

Разработка стратегий в *нардах** с использованием индивидуализированных экспертных знаний

Геворг Карапетян

Институт проблем информатики и автоматизации НАН РА
e-mail: gevorgk@gmail.com

Аннотация

Эффективность игровых алгоритмов определяется способностью выбора оптимальных стратегий. Эффективность же любой стратегии во многом зависит от метода представления знаний, на основе которых стратегия определяет необходимые действия. В [7, 2], показано, что индивидуальное представление знаний различно, так как конкретные понятия, которыми описываются экспертные знания выигрышности, как правило, у разных игроков представляются разными гипотезами.

В данной работе рассмотрены вопросы построения планов и стратегий с использованием индивидуализированных экспертных знаний и приведены примеры их использования в алгоритмах игры в *нарды*.*

1. Введение

В работе исследуются алгоритмы формирования стратегий, основанных на планах и других индивидуализированных знаниях конкретных экспертов в игре *нарды**. Формирование оптимальных стратегий изучается для класса задач SSGT (Solution Space Game Trees) [23], для которых пространство решений может быть представлено деревом игры. Ранее была показана принципиальная возможность моделирования шахматных знаний эксперта [7, 2] а также исследована возможность представления и пополнения индивидуализированных экспертных знаний. Исследования проводились на примере комбинаторных игр типа шахмат, являющихся типичным представителем класса SSGT. В данной работе исследования проводятся на примере модифицированной игры в *нарды*, которая отличается от классической игры в длинные *нарды* тем, что в ней отсутствуют игральные кости и каждый из игроков просто объявляет нужные ему цифры из множества возможных значений, которые могут выпасть на игровых костях, и делает ход. Далее в данной работе для данной игры будет использоваться обозначение *нарды**.

Это делает возможным представление пространства решений проблемы деревом игры. Принципы и общие алгоритмы данной игры описаны в [3].

Ряд подходов по регулярному включению шахматных знаний в процесс формирования стратегий описан в [1, 4, 5, 6, 7]. Методы и алгоритмы по формированию стратегий на основе планов, использующих знания индивидуальных экспертов на примерах шахматных задач представлены в [1, 7, 8].

Нами рассмотрены методы и примеры моделирования экспертных знаний для игры в *нарды**, а также методы разработки планов и стратегий с использованием представленных моделей. Во втором параграфе сформулированы задачи по представлению экспертных знаний в играх, описаны примеры представления знаний

для игры в *наряды** и описаны проблемы, возникающие при использовании индивидуализированных знаний эксперта. В третьем параграфе рассмотрены подходы к формированию стратегий в играх на основе экспертных знаний. В четвертой главе показана возможность формирования стратегий для алгоритма игры в *наряды** на основе PPIT (Personal Planning and Integrated Testing) подхода [1].

2. Моделирование экспертных знаний в играх

2.1 Определение роли и пропорции индивидуализированных экспертных знаний наряду с общими, базовыми знаниями, является одной из актуальных задач когнитивных наук [7]. На сегодняшний день компьютеры позволяют моделировать много различных символьных процедур, типичных для формальных и гипотетического дедуктивных операций по Пиаже [19]. Однако, несмотря на ощутимый прогресс в данной области, попытки моделирования возможностей и знаний получаемых человеком на ранней стадии развития, сталкиваются с принципиальными сложностями. Некоторые исследователи объясняют данный факт символической природой компьютерного моделирования, что делает невозможным адекватное представление знаний получаемых человеком на ранней стадии развития и являющиеся скрытой частью айсберга человеческих возможностей [20]. Долгое время идут дискуссии и споры о природе человеческих знаний и их адекватного моделирования и существуют различные точки зрения на этот счет [21, 22].

С точки зрения символического подхода к представлению экспертных знаний, восприятие объектов происходит через *понятия* (concepts). Понятия являются частью всего нашего знания о мире и связываются соответствующими *ассоциациями* с другими понятиями. Эти связи представляют свойства и поведение объекта. Нашей задачей является разработка представления понятий и связывающих их ассоциаций для адекватного представления знаний, сопоставимых со знаниями эксперта в данной области.

В 1912 г. Цермело доказал, что все шахматные позиции строго делятся на три класса: выигрышные, проигрышные или ничейные [11]. В [7] было установлено соответствие между выигрышными шахматными позициями в классификации Цермело и типовыми единицами шахматной лексики.

