

# Применение гибридных систем вычислительного интеллекта для выбора рационального варианта управленческого решения

*полковник В.И. ТЕРЕХОВ,  
кандидат технических наук*

**АННОТАЦИЯ:** Проведен анализ современного состояния теории принятия решений и даны рекомендации по совершенствованию этого процесса с использованием гибридной системы, разработанной на основе современных информационных технологий.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** метод принятия решения, вычислительный интеллект, гибридная система, интеллектуальная система, нейронная сеть.

**SUMMARY:** The analysis of the current state of the theory of decision making and the recommendations for improving this process using a hybrid system, developed on the basis of modern information technology, are made.

**KEYWORDS:** decision-making methods, computational intelligence, hybrid systems, intelligent system, neural network.

**СИСТЕМНЫЕ** исследования в различных областях человеческой деятельности начали интенсивно развиваться в середине прошлого столетия, когда на базе теорий эффективности, игр, массового обслуживания и других теорий появилась синтетическая научная дисциплина — *исследование операций*. В результате этих исследований возникла теория систем, составной частью которой является теория принятия решений. С ее помощью достигнуты большие успехи, однако до сих пор решающее значение в исследовании и управлении сложными системами имеют традиционные приемы анализа, использующие опыт, интуицию и способности должностных лиц органов управления (ДЛ ОУ) к ассоциациям, т. е. то, что чрезвычайно плохо поддается описанию с помощью формальных математических методов.

В настоящее время теория принятия решений широко использует критериальный и ситуационный методы. При этом отличие ситуационного метода от критериального в том, что он устанавливает не факт неэквивалентности альтернатив, а факт эквивалентности текущей ситуации одной из ситуаций, занесенных в каталог.

Актуальность и широкое применение в настоящее время ситуационного метода вызвано следующими обстоятельствами:

в сложных системах и процедурах адекватное математическое описание процесса принятия решения либо отсутствует, либо громоздко;

алгоритмы принятия решения разрабатываются, в основном, для оперативного применения (работы в режиме реального времени), поэтому применение точных методов оптимизации, присущих критериальному подходу, вследствие их трудоемкости исключаются;

в ряде сложных практических задач решение вырабатывается в результате ряда последовательных итераций, поэтому при их реализации необходимо учитывать качественную информацию, исходящую от экспертов и представленную, в большинстве случаев, неформально<sup>1</sup>.

Создание методов принятия решения трудноформализуемых задач (т.е. в задач которые не могут быть заданы в численной форме, цели которых не могут быть выражены в терминах точно определенной целевой функции, алгоритмического решения которых либо не существует, либо его нельзя применить в силу ограниченности вычислительных ресурсов), может быть обеспечено путем совершенствования инструмен-

<sup>1</sup> Захаров И.Г. Обоснование выбора. Теория практики. — СПб.: Судостроение, 2006. 232 С.

тария ситуационного выбора, ориентированного на широкое применение эвристических методов. Эти методы должны хорошо вписываться в современную теорию принятия решений, непрерывно видоизменяясь под влиянием ее инструментария<sup>2</sup>. В настоящее время совокупность таких эвристик, применительно к задаче выбора варианта решения, объединяется под общим названием - искусственный интеллект.

Анализ современного состояния теории принятия решений позволяет сделать следующие выводы:

*Первый.* Нельзя переоценивать значение математических методов и считать, что формальные методы математики являются универсальным средством решения задач в сфере управления военной, производственной, экономической и других видов деятельности.

*Второй.* Методы, основанные на результатах опыта и интуиции, будут актуальны еще продолжительное время.

*Третий.* Рассуждения правдоподобного характера (с позиции «здравого смысла») помогают сформировать математические модели, в основе которых лежит накопленный опыт разработки различных моделей. С формальной точки зрения эти математические модели можно рассматривать как некоторую систему аксиом. Другими словами, эти модели обладают совокупностью знаний, которые определяют взаимосвязь между различными наблюдениями явлений в соответствии с фундаментальной теорией, но не следующих непосредственно из неё. В последнее время такой подход становится общепринятым при проведении различных системных исследований в военной, экономической, социальной и других предметных областях.

