

ВВЕДЕНИЕ

Современный этап развития общественных отношений характеризуется все возрастающим значением роли информации в жизни общества и отдельного человека. Можно с уверенностью говорить, что информационные технологии проникли во все сферы жизни. В ближайшем будущем практически каждый житель развитых стран будет иметь уникальный идентификатор личности в сети «Интернет». Практически вся информация, которая поддается переводу в цифровую форму, будет присутствовать в глобальном информационном пространстве – Сети, а доступ к ней станет возможным из любой точки земного шара. Наступает эпоха, в которой для получения конкурентных преимуществ недостаточно простого владения информацией – необходимо научиться извлекать и эффективно использовать новые знания из той информации, которая нас окружает. Все это привело к тому, что, начиная с середины XX века, мы наблюдаем бурное развитие когнитивных или познавательных технологий. Они возникли на основе объединения элементов философии, лингвистики, психологии, нейрофизиологии и теории искусственного интеллекта. В когнитивных системах проблемы восприятия, понимания, анализа и принятия решения рассматриваются с точки зрения возможных вариантов их решения человеком. Когнитивный подход предполагает, что в технические системы внедряются (становятся их неотъемлемой частью) новые технологии обмена информацией, например, возникает информационная цепочка: **мозг человека – его нервная система – компьютер – Сеть**. Можно даже утверждать, что «когнитивные технологии «имитируют» мыслительную деятельность человека» [1 Вестник связи, №10, 2011]. Существует мнение, что в обозримом будущем «люди откажутся от компьютеров и любой объект в физическом пространстве сможет сам присутствовать в Сети» [Как доживем до 2030-го... // ПолитЭкономика.ру <http://politekonomika.ru/oct2012/kak-dozhivem-do-2030-go/>]

Преимущества когнитивных технологий проявляются, при описании слабоструктурированных систем, характеризующихся многоаспектностью происходящих в них процессов, отсутствием достаточной количественной информации об их динамике, а также нечеткостью, изменчивостью характера процессов во времени и т. д. [2 Когнитивные технологии [www.cognitive.ru/Наука/Когнитивные технологии](http://www.cognitive.ru/Наука/Когнитивные_технологии) <http://www.cognitive.ru/innovation/cognitive/>]. К таким системам относятся практически все современные информационно-коммуникационные сети, начиная с простейших локальных сетей предприятия и заканчивая глобальной сетью «Интернет».

Учебное пособие, предназначенное, прежде всего, студентам старших курсов направления 27000 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи», состоит из двух частей.

В первой рассматривается понятие когнитивных технологий, подробно представлено описание основного когнитивного цикла, сравниваются общефилософская и «технократическая» трактовки термина «когнитивные сети», вводится понятие когнитивной радиосистемы и рассматривается расширение когнитивного цикла, для когнитивного радио.

Вторая часть посвящена изложению основных принципов построения когнитивных радиосетей, в том числе беспроводных самоорганизующихся сетей передачи данных (ad-hoc сетей).

Необходимость написания данного пособия обусловлена практическим отсутствием отечественных учебных изданий, охватывающих данную актуальную тематику.

1. ПОНЯТИЕ КОГНИТИВНОСТИ

1.1. Когнитивные системы и когнитивные технологии

В современных книгах, статьях и докладах на конференциях различного уровня, посвященных информационному взаимодействию в сложных системах, достаточно часто встречается прилагательное «когнитивный». В частности, оно используется при определении понятий «когнитивные системы» и «когнитивные технологии». Данные термины появились в результате дословного перевода с английского языка словосочетаний «cognitive system», «cognitive technology». Попробуем разобраться, что означают эти два понятия применительно к техническим системам.

Понятие когнитивности достаточно широко и давно используется в философии и психологии. Когнитивность (лат. *cognitio*, «познание, изучение, осознание») — термин, обозначающий способность к умственному восприятию и переработке внешней информации. В психологии это понятие ссылается на психические процессы личности и, особенно, на изучение и понимание так называемых «психических состояний» (т. е. убеждений, желаний и намерений) в терминах обработки информации. [Когнитивность / ПСИХОЛОГОС. Энциклопедия практической психологии // <http://www.psychologos.ru/articles/view/kognitivnost>].

