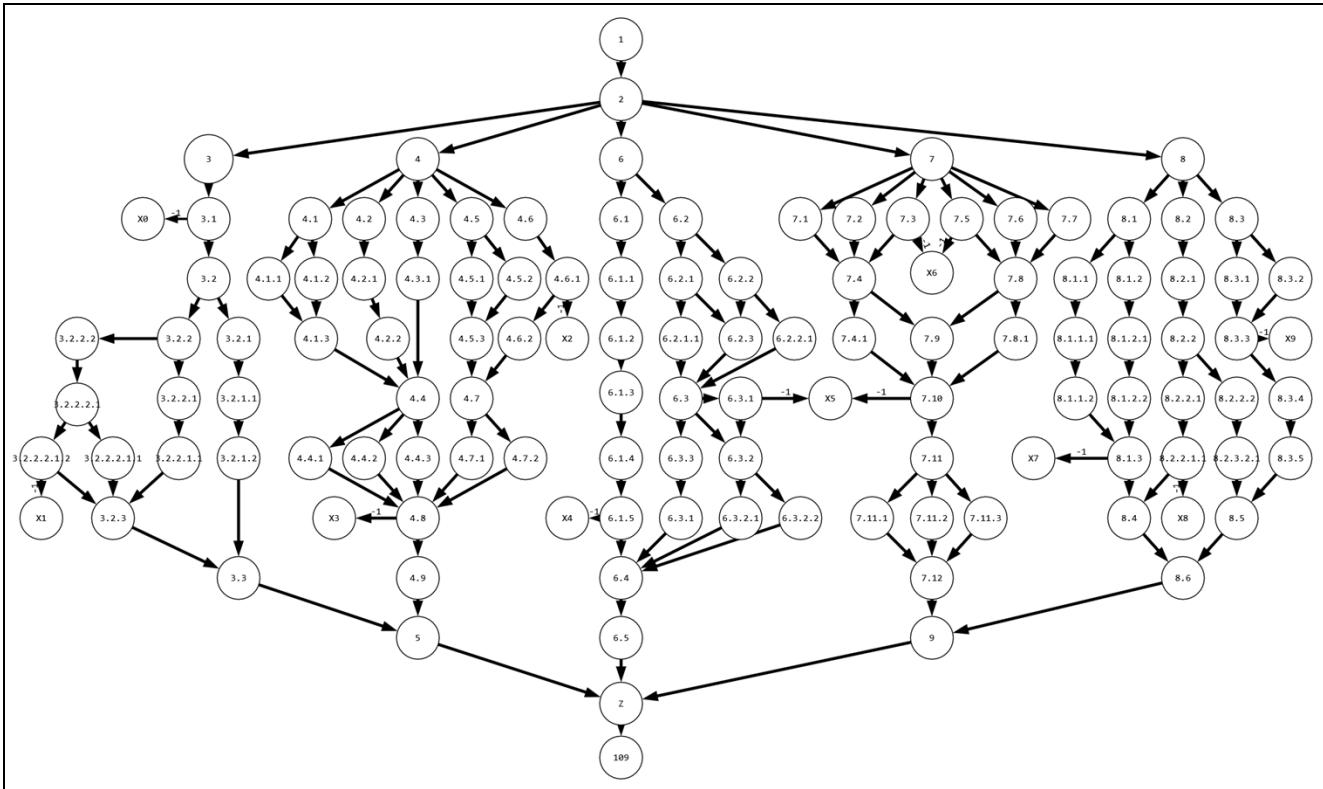


Рис. 1. Граф последовательности действий оператора СМКП

Fig. 1. Graph of the sequence of actions of the operator of the space monitoring system

Метод оптимизации действий оператора

Описать процесс анализа ситуации оператором СМКП в зависимости от имеющихся данных можно с помощью ориентированного графа или орграфа $G_0(V, E)$ – дерева решений (рис. 2). Граф G_0 задаётся множеством вершин $V = \{v_1, \dots, v_N\}$, описывающих ситуацию, в которой принимается решение, и мно-

