

О логико-игровом подходе к проблемам работы с большими данными

Р.В. Хелемендик¹

¹ *Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН*

Аннотация. При работе с большими данными рассматриваются проблемы поиска, представления, систематизации, актуализации, анализа информации, применения искусственного интеллекта, коммуникации, верификации и понимания выводов. Приведены примеры решений некоторых аспектов этих проблем, показанные при организации работы с информацией в шахматах. Предложен так называемый логико-игровой подход, предоставляющий пути адаптации и формализации решений для достаточно широкого круга задач с большими данными.

Ключевые слова: большие данные, логический анализ, логика ветвящегося времени, шахматы

On the logic-game approach to the problems of working with big data

R.V. Khelemendik¹

¹ *Keldysh Institute of Applied Mathematics (Russian Academy of Sciences)*

Abstract. When working with big data, the problems of search, presentation, systematization, updating, analysis of information, application of artificial intelligence, communication, verification and understanding of conclusions are considered. Examples of solutions to some aspects of these problems, shown in the organization of work with information in chess, are given. The so-called logic-game approach is proposed, which provides ways to adapt and formalize solutions for a fairly wide range of problems with big data.

Keywords: big data, logical analysis, computation tree logic, chess

1. Введение

В данной работе большие данные (big data) понимаются как структурированные и неструктурированные большие массивы информации, а также подходы и методы их обработки и использования. К ним можно отнести, например, справочные таблицы, научные библиотеки,

списки статей (в том числе с метаданными), обзоров и т.д. Примерами big data могут быть большие объемы результатов вычислений (числовых, символьных, в том числе промежуточных), аналитических модулей, файлов-протоколов данных измерительно-управляющих систем, и т.д. Вариантами больших данных могут также служить формулировки утверждений и выводов, детализация и проверка которых сопряжена с получением вообще говоря больших массивов информации, причем их размер в явном виде становится известен позднее: например, гипотезы и утверждения из теории чисел, требующие ресурсоемких вычислений, системы продукций, верификация доказательств, правила перебора вариантов, автоматическое доказательство теорем, и т.д. В приведенном описании не указаны числовые границы объема, начиная с которого данные считаются большими. Мы полагаем, что такого рода границы индивидуальны для разного рода объектов, а также зависят от быстро меняющегося общего состояния программно-аппаратного обеспечения и возможностей его использования.

В данной статье описываются представляющиеся нам актуальными проблемы работы с большими данными, показываются примеры их решений в шахматах и предлагается логико-игровой подход в целях расширения сферы применения подходящих решений.

2. Проблемы работы с большими данными

Рассмотрим следующие проблемы, возникающие при работе с большими данными.

Поиск информации. Эта проблема включает в себя следующие вопросы. Где искать информацию? Насколько актуальна информация, к которой есть доступ, и насколько важна в конкретном случае актуальность этой информации? Насколько конкретно сформулирован запрос на поиск информации и сформулирован ли он вообще? Каковы критерии по объему, полноте и точности полученной по запросу информации? Насколько достоверной может считаться полученная по запросу информация?

Представление информации. Представления больших данных в разных областях существенно различаются по содержанию, форме, специальным форматам, возможностям их совместимости. При этом у поставщиков, пользователей, аналитиков элементов больших данных бывают и свои собственные формы их представления. Поэтому одной из проблем способов представления информации является трудность их согласования в указанном смысле. Следующая проблема возникает тогда, когда искомая информация уже получена, но представлена в виде, мало пригодном для понимания и дальнейшей работы, или ее приведение к подходящему формату требует серьезных усилий.

Систематизация информации. Мы выделим организационные и содержательные аспекты систематизации. Если информация находится в

печатном виде, то она оцифрована полностью или частично? Если она оцифрована, то находится в графическом виде или символьном, в каком формате? Насколько полны и эффективны каталоги информации, и в каком они виде? В содержательном плане важны вопросы систематизации информации по результатам ее поиска из разных источников. Так, известные классификаторы информации, например УДК, не всегда позволяют организовать подходящую систему для работы с информацией, а часто в текстах вообще отсутствуют. Кроме того, в самих текстах, листингах программ, исследованиях, доказательствах, результатах вычислений необходима систематизация информации, присущая данной конкретной области.

