

АНАЛИЗ ТЕНДЕНЦИЙ РАЗВИТИЯ ИСКУССТВЕННЫХ КОГНИТИВНЫХ СИСТЕМ

Евневич Елена Людвиговна

К.ф.-м.н., с.н.с., Санкт-Петербургский институт
информатики и автоматизации Российской академии
наук
eva@iias.spb.su

ANALYSIS OF TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF ARTIFICIAL COGNITIVE SYSTEMS

E. Yevnevich

Summary. Artificial cognitive systems are finding more and more different applications. The analysis of patent activity in this field allows to draw conclusions about the prospects of this direction of research and development. The patent search of 10 years depth in manual mode on the basis of patents of the European patent organization on artificial cognitive systems, supplemented by the analysis of a sufficiently representative sample of publications on this subject, allowed to identify the main areas of cognitive development. Collected statistics of research activity in the field, correlated with the country-the developer, the person or organization-the patent holder, the subject of development, the dynamics of the growth in the number of patents for 10 years. The obtained results of patent analysis help to identify the most promising areas of research and make informed decisions on the search for breakthrough ideas in the field of artificial cognitive systems.

Keywords: artificial cognitive systems, cognitive architecture, patent, patent base, patent activity, patent analysis, patent landscape.

Аннотация. Искусственные когнитивные системы находят все больше различных областей применения. Анализ патентной активности в данной области позволяет сделать выводы о перспективности этого направления исследований и разработок. Проведенный патентный поиск глубиной 10 лет в ручном режиме по базе патентов Европейской патентной организации по искусственным когнитивным системам, дополненный анализом достаточно представительной выборки публикаций по данной тематике позволил выделить основные области когнитивных разработок. Собрана статистика исследовательской активности в области, соотношенная со страной-разработчиком, лицом или организацией-патентообладателем, предметом разработки, динамикой роста числа патентов за 10 лет. Полученные результаты патентного анализа способствуют определению наиболее перспективных направлений исследований и принятию обоснованных решений по поиску прорывных идей в области искусственных когнитивных систем.

Ключевые слова: искусственные когнитивные системы, когнитивная архитектура, патент, патентная база, патентная активность, патентный анализ, патентный ландшафт.

Введение

Одной из наиболее перспективных областей на современном этапе являются исследования и разработка искусственных когнитивных систем, позволяющих решать творческие задачи подобно человеку. В интересах развития этого направления задействованы многие организации, ученые и разработчики по всему миру. Уже проявляются некоторые тенденции развития таких систем. Однако пока нет четкого представления о перспективах развития данного направления в мире. Открытым остается вопрос, чего ожидать в будущем.

Анализ регистрируемых патентов (в частности, по искусственным когнитивным системам) представляет собой один из методов получения прогнозов развития научно-технического направления. Так, по результатам обзора материалов ежегодной конференции EPO (EPO Patent Information Conference) [1] (EPO — European Patent Office — Европейское патентное ведомство) был сделан вывод о высоком аналитическом потенциале патентной информации. Руководство EPO подчеркнуло, что патентная информация все в большей степени выходит за рам-

ки своего традиционного использования в качестве преимущественного источника технической или юридической информации.

Важность патентных исследований для выбора перспективных направлений и составления прогнозов развития передовых технологий (прогностический потенциал патентной информации) отмечалась также в частности в статье «Долгосрочные прогнозы как инструмент формирования научно-технологической политики» сотрудников института экономической политики [2]. В изданном в 2008 году Долгосрочном прогнозе научно-технологического развития Российской Федерации до 2025 года [3] направление по созданию искусственных когнитивных систем отсутствует. И только в конце 2013 года — с опозданием на пять лет и через год после пресс-релизов компаний-лидеров о начале производства — это технологическое направление появляется в «Прогнозе-2030» [4] в качестве радикального продукта «элементы электроники на базе мемристоров».

Анализ патентной информации и создание патентного ландшафта способствует выработке обоснованных

стратегий и принятию правильных решений на различных уровнях управления. К основным этапам создания патентного ландшафта относятся: сбор информации, анализ информации и визуализация результатов. Обычно это графическое представление (графики, гистограммы, круговые диаграммы, трехмерные «ландшафты») результатов статистического анализа по нескольким критериям (по годам, по странам, по организациям-работчикам, по различным направлениям внутри заданной тематики поиска, иногда даже по гендерному признаку заявителей, etc.) В настоящей статье с учетом вышесказанного дается общая характеристика ситуации в области исследования, раскрываются применяемые методы исследования, выявляются тенденции развития и патентный ландшафт.