Достаточно часто термин «когнитивность» употребляется при изучении таких предметных областей, для которых основополагающими служат такие понятия как знание, умение или обучение. В нейропсихологии к когнитивным (познавательным) функциям мозга принято относить все, что позволяет характеризовать интеллектуальную деятельность человека, включая память, понимание, восприятие, воспоминание, представление, воображение, рассуждение, задумчивость и др. [<http://neurologystatus.ru/17>]

В теории информационных процессов и систем термин «когнитивность» чаще всего используется в более широком смысле, обозначая появление и «становление» знания и концепций, связанных с этим знанием, выражающих

себя как в мысли, состоянии, так и в действии. [Болбаков Р.Г. Теорема Байеса в когнитивной семантике образовательных информационных систем // Современные проблемы науки и образования № 5 за 2012 год <http://www.science-education.ru/105-7074>.]

В подавляющем большинстве публикаций под «когнитивными системами» понимаются современные аппаратно-программные средства, использующие одноименные технологии. Отсюда вытекают основные цели, которые ставятся при разработке и создании «когнитивных систем»:

- такие системы должны обеспечивать интеллектуальные процедуры принятия решений в сложных ситуациях;

- в основе принятия решения должны лежать новые знания, приобретенные системой в процессе ее функционирования;

- получение новых знаний и интеллектуальная обработка данных должны быть основаны на использовании когнитивных функций и учитывать конвергенцию высоких технологий.

В «когнитивных системах» изначально заложен принцип конвергентности, поскольку в процессе функционирования таких систем очень сложно выделить составляющие, относящиеся к психологии, психофизике, сфере искусственного интеллекта, нейробиологии, нейрофизиологии, лингвистике, математической логике, философии и другим наукам. Подходы, теории, концепции, характерные для перечисленных областей науки успешно сосуществуют в рамках единой цели – создания новых моделей познавательных процессов и повышения их эффективности.

Определить их сегодня, пожалуй, можно следующим образом.

Когнитивные технологии – способы и алгоритмы достижения целей субъектов, опирающиеся на данные о процессах познания, обучения, коммуникации, обработки информации человеком и животными, на представление нейронауки, на теорию самоорганизации, компьютерные

информационные технологии, математическое моделирование элементов сознания, ряд других научных направлений, ещё недавно относившихся к сфере фундаментальной науки [Когнитивный вызов и информационные технологии / Г.Г.Малинецкий [и др.] // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. 2010. № 46. 28 с. URL: <http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2010-46>].

Конвергентные технологии проявляют большой антропологический и социальный потенциал, значительно изменяя среду обитания и самого человека.

В современных технологиях часто сложно отделить живое от неживого, искусственное от естественного, разумное от неразумного.

Под влиянием информационно-коммуникационных технологий изменяется мышление человека

Наряду с этим, информационная среда, формируемая новейшими технологиями, может способствовать развитию интуитивного и творческого мышления.

В частности в работе [И.В. Лысак, Д.П. Белов Влияние информационно-коммуникационных технологий на особенности когнитивных процессов. //Известия ЮФУ. Технические науки. С.256-262] утверждается, что «использование информационно-коммуникационных технологий приводит к развитию функций правого полушария головного мозга, отвечающего за пространственно-образное мышление, что может способствовать становлению креативности».

Когнитивный подход к построению сложных технических систем предполагает наличие в системе объектов двух видов:

- объектов, определяющих состояние системы и ее эволюцию во времени;

- объектов, отражающих причинно-следственные связи между факторами, определяющих характер, силу и направленность взаимодействия элементов в системе.

Исходя из этого, для функционирования когнитивной системы любого рода необходим обмен информацией, который в современных условиях легко обеспечивается телекоммуникационными сетями.

Характерной особенностью современного общества является постоянное увеличение количества информации, которой вынужден оперировать человек.

Во-вторых, в телекоммуникационных сетях могут использоваться когнитивные системы и технологии, позволяющие радикально улучшить показатели эффективности процессов обмена информацией. Оба отношения по-своему интересны и заслуживают тщательного анализа.

1.2. Две трактовки термина когнитивные сети

Последние несколько лет отчетливо наблюдается тенденция «выхода ИТ-технологий из чисто виртуальных цифровых миров в наш реальный физический мир» [8 инженерных трендов 2014 года]. Появляются такие термины как «интернет вещей» или «internet of everything». При обсуждении будущего «всемирной паутины» говорится, что по всей планете будут распределены всевозможные датчики, взаимодействующие между собой и обладающие способностью управлять через интернет различными исполнительными механизмами. Это становится возможным в том случае, когда обработка запросов в сети производится с акцентом на информационный контекст (предыдущие запросы пользователя в поисковых системах, координаты пользователя и маршруты его перемещения на основе данных GPS, текущее состояние человеческих знаний; поведение пользователя в социальных сетях и история использования различных сервисов). Фактически человек становится неотъемлемой частью глобальной информационно-коммуникационной сетевой

инфраструктуры. При этом современные информационно-коммуникационные технологии изменяют среду обитания и мышление человека. Все это находит отражение и в терминологии, которая используется в научной среде.