Актуализация информации. Такая проблема очевидна для многих систем, работающих в режиме реального времени, для вычислений, результатов датчиков измерительно-управляющих систем. Пути развития актуализации информации в научных исследованиях представлены в цикле работ «Живая публикация» (см. [1]). В современных условиях актуальность информации имеет все большее значение. Так, для двух сторон, работающих по проекту в кооперации, но имеющих информацию разной степени актуальности, могут возникать серьезные недоразумения, особенно тогда, когда эта проблема не осознается или всплывает внезапно. Напротив, для двух конкурирующих сторон владение более актуальной информацией обычно дает преимущество. Говоря об актуальности информации, необходимо отметить и степень ее существенности для конкретных задач и работников по данной теме.

Анализ информации. В анализ информации часто включаются вопросы поиска, представления, систематизации информации, верификации и др. В этом пункте в анализе информации мы выделим постановку и получение ответов на некоторые типовые вопросы. Например, существует ли для данного условия (ситуации взаимодействия) решение (подходящая стратегия)? В случае существования это решение (стратегия) должно быть предъявлено, а в случае отсутствия отрицательный ответ тоже должен быть обоснован. Если же точный ответ на поставленный вопрос не известен или его получение связано с большими трудозатратами, то какими могут быть перспективы анализа информации? Такой подход к проблеме анализа предъявляет существенные требования как к методам исследования, так и к полноте информации. А это в свою очередь повышает важность успешного решения проблем поиска информации, ее представления, и т.д.

Применение искусственного интеллекта. Методы искусственного интеллекта (ИИ) и его применение в работе с big data представляют собой самостоятельное большое направление. Ниже мы рассмотрим следующие возникающие при этом проблемы взаимодействия с ИИ. В какой мере в конкретных случаях можно доверять результатам ИИ? Следовать его

(иногда навязчивым) рекомендациям? Типы взаимодействия с ИИ – противоборство и сотрудничество: каковы положительные и отрицательные стороны такого взаимодействия?

Коммуникация. С ростом количества, разнообразия и методов обработки больших данных возникает проблема коммуникации. Коммуникация с точки зрения данных – это вопросы их расположения, транспортировки, оперативной доступности и др. Коммуникация с точки зрения человека – это новые формы общения с информацией, коллегами, текстами, программным обеспечением. Во многих случаях эти формы предполагают в той или иной степени изучение специальных форматов данных, формальных языков, теорий, что требует дополнительных усилий и ресурсов. Освоение языка, характерного для конкретной области big data коммуникацию улучшает, но с другой стороны приводит к образованию «корпоративно» замкнутой области профессионалов, коммуникация которых со специалистами из вроде бы близких по теме областей представляет собой новую проблему.

Верификация и понимание выводов. Как видно из названия, данная проблема состоит из двух частей, рассматриваемых нами совместно. Под верификацией утверждений, символьных и числовых вычислений, построений выводов (доказательств), проверки решений и т.п. мы понимаем прежде всего проверку их правильности. Однако во многих случаях такая проверка существенно затруднена пропусками промежуточных выводов, малой детализацией, недостаточным разбором случаев и т.д. Восстановление таких пропусков требует понимания выводов в данной области и во многом зависит от степени погружения в конкретную задачу: тогда понимание улучшает верификацию. В то же время проверка правильности и понимание содержания – это вообще говоря два различных процесса со своими особенностями и спецификой внимания. Поэтому зачастую встречаются ситуации, в которых верификация прошла успешно, но многое осталось непонятным; и наоборот, понимание есть, но некоторые выводы не детализированы, вызывают сомнения.

В описании проблем работы с большими данными мы не упомянули про многие другие важные вопросы – горизонтальное масштабирование, распараллеливание, машинное обучение, и т.д. Кроме того, работа с big data обычно предполагает специальную подготовку, программно-аппаратное обеспечение, доступ к высокопроизводительным ресурсам. Тем не менее, в следующем разделе мы покажем решения некоторых аспектов описанных проблем на примере шахмат с использованием небольших вычислительных ресурсов и относительно несложных технологий.