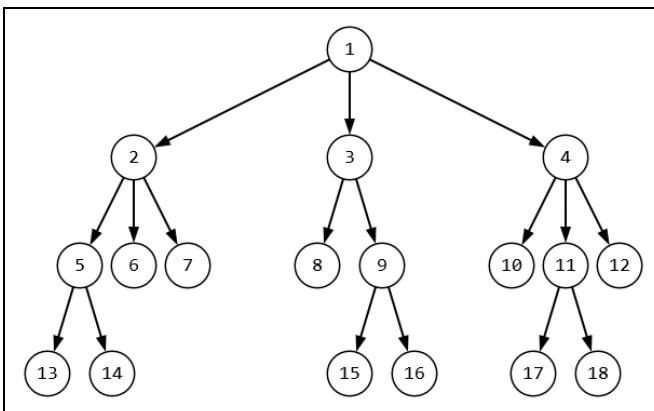


Рис. 2. Пример графа (орграфа) в виде дерева решения
Fig. 2. An example of a graph (directed graph) in the form of a decision tree

сигналы, количество объектов в области видимости, типы объектов и т.д.), как в данный момент времени, так и в прогнозируемом будущем;

метаданные (количество предоставляемой информации на экране, тип информации, особенности графического интерфейса оператора и т.д.).

жеством рёбер $E = \{e_1, \dots, e_M\}$ – описывающих процесс принятия некоторого решения и его результаты.

Каждая вершина и каждое ребро имеют соответствующие им векторы параметров (весов): $\alpha(v_i)$ и $\beta(e_i)$. Здесь и далее под *вектором параметров* будем подразумевать массив данных, характеризующих элемент графа:

$$\alpha = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_S), \beta = (\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_L).$$

Для вершины v_i такими параметрами могут быть:

технические параметры СМКП (рабочие мощности, температуры, состояние, работоспособность элементов, режимы работы и т.д.), зависящие от времени;

параметры фоновоцелевой обстановки (помехи,

Для рёбер e_i такими параметрами являются:

метрические особенности ситуации (время, потраченное оператором на принятие данного решения, риски при принятии данного решения, общая сложность принятия данного решения, возможные последствия при неправильном принятии решения и т.д.), описывающие затрачиваемые оператором технические ресурсы системы мониторинга;

когнитивные особенности ситуации (насколько сильно оказывается стресс на оператора, количество ошибок, допущенных им, количество информации, которую ему необходимо обработать для принятия данного решения и т.д.), описывающие затрачиваемые оператором свои когнитивные ресурсы.

Параметры α – частный случай полного вектора параметров \mathbf{A} , т.е. параметров, полностью описывающих текущее состояние СМКП и окружения. Для принятия решения оператору необходимы лишь частные значения данного вектора, при условии, что некоторые из них заранее объединяются встроенными алгоритмами контроля функционирования СМКП в интегральные параметры (свёртка параметров, снижение размерности вектора). Поэтому в общем случае частной задачей оптимизации последовательности действий оператора является задача оптимальной свёртки параметров для понижения размерности вектора v_i .

Данная задача может быть сформулирована с использованием следующего примера. Для принятия решения оператору необходимо провести анализ функциональных характеристик системы, что представимо в виде некоторой последовательности действий, задаваемой сетевым графиком [11]. Отличие сетевого графика от дерева решений заключается в том, что сетевой график имеет сток – вершину, в которую входят рёбра, но ни одно не выходит из вершины. Сток для данного подграфа является результатом последовательности действий.

Предполагая, что любой вершине v_i графа G_0 может быть поставлен в соответствие подграф g_i , описывающий полную последовательность действий, совершающуюся оператором, для принятия решения, то будем считать, что полный граф G может быть получен из подграфов g_i путём их соединения в соответствии с топологией графа G_0 :

$$G = \sum_{i: v_i \in G_0} g_i.$$

Рассмотрим три вида подграфов (рис. 3):

1) *последовательные* (рис. 3, а) – представляет строгую последовательность действий. При этом вершины, не являющиеся стоком или истоком, имеют ровно одно входящее и одно исходящее ребра. Для данного случая считается, что для принятия решения на текущем этапе (на данной вершине) необходимо и достаточно принять решение только на предыдущем этапе (на предыдущей вершине). Основной характеристикой данного подграфа будет его длина L_i ;

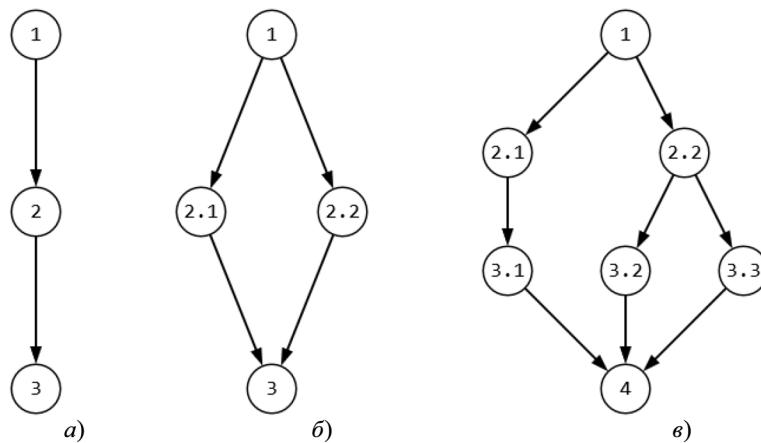


Рис. 3. Пример орграфов, описывающих последовательность действий оператора
Fig. 3. An example of directed graphs describing a sequence of operator actions