К настоящему времени в научном сообществе фактически равноправно сосуществуют два подхода к определению, что такое «когнитивная сеть». Первый широко применяется специалистами, занимающимися общефилософскими и психологическими аспектами конвергенции современных технологий, а второй - исследователями и разработчиками инфокоммуникационных сетей нового поколения. В данном параграфе мы попытаемся кратко дать основные характеристики данных подходов.

Когнитивные карты – основа когнитивных технологий.

1.3.7.1. Определение основных понятий: "Когнитивное моделирование" и "Классическая когнитивная карта", их связь с когнитивной психологией и гносеологией

Термин: "Когнитивный" происходит от "cognition" – "познание" (англ.) и используется для обозначения нового перспективного направления психологии (когнитивная психология), а также направления развития систем искусственного интеллекта (когнитивное моделирование и системно-когнитивный анализ), в которых ставится и решается задача автоматизации некоторых функций, реализуемых человеком, в процессе познания.

Исторически процессы познания первоначально изучались философами. В философии теория познания (сознания) называется гносеологией, от греч. *gnosis*, – знание, учение, познание, в отличие от онтологии – учения о бытие.

Однако, философский анализ процессов познания не касается исследования естественно-научными методами конкретных форм сознания и характерных для них методов познания, а также конкретных способов их достижения и реализации.

Когнитивная психология – это область психологии, непосредственно теоретически и экспериментально изучающая процессы познания у конкретных людей, различного пола, возраста, социального статуса и т.д.

Когнитивное моделирование – это способ анализа, обеспечивающий определение силы и направления влияния факторов на перевод объекта управления в целевое состояние с учетом сходства и различия в влиянии различных факторов на объект управления.

Классическая когнитивная карта – это ориентированный граф, в котором привилегированной вершиной является некоторое будущее (как правило, целевое) состояние объекта управления, остальные вершины соответствуют факторам, дуги, соединяющие факторы с вершиной состояния имеют толщину и знак, соответствующий силе и направлению влияния данного фактора на переход объекта управления в данное состояние, а дуги, соединяющие факторы показывают сходство и различие в влиянии этих факторов на объект управления.

Ведущей научной организацией России, занимающейся разработкой и применением технологии когнитивного анализа, является Институт проблем управления РАН, подразделение: Сектор-51, ученые Максимов В.И., Корноушенко Е.К., Качаев С.В., Григорян А.К. и другие. На их научных трудах в области когнитивного анализа и основывается данная лекция.

В основе технологии когнитивного анализа и моделирования (рисунок 86) лежит когнитивная (познавательльно-целевая) структуризация знаний об объекте и внешней для него среды.

В основе технологии когнитивного анализа и моделирования (рисунок 86) лежит когнитивная (познавательльно-целевая) структуризация знаний об объекте и внешней для него среды.