3. Решения некоторых проблем работы с большими данными в шахматах

Начиная с середины прошлого века, шахматы служат одним из модельных объектов отработки технологий работы с большими данными. Так, во время второй мировой войны ведущие шахматисты Великобритании во главе с Хью Александером (сменившим на посту руководителя Алана Тьюринга) на вычислительных устройствах того времени успешно раскалывали немецкие шифры (см. [2]). А коллега Александера, гроссмейстер Ройбен Файн, анализируя большие по тем временам данные, занимался разработками теории исследования операций (в секретной группе учёных при ВМФ США – ASWORG), в частности, изучением различных аспектов борьбы с подводными лодками, самолётами противника (см. [2] и еще 9 публикаций В.И. Нейштадта по обеим темам на указанном сайте). В последовавшее затем мирное время в СССР многократный чемпион мира М.М. Ботвинник создавал алгоритм и компьютерную программу, моделирующую мышление шахматного мастера (см. [3]), для последующего применения в других областях, например в экономике.

В данной статье в шахматах нас интересуют прежде всего большие данные. Насколько они большие? Если смотреть с точки зрения позиций и ограничиться не более чем 7 фигурными окончаниями, то их общее число превосходит 500 триллионов, причем все такие позиции посчитаны (см. [4]) до точной оценки, т.е. мата или ничьей (см. ниже). С точки же зрения количества партий счет идет на многие миллиарды: еще в апреле 2020 года только на сайте chess.com отмечен официальный рекорд: пользователи за день сыграли 5 миллионов партий.

Займемся теперь поиском информации. Поиск информации может быть проведен, например, по конкретному шахматисту (множеству шахматистов), по дебютам, по конкретным позициям, классам окончаний (эндшпилей). Этот поиск возможен как по большим внешним базам, так и внутри организуемых пользователем локальных баз, загружаемых на персональный компьютер (ПК) или мобильное устройство (МУ – телефон, планшет) в специальные программы работы с шахматной информацией¹. Поиск шахматной информации занимает малое время несмотря на ее постоянное пополнение и актуализацию; причем иногда именно возможности поиска играют решающую роль в последующем принятии решений².

¹ Например, можно выбрать находящиеся в открытом доступе оболочку Arena (для МУ с ОС Android подходит оболочка «Шахматы для всех») и движок Stockfish; их установка занимает несколько минут.

² Так, будущий победитель турнира претендентов Ян Непомнящий был вынужден отказаться от применения подготовленного его командой (с

Для представления информации в шахматах используются форматы данных, среди которых выделим широко применяемые форматы FEN (Forsyth-Edwards notation – см. [5]) и PGN (portable game notation – см. [6]). Первый из этих форматов позволяет однозначно кодировать любую позицию строкой символов, чтобы затем, например, изображать ее на шахматной диаграмме. Второй формат служит для работы с текстами шахматных партий (вместе с возможными комментариями и вариантами), включая дополнительную информацию (аналог метаданных) о каждой партии: имена (фамилии) партнеров, рейтинги, дату, результат, дебют (вместе с его индексом), и др. Формат pgn является одним из общепринятых для записи, хранения, оцифровки (в том числе партий прошлого, шахматных книг, анализов) и воспроизведения партий. Так, например, во фрагменте 21-й партии матча Капабланка-Алехин, рассматриваемом в двухтомнике Ю.П. Попова и Ю.В. Пухначева (см. [7], стр. 47–48), исходная позиция (после 26-го хода белых) в формате FEN имеет вид «2r3k1/5pp1/p3pb1p/1p1q4/PPn5/1Q2PNB1/5PPP/2R3K1 b - - 2 26», а саму партию в pgn-формате можно найти по базам партий³, скачать и посмотреть ее в программе, т.е., в оболочке с оценками и рекомендациями движка (или встроенного движка на сайтах chess.com, lichess.org и др.).

Систематизировать информацию, партии можно по конкретным позициям, задавая их в критериях поиска – так часто создаются базы данных по конкретным дебютным вариантам. Есть свои пути систематизации для позиций миттельшпиля (середины игры), эндшпиля. Отметим, что современная система представления информации сохраняет все источники информации прошлого, вместе с тем предоставляя новые возможности, поэтому ее успешно освоили те, кто работает с шахматной информацией более полувека и ранее привык к прежней системе (книги, картотека, обычная доска с деревянными фигурами). Кроме того, систематизированная информация существенно повышает качество работы – не только в организационном плане, но и в содержательном. В настоящее время практически ни одна серьезная шахматная книга, обзор, анализ, подготовка материалов не выходят без «прогонки» (простейшей проверки) на движках на предмет наличия грубых шахматных ошибок («зевков»), от которых не застрахованы даже сильнейшие шахматисты мира.