Это соответствие обосновывает конструктивную природу моделей шахматных знаний и в то же время устанавливает, что реальные модели, в принципе, могут только аппроксимировать выигрышные структуры дерева игры из-за непреодолимой сложности вычислений, требуемых для доказательства корректности моделей. Отсюда следует, что для одинаковых единиц шахматной лексики как шахматисты так и компьютеры, как правило, используют различные модели представления знаний, в основе своей опирающихся на индивидуальный опыт. Любые предварительные предпочтения между этими моделями будут включать элемент неопределенности.

Итак, интерпретации единиц лексики должны основываться на определенном индивидуальном опыте, а системы формирования стратегий должны быть способны интегрировать общие знания в предметной области с индивидуальным опытом конкретных экспертов и иметь способность улучшать их качество с помощью регулярного усвоения, обучения или вывода смысла конкретных понятий. Рассмотрим модели представления знаний в игре *наряды**.

2.2 Модели представления экспертных знаний в нардах*

В предыдущей работе [3], общая стратегия для игры в *наряды**, на основе положений из [18], была разбита на 3 основные группы алгоритмов:

1. алгоритм розыгрыша дебютных начал,

2. алгоритм самостоятельной игры,
3. алгоритм розыгрыша окончаний (эндшпилей)

Для алгоритма розыгрыша дебютов была предложена схема конкретных ходов и правил, по которым алгоритм определяет ответный ход на каждый из возможных ходов противника, пытаясь построить позиции, благоприятные для последующего продолжения игры.

Для алгоритма розыгрыша эндшпилей была предложена более общая схема, основывающаяся на конкретных знаниях и наблюдениях эксперта.

Для самостоятельной игры был предложен алгоритм, основанный на базе типов хороших ходов и конкретных хороших ходов, описание которых основывается как на общих знаниях и понятиях в данной игре, так и на конкретных индивидуальных знаниях и наблюдениях эксперта.

В таблице 1 приведены типы хороших ходов, основанных на общих знаниях о данной игре, а в таблице 2 приведены конкретные хорошие ходы, структура которых определена исходя из общих знаний и основываясь на типах хороших ходов, а также исходя из индивидуальных наблюдений эксперта.

Таблица 2.1: Типы хороших ходов

Приоритет	Структура хода	Описание
1	$(big:big)1 + (big:big)2$	Мельница: ход $(big:big)1$ создаёт свободную шашку на поле $s2$ для хода $(big:big)2$, а последний восстанавливает свободную шашку первого на поле $s1$
2	$(big:big)1 + (big:big)2 + m:n[a1-s1, bi-s2]$	"Квази-мельница": свободные шашки ходов $(big:big)1$ и $(big:big)2$ восстанавливаются дополнительным ходом $m:n[s1, s2]$.
3	$3x((big:big)1 + m:n[a1-s1]) + (big:big)2$	"Накопительная мельница" (в позиции, где есть ход $(big)2$ с "головы", но нет хода $(big)2 + (big)2$): свободная шашка хода $(big:big)1$ восстанавливается дополнительным ходом $m:n[a1-s1]$, трёхкратным повторением $3x((big:big)1 + m:n[a1-s1])$ производится накопление шашек на поле fi и только потом играется $(big:big)2$.

Здесь нотацией $[big:big]$ обозначается комбинация двух совпадающих цифр, объявленных игроком. При таком ходе игрок имеет возможность сделать 4 перемещения своих фишек — каждое расстояние равным данному числу. Прописными буквами обозначены поля игровой доски. Вся доска разделена на 4 секции — а, b, c и d начиная с левого нижнего угла и в направлении против часовой стрелки.

Таблица 2.2: Конкретные хорошие ходы

Приоритет	Структура хода	Позиция хода
1.	$5:5[a1-d3]$	a6, b5, c4, d3

		a6, a5, b3, b5, c2, c3, d1
1	5:5[a1-b5, b3-d1] + 4:4[a1-b3, b5-d1]	
1	4:4[a1-b3, b5-d1] + + 5:5[a1-b5, b3-d1]	a6, a5, b3, b5, c2, c3, d1
2	5:5[a1-c4, a1-b1]	a6, b5, c4, d1
2	5:5[a1-b5, b4-d2] + 4:4[a1-b3, b6-d2] + 4:6[a1-a5, b3-c3]	a6, a5, b3, b4, b5, b6, c3, c4, d2
2	4:4[a1-b3, b6-d2] + 5:5[a1-b5, b4-d2] + 4:6[a1-a5, b3-c3]	a6, a5, b3, b4, b5, b6, c3, c4, d2
3	3x(5:5[a1-b5, b4-d2] + m:n[a1-b4]) + [a1-a5, b5-c3]	a6, a5, b4, b5, c3, d2