*Четвертый.* Военные, экономические и социальные системы являются управляемыми, поэтому для них должна формироваться цель управления, что с очевидностью приводит к понятию программы, находящейся вне модели, процедуру формирования которой невозможно полностью формализовать. Кроме того, элементы эвристики присутствуют и в понятии критерия качества (эффективности), которое позволяет выбрать рациональное решение из числа допустимых. Следовательно, эвристические процедуры и методы в системных исследованиях и в конкретных задачах имеют и будут иметь большое значение.

*Пятый.* Эвристические процедуры и методы, без которых нельзя представить себе функционирование сложных систем управления — это способы принятия решения, использующие накопленный и обобщенный опыт.

*Шестой.* Нельзя противопоставлять неформальные и строгие математические методы анализа, так как решение должно приниматься на основе сочетания обоих способов мышления.

Кроме того, необходимо учитывать и то, что каждая СВУ обладает следующими особенностями: нестационарностью (изменчивостью) отдельных параметров системы и стохастичностью своего поведения в целом; уникальностью и непредсказуемостью поведения системы в конкретных условиях; формированием различных вариантов поведения, что обусловлено наличием в системе активных элементов — людей; способностью саморегулироваться и адаптироваться к изменяющимся условиям; способностью и стремлением к целеобразованию (так как в системах с активными элементами цели формируются внутри самой системы).

Долгое время учет приведенных особенностей пытались описать с помощью классических систем искусственного интеллекта, т.е. систем, основанных на символьных вычислениях и других формальных методах. Однако довольно скоро выяснилось, что с помощью символьной обработки информации, в большинстве случаев не удается решить прикладные задачи систем поддержки принятия решений (в первую очередь военного назначения), если для них невозможно получить всю необходимую информацию.

<sup>2</sup> Разумов О.С., Благодатских В.А. Системные знания: концепция, методология, практика. — М.: Финансы и статистика, 2006. 400 С.

Как показали исследования, проведенные 1980 — 90-х годах, выходом в сложившейся ситуации является использование систем на основе вычислительного интеллекта (в зарубежной литературе — «мягкие вычисления» (Soft Computing)).

Под вычислительным интеллектом (ВИ) понимается научное направление, где решаются задачи искусственного интеллекта на основе новых нетрадиционных методов вычислений, а под технологией ВИ понимают совокупность новых методов и средств обработки знаний, документооборота, методов выработки и выбора альтернативных вариантов решений, объединенных в целостную технологическую систему для принятия и доведения решений до исполнителей. Эта совокупность предполагает, как правило, наличие развитого человеко-машинного интерфейса, системы (или элементов) ВИ и возможность использования электронных карт местности.

В настоящее время считают, что ВИ включает в себя следующие основные методы:

*нейросетевые* — использующие обучение, адаптацию, классификацию, системное моделирование и идентификацию систем на основе исходных данных;

*нечеткой логики* — основанные на теории нечетких множеств и обеспечивающей эффективные средства математического отражения неопределенности и нечеткости исходной информации, позволяющие построить модель, адекватную исследуемой предметной области;

*генетические* — использующие синтез, настройку и оптимизацию исследуемых систем с помощью специальным образом организованного случайного поиска и эволюционного моделирования.

Эти методы являются основными в ВИ, однако, необходимо заметить, что число новых методов примкнувших к ним в последнее время постоянно расширяется, не являясь строго определенным. Ниже перечислены наиболее значимые из них:

*когнитивная компьютерная графика* — методы визуализации данных, позволяющие активировать наглядно-образные механизмы мышления ЛПР, облегчающие принятие решения в сложной обстановке или нахождение решения сложной проблемы;

*фрактальная геометрия; теория хаоса; нелинейная динамика.*

На сегодняшний день существует достаточно большое количество разнообразных классификаций современных информационных технологий<sup>3</sup> учитывающих парадигмы рассматриваемых предметных областей. Применительно к области военного управления можно предложить классификацию, приведенную на рисунке.