В актуализации шахматной информации мы выделим два направления – пополнение информации и переосмысление информации. В первом из них шахматные партии, книги, статьи добавляются и представляют в своей основе новую информацию. При этом с каждым

большими трудозатратами) дебютного направления только из-за того, что накануне турнира новинка оказалась «засвеченной» в онлайн-турнире.

³ Например, на сайтах chess.com, chessgames.com, chesspro.ru и др.

годом все больше информации добавляется в режиме реального времени. Помимо онлайн-турниров ведутся трансляции партий из многих оффлайн-турниров. Например, партии широкого круга турниров (в том числе детских, ветеранских) транслируются на сайте chessbomb.com. При этом в некоторых случаях ввиду особой актуальности конкретной информации шахматными арбитрами или национальными федерациями вводятся специальные задержки и ограничения на трансляцию и доступ к текстам партий. В случае задержек это вызвано борьбой с читерством, а в случае ограничения доступа – с намерением до поры до времени скрыть актуальную информацию от конкурентов⁴. Во втором направлении информация актуализируется после ее обработки и осмысления. Так, например, если в сложной позиции в результате анализа обнаружен сильный ход и стратегия (комбинация), ведущая к победе (форсированному мату) или большому перевесу, то для этой позиции другие партии и варианты с другой альтернативой этому ходу обычно перестают быть актуальными.

В анализе шахматной информации рассмотрим прежде всего анализ позиций, поскольку каждая партия представляет собой последовательность меняющихся после каждого хода позиций. Точный анализ шахматной позиции предполагает получение ее конечной точной оценки, т.е. выиграют ли в этой позиции белые (черные), или будет ничья при сильнейшей игре сторон вместе с указанием такой игры. Позиций с точной оценкой (в шахматной терминологии – математически выигранных, либо ничейных) известно достаточно много и они постоянно пополняются. Однако для основной части шахматных позиций точная оценка пока не известна, либо не верифицирована, не воспринята, а в некоторых ситуациях не актуальна. Почти все современные шахматные движки для позиции (кроме случаев обращения к базам точных малофигурных окончаний, форсированного мата, полных разменов и др.) выдают оценку в виде действительного числа, в котором за единицу измерения принята «цена» пешки. Такая «приближенная» оценка часто помогает получить и пересматривать (установленные в до компьютерную эпоху) точные оценки, но сама по себе не всегда достаточна. Так, например, оценка +1,5 может быть для двух типов точных позиций: «белые выигрывают», «черные делают ничью», и в аналитическом обзоре [7] гроссмейстера и выпускника физического факультета МГУ С.Ю. Шипова приведены десятки позиций, в которых ошибаются современные движки.

Под искусственным интеллектом в шахматах понимается применение программ, движков, обучающих систем и т.д. При

⁴ Например, уже на первенстве России среди детей до 11 лет партии высшей лиги не попадают в открытый доступ до детского первенства мира, чтобы затруднить к нему подготовку конкурентов из других стран.

взаимодействии с ИИ по типу сотрудничества можно выделить два пути: «доверяй, но проверяй» и «сделал сам, проверь с ИИ». В первом направлении мы в основном следуем рекомендациям компьютера, попутно проверяя предложенные им ходы, оценки, варианты, при прочих равных условиях выбирая из них «по-человечески» более понятные и разумные. Во втором случае основную работу по анализу информации проводит человек (иногда разыгрывая позицию с движком), а затем сверяет свои выводы с рекомендациями ИИ (в частности, на материале сыгранных партий и разыгранных вариантов). В отношении к ИИ возможны крайности: от полного отвержения ИИ, ведущего к «дырам» в анализе и последующим «зевкам» (грубым ошибкам) в игре, – до слепого доверия, зазубривания, часто приводящего к неспособности принятия самостоятельных решений, а иногда и к читерству (получению компьютерных подсказок в турнирной партии – запрещено правилами ФИДЕ). От нахождения разумного баланса во взаимодействии с ИИ во многом зависят скорость, качество и практическая применимость проделанной работы с шахматной информацией. При этом если в простейших случаях применения ИИ достаточно (интерактивной) «прогонки» позиций, то для более серьезной работы (назовем ее «суперанализом» – по аналогии с суперкомпиляцией, рассматриваемой в работе [9]) необходимы рефлексия, управление совместным с ИИ анализом, выход на метауровень.