Исходя из представленных знаний и общих стратегий игры, был предложен общий алгоритм игры, описываемый следующими шагами

1. Выбрать для рассматриваемой позиции наилучший ход из таблицы конкретных хороших ходов. Под ходом здесь на самом деле рассматривается некоторая последовательность (цепочка) ходов. Первый ход из этой цепочки приводит доску в состояние, благоприятное для произведения других "хороших" ходов.
2. Если позиция для игры выбранного хода еще не завершена, то продолжать его построение до полного завершения.
3. Если выбранный наилучший ход является "мельницей", то играть этот ход до последней шашки на поле a1, а затем играть по алгоритму розыгрыша эндшпиля. Здесь "Мельница" это следующие друг за другом ходы, каждый из которых восстанавливает позицию предыдущего хода. "Мельница" является одним из самых мощных правил, позволяющих играть "длинные ходы" и восстанавливать позицию для следующего "длинного" хода. А чем дальше у игрока будет возможность перемещать свои фишки на большое расстояние, тем быстрее он выиграет.

На самом деле, данный алгоритм описывает общие рекомендации эксперта по стратегии игры. С точки зрения реализации данной стратегии, существуют определенные сложности, а именно

1. Не определены методы оценки стратегий, предложенных экспертом, вследствие чего возникают сложности с выбором какой-либо из них
2. Довольно сложно найти ход, который соответствует типам хороших ходов, представленных рекомендациями эксперта, другими словами существуют трудности формализации предложенных стратегий.
3. Не определены методы и алгоритмы построения позиций, дающих возможность реализовать рекомендованные стратегии

3. Алгоритмы формирования стратегий на основе целей и планов

Из вышеизложенных вопросов и сложностей возникает задача разработки методов и подходов к формированию стратегий, основанных на эффективном использовании

экспертных знаний. Рассмотрим некоторые известные подходы к формированию стратегий, приведенные в [8].

Алгоритмы класса Динамическое Тестирование Перспективных Планов (PPDT: *Perspective Plans Dynamic Testing*) имеют интерпретируемую стратегию поиска и существенно используют экспертные знания на всех этапах этого процесса [12].

Исследованы следующие подклассы PPDT алгоритмов, основанные на достижении промежуточных целей или планов.

- IGAF (*Intermediate Goals At First*) - промежуточные цели в первую очередь;
- IGAF/chess Botvinnik;
- IGAF2 - для противостояния вторжениям в компьютерные сети.

В алгоритмах IGAF промежуточные цели воспринимаются как вспомогательные цели и включают следующие этапы анализа:

- нахождение множества предпочтительных целей,
- построение цепочек, траекторий зависимостей, нужных для достижения второстепенных или вспомогательных целей,
- оценивание затрат и выигрышей,
- принятие конечного решения.

IGAF/chess Botvinnik алгоритмы [4] идентифицируют состояние игры и выбирают наиболее выгодную для взятия фигуру противника на основе техники траекторизации (TZT). IGAF/chess алгоритмы на основе экспертных знаний, представленных на специальном языке, были успешно апробированы в Wilkins [13] для разрешения тактически острых комбинаций до глубины перебора превышающего 25 полуходов. К этому же классу относятся алгоритмы Pitrat [9].

Алгоритм IGAF2 для противостояния вторжениям в компьютерные сети [15] использует для управления естественную иерархию целей подобно алгоритму Ботвинника [4]. В сравнительных экспериментах алгоритмов IGAF2 и Минимакс получены, в частности, следующие результаты:

- модель, которая использует алгоритм Минимакс, является сопоставимой с экспертами (администраторы системы) или со специализированными программами в оценке действий против вторжений или других форм нарушений основной системы
- алгоритм IGAF2 -усечения дерева наряду с тем, что совместим с Минимакс, может работать достаточно эффективно с экспертными знаниями в форме целей или правил, чтобы быть использованным для реальных проблем защиты сетей.

В данной работе представлены алгоритм и программа игры в *нардды*, разработанные с использованием подхода Интегрированного тестирования индивидуализированных планов (*Personalized Plans Integrated Testing* (PPIT) [1] и структур знаний рассмотренных в [2,18].