2) *параллельные* (рис. 3,б) – для достижения стока должны быть выполнены все действия, при этом одновременно они не могут быть выполнены. В этом случае для принятия решения на данном этапе (на данной вершине) необходимо и достаточно принять решение на всех предыдущих этапах (на всех вершинах, от которых к данной вершине ведут рёбра). При этом нет различий, в какой последовательности выполнять предыдущие этапы. Основными характеристиками данного подграфа будут его глубина L_i и ширина на стоке W_i (количество рёбер, входящих в сток);

3) *смешанные* (рис. 3,в) – содержат в себе элементы последовательного и параллельного подграфов. Эффективнее всего разбивать такой подграф на ранее известные подграфы. Здесь имеются те же основные характеристики, что и у параллельных подграфов, но добавляется еще и степень вложенности подграфов P_i , т.е. количество параллельных подграфов внутри смешанного подграфа.

С учетом этого примера, постановка задачи оптимизации последовательности действий будет выглядеть следующим образом: необходимо сформировать такую последовательность действий, которая:

- 1) следует из существующей и не противоречит ей (не добавляет новые вершины в граф);
- 2) не увеличивает основные характеристики подграфов;
- 3) не ухудшает текущие критерии эффективности последовательности действий.

В формализованном виде это выражается следующим образом:

$$M : G_{\text{opt}} = \sum_{i: \tilde{v}_i \in G_{\text{opt}}} \tilde{g}_i = \sum_{i: v_i \in G_0} F(\tilde{g}_i) = F(G), \forall i \in [1, N], \begin{cases} L(\tilde{g}_i) \leq L(g_i), \\ W(\tilde{g}_i) \leq W(g_i), \\ P(\tilde{g}_i) \leq P(g_i) \end{cases}$$

при ограничениях

$$\forall j K_j(G) \leq K_j(G_{\text{opt}}),$$

где K_j – критерий оптимальности последовательности действий.

Рассмотрим наиболее важные *типы таких критерии*.

Когнитивный критерий K_{kogn} . Этот критерий обусловлен наличием у человека-оператора пределов по количеству воспринимаемой информации [12]. К таким можно отнести закон Миллера $M = 7 \pm 2$, согласно которому кратковременная человеческая память не может запомнить и повторить более 7 ± 2 элементов. Это означает, что при принятии решения оператор должен оперировать не более чем M элементами. Другим примером является закон согласования информации:

$$I_{\text{общ}}(t) \leq I_{\text{доп}}(t),$$

где общий поток информации от системы визуализации $I_{\text{общ}}$ должен быть не больше потока информации $I_{\text{доп}}$, который способен обработать человек-оператор (например, пропускная способность, т.е. дифференциальная характеристика потока информации, человека для кратковременной памяти – от 0,2 до 1 бит/с).

Временной критерий T . Например, время принятия решения $T_{\text{пр}}$, которое в общем случае складывается не только из анализа информации, но и при формировании самой информации за счёт выполнения некоторой последовательности действий (взаимодействие с системой визуализации), должно быть строго меньше регламентированного времени $T_{\text{пер}}$. Обычно $T_{\text{пер}}$ обусловлено факторами технического состояния (например, перегрев системы), характеристиками наблюдаемых космических объектов (время их нахождения в области наблюдения) и т.д.

Критерий ошибки оператора. Под ошибками оператора могут восприниматься как неправильно принятые решения, так и выполнение «лишних» действий, т.е. действий, не являющихся необходимыми. Например, критерий О – количество ошибок, допущенных оператором при выполнении последовательности действий, можно определить как сумму количества допущенных вербальных ошибок (ВО) и соматических ошибок (СО), не являющихся критическими (КО). При этом:

КО – ошибка, приводящая при любом дальнейшем развитии ситуации к принятию неправильного решения;

ВО – ошибка, допущенная при произношении слов, общении по средствам связи, а также при выполнении доклада;

СО – ошибка, допущенная при нажатии клавиш, наборе текста, открытии рабочих окон.