Коммуникация в шахматах с точки зрения информации во время партии в соревнованиях запрещена. Однако она играет важнейшую роль в периоды подготовки к партии и затем ее анализа, например «по горячим следам». В настоящее время как ведущие шахматисты мира, так и рядовые мастера, проводят аналогию между шахматной партией с конкретным противником и экзаменом по заданной теме. Так, до партии шахматист обычно должен подготовить или повторить к конкретному сопернику (на основе базы его партий) несколько своих дебютов (т.е. «подготовиться к экзамену по билетам»). Затем ему надо воспроизвести или разобраться в случившемся в партии дебютном варианте (представить ответы на вопросы из вытянутого билета), в миттельшпиле поддержать дискуссию на эту тему, а в эндшпиле решить дополнительные задачи. При этом по итогам такого экзамена шахматист получает две оценки. Одна из них чисто спортивная – по трехбалльной системе (победа, ничья, поражение), а вторая – качественная, полученная в результате анализа и коммуникации иногда с партнером, экспертами, но почти всегда – с ИИ, указывающим на ошибки и предлагающим в партии более сильные ходы. Отметим, что универсальность шахматной нотации и форматов представления данных (PGN, FEN) снимает языковые, организационные барьеры, максимально способствуя коммуникации человека (с человеком, ИИ, шахматными ресурсами) тогда, когда это разрешено и человеку это нужно.

Верификация и понимание выводов, т.е. оценок, анализов, вариантов, ходов уже упоминались в контексте обсуждения решений других проблем. Рассмотрим следующий аспект этой проблемы: восстановление пропусков в выводах, понимание и повышение детализации. Допустим, нас интересует типовой конкретный вопрос: «Почему в анализе заданная позиция с преимуществом у белых и ходом черных не рассматривается или предполагается, что она ничейна почти без обоснования этой оценки и приведения детальных вариантов?» Здесь возможно несколько ситуаций. Ситуация 1: имеется предшествующий данной позиции другой ход белых, который ведет к победе, и это верифицировано, понято; поэтому в предшествующей позиции белые побеждают, а заданная позиция на оценку предшествующей уже не влияет, с прагматической точки зрения не интересна и не рассматривается. Ситуация 2: у черных есть сильный ход и (короткий) вариант, ведущий к ясной ничьей, который был не очевиден на этапе постановки вопроса. Тогда этот ход в позиции часто может сразу указать ИИ, т.е. ответ на вопрос получен, вывод верифицирован и понят. Ситуация 3: движок в позиции показывает примерную оценку +1,5, которая не особо меняется после предлагаемых ИИ вариантов. Такая позиция действительно может быть ничейна – например, так называемая «крепость» у черных с (большим) материальным перевесом у белых, однако понимание того, что это ничья требует дополнительных знаний или дальнейшей детализации. Пример другой (зеркальной) вариации этой ситуации случился в 6-й партии матча на первенство мира Карлсен–Каруана (Лондон, 09–28 ноября, 2018 г., позиция после 68-го хода белых). В этой позиции оценки передовых движков показывали не достаточный для победы перевес черных (от -1 до $-1,5$), опытные эксперты-гроссмейстеры в прямом эфире (как и оба партнера сразу после партии) считали позицию ничейной, обосновывали свою оценку вариантами, будучи уверенными в верном понимании позиции. И лишь норвежский суперкомпьютер «Sesse» эту оценку (в той же прямой трансляции) полностью опроверг, выдав свой вердикт: «черные побеждают, ставят мат в несколько десятков ходов», подтвердив эту оценку вполне доступными пониманию вариантами (см., например, [10]). Таким образом, скорость, качество верификации и понимания выводов в шахматах существенно повышаются, что приводит к новым решениям различных аспектов проблем работы с шахматной информацией.

Перейдем теперь к описанию общего логико-игрового подхода к проблемам работы с большими данными.