Основными характеристиками интеллектуальных систем (ИС) на базе ВИ, определяющими их применение в области военного управления, являются следующие:

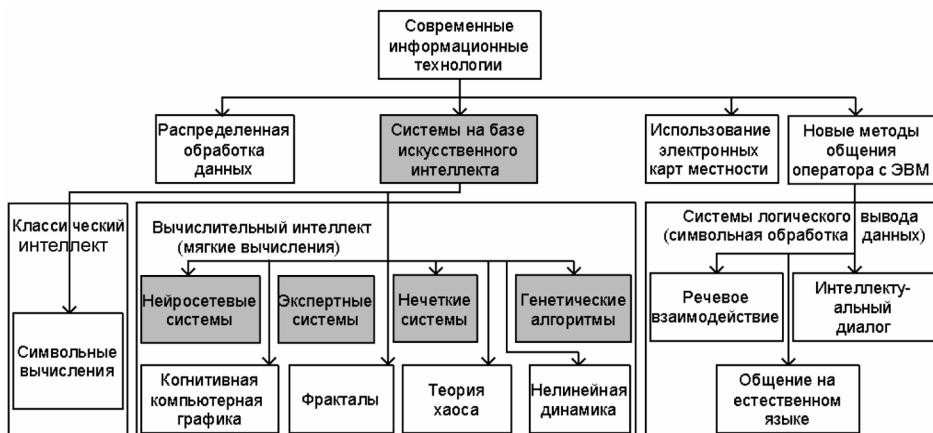
способность к обучению и самообучению, т. е. способностью ИС на базе ВИ после предъявления входной информации самонастраиваться, обеспечивая получение выходной информации с требуемой точностью, в отличие от систем, основанных на символьных вычислениях не способных к самообучению в принципе;

способность к адаптации, т. е. быстро изменять свои параметры в соответствии с изменяющейся обстановкой;

«прозрачность» объяснения, т. е. представлять извлеченные из данных знания в понятном эксперту или ЛПР виде;

способность открывать новое, т. е. выявлять ранее неизвестные, скрытые связи и отношения в больших массивах числовой, текстовой и визуальной информации, прогнозировать появление новых процессов и тенденций;

<sup>3</sup> Фролов Ю. В. Интеллектуальные системы и управленческие решения. — М.: МГПУ, 2000. 294 С. Балыбердин Б. А., Пенкин О. М., Полунин А. И. Проблемные вопросы создания и внедрения новых информационных технологий в автоматизированных системах военного назначения. — М.: Вооружение. Политика. Конверсия, 2001. 146 С.



### Классификация современных информационных технологий

нелинейность, т. е. аппроксимировать сколь угодно сложные нелинейные функции с любой, заранее заданной точностью;

универсальность, т. е. решать широкий круг задач и быть свободной от каких-либо предположений относительно источника данных;

параллелизм, т. е. способность параллельной обработки информации;

устойчивость, т. е. способность продолжать выполнение задачи, сохраняя заданное качество решений, в условиях, когда повреждена часть ее структуры;

креативность, т. е. способность порождать новые (не встречающиеся при обучении) варианты решения задачи.

Перечисленные характеристики в разной степени присущи каждой из ИС использующей конкретный метод ВИ, в связи с чем, все они имеют сильные и слабые стороны, позволяющие создавать из них гибридные интеллектуальные системы, соединяющие положительные свойства как отдельных ИС на базе ВИ, так и существующих классических методов. При этом составные части такой гибридной системы не конкурируют друг с другом а создают синергетический эффект взаимного усиления своих достоинств и ослабления недостатков. Так, например, представление знаний в нейронных сетях (НС) в виде матриц весов не позволяет провести анализ полученных результатов, в то время как в системах вывода на базе нечетких правил, результаты интерпретируются как обратные протоколы вывода. НС обучаются с помощью универсального алгоритма, в котором трудоемкое извлечение знаний заменяется подготовкой достаточной по объему обучающей выборки. Для нечетких систем вывода извлечение знаний включает в себя сложные процессы формализации понятий, определение функций принадлежности и формирования правил вывода. В то же время нечеткие НС обучаются как обычные НС, а их результаты объясняются как в системах нечеткого вывода<sup>4</sup>.

Ядром гибридной ИС на базе ВИ, по результатам проведенных в России и за рубежом исследований, вероятнее всего, будет являться НС, опережающая другие системы ВИ по таким параметрам, как способность к обучению, обобщению и адаптации<sup>5</sup>. Исходя из этого, для решения задач классификации и кластеризации, многомерной оптимизации, визуализации, понижения размерности, принятия решения

<sup>4</sup> Тарков М. С. Нейрокомпьютерные системы: Учебное пособие — М.: Интернет-Университет Информационных Технологий; БИНОМ. Лаборатория знаний. 2006. 140 С.

<sup>5</sup> Галушкин А.И., Иванов В.В., и др. Некоторые концептуальные вопросы развития нейрокомпьютеров — Зарубежная радиоэлектроника, №2, 1997. С. 3 — 10.

на основе неполных и неточных данных и т.д., в случае необходимости, можно использовать интегрированные с НС экспертные и нечеткие системы, генетические алгоритмы, когнитивную компьютерную графику, фракталы, теорию хаоса, нелинейную динамику и т.д. Кроме того, возможно использование такой гибридной ИС на базе ВИ для замены сложных расчетных методик (не работающих как в режиме реального времени, так и с неполными и неточными данными), путем обучения ее на уже имеющихся результатах; построения моделей различных предметных областей, на основе накопленных массивов экспериментальных данных, без их аналитического описания; решения различных трудно и неформализуемых задач.

Необходимо отметить, что под гибридизацией ИС в настоящее время понимается интеграция методов и технологий на таком уровне, который предполагает создание новых методов, использующих понятия объединяемых базовых методов. При этом компоненты гибридной ИС должны обеспечивать такие ее свойства, как управление неопределенностью, обучаемость и самоадаптацию.

Пример построения и использования простейшей гибридной ИС на основе нейронной сети Хэмминга и алгоритма анаморфирования (преобразование, трансформирующее визуальный образ, построенный в евклидовой метрике, в визуальный образ, построенный на основе выбранного показателя анаморфирования), относящемуся к методам когнитивной компьютерной графики, можно рассмотреть на примере создания системы инженерных заграждений (СИЗ) в оборонительной операции (ОО).

Хорошо известно, что принятие решения на создание СИЗ в ОО состоит не только из чрезвычайно сложного и трудоёмкого этапа предварительного формирования вариантов решения (исходного множества альтернатив) экспертами и/или ЛПР, но и не менее трудоёмкого и ответственного этапа — этапа выбора наиболее похожего варианта решения из исходного множества альтернатив с учетом поставленной задачи, сложившейся обстановки, имеющихся сил и средств. Это требует постоянного поиска новых методов и технологий, разрешающих, в общем случае, противоречие между увеличением информационной трудоемкости подготовки и выбора варианта решения и выделяемым для этого временем.

Выбор варианта решения на создание СИЗ в ОО всегда связан с необходимостью получения и анализа обширной и специфической информации. В основном это сведения о характеристиках местности в пределах полосы боевых действий и объектах, расположенных на ней, результаты оценки проходимости, защитных свойств местности, анализа дорожной сети и т. п. Причем на уровне Начальника инженерных войск (НИВ) может использоваться обобщенная, усредненная (с учетом возможного разброса) информация, что обеспечивает оперативность принятия решения при сохранении его заданной достоверности.

В качестве одного из источника исходных данных в рассматриваемой задаче используются топографические карты, несущие ограниченную информацию, различные электронные карты местности (ЭКМ), а дополнительную информацию об отдельных участках местности получают в ходе воздушной или наземной разведки.

Принцип работы предлагаемой гибридной системы состоит в следующем.

*Первое.* Нейронная сеть выбирает из библиотеки заранее созданных визуальных образов (оформленных на электронной карте местности (ЭКМ) графических частей решения, с рассчитанной для каждого варианта пояснительной запиской) принятия решения на создание СИЗ

в ОО одного варианта решения, наиболее соответствующего реально сложившейся обстановке. Выбор НС Хэмминга обуславливается тем, что эта многослойная сеть ассоциативной памяти с отрицательными фиксированными связями между отдельными слоями характеризуется меньшим количеством производимых вычислений и объемом используемой оперативной памяти компьютера в задачах классификации визуальных образов. Смысл ее работы состоит в нахождении библиотечного визуального образа с минимальным расстоянием Хэмминга (числом отличающихся значений в двух бинарных векторах) до поданного на вход варианта решения на создание СИЗ в соответствии со сложившейся обстановкой, с активизацией только одного выхода сети, наиболее соответствующего этому образу<sup>6</sup>.

*Второе.* Для устойчивой работы НС библиотечные визуальные образы принятия решения на создание СИЗ в ОО и входной визуальный образ, отражающий сложившуюся обстановку, преобразовывается при помощи алгоритма анаморфирования, причем за показатель анаморфирования принимается время задержки на элементах СИЗ. Неустойчивость работы НС, в общем случае, может быть вызвана тем обстоятельством, что различные библиотечные варианты решения, состоящие из площадных фигур — элементов СИЗ, могут иметь одинаковое или близкое расположение составляющих элементов с разным значением времени задержки на каждом из них. НС не сможет классифицировать входной визуальный образ, если мера подобия между ним и библиотечными визуальными образами будет одинаковой или достаточно малой, поэтому будет вынуждена принимать решение на основе случайного выбора между ними. В результате анаморфирования геометрическая форма всех элементов всех визуальных образов будет изменяться, а их показатели анаморфирования становятся равными. Это преобразование обеспечивает отличие всех библиотечных визуальных образов друг от друга и как следствие — устойчивую работу НС, возможность проведения анализа свойств элементов СИЗ в пространстве выбранного показателя анаморфирования (в частности, задержки на элементах СИЗ), разработку сценариев развития боевых действий и соответствующую каждому из них эволюцию СИЗ.

В результате подачи на вход описанной гибридной системы варианта решения, выработанного ДЛ ОУ и соответствующий реально сложившейся обстановке, на выходе системы будет представлен один из библиотечных вариантов решения, максимально похожий на входной вариант решения и соответствующая ему пояснительная записка с расчетами СИЗ. Также на ЭКМ будут показаны отличия выбранного нейронной сетью библиотечного варианта решения на создание СИЗ в ОО от входного, выработанного ДЛ ОУ.

После оценки полученного варианта решения и его уточнения, он представляется в качестве предложений должностному лицу (НИВ), принимающему решение на создание СИЗ. Если позволяет обстановка и бюджет времени, то уточняемый вариант может многократно подаваться на вход гибридной системы до получения рационального варианта решения на создание СИЗ в ОО.

Предложенная гибридная система позволяет на порядок сократить время принятия решения ДЛ ОУ, использовать накопленный опыт и неформальные знания, учитывать интуицию экспертов при составлении библиотеки вариантов решений. Однако необходимо принимать во внимание и тот факт, что работа по составлению такой библиотеки является достаточно сложной задачей, требующей проведения дополнительных исследований и должна осуществляться в ходе заблаговременного планирования оборонительной операции.

---

<sup>6</sup> Хайкин С. Нейронные сети: полный курс. 2-е изд. Пер. с англ. М.: Издательский дом «Вильямс», 2006. 1104 С.