Таким образом, метод оптимизации последовательности действий оператора заключается в формировании дерева решений, подграфов действий и решении многокритериальных оптимизационных задач на данных графах с учётом ограничений, обусловленных когнитивными характеристиками оператора и параметрами системы визуализации.

Реализация алгоритма

В соответствии с представленным методом был разработан алгоритм оптимизации последовательности действий. Схема алгоритма приведена на рис. 4. На вход алгоритма поступает орграф, представляющий регламентированную последовательность действий. Формирование графа осуществляется с помощью языковых моделей.

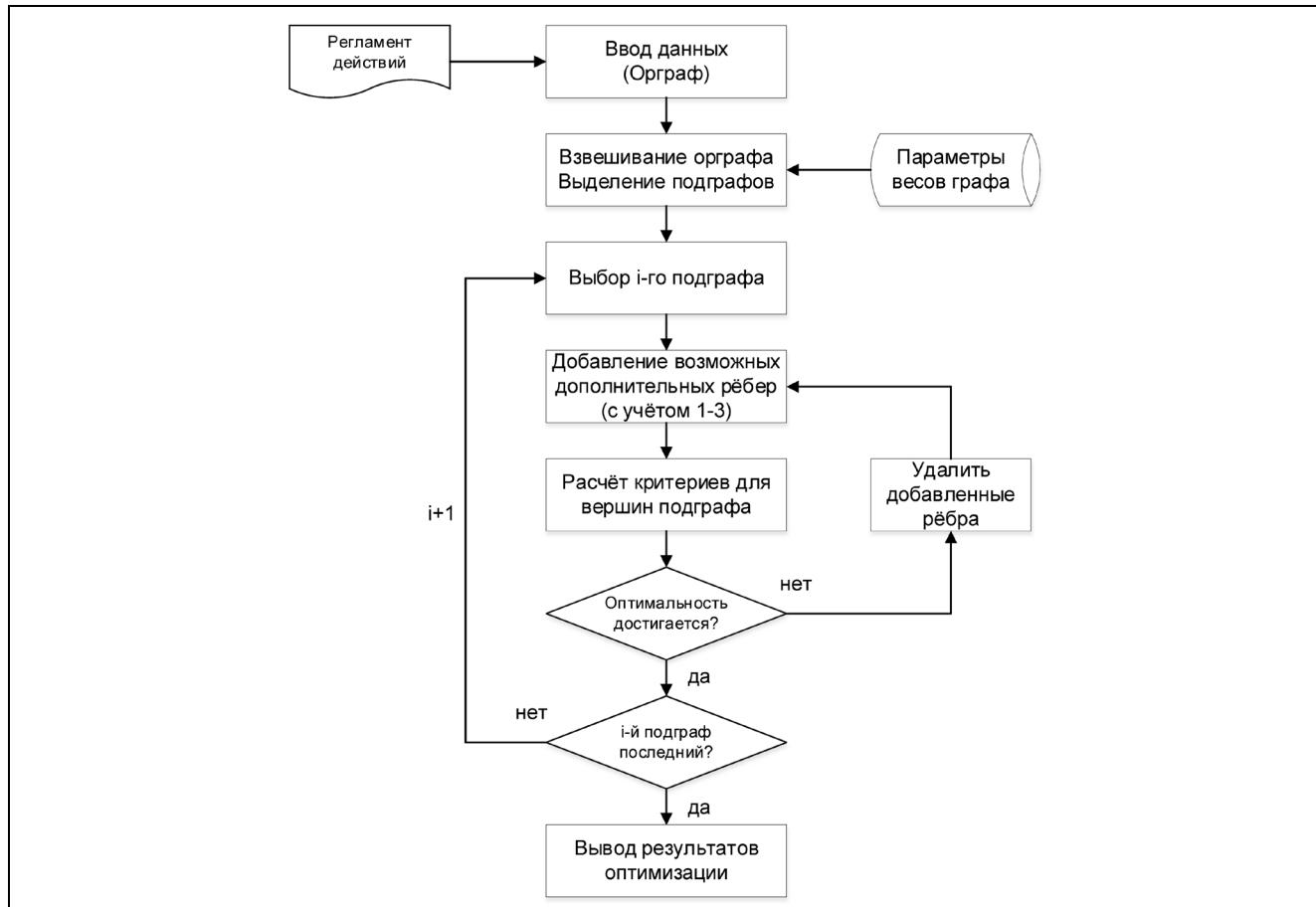


Рис. 4. Схема алгоритма оптимизации последовательности действий оператора

Fig. 4. Algorithm for optimizing the sequence of operator actions

Взвешивание графа осуществляется с помощью представленного ранее метода оптимизации действий оператора. Выделение подграфов осуществляется с помощью алгоритма, формирующего массив типа «сток-исток». Минимальный размер подграфа – три вершины (последовательный случай).