4. Логико-игровой подход к проблемам работы с большими данными

Одним из мотивов представляемого логико-игрового подхода является возможность расширения некоторых успешных решений проблем

работы с большими данными в шахматах для более широкого круга задач. В этом подходе применяется ориентированный на работу с big data логический аппарат (см. [11-16]) вместе с выделением игровых (в частности, шахматных) интерпретаций. Мы предлагаем варианты записи задачи (математической, шахматной, синтеза управляющей системы) в подходящем логическом языке формулой так, что ее выполнимость равносильна существованию решения задачи, это решение (в случае выполнимости) строилось бы по модели для формулы, в случае не выполнимости получалось доказательство отсутствия решения, а сам логический вывод мог быть проведен в терминах конкретных задач. В этом языке используются логика высказываний (задачи «в статике»), логика линейного времени («динамика»), логика ветвящегося времени («интерактивная динамика»), а также логический язык игровых программ (ИП, см. [16]). В работе [12] показано, что данный язык решения задач удовлетворяет так называемым критериям эффективности: фундаментальности (т.е. завершаемости, корректности, полноты), выразительности, безболезненного развития, объемности (применимости к big data). В последние десятилетия игровая семантика проникает во многие логические языки, например, в качестве специальных игр и стратегий для выполнимости и верификации (см., например, [17]). Наша игровая составляющая, дополняющая логический аппарат, имеет несколько другое направление и позволяет содержательно или частично формально транслировать элементы игровой (в частности, шахматной) информации в логический язык, проводить в нем операции, сохранять результаты, накапливая материал для аналогичной формализации и решения других задач, в том числе с большими данными. Покажем возможности применения логико-игрового подхода к указанным выше проблемам работы с большими данными.

Представление информации происходит в виде формул логического языка вместе с пополняемыми шаблонами их автоматической генерации для разных типов задач. Формулы хранятся в обычных текстовых файлах, допускают подключение ранее подготовленных подформул, формат их представления совместим с формулами редактора TeX, но не требует знания большого числа специальных команд. Имена файлов, каталоги и библиотеки формул предоставляют возможности систематизации и поиска информации по аналогии с базами данных шахматных партий и позиций. Добавление или уточнение той или иной подформулы при условии сохранения или согласования (названий и порядка) ее входных и выходных переменных облегчает актуализацию информации. Результаты анализа формулы на выполнимость, например, в логике высказываний с помощью программных инструментов [18] могут быть представлены как новые подформулы (соответствующие единичным наборам в таблице истинности) и использованы для построения в дальнейшем новых формул.

Оба указанных выше пути применения ИИ в шахматах возможны и в рассматриваемой логической системе, формализация типов взаимодействия с партнером (сотрудничество или противоборство, наличие и управление очередностью ходов) осуществима с помощью ИП. Для коммуникации логический язык предоставляет возможность обмена информацией в стандартизованном формате синтаксически верных формул, что помогает уточнению понятий и структуры объектов. Верификация и понимание выводов могут быть облегчены, например, с помощью записи и автоматической проверки в логическом языке рутинных операций, например, числовых, символьных преобразований, последовательностей утверждений.

В приведенном общем описании логико-игрового подхода и его применения можно увидеть контуры двух измерений, которые назовем «спортивным» и качественным («проблемным») измерениями (по аналогии с описанной выше «спортивной» и качественной оценкой игры в шахматной партии). Тогда применению этого подхода и других методик работы с big data для различных классов задач можно поставить свою оценку по каждому измерению. Оценка по первому измерению характеризует успешность применения того или иного подхода в получении решений задач, а по второму – его качество в смысле разрешения указанных выше проблем работы с большими данными. При этом роль аналитических оценок второго вида в настоящее время представляется все более важной.

5. Заключение

В работе рассмотрены 8 проблем работы с большими данными. Для некоторых аспектов этих проблем проведен обзор их решений, используемых при организации работы с информацией в шахматах. В целях адаптации, формализации этих решений и их использования для работы с более широким кругом больших данных предложен так называемый логико-игровой подход и показаны возможности его применения.

Литература

1. Горбунов-Посадов М.М. [Живая публикация](https://keldysh.ru/gorbunov/live.htm) // [Открытые системы](https://keldysh.ru/gorbunov/live.htm). — 2011. № 4. — С. 48–49. — <https://keldysh.ru/gorbunov/live.htm>
2. Нейштадт В.И. Шахматисты-бомбисты. Энциклопедия. — https://chesspro.ru/_events/2008/neistadt.html (дата обращения 11.06.2021).
3. Ботвинник М.М. От шахматиста – к машине. — М.: Физкультура и спорт, 1979. — 176 с., ил.