PPIT алгоритмы в сравнении с IGAF и IGAF2 имеют следующие особенности и преимущества:

- в процессе формирования планов используются как общие, так и персональные знания,
- используются параметрические веса и специфичные конструкции комбинаторной природы,
- оценивание целей интегрировано с учетом их значимости, цены достижения, связанностью с другими важными целями в перспективных планах и связанностью с главной из них.

В PPIT алгоритмах, в отличие от IGAF, перспективные планы составляются с использованием как общих знаний, хранимых в лексических словарях/базах [17], так и знаний, зависящих от индивидуальности экспертов. Эти знания включают персонально полученные знания, накопленные, в частности, в процессе жизни

экспертов, исходя из истории их восприятия жизненных ощущений и формы обращения к ним (интуитивное, ассоциативное, атрибутивное и т.д.), особенностей их формирования (индуктивное, дедуктивное), и др.

Основой РРГТ метода является анализ планов. План — это некоторое описание стратегии [1]. Для шахмат, например, планами в некоторой позиции могут являться захват центра или краев доски, для нард — построение позиции, которая исходя из описанных выше типов экспертных знаний позволит реализовать ту или иную стратегию.

Планы имеют направляющий характер. По существу они призваны выбрать, из всех возможных целей те, которые, обеспечат наибольший выигрыш и фактически помогают осуществлять целенаправленный поиск в пространстве состояний. Выигрыш имеет как материальную, так и позиционную составляющие. В общем случае план основывается на более простых и заранее описанных компонентах.

Каждый план это некоторая иерархия целей, которых стоит достичь. Между разными целями естественным образом существует полное или частичное упорядочение, которое указывает какие приоритеты имеют они относительно друг друга.

Рассмотрим методы представления общих и индивидуализированных экспертных знаний для игры в нарды*, а также алгоритмы формирования стратегий на основе планов с использованием РРГТ алгоритмов.

4. Эксперименты разработки планов и стратегий игры в нарды*

В работе [3] были рассмотрены некоторые подходы для разработки алгоритмов для игры в нарды* с использованием следующих "типичных" экспертных знаний.

Так как в игре не используются игральные кости, то естественно, что игрок будет пытаться играть как можно более "длинные" ходы, то есть ходы, при которых суммарное расстояние передвижения фишек игрока максимально, с целью как можно скорее вывести свои фишки с игрового поля.

Чтобы иметь возможность играть "длинные" ходы, необходимо, чтобы некоторая группа полей на игровом поле была занята своими фишками, то есть необходимо построение таких позиций, которые позволят как можно дольше играть "длинные" ходы.

С другой стороны, логично предположить, что противник будет придерживаться такой же стратегии, следовательно при построении своей позиции нужно также занимать те поля, которые нужны для построения аналогичных позиций соперника, с целью уменьшения возможностей противника для построения подобных позиций.

С учетом вышеизложенных целей и исходя из рекомендаций эксперта по стратегии игры предложены понятия, помогающие сформировать некоторую определенную стратегию игры (Таблицы 2.1 и 2.2). Приведем примеры некоторых из таких понятий и покажем возможность их комбинирования для формирования плана игры.

Длинный ход — представляет собой ход, определяющийся шаблоном [big:big], то есть определяющийся комбинацией двух совпадающих чисел. При таком ходе игрок имеет возможность сделать 4 перемещения своих фишек — каждое расстоянием равным данному числу.

Вспомогательный ход — ход способствующий построению такой позиции, при которой игрок получает возможность игры хода [big:big], при котором данная позиция остается неизменной

Упреждающий ход — ход препятствующий построению противником позиции, при которой он получит возможность хода [big:big]

На основе первых двух позиций было сформировано понятие "мельницы", которое представляет собой комбинацию первых двух понятий и фактически определяет план действий, при котором игрок получает возможность играть "длинные" ходы.

С учетом вышеизложенного подхода к формированию планов и РРПТ подхода, каждая конкретная стратегия представляется группой некоторого множества планов, представляющих некоторую логическую совокупность действий и целей, которых нужно достичь. Каждый план имеет некоторый приоритет, и планы рассматриваются в порядке убывания их приоритетов.