Общая характеристика области исследования: подходы и базовые архитектуры

Естественная когнитивная система — это человеческий мозг. Идея искусственных когнитивных систем возникла примерно в середине 20 века.

Существует несколько определений искусственных когнитивных систем. Одно из них: когнитивные системы — это системы, которые могут самостоятельно функционировать в направлении достижения цели: воспринимать окружающую среду, предвидеть необходимость определенных действий, обучаться на собственном опыте и приспосабливаться к меняющимся обстоятельствам [5]. Спектр исследований и разработок в данной области в настоящее время очень широк: от специализированных задач по созданию обучаемых роботов-манипуляторов (i-cube, Boston dynamics, экзоскелеты и многое другое) и до амбициозных долгосрочных многомиллиардных европейских, американских и азиатских проектов полномасштабного моделирования человеческого мозга. Коснемся вкратце некоторых из них.

Blue Brain (руководитель проекта Анри Маркрам, Лозанна). Согласно проекту на суперкомпьютере Blue Gene, предоставленном IBM, должны симулироваться функции всех 86 миллиардов нейронов головного мозга человека и 100 триллионов синапсов. На данном этапе были проведены эксперименты на нейронах мозга крысы.

Human Brain Project (HBP) — междисциплинарный многоцелевой проект ряда европейских стран, состоящий из 12 подпроектов. Поставлена задача полномасштабного моделирования человеческого мозга. На данный момент она далека от выполнения.

BRAIN-инициатива (Исследования мозга посредством продвижения инновационных нейротехноло-

гий) — американский проект, ставящий целью с помощью инновационных технологий создать динамическую картину мозга, демонстрирующую отдельные клетки, сложные нейронные цепи, взаимодействующие в пространстве и времени, также демонстрирующие как мозг записывает, обрабатывает, использует, хранит и извлекает большие объемы информации со скоростью мысли. Важными результатами могут быть новые методы предотвращения и лечения болезней мозга.

IBM WATSON — суперкомпьютер и когнитивная система Watson, предусматривающая работу с естественным языком: распознавание естественного языка, динамическое обучение системы, построение и оценка гипотез. Все это позволило IBM Watson научиться давать прямые корректные ответы на вопросы оператора. При этом когнитивная система способна обрабатывать большие массивы глобальных неструктурированных данных.

IBM C2S2 (Cognitive Computing via Synaptronics and Supercomputing) (совместно с DARPA) — планируется создание компьютерной системы, которая предположительно сможет имитировать мыслительные способности мозга (восприятие информации, анализ, ассоциации, обучение, принятие решений и т.п.) при сопоставимых с ним размерах и энергопотреблении. Первая фаза проекта — DARPA SyNAPSE (Системы нейроморфной адаптивной масштабируемой электроники) (США) — создание компьютера по аналогии с человеческим разумом. Создан прототип нейроморфного процессора TrueNorth, реализующий нейронную сеть из 1 миллиона нейронов и 256 миллионов синапсов.

BRAIN Initiative или Brain Activity Map Project (BAMP) (США) — «картирование активности мозга». Предполагается, что за 10 лет американским ученым удастся зафиксировать и картографировать активность каждого нейрона в человеческом мозге. Этот проект аналогичен европейскому проекту HBP.

Google и NASA — совместный проект по созданию искусственного интеллекта с помощью квантовых компьютеров. В Квантовой лаборатории по изучению искусственного интеллекта (Google and NASA's Quantum Artificial Intelligence), расположенной в Исследовательском центре NASA им. Эймса, установлен квантовый компьютер D-Wave 2000Q. Целью исследователей является изучение того, как квантовые компьютеры могут помочь улучшить машинное обучение. В Google считают, что квантовые компьютеры помогут изменить поиск в Сети и технологию распознавания голоса, тогда как учёные NASA надеются использовать тот же подход для моделирования распространения заболеваний и изменения климата.

В процессе выполнения данных проектов моделируются нейросистемы на различных уровнях и с использованием различных методик. В целом можно ожидать, что работа над этими проектами позволит в перспективе получить новые прорывные технологические решения.

В большинстве из рассмотренных в предыдущем разделе проектов ставится цель полномасштабного моделирования человеческого мозга. Подробный обзор некоторых из них приведен, например, в [6].

Другой подход к созданию искусственных когнитивных систем — это биоинспирированные когнитивные архитектуры (biologically inspired cognitive architectures — BICAs). При создании таких архитектур целью является достижение функционирования, подобного функционированию человеческого мозга, посредством эмуляции высокоуровневой архитектуры мозга без моделирования специфики низших уровней (в отличие от полномасштабного моделирования). В [7] подробно рассмотрены несколько типов когнитивных архитектур: символные, эмерджентные и гибридные.

На конференциях AGI [8] по искусственному общему интеллекту (AGI — Artificial General Intelligence) была представлена таксономия когнитивных архитектур на основе различий в устройстве памяти и процесса обучения. Каждый из трех типов когнитивных архитектур послужил основой для разработки ряда соответствующих BICAs.

В основе изначального символьного подхода времен начала исследований по проблеме искусственного интеллекта лежит гипотеза о преимущественном оперировании разума символическими сущностями с целью представления аспектов окружающего мира и его самого. Физическая символьная система способна обеспечивать ввод, вывод, хранение и изменение символических сущностей и производить соответствующие действия с целью достижения целей. Символьные когнитивные архитектуры характеризуются централизованным контролем над восприятием, познанием и действием. Однако, на практике такие архитектуры оказываются довольно слабыми в плане обучения, креативности, эпизодической и ассоциативной памяти, что способствует обращению исследователей к символическим BICAs (SOAR, ACT-R).

Эмерджентные когнитивные архитектуры характеризуются возникновением процесса обработки абстрактных символов с более низкого уровня субсимвольной динамики, в высокой степени биоинспирированной. Они предназначены для моделирования

нейронных сетей и других аспектов функционирования человеческого мозга. Данные архитектуры, как правило, эффективны в задачах распознавания образов высокой размерности, улучшения способностей к обучению и ассоциативной памяти, однако, с их помощью не моделируются высокоуровневые функции типа абстрактного мышления или комплексной обработки языка (DeSTIN, NOMAD).

Таким образом, друг другу противопоставляются два подхода: структурный вероятностный (моделирование сверху вниз) и эмерджентистский (моделирование снизу вверх [9]). По образному выражению из презентации [10] «когнитивная свеча поджигается с обоих концов», что, как уже говорилось, приводит к созданию гибридных моделей, использующих оба подхода — сверху вниз и снизу вверх — одновременно.

Гибридные архитектуры сочетают особенности двух вышеописанных парадигм, причем либо путем комбинирования большой символьной и большой субсимвольной систем, либо путем создания набора маленьких агентов, каждый из которых может быть как символьной, так и субсимвольной природы.

Одним из перспективных направлений представляется моделирование когнитивных нейросетевых машин на основе искусственных рекуррентных нейронных сетей (RNN) реального времени. К сожалению, глубина обработки информации в таких сетях невелика. В этом отношении шагом вперед стали рекуррентные нейронные сети с управляемыми элементами, которые наделяются прозрачной логической структурой и предоставляют возможность быстрой и достаточно глубокой обработки разнородной информации [11, 12].

Множество различных подходов к созданию искусственных когнитивных систем можно условно разделить на 2 большие группы: моделирование «снизу вверх», когда структура мозга воспроизводится шаг за шагом начиная с нейронов, и «сверху вниз»: на основе понимания основных принципов, которые управляют мышлением, искать пути воплощения их в конкретных моделях, в том числе, в нейросетях [13, 14].

Требуется комбинация разных подходов (функционального, нейросетевого, символьного, логического), нужен подход не самого низкого и не самого верхнего уровня. Существует значительный разрыв в понимании процессов, лежащих в основе мышления на высшем и на элементарном уровнях. Теории, описывающие мышление человека на высоком уровне — психология, когнитивное моделирование и пр. и модели, описывающие работу мозга на нижнем уровне — на уровне нейронов — пока плохо стыку-

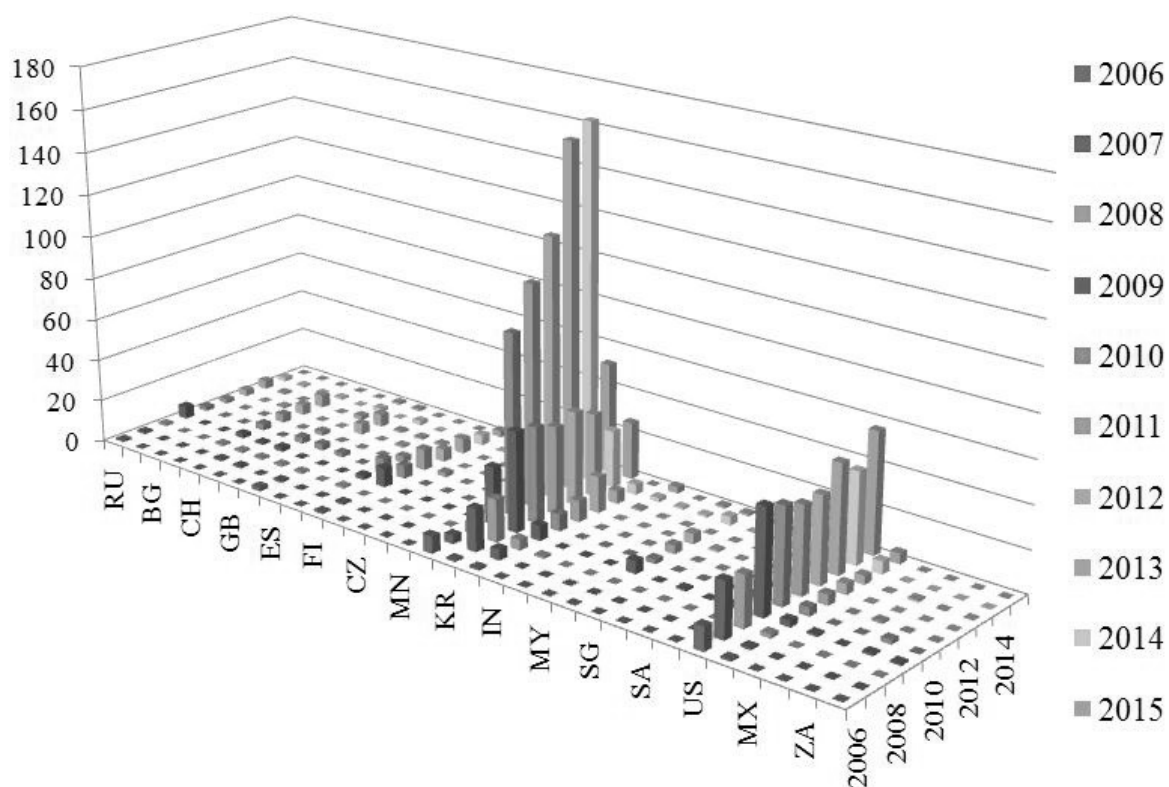


Рис. 1. Число ежегодно регистрируемых патентов. Динамика по годам и странам

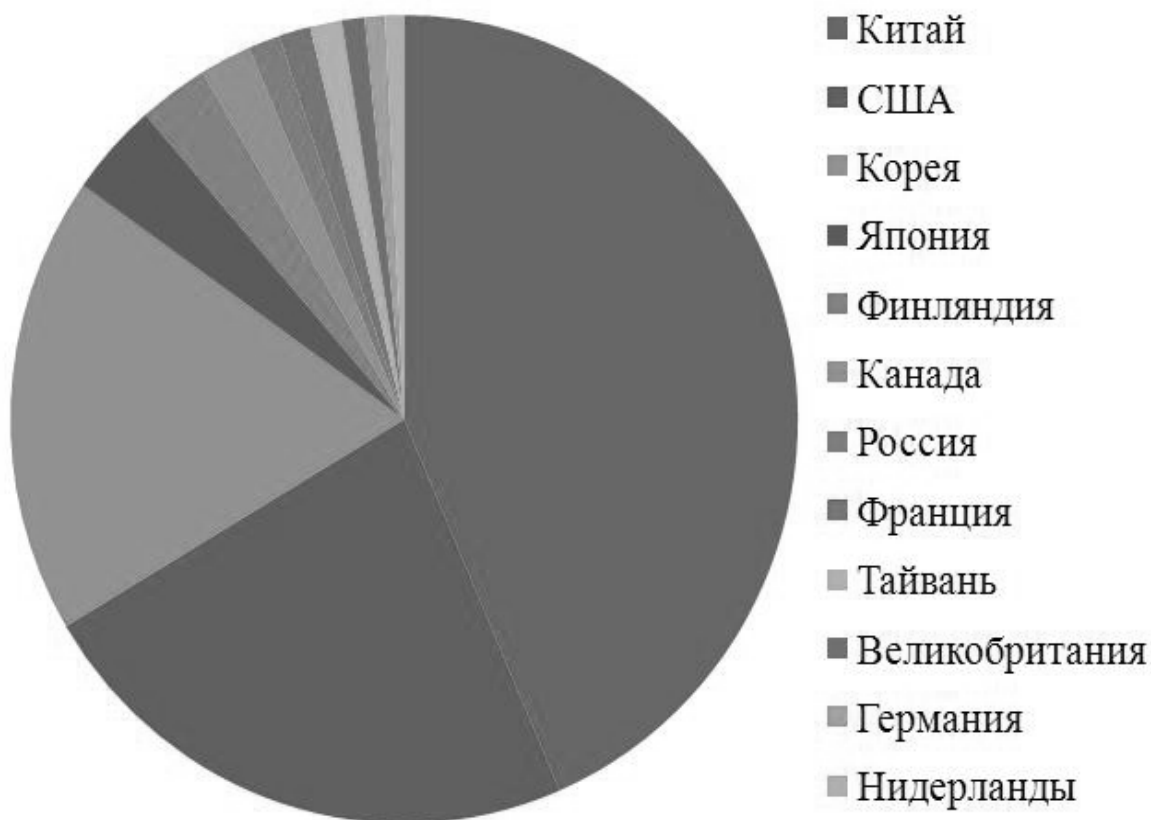


Рис. 2. Распределение патентов по странам за весь исследуемый период

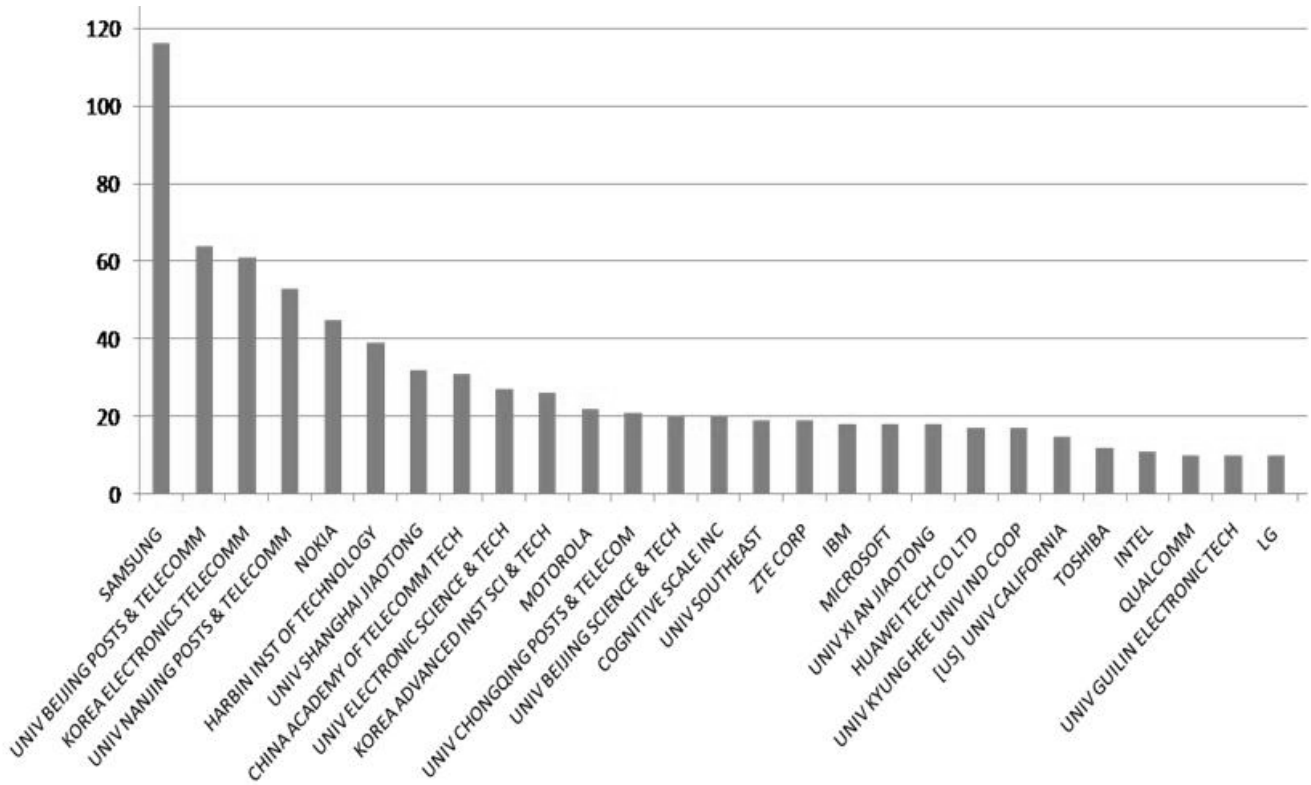


Рис. 3. Распределение патентов по организациям-заявителям за весь исследуемый период

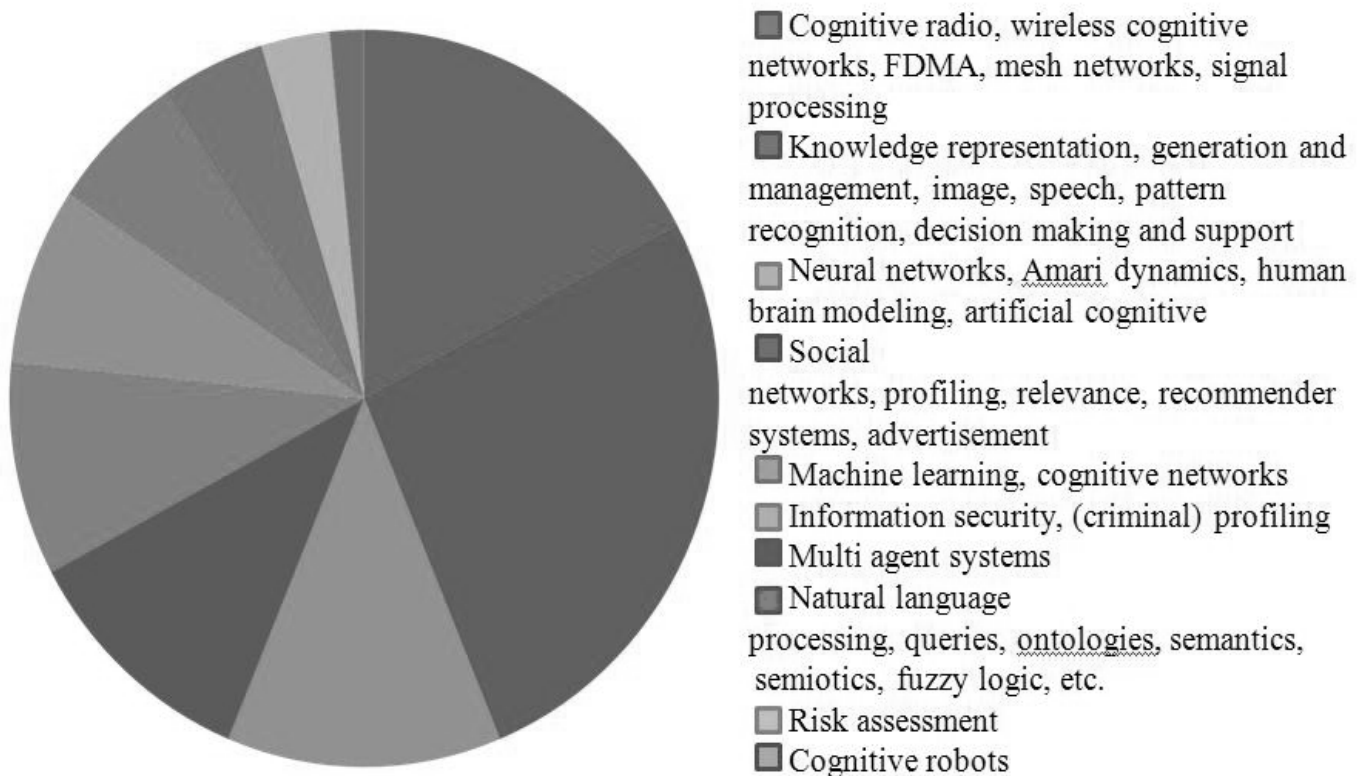


Рис. 4. Распределение по направлениям исследований за весь период

ются. Однако именно здесь и следует ждать научного прорыва [14].

Здесь же следует упомянуть вероятностный подход к когнитивной науке: мышление и обучение моделируется как вывод в сложных вероятностных моделях.

Вероятностный подход к моделированию познания начинается с определения идеальных решений индуктивных задач, поставленных человеческим мозгом. Затем ментальные процессы моделируются с использованием алгоритмов аппроксимации этих решений, а нейронные процессы рассматриваются как механизмы для реализации этих алгоритмов, в результате чего осуществляется анализ сверху вниз когнитивной функции, начиная с функции когнитивных процессов [15].

Для получения количественных характеристик и прогнозов развития искусственных когнитивных систем был проведен анализ патентов по базе ESPACENET [16]. Результаты анализа рассматриваются в следующих разделах.

Материалы и методы

Поиск по патентной базе ESPACENET осуществлялся по ключевому слову *cognitive* в названии патента. Глубина патентного поиска составляла 10 лет. Принадлежность фиксировалась по стране-аппликату, а не по стране регистрации патента (география в этом случае гораздо разнообразней и, как представляется, правильнее отражает территориальное распределение исследовательской и патентной деятельности). Сбор информации производился в ручном режиме.

Результаты

Большинство патентов по искусственным когнитивным системам принадлежит Китаю, Корее и США. Значительная их часть посвящена когнитивному радио и когнитивной обработке сигналов. Патенты стран Европы преимущественно касаются медицинских, физиологических, психологических и фармакологических вопросов, связанных с когнитивной функцией человека, ее нарушениями различной степени тяжести, их коррекцией и лечением, чем обусловлено сравнительно небольшое количество европейских патентов по искусственным когнитивным системам.

Средний процент патентов по искусственным когнитивным системам по отношению ко всем патентам на когнитивную тему — примерно 50%.

Распределение по количеству патентов по годам и странам представлено в виде гистограмм (Рисунки 1, 2).

Среди организаций — заявителей представлены университеты и технологические институты крупных городов, известные компьютерные фирмы и операторы содовой связи.

Распределение по организациям-заявителям также представлено в виде гистограммы на рисунке 3.

В процессе анализа были выделены следующие классы решаемых задач: представление и управление знаниями, нейронные сети, машинное обучение, динамика Амары, моделирование человеческого мозга, эволюционное моделирование, информационная безопасность, составление поведенческих и когнитивных профилей, идентификация и реклама в социальных сетях, рекомендующие системы, распознавание изображений, обработка естественных языков, онтология, семантика, нечеткая логика, создание когнитивных роботов, многоагентные системы, когнитивные автономные агенты, когнитивное радио, когнитивные беспроводные сети, обработка сигналов.

Диаграмма распределения по темам представлена на рисунке 4

Обзор публикаций производился по материалам конференций *Advances in Cognitive Systems* 2012–2016 гг. и журнала *Cognitive System Research* 2013–2016 гг. [17, 18]. Участниками конференций были исследователи из США, Франции, Германии, Словении, Испании, Канады, Англии, Исландии, России и Австралии. Области разработок и применения когнитивных систем, представленные в публикациях, в значительной степени пересекаются с набором, сформулированным в результате патентного анализа: управление, принятие решений, робототехника, лингвистика, распознавание образов, военное дело, дизайн, поиск информации, биология, обучение.

Приведенные статьи показывают, что в этих направлениях они будут развиваться и дальше; совершенствуются также техническая база когнитивных систем.

Заключение

Анализ патентов и научных публикаций по когнитивным технологиям в мире показывает, что это направление является одним из наиболее актуальных. Следует отметить не совсем устоявшуюся терминологию: в термине «когнитивность»: в разных публикациях и библиографических описаниях патентов присутствуют варианты трактовки этого термина.

Текущие результаты свидетельствуют о том, что первоначально сформулированная цель построения «думающих машин», машин с человеческим интеллектом,

создания полноценных когнитивных искусственных систем еще далека от достижения. Ввиду сложности задачи большинство исследователей сфокусировали усилия на построении систем, способных демонстрировать интеллект в строго ограниченных условиях применения — решаются частные практические задачи в разных областях исследований и разработок. Именно разработки такого рода и являются объектами патентования.

Исследование EPO [19] свидетельствует о стабильном росте числа патентов в области 4IR (Четвертая про-

мышленная революция) за последние пять лет. Патенты в области искусственного интеллекта вносят существенный вклад в создание технологий для 4IR.

Что касается создания когнитивных систем, способных действовать как человек разумный, то в последние годы ряд исследователей стремится вернуться к первоначально поставленной цели — созданию систем общего искусственного интеллекта (AGI), то есть, систем, сравнимых в некотором определенном смысле с человеческим разумом в целом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Birgit Binjung. Wide-ranging topics featured at the EPO Patent Information Conference — www.epo.org, <http://www.patent-kravets.ru/about/referaty-tekushhix-zarubezhnyx-publikacij/analiticheskij-potencial-patentnoj-informacii/>
2. Куракова Н. Г., Зинов В. Г., Комаров В. М., Павлов П. Н. Долгосрочные прогнозы как инструмент формирования научно-технологической политики <http://www.iep.ru/files/text/policy/2014-4/Kurakova.pdf>
3. Прогноз научно-технологического развития до 2025 года («Прогноз-2025») Москва, декабрь 2008
4. Прогноз научно-технологического развития до 2030 года («Прогноз-2030») Москва, декабрь 2013
5. D. Vernon, *Artificial Cognitive Systems — A Primer*, MIT Press, 2014.
6. Ben Goertzel, Ruiting Lian, Itamar Arel, Hugo de Garis, Shuo Chen. A world survey of artificial brain projects, Part I: Biologically inspired cognitive architectures. Volume 74, Issues 1–3, December 2010, Pages 3–29. www.elsevier.com/locate/neucom
7. Ben Goertzel, Ruiting Lian, Itamar Arel, Hugo de Garis, Shuo Chen. A world survey of artificial brain projects, Part II: Biologically inspired cognitive architectures. Volume 74, Issues 1–3, December 2010, Pages 30–49. www.elsevier.com/locate/neucom
8. Dutch, W., Oentario, R., Pasquier, M. Cognitive architectures: where do we go from here? Proceedings of the Second Conference on AGI. <https://www.atlantis-press.com/proceedings/agi>
9. McClelland, J., Botvinick, M., Noelle, D., Plaut, D., Rogers, T., Seidenberg, M., & Smith, L. (2010). Letting structure emerge: connectionist and dynamical systems approaches to cognition *Trends in Cognitive Sciences*, 14(8), 348–356 DOI: 10.1016/j.tics.2010.06.002
10. Top-down vs bottom-up approaches to cognition: Griffiths vs McClelland
11. <http://www.replicatedtypo.com/top-down-vs-bottom-up-research-griffiths-vs-mcclelland/3025.html>
12. Vasily Osipov. Structure and basic functions of cognitive neural network machine. 12th International Scientific-Technical Conference on Electromechanics and Robotics «Zavalishin's Readings»-2017
13. DOI: 10.1051/mateconf/201711302011
14. MATEC Web of Conferences 113, 02011 (2017)
15. Осипов В. Ю. Способ и устройство интеллектуальной обработки информации в нейронной сети. Патент РФ № RU2446463. Дата публикации 27.03.2012. <http://www.freepatent.ru/patents/2446463>
16. Алексей В. Самсонович Наука на грани создания эмоционального компьютера. <https://ria.ru/science/20160317/1391541823.html>
17. Алексей В. Самсонович Функциональные возможности биологически инспирированных когнитивных архитектур. <http://neuroinfo.ru/conf/Content/Presentations/Samsonovich2015.pdf>
18. Griffiths, T., Chater, N., Kemp, C., Perfors, A., & Tenenbaum, J. (2010). Probabilistic models of cognition: exploring representations and inductive biases. *Trends in Cognitive Sciences*, 14 (8), 357–364 DOI:10.1016/j.tics.2010.05.004
19. ESPACENET <https://worldwide.espacenet.com/advancedSearch>
20. *Cognitive Research Journal* <http://cognitiveresearchjournal.springeropen.com>
21. *Advances in Cognitive Systems 2012–2016* <http://www.cogsys.org/conference/>
22. Patents and the fourth industrial revolution. [http://documents.epo.org/projects/babylon/eponet.nsf/0/17FDB5538E87B4B9C12581EF0045762F/\\$FILE/fourth_industrial_revolution_2017__en.pdf](http://documents.epo.org/projects/babylon/eponet.nsf/0/17FDB5538E87B4B9C12581EF0045762F/$FILE/fourth_industrial_revolution_2017__en.pdf)

© Евневич Елена Людвиговна (eva@iiias.spb.su).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»