



ИПМ им.М.В.Келдыша РАН

Абрау-2017 • Труды конференции



Р.В. Хелемендик, В.Е. Пряничников

**О технологии IGEC и ее применении в
изучении шахматных окончаний**

Рекомендуемая форма библиографической ссылки

Хелемендик Р.В., Пряничников В.Е. О технологии IGEC и ее применении в изучении шахматных окончаний // Научный сервис в сети Интернет: труды XIX Всероссийской научной конференции (18-23 сентября 2017 г., г. Новороссийск). — М.: ИПМ им. М.В.Келдыша, 2017. — С. 446-455. — URL: <http://keldysh.ru/abrau/2017/51.pdf> doi:[10.20948/abrau-2017-51](https://doi.org/10.20948/abrau-2017-51)

О технологии IGES и ее применении в изучении шахматных окончаний

Р.В. Хелемендик¹, В.Е. Пряничников^{1,2}

1 Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, Москва, Россия

2 Международный институт новых образовательных технологий РГГУ;

2 зав. кафедрой МГТУ "СТАНКИН";

2 ген. директор, д.т.н. МЛ "Сенсорика", Москва, Россия;

Аннотация. В работе представлена технология IGES (ИГЕК) и пенталогика, применяемые, в частности, для создания интеллектуальных робототехнических комплексов и сети мехатронных устройств промышленной автоматизации, объединенных интеграционным программным обеспечением и средствами представления знаний. Рассматривается применение этого подхода для устранения противоречий в управлении цехом, работающим по технологии "Индустрия 4.0". Выразительные и прикладные возможности технологии IGES приведены в четырехмерном пространстве представления экспертных знаний технологов. Детализация и исследование взаимоотношений составляющих ИГЕК подходов показано при применении технологии в изучении шахматных окончаний.

Ключевые слова: интеллектуальная роботроника, технология IGES, логическое управление по технологии "Индустрия 4.0", пенталогика, шахматные окончания

1. Введение

При создании интеллектуальных робототехнических систем возникает несколько следующих принципиальных проблем.

1) Необходимость в унификации использования различных мехатронных устройств через развитие интеграционного программного обеспечения – это позволяет существенно сократить путь от неизбежного и дорогостоящего строительства низкоуровневых сенсорных и управляющих систем к проблемам верхнего уровня интеллектуализации.

2) Представление и реализация логических, в частности дедуктивных, механизмов для передачи робототехническим устройствам интеллектуального потенциала знаний.

3) Подготовка специалистов, способных решать данные проблемы - инженеров по знаниям, для чего требуется создание альтернативной технологии и разработки учебных программ в сенсорике, мехатронике и информатике.

Несмотря на то, что указанные проблемы имеют, вообще говоря, разную природу, эффективное и надежное их решение связано с применением прежде всего математического аппарата, в частности математических доказательств. Однако анализ исследований по данному вопросу, проведенный в [1], показывает: в настоящее время не существует единого мнения о том, что считать надежным доказательством. Там же [1] было выделено 4 основных направления математических подходов, условно называемых древнегреческим, древнеегипетским, древнеиндийским и древнекитайским.

Технология IGES (ИГЕК) представляет собой соединение этих подходов [2-4] и позволяет для каждого направления использовать его сильные стороны, а полученные результаты дополнять и согласовывать, например, устранять противоречия (конфликты), возникающие вследствие разных традиций (подходов). Данная технология успешно применялась, например, при разработке основных программно-аппаратных элементов сети ассоциативных лабораторий и работариумов в рамках проекта «Интеллектуальная роботроника», инициированного Централно-Европейским отделением Международной инженерной академии совместно с ИПМ им. Келдыша РАН, МИНОТ РГГУ, университетами России, Хорватии и Австрии. С использованием ИГЕК осуществлялись поиски способа реализации интеллектуального уровня программного обеспечения и адекватных представлений знаний для мобильных роботов, конструирование эвристических дедуктивных рассуждений и принятие решений.

В настоящей работе мы рассмотрим возможности ИГЕК на примере изучения шахматных окончаний, отметим некоторые общие моменты ее использования в задачах интеллектуальной роботроники и укажем пути ее применения при реализации системы управления гибким промышленным производством – цехом, работающим по технологии "Индустрия 4.0".

2. Технология ИГЕК

Как уже отмечалось выше, в исследованиях [1] содержится разбор различных точек зрения на понятие доказательства. Так, В.А.Успенский выделяет 3 типа (применявшихся в Древнем Египте, Древней Греции и Индии) и высказывает предложение, что "представление о доказательстве есть продукт социальной истории общества" [5]. Дополнение этих типов так называемыми древнекитайскими (вычислительными, манипуляционными) доказательствами, а также структуризация, классификация и обобщение привело в [1] к созданию первоначальной схемы соотношений данных типов, изображенной на рис.1.



Рис. 1. Схема КирКрест – соответствия традиций доказательств

Так, на этой схеме в обычной прямоугольной системе координат на плоскости по осям координат отложены все 4 подхода (традиции, соответствующие доказательствам), а разнообразные объекты изображены областями, близкими по своей сути к методам исследования в рамках тех или иных традиций.

Используя эту схему в качестве рабочей гипотезы, в дальнейших работах [2-4] было предложено считать, что *древнеиндийская* (И, I) традиция предполагает опору на чувства и представляет созерцание, интуицию в качестве методов исследования и доказательств. *Древнегреческая* (Г, G) традиция опирается на логические выводы, рациональные рассуждения и использует методы естественных наук. *Древнеегипетская* (Е) традиция предполагает опору на авторитет: его утверждения непременно являются истиной, а точное исполнение установок - методом. *Древнекитайская* (К, С) традиция опирается на тщательное выполнение большого числа мелких операций, а ее метод - многочисленные вычисления-манипуляции, что характерно для современной вычислительной техники. Комплексное применение и объединение всех подходов привело к созданию так называемой технологии ИГЕК (IGEC), представляющей собой соединение условно обозначенных “древних индо-греко-египетско-китайских” традиций и методов построения доказательств, см. работы [2-4]. Конкретные оригинальные методы каждого подхода (традиции) и примеры их применения содержатся в [2-4].

Однако в дальнейшем развитие ИГЕК-технологии по схеме рис.1 натолкнулось на препятствие противопоставления. Схема КирКрест задает подходы И и К, а также Г и Е как пары противоположностей, что верно далеко не всегда. Так, например, в этой схеме противопоставлены древнеегипетский и древнегреческий подходы, которые согласно [1], соответственно близки к религиозному и научному познанию мира (эта интерпретация может быть уточнена). Однако уже в работе [6] показано, что они отнюдь не противоречат друг другу, но относятся к разным измерениям. В дальнейшем, следуя в широком смысле принципу безболезненного развития программ [7], авторами были предприняты поиски путей снятия подобных искусственных ограничений. Так, в [8] предложен выход в более высокое измерение для уточнения картины происходящего в низшем – см. рис.2.



Рис. 2. Переход от плоскости (ценности) к пространству (смыслу)

Переход к более высокому измерению В.Франкл [8] применял при реабилитации и восстановлении здоровья людей, сталкивавшихся (согласно нашей терминологии) с неразрешимыми противоречиями на плоскости.

С использованием данной аналогии для более точной характеристики работы всех 4-х подходов ИГЕК в [4] был введен специальный четырехмерный куб, а для исследования его двумерных граней применена пенталогика (см. [3]) – рис.3.

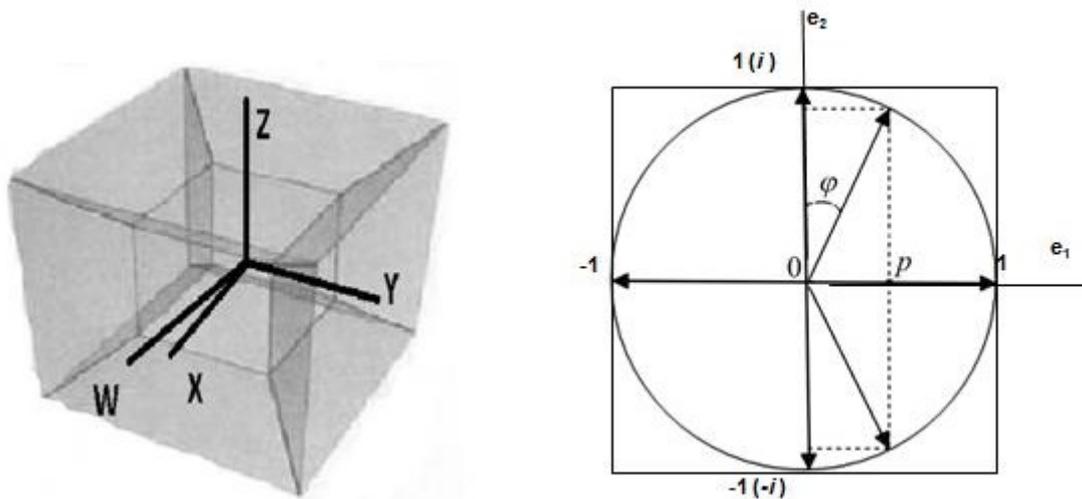


Рис. 3. Четырехмерный куб для технологии ИГЕК и плоскость экспертных оценок в пенталогике

Вершины куба занумерованы натуральными числами: (1), (2), ..., (16) и имеют следующие координаты: (1) = $\langle -1, -1, -1, -1 \rangle$, (2) = $\langle 1, -1, -1, -1 \rangle$, ..., (16) = $\langle 1, 1, 1, 1 \rangle$. Проинтерпретируем оси координат куба следующим образом: OX (длина) – древнегреческое измерение, OY (ширина) – древнеегипетское, OZ (высота) – древнекитайское, OW (четвертая ось) – древнеиндийское. Таким образом, каждая из 4-х координат изменяется в диапазоне $[-1..0] \cup [0..1]$, что показывает "успешность" соответствующего подхода для задачи, которая характеризуется точкой или областью этого куба. Пенталогика была предложена в [3] как отдельный аппарат с идеей формализации пар экспертных оценок в диапазонах $[-1..0] \cup [0..1]$, интерпретируемых на координатной (комплексной) плоскости следующим образом. Оценка по оси абсцисс соответствует уровню знания: $\langle \text{знаю-ложь, не знаю, знаю-истина} \rangle$, а оценка по оси ординат показывает так называемую мнимую составляющую оценки: $\langle \text{не верю, неопределенность, верю} \rangle$.

Рассмотрим теперь вопросы возникновения противоречий и их преодоления. Как уже отмечалось выше, результаты каждого из подходов для конкретных задач могут некоторым образом противоречить друг другу. Отметим, что в данном случае речь идет не о логических противоречиях и путях их преодоления, рассмотренных в [1-3], а "информационных", имеющих разную природу: согласно одному источнику информации (с указанием степени достоверности) имеет место факт p , а согласно другому $\neg p$. Для прояснения и преодоления таких информационных противоречий мы распространим пенталогика на двумерные грани четырехмерного куба следующим образом. Зафиксируем некоторые две (например, полагая их равными 0) из 4-х координат и получим квадрат для задания оценок роли двух оставшихся подходов – рис.3 (правая часть). Таким путем, аналогично индивидуальному изучению каждого из 4-х подходов, появляется способ исследования 6 пар их

комбинаций, что может быть сделано с помощью аппарата пенталогии. Интерпретируя оси координат значениями соответствующих подходов, мы получаем конкретные пенталогии для формализации экспертных оценок. Нетрудно убедиться, что с точностью до перестановки осей координат мы имеем 6 пар пенталогий, которые обозначим следующим образом: ЕГ (египетско-греческая), ЕК (египетско-китайская), ИЕ (индо-греческая), ИК (индо-китайская), ГИ (греко-индийская), ГК (греко-китайская). Так, если, например, ОХ – древнеегипетское измерение, а ОУ – древнегреческое, то мы имеем так называемую ЕГ-пенталогию, в которой, в частности, можно формализовать рассматриваемые выше соотношения между этими двумя подходами. (Здесь оценке по оси абсцисс можно сопоставить уровень научного знания: <наука знает-ложь, наука не знает, наука знает-истина>, а оценке по оси ординат – авторитетную составляющую оценки: <авторитет не одобряет, неопределенность, авторитет одобряет>.)

3. Применение технологии ИГЕК к изучению шахматных окончаний

Подробное описание применения ИГЕК-технологии к конкретному окончанию (этьюду Рети) дано в работе [2]. В данной работе мы расширим область применения этой технологии на некоторые классы шахматных окончаний (эндшпилей), которые являются хорошей моделью планирования, принятия решений, разрешения конфликтов, образовательных технологий, развития методов искусственного интеллекта. По аналогии с распознаванием выполнимости формул и доказательством теорем возможно рассмотрение индивидуальных и массовых задач – как конкретной позиции, так и класса позиций. Опишем основные направления технологии – подходы, базирующиеся на упомянутых традициях в смысле указанных интерпретаций, и проявляющиеся на этапе исследования данного класса позиций на примере класса шахматных эндшпилей, а именно, – эндшпиля “король + (белая) пешка против короля”.

По Е-подходу в соответствии с концепциями и мнением авторитетов [9] мы выделяем общие рекомендации игры в таких окончаниях – за белых и черных. Следуя Г-подходу, характеризуем ключевые позиции – в которых белые побеждают, либо черные делают ничью, а также формулируем соответствующие им цели в языке логики ветвящегося времени [2-3], что с применением методов работы [10] позволяет перейти к классу позиций. Применяя И-подход, визуализируем и уточняем цели. Применяя К-подход, вычисляем результаты во всех остальных позициях.

Следующим этапом технологии является верификация и представление результатов. В соответствии с К-подходом получаем точные значения числа победных (222564) и ничейных (108788) позиций, проводим обработку статистики баз Налимова [11] и получаем совпадение этих чисел. Во-вторых, с использованием программного обеспечения [12] и его аналогов строим булевы

формулы от 19 переменных, реализующие соответствующие им функции: функцию легальности данного эндшпиля и функцию его ничейности. Такое представление позволяет охарактеризовать шахматиста или программу, точно знающих данный эндшпиль, как владеющих 128Кб информации. Продолжая идеи И-подхода, визуализируем результаты в форме цветной прямоугольной карты, в которой оттенками зеленого цвета указаны победные позиции, оттенками желтого – ничейные, красным – нелегальные; при этом ключевые позиции выделяем насыщенными цветами. На этой карте стратегии достижения победы (ничьей) изображаются траекториями зеленых (желтых) цветов, а ошибочные ходы сторон приводят к смене цвета. Применяя Г-подход, получаем дедуктивные доказательства верности найденных решений, а также цепочки сведения сложных позиций к позициям с уже известной оценкой. Данный логический метод гарантирует корректность и полноту найденных решений, а также помогает получить систему продукций типа $\langle \text{позиция, ход} \rangle$, позволяющих достичь поставленных целей и, следовательно, требуемого результата. Проводя на наборе классических (для данного эндшпиля) позиций необходимую в Е-подходе сверку с шахматными традициями и мнением гроссмейстеров-авторитетов, мы получаем соответствие решений экспертной оценке.

Отметим, что уже на примере рассмотренного известного эндшпиля комплексное применение методов ИГЕК-технологии позволяет успешно справляться с проблемами, возникающими при “узко традиционном” изучении. Так, шахматный эксперт обычно ограничивается наиболее важными позициями, вариантами и правилами, что, например, без дополнительной тренировки не гарантирует обучающемуся любителю правильной оценки и решения любой позиции. Полная база таблиц Налимова такую оценку и верный первый ход для каждой позиции дает, но не позволяет понять общие закономерности за “лесом вариантов”. Ключевые позиции и логический вывод эти закономерности отражают, однако необходимый для конечного результата расчет вариантов для человека становится, вообще говоря, затруднительным. Наконец, формирование интуитивного понимания позиции, в первую очередь складывающееся из образного восприятия основных идей, предполагает прежде всего созерцание (см. индийское доказательство теоремы Пифагора и представление шахматной метрики в пешечном окончании в форме “уголка-самолета” в [3]) и абстрагирование от рекомендаций, баз данных и логического вывода.

4. Пояснения к применению технологии ИГЕК

Укажем другие применения ИГЕК-технологии в контексте рассмотренных выше методов. Логическая формализация и алгоритмы позволяют получать конструктивные, корректные и полные решения, записываемые на языке продукций, булевых функций, вместе с их дедуктивными доказательствами. Визуализация результатов, построение карты стратегий позволяет структурировать и понимать массивы разнотипной

информации. Построение булевых функций приводит к унификации измерения результатов (в килобайтах), что важно для совместимости с другими цифровыми технологиями. Логическое масштабирование результатов, выполняемое, например, средствами логики высказываний, и визуализация в том числе в терминах задач, позволяет проводить детализацию больших объемов данных и доводить до ясного понимания: экспертного, логического, интуитивного. Согласованное применение всех подходов ИГЕК вместе с использованием пенталогии помогают диагностировать и устранять ошибки, сглаживать противоречия (“вижу одно”, а “программа выдает другое”; программа конфликтует с экспертом; результаты программы не подтверждаются доказательством и др.) и итеративно уточнять понятия во всех плоскостях на осях традиционных подходов.

5. Дальнейшее развитие технологии ИГЕК

В процессе применения ИГЕК-технологии к актуальным практическим задачам происходит структурирование, конкретизация и уточнение каждого из ее подходов, их согласование и развитие. При этом каждый из четырех подходов ИГЕК с применением логического аппарата “настраивается” на конкретные направления предметной области, а использование пенталогии позволяет детализировать их “межтрадиционные стыки” и соединять результаты в единое целое.

Так, представляется перспективным применение ИГЕК в процессе проектирования, создания и сопровождения системы управления цехом, работающим по технологии “Индустрия 4.0”. В этой задаче важнейшими являются проблемы синтеза, тестирования, управления данным оборудованием, а также формализации, построения подходящей модели. Укажем пути их решения с применением ИГЕК-технологии.

По И-подходу выполняется визуализация основных процессов, реализуемая на специальном макете. Согласно Г-подходу мы выделяем ключевые “позиции” в состоянии данного оборудования – нормальные (эффективные), к которым надо стремиться; и – опасные, которых надо избегать; а также описываем нелегальные (невозможные) позиции. Применяя Е-подход, уточняем и дополняем понятия с помощью экспертов-технологов. Запуская К-подход, получаем оценки других (не ключевых) интересующих нас позиций (нелегальная, легальная нормальная, легальная опасная).

На этапе верификации и представления результатов мы снова применяем все подходы (особо отметим генерацию продукционных правил ⟨ситуация, действие⟩) по аналогии с применением ИГЕК к шахматным окончаниям. Наконец, с помощью пенталогии мы определяем и устраняем противоречия во всех 6 плоскостях традиционных подходов. Так, расхождения в результатах логического вывода, вычислительных экспериментах и заключениях технолога изучаются с помощью пенталогии в ГК, ЕГ и ЕК плоскостях. А добавление визуализации и моделирования на

макете позволяет устранять противоречия в ИЕ, ИК и ГИ плоскостях. Реализация такой базирующейся на ИГЕК-технологии программно-аппаратной системы управления производственными процессами находится в стадии прототипирования.

6. Заключение

В работе дано описание междисциплинарной технологии ИГЕК (IGEC). Ее выразительные и прикладные возможности представлены в четырехмерном пространстве. Детализация и исследование взаимоотношений составляющих ИГЕК подходов показано при применении технологии в изучении конкретного класса шахматных окончаний. Показаны пути применения ИГЕК-технологии в решении трех выделенных ключевых проблем робототехники. Охарактеризованы противоречия, имеющие “межтрадиционную” природу, и описана пенталогика, позволяющая их детализировать и устранять. Показаны пути дальнейшего развития технологии ИГЕК и применения в управлении цехом, работающим по технологии “Индустрия 4.0”.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ, проекты 16-07-00935, 16-07-01264, 16-07-00811.

Литература

1. Кирильченко А.А., Пряничников В.Е., Рогозин К.В. Пределы достоверности и надежность доказательств. Скептицизм в математике, функции, традиции // Информационно-измерительные и управляющие системы. — 2013. Т. 11, № 4. — С. 57-65.
2. Pryanichnikov V.E., Katalinic B., Kirilchenko A.A., Khelemendik R.V., Kuvshinov S.V., Vician D., Uglesic A. New Creative Educational Technologies for Inter-university Network // 25th DAAAM International Symposium on Intelligent Manufacturing and Automation. 2014. / Procedia Engineering. 2015. — Vol. 100, — P.259-268. — URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705815003938>
3. Пряничников В.Е., Биелич Т., Вицан Д., Каталинич Б., Кирсанов К.Б., Кувшинов С.В., Марзанов Ю.С., Подураев Ю.В., Хелемендик Р.В., Прысев Е.А., Углешик А., Харин К.В. Разработка образовательных технологий и сети ассоциированных лабораторий-роботариумов // Информационно-измерительные и управляющие системы. — 2015. — Т. 13, № 7. — С.7-25.
4. Пряничников В.Е., Хелемендик Р.В. Информационная технология IGEC и пенталогика // Компьютерные науки и информационные технологии: Материалы междунар. науч. конф. — Саратов: Издат. центр «Наука», 2016, С. 331-333.

5. Успенский В.А. Семь размышлений на темы философии математики // Закономерности развития современной математики, М.: Наука, 1987, С. 106-155.
6. Франк С.Л. Религия и наука // Религия, философия и наука. 1953. — № 1. — С. 1-26.
7. Горбунов-Посадов М.М. Безболезненное развитие программы // Открытые системы. — 1996. — № 4. — С. 65-70. — URL: <http://www.keldysh.ru/gorbunov/evolution.htm>
8. Франкл В. Человек в поисках смысла. Сборник. / Пер. с англ. и нем. — М.: Прогресс, 1990. — 368с.
9. Шахматные окончания: Пешечные. — 2-е изд., доп. / Под ред. Ю.Л.Авербаха. — М.: Физкультура и спорт, 1983. — 303с.
10. Хелемендик Р.В. О решении шахматных позиций с помощью формул логики ветвящегося времени // Изв. Сарат. ун-та. Нов. сер. Сер. Математика. Механика. Информатика. — 2011. Т. 11., Вып. 1. С. 111-121.
11. Endgame Nalimov Tablebases Online [Электронный ресурс]. URL: http://chessok.com/?page_id=361 (дата обращения 10.04.2017).
12. 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. - [1] с.