К примеру, стратегия игры описанная в таблице конкретных хороших ходов 5:5[a1-d3] представляется комбинацией трех планов

План1 — Занять позиции a6, b5, c4, d3 на игровом поле

План2 — По мере возможностей не дать противнику занять позиции, которые дадут ему возможность сделать какой либо из ходов, описанных в таблице конкретных хороших ходов

План3 — если позиция построена, то играть 5:5 не открывая полей данной позиции, пока имеются фишки на головном поле.

Планам присвоены приоритеты в следующем порядке — первому плану присвоен самый высокий приоритет, а второму и третьему — более низкие и одинаковые по значению приоритеты, что делает их выполнение невозможным, если выполнение первого еще не закончено. Если выполнение первого плана невозможно по каким-либо причинам, то скорей всего данная стратегия вообще не будет выбрана в процессе рассмотрения возможных стратегий.

С учетом такого подхода к формированию стратегий общий алгоритм игры представляется следующим образом

1. Из множества всех стратегий выбрать конкретную стратегию, приоритет которой в данной позиции имеет наибольшее значение — каждая стратегия имеет некий приоритет, заранее определенный при помощи некой эвристики. Кроме того, для оценки значимости данной стратегии в случае данной конкретной позиции используются такие критерии, как например достижимость множества планов данной стратегии с учетом текущей позиции.
2. определить множество планов или целей данной стратегии, которые еще не достигнуты.
3. Для каждого из них получить множество ходов, которые ведут к достижению данного плана — например с учетом вышеизложенных понятий для игры в *парды* таким ходом может быть вспомогательный ход для построения позиции для хода [big:big], если целью данного плана является построение подобной позиции.
4. Найти ход, который содержится в большинстве из полученных множеств, то есть является общим для достижения наибольшего количества целей данной стратегии.

Блок-схема алгоритма приведена на Рис.1.

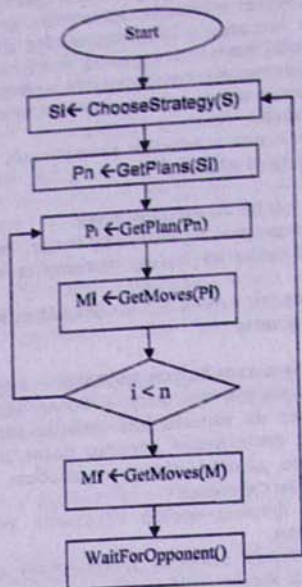


Рис. 1. Общая схема алгоритма игры

В отличие от алгоритма Минимакса, который перебирает все возможные ходы, данный алгоритм производит *целенаправленный* поиск с целью найти ходы, способствующие достижению некоторой цели, таким образом отбрасывая заранее неперспективные ходы. Цели определяются при помощи как общих, так и индивидуализированных знаний эксперта и используются для формирования конкретной стратегии игры.

5. Заключение

РРГТ алгоритмы способны, в принципе, усваивать и использовать знания экспертов. Они могут быть адекватно настроены для решения задач класса SSGT [1].

В данной работе показана эффективность РРГТ алгоритмов на примере разработки алгоритма игры в *нарды**, являющейся представителем класса задач SSGT. Для данной игры сформировано более 20- понятий и планов, основанных на ассоциации между ними. Показана возможность формирования конкретных стратегий, основанных на использовании комбинаций данных планов, методов оценки конкретных стратегий и предложен общий алгоритм игры, основанный на их использовании.

В настоящее время ведется работа по улучшению алгоритма, путем добавления новых знаний и их комбинирования для получения новых стратегий.