4. Таблицы Ломоносова. — <https://tb7.chessok.com/> (дата обращения 11.06.2021).
5. Forsyth-Edwards Notation // Chess Programming Wiki. — https://www.chessprogramming.org/Forsyth-Edwards_Notation (дата обращения 11.06.2021).
6. Standard: Portable Game Notation Specification and Implementation Guide. — <https://www.chessclub.com/help/PGN-spec> (дата обращения 11.06.2021).
7. Попов Ю.П., Пухначев Ю.В. Математика без формул: Книга первая. Изд. 2-е. — М.: КомКнига, 2007. — 232 с. — ISBN 978-5-484-00777-6.
8. Шипов С.Ю. Не верьте компьютеру! — <https://www.youtube.com/watch?v=-E3eziVVezc> (дата обращения 11.06.2021).
9. Климов А.В., Романенко С.А. Суперкомпиляция: основные принципы и базовые понятия // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. — 2018. № 111. — 36 с. — <http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2018-111>
10. Карлсен–Каруана. Матч на первенство мира, 6 партия. Детали. — https://chesspro.ru/details/wch_match_18_game6 (дата обращения 11.06.2021).
11. Хелемендик Р.В. Алгоритм распознавания выполнимости формул логики ветвящегося времени и эффективный алгоритм построения выводов общезначимых формул из аксиом // Математические вопросы кибернетики. Вып. 15: Сборник статей / Под ред. О.Б. Лупанова. — М.: Физматлит, 2006. — С. 217–266.
12. Хелемендик Р.В., Пряничников В.Е. О построении специального логического языка для задач интеллектуальной роботоники и исследования больших формул // Компьютерные науки и информационные технологии: Материалы междунар. науч. конф. — Саратов: Издат. центр «Наука», 2018. — С. 425–428.
13. Хелемендик Р.В. О решении шахматных позиций с помощью формул логики ветвящегося времени // Изв. Сарат. ун-та. Нов. сер. 2011. Т.11. Сер. Математика. Механика. Информатика, вып. 1. С. 111–121.
14. Хелемендик Р.В. О сведении задачи распознавания выполнимости формул логики ветвящегося времени к распознаванию выполнимости формул логики высказываний // Сборник трудов XVII Международной школы-семинара "Синтез и сложность управляющих систем" имени академика О.Б.Лупанова (Новосибирск, 27 октября – 1 ноября 2008 г.). — М.: Изд-во механико-математического факультета МГУ, 2008. — С. 177–180.
15. Хелемендик Р.В. О трансляции формул логики линейного времени в формулы логики ветвящегося времени // Материалы XI Международного семинара “Дискретная математика и ее приложения”, посвященного 80-летию со дня рождения академика О.Б.Лупанова

(Москва, МГУ, 18–23 июня 2012 г.) / Под редакцией О.М.Касим-Заде. — М.: Изд-во механико-математического факультета МГУ, 2012. — С. 223–226.

16. Хелемендик Р.В. О расширении типов игрового взаимодействия в языке игровых программ // Материалы VI молодежной научной школы по дискретной математике и ее приложениям (Москва, 16–21 апреля 2007 г.). Часть III. Под редакцией А.В.Чашкина. 2007. — С. 30–35.
17. Lange M. Games for modal and temporal logics. PhD thesis, University of Edinburgh, 2002, 291p.
18. Хелемендик Р.В. SFESCalc: Программа построения по большим булевым формулам минимизированных схем из функциональных элементов, их анализа и синтеза с заданными параметрами. / Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2013615516, зарегистрировано в реестре программ для ЭВМ 11.06.2013.

References

1. Gorbunov-Posadov M.M. Zhivaia publikatsiia // Otkrytye sistemy. — 2011. № 4. — S. 48–49. — <https://keldysh.ru/gorbunov/live.htm>
2. Neishtadt V.I. Shakhmatisty-bombisty. Entsiklopediia. — https://chesspro.ru/_events/2008/neistadt.html (data obrashcheniia 11.06.2021).
3. Botvinnik M.M. Ot shakhmatista – k mashine. — М.: Fizkultura i sport, 1979. — 176 s., il.
4. Tablitsy Lomonosova. — <https://tb7.chessok.com/> (data obrashcheniia 11.06.2021).
5. Forsyth-Edwards Notation // Chess Programming Wiki. — https://www.chessprogramming.org/Forsyth-Edwards_Notation (data obrashcheniia 11.06.2021).
6. Standard: Portable Game Notation Specification and Implementation Guide. — <https://www.chessclub.com/help/PGN-spec> (data obrashcheniia 11.06.2021).
7. Popov Iu.P., Pukhnachev Iu.V. Matematika bez formul: Kniga pervaiia. Izd. 2-e. — М.: KomKniga, 2007. — 232 s. — ISBN 978-5-484-00777-6.
8. Shipov S.Iu. Ne verte kompiuteru! — <https://www.youtube.com/watch?v=-E3eziVVeZc> (data obrashcheniia 11.06.2021).
9. Klimov A.V., Romanenko S.A. Superkompiliatsiia: osnovnye printsipy i bazovye poniatiia // Preprinty IPM im. M.V.Keldysha. — 2018. № 111. — 36 s. — <http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2018-111>
10. Karlsen–Karwana. Match na pervenstvo mira, 6 partiia. Detalii. — https://chesspro.ru/details/wch_match_18_game6 (data obrashcheniia 11.06.2021).

11. Khelemendik R.V. Algoritm raspoznavaniia vpolnimosti formul logiki vetviashchegosia vremeni i effektivnyi algoritm postroeniia vyvodov obshchepochimyykh formul iz aksiom // Matematicheskie voprosy kibernetiki. Vyp. 15: Sbornik statei / Pod red. O.B. Lupanova. — M.: Fizmatlit, 2006. — S. 217–266.
12. Khelemendik R.V., Pryanichnikov V.E. O postroenii spetsialnogo logicheskogo iazyka dlia zadach intellektualnoi robotroniki i issledovaniia bolshikh formul // Kompiuternye nauki i informatsionnye tekhnologii: Materialy mezhdunar. nauch. konf. — Saratov: Izdat. tsentr «Nauka», 2018. — S. 425–428.
13. Khelemendik R.V. O reshenii shakhmatnykh pozitsii s pomoshchiu formul logiki vetviashchegosia vremeni // Izv. Sarat. un-ta. Nov. ser. 2011. T.11. Ser. Matematika. Mekhanika. Informatika, vyp. 1. S. 111–121.
14. Khelemendik R.V. O svedenii zadachi raspoznavaniia vpolnimosti formul logiki vyskazyvanii // Sbornik trudov XVII Mezhdunarodnoi shkoly-seminara "Sintez i slozhnost upravliaiushchikh sistem" imeni akademika O.B.Lupanova (Novosibirsk, 27 oktiabria – 1 noiabria 2008 g.). — M.: Izd-vo mekhaniko-matematicheskogo fakulteta MGU, 2008. — S. 177–180.
15. Khelemendik R.V. O transliatsii formul logiki lineinogo vremeni v formuly logiki vetviashchegosia vremeni // Materialy XI Mezhdunarodnogo seminara "Diskretnaia matematika i ee prilozheniia", posviashchennogo 80-letiiu so dnia rozhdeniia akademika O.B.Lupanova (Moskva, MGU, 18–23 iunia 2012 g.) / Pod redaktsiei O.M.Kasim-Zade. — M.: Izd-vo mekhaniko-matematicheskogo fakulteta MGU, 2012. — S. 223–226.
16. Khelemendik R.V. O rasshirenii tipov igrovogo vzaimodeistviia v iazyke igrovykh programm // Materialy VI molodezhnoi nauchnoi shkoly po diskretnoi matematike i ee prilozheniiam (Moskva, 16–21 apreliia 2007 g.). Chast III. Pod redaktsiei A.V.Chashkina. 2007. — S. 30–35.
17. Lange M. Games for modal and temporal logics. PhD thesis, University of Edinburgh, 2002, 291p.
18. Khelemendik R.V. SFECalc: Programma postroeniia po bolshim bulevym formulam minimizirovannykh skhem iz funktsionalnykh elementov, ikh analiza i sinteza s zadannymi parametrami. / Svidetelstvo ob ofitsialnoi registratsii programmy dlia EVM №2013615516, zaregistrovano v reestre programm dlia EVM 11.06.2013.