Перебор всех выделенных подграфов осуществляется с помощью циклов с движением от наименьших подграфов к наибольшим (по количеству вершин). Внутри основного цикла присутствует вложенный цикл, перебирающий возможные варианты оптимизации последовательности действий. Выбор оптимальности осуществляется на основании формирования множества парето-оптимальных решений. В конце предпочтение выдаётся решению с минимальным значением временного критерия.

После перебора всех подграфов предпочтение отдаётся решению с минимальным значением когнитивного критерия, что обусловлено необходимостью соблюдения ограничения на количество обрабатываемой информации.

Разработанный алгоритм был реализован на языке программирования Python, что обеспечивает его гибкость и удобство в использовании. Для обработки данных использовались библиотеки, предназначенные для работы с массивами и датасетами, такие как NumPy и pandas. Для анализа структур и построения графов была использована библиотека NetworkX. Также была реализована визуализация результатов с помощью библиотеки Matplotlib, что обеспечило наглядное представление данных.

Результаты моделирования

В качестве исходных данных для тестовых запусков программы были сформированы три графа, основанных на регламенте действий (см. «Исходные данные»). На рис. 5 представлены их визуализации и полученные варианты их оптимизации (дополнительные пунктирные дуги).

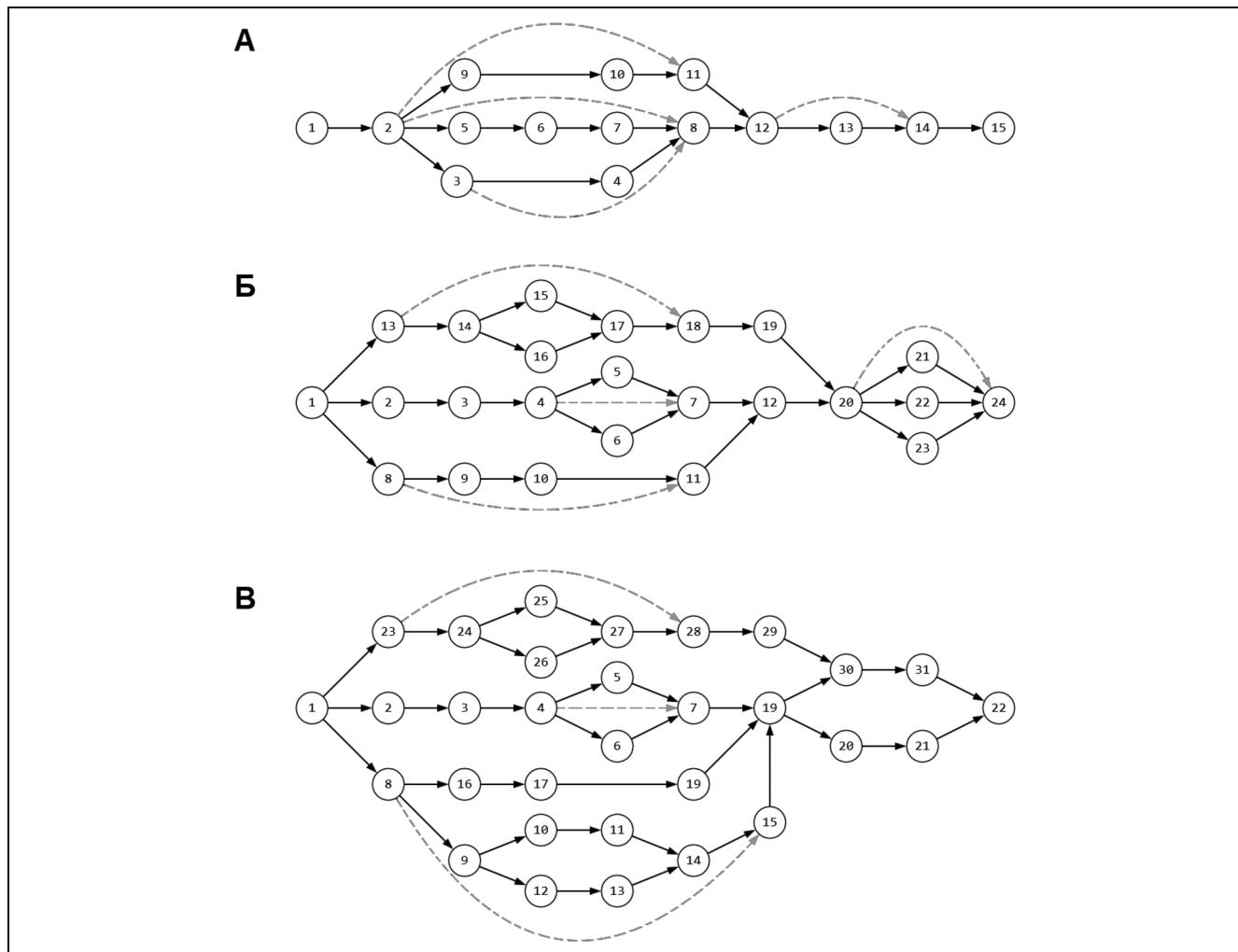


Рис. 5. Графы оптимизированных последовательностей действий оператора при проведении проверки функционирования СМКП

Fig. 5. Graphs of optimized sequences of operator actions during verification of the functioning of the space monitoring system

Анализ результатов осуществлялся по двум расчётным критериям:

- 1) среднее время выполнения последовательности действий;
- 2) средняя величина нагрузки на оператора.

Среднее время в рамках данной работы было оценено экспертами и представляло собой два основных параметра: время подготовки к действию (переход между рабочими окнами, взаимодействие с навигацией) и время анализа информации и принятия решений. Величина нагрузки на оператора оценивалась на основании закона Миллера (чем больше элементов в памяти, тем выше нагрузка).