Литература

- [1] Pogossian E., Vahradyan V., Grigoryan A. On Competing Agents Consistent with Expert Knowledge. Lecture Notes in Computer Science, AIS-ADM-07: The Intern. Workshop on Autonomous Intelligent Systems - Agents and Data Mining, June 6-7, 2007, St. Petersburg.
- [2] Pogossian E., Karapetyan G., Vahradyan V., Experiments in Simulation of Conceptual Chess Knowledge, CSIT 2005, Yerevan, 5p.
- [3] Джи́джян Р., Карапетян Г., Разработка алгоритмов и методов обучения игры в нарды без игровых костей, Научная конференция ГИУА, Сборник материалов, том 1, Ереван 2004
- [4] Botvinnik M., About Solving Approximate problems, Sov. Radio, Moscow, 1979
- [5] Furenkranz J., Machine Learning in Games: A Survey, Nova Scientific, 2001
- [6] Pogossian E., Adaptation of Combinatorial Algorithms, Academy of Sciences of Armenia, Yerevan, 1983
- [7] Pogossian E.: Specifying Personalized Expertise. International Association for Development of the Information Society (IADIS): International Conference Cognition and Exploratory Learning in Digital Age (CELDA 2006), 8-10 Dec., Barcelona, Spain (2006) 151-159
- [8] Погосян Э., Ваградян В., Григорян А., Эксперименты согласования знаний экспертов с принятием решений в этюдах Рети и Нодареишвили (см. Настоящий сборник).
- [9] Pirat J., A Chess Combination program which uses plans, AI, v. 8, 1972
- [10] G.F. Luger. "Artificial Intelligence: Structures and Strategies for Complex problem Solving", 4-th ed., Addison-Wesley, 2003
- [11] Zermelo E. Über eine Anwendung der Mengenlehre auf die theorie des Schachspiels. Proceedings of the fifth International Conference of Mathematicians, Cambridge, Cambridge University Press (1912) 501-504
- [12] Pogossian E.: Focusing Management Strategy Provision Simulation. Proceedings of the CSIT2001, 3d Inter. Conf. in Comp. Sci. and Inf. Technologies, Yerevan (2001) 37-42
- [13] Wilkins D. Using knowledge to control tree searching. AI, v.18, 1-51
- [14] Baghdasaryan T., Danielyan E., Pogossian E.: Supply Chain Management Strategy Provision by Game Tree Dynamic Analysis International Conference: Management of Small and Medium Business: Information Technologies (SBM2006), Sevastopol, Sept. 3-8, (2006) 37-41
- [15] Pogossian E., Javadyan A., Ivanyan E.: Effective Discovery of Intrusion Protection Strategies. The Intern. Workshop on Agents and Data Mining, St. Petersburg, Russia, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 3505 (2005) 263-274
- [16] Turing A.M.: Computing Machinery and Intelligence. Mind 49 (1950)[Reprinted in Minds and machines. A. Anderson (ed.), Engelwood Cliffs NJ, Prentice Hall (1964) 433-460
- [17] Pogossian E., Hambartsumyan M., Harutunyan Y.: A Repository of Units of Chess Vocabulary Ordered by Complexity of their Interpretations. National Academy of Sciences of Armenia, IPIA, (research reports 1974-1980) (in Russian) 1-55
- [18] Djidjian R. Getting Ready for Great Discoveries. Yerevan State University, 2004, pp 231
- [19] Flavell J. 1962. The Developmental Psychology of Jean Piaget, D. Van Nostrand Company Inc., Princeton, New Jersey
- [20] Winograd T., Flores F. 1986. *Understanding Computers and Cognition (A new*

foundation for design]. Publishers, Chapter 2, pp. 11 – 59, Huntington, NY

- [21] Pylyshyn Z. 2004. *Seeing and Visualizing: It's Not What You Think, An Essay On Vision And Visual Imagination*. <http://rucss.nutgers.edu/faculty/pylyshyn.html>
- [22] Kosslyn S. 1980. *Image and Mind*. Cambridge, MA Harvard University Press

**Նարդիի համար փորձագետի անհատականացված գիտելիքների
օգտագործմամբ ռազմավարությունների մշակում**

Գ. Կարապետյան

Ամփոփում

Խաղային ալգորիթմների էֆեկտիվությունը պայմանավորվում է նրանց օպտիմալ ռազմավարության ընտրման հնարավորությամբ: Իսկ կամայական ռազմավարության էֆեկտիվությունը հիմնականում պայմանավորված է գիտելիքների ներկայացման մեթոդով, որի հիման վրա տվյալ ռազմավարությունը ընտրում է անհրաժեշտ գործողությունները: Հետազոտության նպատակն է մշակել կոմբինատոր խաղերում ռազմավարությունների ձևավորման ալգորիթմներ՝ հիմնված կոմպլեքս փորձագետների գիտելիքներին համապատասխան անհատականացված պլանների վրա և բերված են դրանց կիրառման օրինակներ մարդիկ ալգորիթմներում:

Բերված են մարդիկ գիտելիքների ներկայացման և օգտագործման մոդելներ, ներկայացված են տվյալ մոդելների դեպքում առաջացող ալգորիթմների մշակման պրոբլեմները և դրանց լուծումները: Ներկայացվել է մարդիկ ալգորիթմների մշակման օրինակ PPIT մոտեցման միջոցով և ցույց է տրվել այդ մոտեցման արդյունավետությունը առաջացած պրոբլեմների լուծման պարագայում: