

УДК: 004.942

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РЕАЛИЗАЦИИ ПОИСКОВЫХ ЗАПРОСОВ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ ДАТА-ЦЕНТРОВ ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ДИСКРЕТНО-СОБЫТИЙНОГО ПОДХОДА И МЕТОДА ВЫБОРА НЕЧЕТКИХ АЛЬТЕРНАТИВ

И.Б. Паращук, Л.А. Саяркин (Санкт-Петербург)

В фокусе внимания современных исследователей по-прежнему остаются задачи разработки эффективных методов и алгоритмов реализации поисковых запросов (РПЗ) пользователей дата-центров – ключевых элементов ИТ-инфраструктуры, как гражданского, так и военного назначения [1-3].

Процесс РПЗ представляет собой взаимоувязанную по целям совокупность процедур и механизмов информационного поиска, основанных на современных, зачастую интеллектуальных, технологиях распределенного поиска, инфокоммуникаций и распределенных вычислений.

Информационный поиск и, собственно, сама работа «поисковых машин», нацеленные на качественную РПЗ пользователей дата-центров гражданского и военного назначения (ВН), осуществляются, в том числе, за счет обмена информацией в рамках индивидуальных автоматизированных поисковых, вычислительных и телекоммуникационных процедур. При этом большое значение придается критериям качества РПЗ пользователей дата-центров ВН, среди которых пертинентность, релевантность и производительность информационного поиска используются чаще других [4-6].

В этой связи, безусловно, возрастает целесообразность и своевременность решения задач построения эффективных «поисковых машин» и алгоритмов, задач повышения качества РПЗ пользователей дата-центров ВН, задач реализации процедур оперативного (максимально быстрого) информационного поиска в больших массивах данных и в условиях недостаточной полноты и нечеткости анализируемой и запрашиваемой (искомой) пользователями информации.

Анализ современных и перспективных подходов к решению подобных задач, включающих моделирование процесса РПЗ и принятие решений по качеству информационного поиска, по нашему мнению, может и должно быть организовано с использованием имитационной модели на основе дискретно-событийного подхода в сочетании с методами выбора альтернатив, позволяющими учесть нечеткие отношения и предпочтения в рамках работы поисковых алгоритмов [4, 6-14].

Проанализируем известные модели РПЗ. При рассмотрении моделей процесса РПЗ традиционно говорят о нескольких распространенных классических моделях: булевых, пространственно-векторных (векторных) и вероятностных. Эти модели хорошо себя зарекомендовали с точки зрения моделирования отдельных средств РПЗ либо в их взаимосвязи в рамках РПЗ с релевантными объектами поисковых запросов.

Булевы, пространственно-векторные (векторные) и вероятностные модели способны достаточно детально описать объекты информационного поиска и средства РПЗ, организованных в поисковые структуры, опираясь, соответственно, на булеву логику (логические операторы), векторные величины или вероятностную меру. Но такие модели сложны и не учитывают объективную качественно-количественную (лингвистическую) неопределенность исходных данных для РПЗ, нечеткость параметров текущего состояния и итогов поиска, вызванные различного вида воздействиями,

нечеткие отношения предпочтения пользователей при выполнении поисковых запросов и другие виды нечеткости [15, 16].

Нечеткое описание исходных данных, процесса РПЗ пользователей дата-центров ВН и его итогов возможно в следующих основных случаях:

– когда система информационного поиска в интересах пользователей дата-центров ВН функционирует в нестационарных режимах, в условиях воздействия дестабилизирующих факторов, возникающих вследствие, например, природных катаклизмов, осмысленной деятельности мешающей антагонистической системы (противника);

– когда ограничения на ресурсы моделирования процесса РПЗ пользователей дата-центров ВН и отсутствие статистических данных о параметрах и результатах информационного поиска не позволяют получить четкую информацию о значениях характеристик качества поиска и вынуждают использовать нечеткую (лингвистическую) форму описания;

– когда присутствует неопределенность (нечеткость) целей РПЗ пользователей дата-центров ВН, т.е. когда есть ряд альтернативных вариантов итогов поиска и производится нечеткое оценивание их параметров (pertinentности, релевантности и производительности) с целью выбора лучшего. В этом случае задача РПЗ пользователей дата-центров ВН уже в исходном виде «погружена» в нечеткую среду.

Опираясь на имитационную дискретно-событийную модель процесса РПЗ в сочетании с математическим аппаратом теории нечетких множеств возможно построение оптимальных алгоритмов информационного поиска, повышение качества и оперативности РПЗ пользователей дата-центров ВН для случая стохастического оценивания их нечетких переменных (нечетких значений показателей качества информационного поиска) и идентификации параметров их функций принадлежности, определяемых всеми видами воздействий [16].

Иными словами, при решении подобных задач на помощь могут прийти имитационные методы моделирования и поддержки принятия решений по РПЗ, например, имитационные модели на основе дискретно-событийного подхода (ДСП) в сочетании с методами выбора альтернатив на базе математики нечетких отношений предпочтения (НОП).

Следует признать, что пока имитационные методы моделирования и поддержки принятия решений в сочетании с методами нечеткой математики при реализации подобных процессов, особенно, в военной сфере, не нашли широкого применения. Это связано как с трудностями их разработки и применения, так и с отсутствием готовых формализованных описаний сложных моделируемых процессов такого класса, а также с большими затратами временных ресурсов, требуемых для их претворения в жизнь [8].

Тем не менее, на наш взгляд, результаты анализа достоинств потенциального применения имитационного моделирования в сочетании с методами выбора альтернатив на базе математики нечетких отношений предпочтения свидетельствуют о перспективности и весомых преимуществах такого направления исследования процесса РПЗ пользователей дата-центров военного назначения.

Рассмотрим возможные перспективные подходы к РПЗ, например, с использованием имитационного моделирования. В рамках анализа перспектив имитационного моделирования процесса реализации поисковых запросов пользователей дата-центров военного назначения следует отметить, что направлениями совершенствования подобных подходов является не только расширение перечня моделируемых процедур и объектов релевантного информационного поиска, но и модернизация и интеллектуализация технологических подходов к имитационному

моделированию как самого процесса РПЗ, так и процедур обработки и визуализации (например, с использованием технологии виртуальной реальности) его результатов [8].

Одной из ключевых математических и методологических проблем создания и совершенствования имитационных моделей процесса РПЗ пользователей дата-центров ВН, по нашему мнению, является сочетание ДСП с методами выбора альтернатив на базе математики НОП. При этом под альтернативой следует понимать вариант результатов информационного поиска, который в той или иной мере соответствует целям запроса и предпочтениям пользователя, формировавшего запрос, удовлетворяет требованиям по pertinентности, релевантности и оперативности.

Рассмотрим некоторые проблемные аспекты дискретно-событийного подхода к имитационному моделированию процесса РПЗ в сочетании с методами выбора альтернатив, позволяющими учесть нечеткие отношения предпочтения пользователей в рамках работы поисковых алгоритмов.

Сопряженные и взаимодополняющие друг друга процедуры современного информационного поиска (формирование запроса, осуществление поиска, получение результата) при решении функциональных задач РПЗ пользователей дата-центров ВН образуют множественные и разнообразные по своей физической природе подпроцессы, каждый из которых характеризуется начальным и конечным состоянием и возникающими в соответствии с этим действиями, явлениями и событиями.

Результаты структурного анализа подпроцессов информационного поиска свидетельствуют о том, что большинство из них в той или иной степени носят дистрибуционный (т.е., поставочный, логистический, типа «цепочка поставок» запрашиваемых данных пользователю) характер. При этом они образуют единый процесс РПЗ пользователей дата-центров ВН, связанный, преимущественно, с оперативной доставочной логистикой затребованных данных пользователям и качественными поисковыми алгоритмами, учитывающими их нечеткие отношения предпочтения.

Важным свойством процесса РПЗ пользователей дата-центров ВН, безусловно, является комплексный характер его поисково-дистрибуционных (доставочных, информационно-логистических) признаков, а также комплексный характер нечеткости анализируемой и запрашиваемой (искомой) пользователями информации, присущие всем уровням и подпроцессам информационного поиска.

Это свойство, глубокая взаимосвязь отдельных этапов реализуемых подпроцессов, составляющих основу общего процесса РПЗ пользователей дата-центров ВН, обуславливает тот факт, что во многих практических ситуациях исследования и совершенствования современных процедур релевантного информационного поиска, применение методов классического аналитического моделирования проблематично.

Проблемы применения методов аналитического моделирования для адекватного описания сложных многоуровневых информационно-логистических процессов, таких, как процесс РПЗ пользователей дата-центров ВН, связаны, в основном, с недостатком корректных аналитических (включая, статистические) данных для адекватного математического описания зависимостей между параметрами данного описываемого процесса, с большим объемом и различной степенью неопределенности исходных данных, с необходимостью привлечения для корректного аналитического моделирования значительного числа экспертных оценок [8, 15].

Рассмотрим особенности предлагаемого подхода. С учетом рассмотренных особенностей и проблем, представляется целесообразным использование для описания и анализа процесса РПЗ пользователей дата-центров ВН с учетом неопределенности (нечеткости) исходных данных общепринятого дискретно-событийного подхода к имитационному моделированию в сочетании с элементами выбора нечетких альтернатив

и предпочтений. Традиционный ДСП к имитационному моделированию сложных процессов, протекающих, в том числе, в военной сфере, позволит взглянуть на процесс РПЗ пользователей дата-центров ВН как на последовательность операций в единой функциональной среде. Причем, такое моделирование предполагает прогнозируемое (заведомо известное) течение подпроцессов информационного поиска в соответствии с их функциональными целями реализации поисковых запросов [8, 17].

Сочетание ДСП с методами выбора альтернатив на базе математики нечетких отношений предпочтения позволит нивелировать неопределенность (нечеткость) результатов (нечеткость соответствия целям запроса) информационного поиска, нечеткость предпочтений пользователя, формировавшего запрос, позволит снизить степень неопределенности удовлетворения требованиям по пертинентности, релевантности и оперативности поиска [13, 14].

Специфика моделируемого процесса РПЗ и разнообразие аспектов (граней) нечеткости исходных данных определяют различные варианты реализации моделирования на основе ДСП и разного рода механизмы преобразования нечетких множеств, включая алгоритмы выбора альтернатив на базе математики НОП.

С учетом особенностей процесса РПЗ пользователей дата-центров ВН для разработки имитационной модели на основе ДСП и с учетом нечеткости исходных данных сам процесс моделирования, на наш взгляд, должен опираться на определенные постулаты.

Учитывая уровень детализации процесса РПЗ пользователей дата-центров ВН, в рамках имитационной модели должны моделироваться процедуры взаимодействия двух типовых объектов – объектов информационного поиска или информационных объектов (ИО), являющихся целью РПЗ, и объектов-подпроцессов (операций) информационного поиска, составляющих функциональное (по этапам) содержание общего процесса реализации поисковых запросов.

Объект информационного поиска или ИО может представлять собой материальный, контентный вид ресурса, поиск которого осуществляется в рамках процесса РПЗ пользователей дата-центров ВН. Это, по сути, материальный ИО, представляющий собой искомую пользователем и нужную ему конкретную систему сигналов и знаков, генерируемую средствами отображения информации.

Например, в качестве объектов информационного поиска или ИО могут рассматриваться:

- текстовые документы различного рода;
- сведения об их наличии и (или) местонахождении;
- фактографическая информация;
- мультимедийный контент (фото, аудио, видео, иные изображения) и др.

При этом в теории имитационного моделирования на основе ДСП предусматривается, что объекты информационного поиска или ИО (часто называемые объектами-ресурсами), могут находиться в некоторых состояниях или переходить в них (или выходить из этих состояний): инициация (возникновение), хранение, поиск (перемещение) и диссипация (прекращение, пропадание, исчезновение) [8].

Предполагается, что инициация (возникновение) и диссипация (прекращение, пропадание) объекта информационного поиска в рамках имитационного моделирования процесса РПЗ на основе ДСП происходят одномоментно и напрямую связано с пороговыми (рубежными) событиями моделируемого процесса.

Например, если при моделировании процесса РПЗ на поиск конкретного текстового документа объект-подпроцесс (этап, операция) его доставки пользователю не рассматривается, то пороговыми (рубежными) событиями моделируемого поискового

процесса являются момент получения найденного и доставленного документа пользователем и момент его использования (применения, прочтения).

Соответственно, при наступлении события доставки пользователю объектом-подпроцессом, например, того же конкретного текстового документа, как результата поиска, этот результат инициируется (возникает) в моделируемом процессе. А после его использования (прочтения) пользователем – диссипатирует (исчезает), так как в границы рассматриваемого процесса не входит моделирование его дальнейшего движения.

При построении имитационной модели процесса РПЗ необходимо учесть тот факт, что информационный поиск в рамках подобного процесса принято разделять на четыре вида (библиографический, документальный, фактографический и аналитический), а также учесть принятую на практике последовательность типовых подпроцессов (операций), направленных на сбор, обработку и предоставление информации пользователям дата-центров ВН:

- формирование запроса – определение (уточнение) информационной потребности и формулировка информационного запроса;
- поиск – определение совокупности возможных мест размещения и хранения (держателей) информационных массивов (источников);
- доставка – извлечение информации из выявленных информационных массивов и предоставление пользователю;
- ознакомление пользователя – рассмотрение пользователем полученной информацией и оценка результатов поиска.

Важно заметить, что другим типом объектов, взаимодействующих с объектами информационного поиска и между собой в рамках имитационной модели, являются типовые объекты – объекты-подпроцессы (операции) информационного поиска, составляющие функциональное (по этапам) содержание общего процесса РПЗ. Среди объектов-подпроцессов можно выделить:

- подпроцессы-источники (связаны с инициацией (возникновением) объектов информационного поиска);
- подпроцессы-накопители (хранение объектов информационного поиска);
- подпроцессы-поисковики (определяют возможные алгоритмы поиска ИО);
- подпроцессы-доставщики (определяют возможные маршруты доставки найденных объектов информационного поиска пользователям);
- подпроцессы-потребители (связаны с диссипацией объектов поиска);
- вспомогательные подпроцессы (связаны с передачей объектов информационного поиска от одного объекта-подпроцесса другому).

С помощью объектов-подпроцессов (операций) осуществляется изменение состояний объектов информационного поиска в моделируемом процессе РПЗ пользователей дата-центров военного назначения.

Основы имитационного моделирования процесса РПЗ на базе ДСП должны, кроме прочего, учитывать нечеткость исходных данных. Действительно, при реализации всех рассмотренных ранее подпроцессов (операций), лингвистическая неопределенность формулировки целей запроса, нечеткость идентификации мест хранения нужных данных и иные виды нечеткости проявляются на практике повсеместно. Это проявляется, как при формировании запроса, поиске ИО, их доставке, и ознакомлении пользователя (его субъективное мнение), так и при оценке результатов поиска – анализе оперативности получения, релевантности и пертинентности доставленных пользователю данных.

Именно поэтому предлагается подход, ориентированный на построение имитационной модели процесса РПЗ не только на основе дискретно-событийного подхода, но и в сочетании с методами выбора альтернатив на базе математики нечетких отношений предпочтения. Данные методы известны, апробированы в задачах принятия

сложных решений по информационному поиску в нечеткой среде и хорошо себя зарекомендовали [4, 6, 7, 13, 14].

Применение известных методов выбора альтернатив на базе математики нечетких отношений предпочтения на различных этапах (в рамках различных объектов-подпроцессов) позволит, в случае необходимости, нивелировать проблемы принятия решений в рамках РПЗ, заключающиеся в постановке пользователем несоизмеримых и, зачастую, противоречащих друг другу целей информационного поиска. Более того, это позволит моделировать процесс РПЗ с учетом иногда возникающих множеств возможных равновесных значений критериев поиска при сравнении альтернатив.

В рамках практической проверки и апробации предложенного подхода проведен ряд полунатурных поисково-вычислительных экспериментов с использованием (в качестве примера) известного «поисковика» Яндекса «Магадан 2.0» и исходных данных о предпочтениях пользователей, полученных с учетом экспертных мнений нескольких незаинтересованных в результатах специалистов. Этим специалистов (экспертов) попросили сформулировать (в виде математической функции предпочтения) их субъективное мнение, позволяющее, на их взгляд, оценить результаты поиска с помощью данного поискового алгоритма, в частности – релевантность доставленных пользователю данных по произвольному запросу.

Анализ полученных результатов (численных значений весов, характеризующих доминирующие альтернативы) показал, что сочетание дискретно-событийного подхода с методами выбора альтернатив позволяет свести задачу к моделям многокритериальных альтернатив и алгоритмам выбора в нечеткой среде с использованием нечетких методов обработки отношений предпочтения для анализа этих моделей, что, в конечном итоге, позволяет максимально четко, однозначно отделить доминирующие альтернативы при оценке релевантности доставляемых пользователю данных, при оценке достижения цели конкретного информационного поиска.

В качестве вывода необходимо отметить, что использование методов и алгоритмов определения нечеткого отношения предпочтения в сочетании с традиционной имитационной моделью на основе ДСП, позволит в рамках этой модели определить важность весов критериев оценки качества РПЗ и разграничить значимость возможных альтернатив на всех этапах поиска.

Это, в конечном итоге, позволит создать унифицированную модель, сочетающую в себе современное представление об имитационном моделировании сложных процессов с моделированием многокритериальных доминирующих альтернатив и выбора в нечеткой среде на основе использованием нечетких методов отношения предпочтения для повышения качества реализации поисковых запросов пользователей дата-центров военного назначения.

Литература

1. **Румянцев Ю.В., Акулов С.В., Гурова В.А.** Центры обработки данных. М.: Изд. «Русатом – цифровые решения». 2020. – 40 с.
2. **Прохоров А.Н., Рахматуллин С.С.** Центры обработки данных. Анализ, тренды, мировой опыт. Изд. первое. М.: ООО «АльянсПринт», 2021. – 416 с.
3. **Аврамов Л., Портолани М.** Центры обработки данных на основе политик и АСІ Cisco: структура, концепции и методология. М.: Вильямс. 2015. – 384 с.
4. **Саяркин Л.А., Паращук И.Б., Владимирова Е.С.** Этапы и особенности разработки методики повышения качества информационного поиска на ресурсах современных центров обработки данных с использованием нечетких отношений предпочтения и сравнения альтернатив // Информация и космос. № 1,2024. С.38-45.

5. **Мионов А.Л., Мионова Г.В.** Соотношение релевантности и пертинентности поисковой выдачи // *Материалы Национальной научно-практической конференции с международным участием «Актуальные проблемы агроинженерии в XXI веке»*. п. Майский: ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, 2023. С. 257-260.
6. **Паращук И.Б., Михайличенко А.В., Саяркин Л.А.** Реализация поисковых информационных запросов в крупных дата-центрах с использованием математических методов теории нечетких множеств // *Системы синхронизации, формирования и обработки сигналов (СинхроИнфо)*. Т. 15, № 3, 2024. С. 20-27.
7. **Крюкова Е.С., Паращук И.Б., Саяркин Л.А.** Элементы вычисления нечетких отношений предпочтения и сравнения альтернатив в приложении к задачам синтеза системы показателей качества реализации поисковых запросов пользователей дата-центров и электронных библиотек // *Прикаспийский журнал: Управление и высокие технологии*. 2024. № 1 (65). С. 9-16.
8. **Антипова С.А., Лабец В.В., Филяев М.П.** Перспективы применения интеллектуальных информационных технологий в системе материально-технического обеспечения Вооруженных сил Российской Федерации: монография / Под общ. ред. В.В. Лабец. СПб.: ВАМТО, 2022. – 261 с.
9. **Сорокин Д.Э.** DVCompute Simulator для дискретно-событийного моделирования // *Прикладная информатика*. 2021. Т. 16. №3. С. 93-108.
10. **Худякова Е.В., Липатов А.А.** Имитационное моделирование процессов и систем в АПК: учебник. М: ИКЦ «Колос-С», 2021. – 256 с.
11. **Маликов Р.Ф.** Практикум по имитационному моделированию сложных систем в среде AnyLogic 6: учеб. пособие. Уфа: Изд-во БГПУ, 2013. – 296 с.
12. **Даденков С.А., Кон Е.Л.** Анализ моделей и методов агентного и дискретно-событийного имитационного моделирования // *Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ»*. №5, 2015. С. 35-41.
13. **Винокуров А.С., Белов И.В., Баженов Р.И.** Использование метода нечеткого отношения предпочтения для принятия оптимального решения по выбору цифрового фотоаппарата // *Современная техника и технологии*. 2014. №11 [Электронный ресурс]. URL: [https:// technology.snauka.ru/2014/11/4868](https://technology.snauka.ru/2014/11/4868) (дата обращения: 10.05.2024).
14. **Трушина В.П., Осипов А.Л.** Информационные технологии многокритериального выбора альтернатив на основе нечеткого отношения предпочтения // *Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации. Сборник научных трудов XII-ой Международной научно-практической конференции в 4-х томах. Том 4*. Курск: 2015. С. 150-153.
15. **Котов Э.М., Целых А.Н.** Исследование моделей информационного поиска // *Известия Южного фед. унив-та. Технические науки*. № 4 (93). 2009. С.163-168.
16. **Лисицына Л.С.** Основы теории нечетких множеств. СПб: Университет ИТМО, 2020. – 74 с.
17. **Воробьев А.А., Филяев М.П., Якшин А.С.** Дискретно-событийное имитационное моделирование процессов материально-технического обеспечения войск (сил) // *Наука и военная безопасность*. Омск: ОАБИИ, вып.1 (16), 2019. С. 76-82.