В таблице представлены результаты работы алгоритма для трех ситуаций (А, Б, В), показанных на рис. 5.

Таблица. Результаты анализа работы алгоритма

Ситуация	Число сокращенных вершин	Среднее время выполнения последовательности действий, %	Средняя нагрузка на оператора, %
А	7	-20	+7
Б	11	-15	+9
В	12	-13	+12

Из таблицы следует, что оптимизация последовательных подграфов повышает нагрузку на оператора меньше, чем оптимизация параллельных подграфов. В то же время оптимизация больших подграфов (более 10 вершин) оказалась не эффективна, поскольку невозможно подобрать такие вспомогательные дуги, которые не нарушали принципов оптимизации.

Заключение

В ходе исследования был проведён анализ применения методов ИИ, в частности, машинного обучения и нейронных сетей, в СППР. Для анализа текстовой регламентирующей информации выбрана большая языковая модель BLOOM с открытым исходным кодом, позволяющая сформировать граф последовательности действий. Для анализа и оптимизации графа разработаны оригинальные метод и алгоритм оптимизации последовательности действий оператора, что позволяет повысить эффективность работы его работы за счёт совершенствования методов поддержки принятия решений.

Разработанная в рамках исследования программа позволяет сформировать оптимизированную последовательность действий оператора на основе многокритериального анализа (выбор парето-оптимальных решений). Результаты оптимизации могут быть использованы при проектировании СППР в части обоснования необходимости и достаточности отображаемой информации на экранах. К дальнейшим направлениям исследования относятся совершенствование разработанных метода и алгоритма, расширение базы критериев, а также формирование структуры и схемы ИСППР оператором радиотехнической системы.

Проведенное исследование вносит существенный вклад в развитие технологий поддержки принятия решений на основе методов ИИ и создает основу для дальнейших исследований в данной области.

Список источников

1. Толстых А.В. Обоснование необходимости информационной поддержки оператора радиолокационной автоматизированной измерительно-информационной системы, функционирующего в условиях неопределенности / Сб. ст. по материалам ВНТК, посвященной Дню образования войск связи. Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА». 2015. С. 214–216.
2. Садовникова Н.П., Парыгин Д.С., Щербаков М.В. Системы поддержки принятия решений: учеб. пособие. Волгоград: ВолгГТУ. 2021. 108 с.
3. Ларичев О.И., Петровский А.Б. Системы поддержки принятия решений: современное состояние и перспективы развития // Итоги науки и техники. Теория вероятностей. Математическая статистика. Теоретическая кибернетика. 1987. Т. 21. С. 131–164.
4. Зюзина А.Д., Мацеевич С.В., Воронин А.С., Мочалов М.Н. Современные системы визуализации текущей обстановки в ЗРК «Пэтриот» и интегрированной системе боевого управления IBCS // Вестник Воздушно-космической обороны. 2023. №4 (40). С. 119–126.
5. Савенков П.А. Использование методов и алгоритмов машинного обучения в системах поддержки принятия управлеченческих решений // Известия ТулГУ. Технические науки. 2019. № 2.
6. Михайлова С.С., Мацеевич С.В., Захаров А.С., Шарипов Д.А., Петровский А.В. Расчет показателей готовности выездных бригад на основе модели комплексных аварий на объектах критической инфраструктуры // Нелинейный мир. 2025. Т. 23. № 3. С. 15–24. DOI: <https://doi.org/10.18127/j20700970-202503-03>
7. Самойленко В.С., Федотова А.Ю. Архитектура интеллектуальной системы поддержки принятия решений // Международный научно-исследовательский журнал. 2024. № 8 (146). URL: <https://research-journal.org/archive/8-146-2024-august/10.60797/IRJ.2024.146.10> (дата обращения: 13.02.2025). DOI: 10.60797/IRJ.2024.146.10
8. Конев К.А. Машинное обучение для поддержки принятия решений в сфере качества на промышленном предприятии // Экономика. Информатика. 2023. № 3.

9. Ahmad, S.F., Han, H., Alam, M.M. et al. Impact of artificial intelligence on human loss in decision making, laziness and safety in education. *Humanit Soc Sci Commun* 10. 311 (2023). <https://doi.org/10.1057/s41599-023-01787-8>
10. Самойленко В.С., Федотова А.Ю. Архитектура интеллектуальной системы поддержки принятия решений // Международный научно-исследовательский журнал. 2024. № 8 (146). URL: <https://research-journal.org/archive/8-146-2024-august/10.60797/IRJ.2024.146.10> (дата обращения: 13.02.2025). DOI: 10.60797/IRJ.2024.146.10
11. Крошилин А.В., Бабкин А.В., Крошилина С.В. Особенности построения систем поддержки принятия решений на основе нечёткой логики // Информатика, телекоммуникации и управление. 2010. № 2 (97).
12. Мацеевич С.В., Захаров А.С., Владко У.А., Зюзина А.Д., Мочалов М.Н. Применение показателя когнитивной нагрузки графического элемента для обоснования требований к системе визуализации РЛС дальнего обнаружения // Научная визуализация. 2024. 16.3: 87–96. DOI: 10.26583/sv.16.3.09

Информация об авторах

Сергей Вячеславович Мацеевич – ассистент кафедры искусственного интеллекта факультета информационных технологий и анализа больших данных

SPIN-код: 5888-0320

Алина Константиновна Усачева – студент факультета информационных технологий и анализа больших данных

SPIN-код: не представлен

Александр Сергеевич Захаров – ассистент кафедры математики и анализа данных факультета информационных технологий и анализа больших данных

SPIN-код: 8991-7365

Статья поступила в редакцию 13.10.2025

Одобрена после рецензирования 22.10.2025

Принята к публикации 30.10.2025

Original article

A method for optimizing the actions of an operator of a space monitoring radar station based on graph representation

S.V. Matseevich¹, A.K. Usacheva², A.S. Zakharov³

¹⁻³ Financial University under the Government of the Russian Federation (Moscow, Russia)

¹ cvmac@mail.ru; ³ zakharov.as17@physics.msu.ru;

Abstract

An increase in the number of satellites in near-Earth space leads to an increase in the information processed by radar stations. At the same time, integration and decision-making based on the results of information processing lies with the dispatchers on duty. In the interests of reducing the level of cognitive load affecting operators, it is proposed to formalize a method for optimizing the actions of an operator of a space monitoring radar station based on a graphical representation. The analysis of the application of artificial intelligence methods, in particular machine learning and neural networks, in decision support systems is carried out. For the analysis of textual regulatory information, the large open source BLOOM language model has been selected, which makes it possible to form a graph of the sequence of actions. To analyze and optimize the graph, an original methodology and algorithm for optimizing the sequence of operator actions have been developed, which makes it possible to increase the efficiency of his work by improving decision support methods.

Keywords

Space monitoring center, radar stations, NP-complete graphs, intelligent module, graph theory

For citation

Matseevich S.V., Usacheva A.K., Zakharov A.S. A method for optimizing the actions of an operator of a space monitoring radar station based on graph representation. Neurocomputers. 2025. V. 27. № 6. P. 77–87. DOI: 10.18127/j19997493-202506-08 (in Russian).

References

1. Tolsty'x A.V. Obosnovanie neobxodimosti informacionnoj podderzhki operatora radiolokacionnoj avtomatizirovannoj izmeritel'no-informacionnoj sistemy', funkcioniruyushhego v usloviyakh neopredelennosti / Sb. st. po materialam VNTK, posvyashchennoj Dnyu obrazovaniya vojsk svyazi. Voronezh: VUNCz VVS «VVA». 2015. S. 214–216.
2. Sadovnikova N.P., Par'ygin D.S., Shherbakov M.V. Sistemy` podderzhki prinyatiya reshenij: ucheb. posobie. Volgograd: VolgGTU. 2021. 108 s.
3. Larichev O.I., Petrovskij A.B. Sistemy` podderzhki prinyatiya reshenij: sovremennoe sostoyanie i perspektivy` razvitiya. Itogi nauki i tekhniki. Teoriya veroyatnostej. Matematicheskaya statistika. Teoreticheskaya kibernetika. 1987. T. 21. S. 131–164.
4. Zyuzina A.D., Maceevich S.V., Voronin A.S., Mochalov M.N. Sovremennyye sistemy` vizualizacii tekushchey obstanovki v ZRK «Pe`triot» i integrirovannoj sisteme boevogo upravleniya IBCS. Vestnik Vozdushno-kosmicheskoy oborony'. 2023. №4 (40). S. 119–126.
5. Savenkov P.A. Ispol'zovanie metodov i algoritmov mashinnogo obucheniya v sistemakh podderzhki prinyatiya upravlencheskix reshenij. Izvestiya TulGU. Texnicheskie nauki. 2019. № 2.
6. Mixajlova S.S., Maceevich S.V., Zaxarov A.S., Sharipov D.A., Petrovskij A.V. Raschet pokazatelej gotovnosti vy`ezdny`x brigad na osnovе modeli kompleksny`x avarij na ob`ektaх kriticheskoy infrastruktury`. Nelinejn'yj mir. 2025. T. 23. № 3. S. 15–24. DOI: <https://doi.org/10.18127/j20700970-202503-03>
7. Samojlenko V.S., Fedotova A.Yu. Arxitektura intellektual'noj sistemy` podderzhki prinyatiya reshenij. Mezhdunarodny`j nauchno-issledovatel'skij zhurnal. 2024. № 8 (146). URL: <https://research-journal.org/archive/8-146-2024-august/10.60797/IRJ.2024.146.10> (data obrashheniya: 13.02.2025). DOI: 10.60797/IRJ.2024.146.10
8. Konev K.A. Mashinnoe obuchenie dlya podderzhki prinyatiya reshenij v sfere kachestva na promy`shlennom predpriyatii. E`konomika. Informatika. 2023. № 3.
9. Ahmad, S.F., Han, H., Alam, M.M. et al. Impact of artificial intelligence on human loss in decision making, laziness and safety in education. Humanit Soc Sci Commun 10. 311 (2023). <https://doi.org/10.1057/s41599-023-01787-8>
10. Samojlenko V.S., Fedotova A.Yu. Arxitektura intellektual'noj sistemy` podderzhki prinyatiya reshenij. Mezhdunarodny`j nauchno-issledovatel'skij zhurnal. 2024. № 8 (146). URL: <https://research-journal.org/archive/8-146-2024-august/10.60797/IRJ.2024.146.10> (data obrashheniya: 13.02.2025). DOI: 10.60797/IRJ.2024.146.10
11. Kroshilin A.V., Babkin A.V., Kroshilina S.V. Osobennosti postroeniya sistem podderzhki prinyatiya reshenij na osnove nechyotkoj logiki. Informatika, telekommunikaci i upravlenie. 2010. № 2 (97).
12. Maceevich S.V., Zaxarov A.S., Vladko U.A., Zyuzina A.D., Mochalov M.N. Primenenie pokazatelya kognitivnoj nagruzki graficheskogo e`lementa dlya obosnovaniya trebovaniy k sisteme vizualizacii RLS dal`nego obnaruzheniya. Nauchnaya vizualizaciya. 2024. 16.3: 87–96. DOI: 10.26583/sv.16.3.09

Information about the authors

Sergey V. Matseevich – Assistant of the Artificial Intelligence Department of the Faculty of Information Technologies and Big Data Analysis

Alina K. Usacheva – Student of the Faculty of Information Technologies and Big Data Analysis

Alexander S. Zakharov – Assistant of the Mathematics and Data Analysis Department of the Faculty of Information Technologies and Big Data Analysis

The article was submitted 13.10.2025

Approved after reviewing 22.10.2025

Accepted for publication 30.10.2025