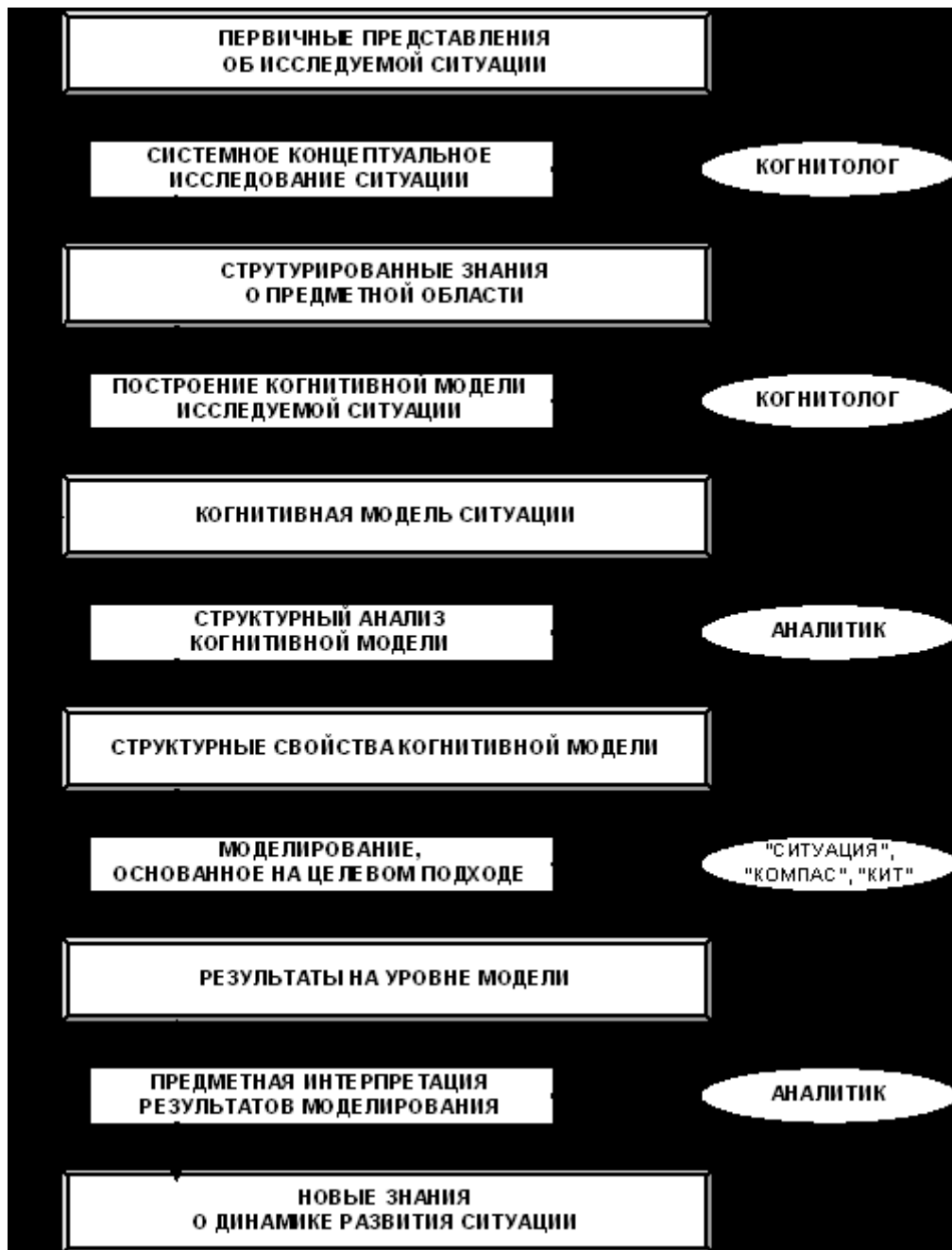


Рисунок 86. Технология когнитивного анализа и моделирования

Когнитивная структуризация предметной области – это выявление будущих целевых и нежелательных состояний объекта управления и наиболее

существенных (базисных) факторов управления и внешней среды, влияющих на переход объекта в эти состояния, а также установление на качественном уровне причинно-следственных связей между ними, с учетом взаимовлияния факторов друг на друга.

Результаты когнитивной структуризации отображаются с помощью когнитивной карты (модели).

<http://lc.kubagro.ru/aidos/aidos04/1.3.7.htm>

Авдеева Лекции = Понятие когнитивная карта ссылка
mipt.ipu.ru/sites/default/files/page_file/Авдеева.pdf

В статье

дан обзор исследований сложных сетей, моделирующих некоторые литературные, музыкальные и живописные произведения. Соответствующие сети предложено называть когнитивными.

Обсуждаются основные направления изучения таких сетевых структур.

Соответствующие сети нельзя отнести ни к одной

из трех вышеназванных категорий (технологические, биологические, социальные); они образуют

особую, малоизученную категорию, которую мы будем называть когнитивными сетями.

Термин «когнитивные сети» был предложен в работах по исследованию сетевой структуры естественного языка [Caldarelli, 2007]1.

Когнитивные сети могут иметь такие сочетания динамических и статистических свойств, которые отсутствуют у реальных сетей —

технологических, биологических, социальных. Поэтому, помимо ассортативности, при исследовании когнитивных сетей целесообразно определять максимально возможное число параметров и свойств для сравнения их с сетями других типов.

Одно из первых развернутых определений понятия «когнитивные сети» с точки зрения разработчиков инфокоммуникационных технологий дано Томасом Райяном (Ryan W. Thomas) в докладе на конференции IEEE DySPAN в 2005 году [1] и приведено в его диссертации - «Когнитивная сеть представляет собой сеть с познавательным процессом, который может воспринимать текущие условия работы сети, а затем планировать и осуществлять принятые решения в этих условиях. Сеть может обучаться и использовать накопленные данные для принятия последующих решений с учетом «end-to-end» маршрутизации» [1].

Идеи когнитивного радио впервые были изложены в статье Джозефа Митола III (Joseph Mitola III) и Джеральда К. Магуэйра (Gerald Q. Maguire, Jr.) в 1999 году [2]. Это был новый подход в области беспроводной связи. Митола позже описал его как: “беспроводные персональные цифровые устройства (personal digital assistants, PDAs), связанные с ними сети, которые достаточно разумные в отношении использования радио ресурсов и связанных с ними компьютерных коммуникаций для определения потребностей пользователей связи в зависимости от контекста использования. Они должны обеспечивать оптимальное использование радио ресурсов и выбор беспроводных услуг, которые наиболее подходят пользователям” [2].

1.3. Когнитивный цикл Бойда [Ивлев А.А. Основы теории Бойда. Направления развития, применения и реализации old.vko.ru/pdf/2008/library/08_05_23_02.pdf]

При описании «когнитивных систем» достаточно часто упоминается аббревиатура OODA. Этими четырьмя буквами обозначается основной элемент теории, предложенной Джоном Бойдом (петля Observe - Orient - Decide - Act, петля Наблюдение - Ориентация - Решение - Действие).

В настоящее время цикл OODA можно рассматривать в качестве стандарта при описании принятия решений во многих областях знания в рамках кибернетической модели деятельности отдельных людей и организаций в условиях конкурентной среды.

Кибернетическая модель предполагает многократное повторение четырех последовательных взаимодействующих когнитивных процессов: **наблюдение, ориентация, решение, действие**. «В англоязычных изданиях петлю OODA иногда называют циклом Бойда (Boyd Cycle). В пока еще редких отечественных публикациях ей присвоено также достаточно лаконичное и запоминающееся название петля (цикл) НОРД (Н – наблюдение, О – ориентация, Р – решение, Д – действие)» []

В когнитивном (познавательном) цикле Бойда присутствуют основные составляющие эмпирического научного метода: **наблюдение – формирование гипотезы – проверка гипотезы – построение теории, соответствующей данным наблюдения**.

Напомним, что «научный метод — совокупность основных способов получения новых знаний и методов решения задач в рамках любой науки. Метод включает в себя способы исследования феноменов, систематизацию, корректировку новых и полученных ранее знаний» [Саврушева М. Философия науки и техники. Учебное пособие для магистрантов / Библиотека Гумер - философия / http://www.gumer.info/bogoslov_Buks/Philos/savrush2/16.php].

Идеологическое сходство научного метода и цикла Бойда подтверждает универсальность и междисциплинарный характер последнего. Цикл познания Бойда за счет своей универсальности обладает широкими перспективами применения в области проектирования и создания сложных адаптивных систем в области инфокоммуникационных технологий и информационной безопасности.

Основываясь на материале, представленном в [] рассмотрим более подробно каждый из четырёх отдельных элементов OODA цикла (см. рис).

Наблюдение (*observation*) – данный элемент отражает процесс сбора информации, необходимой для принятия решения в данном конкретном случае. Такая информация может быть получена как от внешних, так и от внутренних источников. При этом под внутренними источниками информации понимаются элементы обратной связи OODA цикла. В технических системах внешние источники информации, как правило, представляют собой совокупность датчиков различной природы. В инфокоммуникационных системах внешние данные могут поступать по входящему каналу связи. В системах информационной безопасности в качестве внешних данных очень часто рассматривают экспертные оценки. Наблюдение может происходить в автоматическом режиме. Т.е. присутствие человека (субъекта) на данном этапе не обязательно.

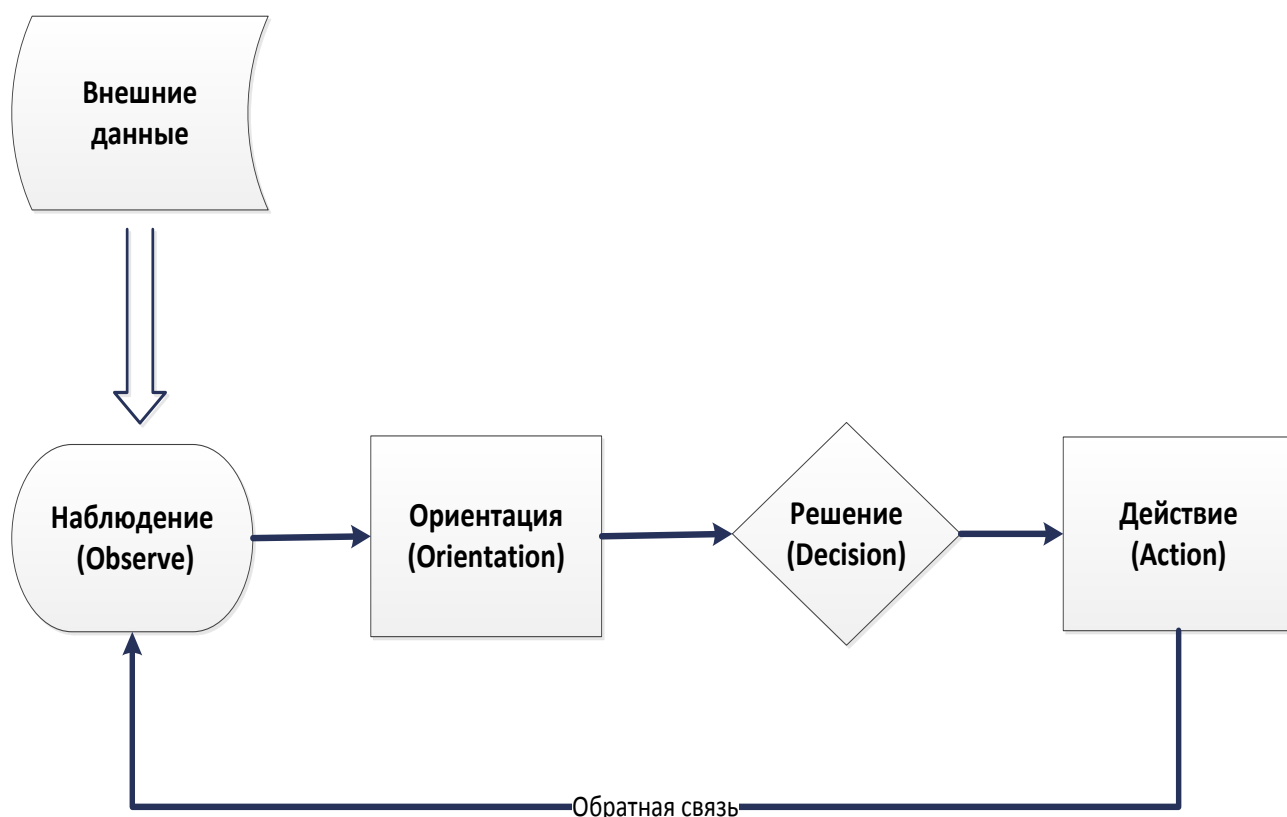


Рис. Цикл познания (OODA-цикл)

Ориентация (orientation) – наиболее ответственный и наиболее сложный с когнитивной точки зрения элемент цикла OODA. Именно на этом этапе появляется субъект, которого принято называть «Лицо Принимающее Решение» (ЛПР). Собственно этап ориентации разделяют на два подэтапа: разрушение (destruction) и созидание (creation). При первичном анализе собранной в результате наблюдения информации ЛПР осуществляет декомпозицию решаемой задачи до такого уровня, пока вновь образованные составляющие задачи не окажутся близкими к стандартным или типовым ситуациям, для которых существуют известные решения. Фактически на подэтапе разрушения происходит разбиение ситуации на мелкие элементарные части, которые более легки для понимания.

Базы знаний об элементарных типовых подзадачах и рекомендованных планах действий в той или иной ситуации доступны ЛПР и постоянно обновляются на основе опыта работы когнитивной системы. После

декомпозиции задачи ЛПР идентифицирует текущую ситуацию и выбирает заранее заготовленный план действий для каждой из подзадач, с которыми он знаком.

Далее начинается подэтап **созидания** – все элементарные планы объединяются в общий план действий, соответствующий данному состоянию системы. В том случае если невозможно выбрать приемлемое решение на основе набора известных планов, то осуществляется попытка дальнейшей декомпозиции задачи. Глубина декомпозиции выбирается с учетом экономических и временных факторов, таким образом, чтобы последующее измельчение не приводило к останову цикла.

Этап созидания завершается формированием одного или нескольких альтернативных планов действий.

На следующем третьем этапе цикла OODA **принятие решения** (*decision*) осуществляет выбор наилучшего из планируемых действий для последующей реализации. На критерий принятия оптимального решения могут оказывать влияние внешние, по отношению к когнитивной системе факторы. Чаще всего выбирается экономический критерий – «эффективность – стоимость». Однако в условиях лимита времени наиболее предпочтительным будет план, отвечающий требованиям «быстроты и надёжности».

Заключительным этапом цикла является **действие** (*action*). На данном этапе осуществляется практическая реализация выбранного курса действий или плана. Действие предполагает, что субъект активно участвует в изменении состояния когнитивной системы или оказывает воздействие на окружающую среду с целью улучшить условия наблюдения в следующем активном цикле.

Цикл OODA разрабатывался с условием того, что «в любой ситуации всегда предполагается наличие противника или соперника, с которым ведётся вооруженная борьба, соперничество или конкуренция» [].

Применяя цикл OODA в инфокоммуникационных технологиях необходимо учитывать, что в данном случае роль противостоящей стороны часто выполняет динамически изменяющаяся внешняя среда.

[Ивлев А.А. Основы теории Бойда. Направления развития, применения и реализации old.vko.ru/pdf/2008/library/08_05_23_02.pdf]

1.4. Когнитивный цикл Миттолы

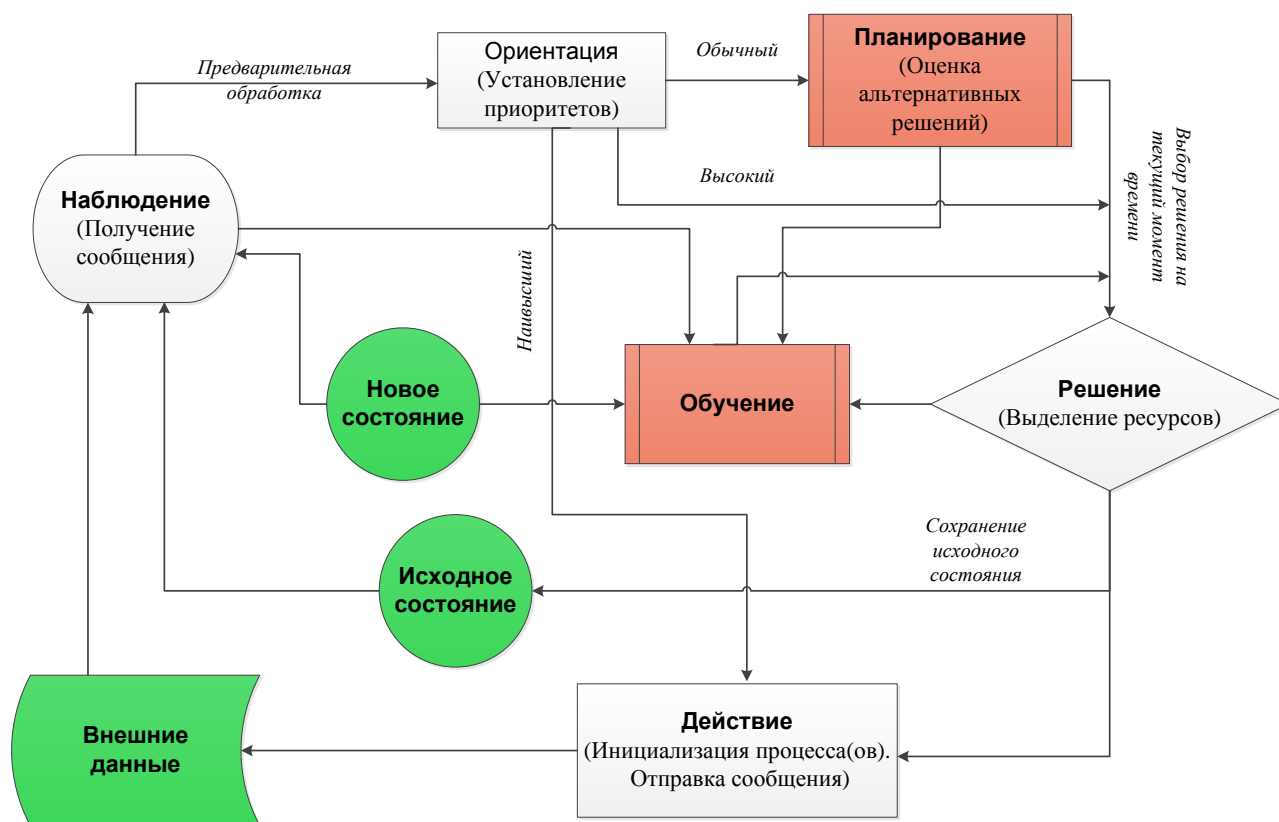


Рис. 2 Когнитивный цикл Миттолы

1.5. Общая структура платформы когнитивной системы

Когнитивные беспроводные сети строятся на основе цикла познания Бойда (рис. 1) с учетом модификаций, предложенных основоположником

когнитивного радио профессором Джозефом Митолой (Joseph Mitola III) (рис. 2).

На рис. 3 представлена универсальная модульная структура когнитивной системы.

Рассмотрим назначение основных модулей когнитивной инфокоммуникационной системы.

[Когнитивные сети и онтологический анализ в повышении адаптивности и качества обслуживания в гетерогенной беспроводной среде Гладун А.Я., Рогушина Ю.В. Материалы II Второй международной научно-технической конференции «Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем» OSTIS-2012 Open Semantic Technologies for Intelligent Systems 16-18 февраля 2012 г. Минск, Беларусь стр. 493-500 http://conf.ostis.net/images/a/ad/Изданные_материалы_OSTIS-2012.pdf]

Модуль мониторинга и сбора данных объединяет, коррелирует и фильтрует данные до тех пор, пока условие, которое должно быть далее проанализировано, не будет идентифицировано. Наблюдения, зафиксированные модулем мониторинга и сбора данных, будут обработаны и проанализированы модулем логического вывода и в то же время они направляются в модуль обучения, который в состоянии изучить и запомнить полезные наблюдения, которые могут помочь процессу принятия решения в будущем.

Модуль логического вывода определяет потенциальные действия, которые будут базироваться на наблюдениях, знании, приобретенном посредством модуля обучения и политик, хранящихся в модуле политики.

Модуль принятия решений определяет действия, которые будут взяты из эксплуатации системы, а также из обучения на опыте.

Исполнительный модуль реализует результаты обработки, полученные модулем принятия решения.

Модуль обучения может обучаться на основе нескольких источников, например, из собранной информации, стратегий, решений, и полученной обратной связи; он может также коррелироваться и выводить из этого знания.

Модуль управления знаниями доступен и используется другими модулями системы и предназначен: для создания и хранения онтологий и тезаурусов о предметной области (ПрО); для однозначного использования терминологии ПрО; для семантической обработки данных в «сырое» знание из неструктурированных и необработанных данных (все потоки данных должны быть связаны с онтологическими понятиями и количественными данными); для приобретения знаний модулем обучения (используется ID3, как индуктивный метод для создания дерева решений).

Мы использовали оригинальный алгоритм для этой цели, который использован в некоторых различных экспертных системах.

Одним из важных элементов в любой беспроводной системе, который существенно влияет на качество передаваемых данных, является механизм хэндовера.

Поэтому, концентрируясь на процессе управления хэндовером, модуль мониторинга и сбора данных идентифицирует подходящие сети доступа (среди множества сетей присутствующих на данный момент в эфире), которые могли бы обеспечить решение ABC-проблемы (автоматического выбора сети), измеряет и агрегирует QoS-связанную информацию, наблюдает за текущим контекстом (например, скорость пользователя и местоположение пользователя, состояние зарядки его батареи) и направляет эти метаданные к модулю логического вывода.

Модуль логического вывода решает, нужно ли инициализировать процесс хэндовера (переключение на другую базовую станцию), принимая во внимание накладные расходы передачи данных и потенциальные эффекты

зашумленности, основываясь на информации, полученной от модуля мониторинга и сбора данных и знания, приобретенного от модуля обучения и модуля управления знаниями. Кроме того, на этом шаге отбрасываются сети-кандидаты доступа в случае, если они не удовлетворяют определенной политике, принятой в системе. Например, сеть, возможно, не в состоянии оказать требуемую услугу или удовлетворить минимальные требования QoS, ожидаемые пользователем (например, минимальная скорость передачи данных). В дополнение, в случае, если пользователь движется с высокой скоростью, сети с маленьким ареалом покрытия могут быть изъяты из списка кандидатов (например, WLAN исключены в случае, если скорость пользователя превышает порог). Кроме того, модуль логического вывода может ограничивать список кандидатов, в случае, если репутация оператора сети-кандидата, управляющего определенной сетью доступа, слишком низкая.



Рис. 3 Универсальная модульная структура когнитивной системы