

УДК 621.396.967
DOI: 10.15827/0236-235X.133.047-052

Дата подачи статьи: 29.09.20
2021. Т. 34. № 1. С. 047–052

Применение принципа целенаправленного поведения в когнитивной системе управления радиолокационной станцией

А.А. Непряев ¹, главный специалист, nepryaev@cps.tver.ru

¹ НИИ «Центр программ систем», г. Тверь, 170024, Россия

Применение когнитивных технологий в радиолокации является быстро развивающейся областью, обладающей множеством возможностей для инноваций. Существенным препятствием в этой дисциплине является отсутствие общего понимания того, как следует спроектировать архитектуру системы управления многофункциональной радиолокационной станцией, чтобы включить многочисленные петли обратной связи, обеспечивающие проявление познания. В радиолокационном сообществе до сих пор нет точного определения того, что отличает адаптивную систему от когнитивной.

Целью данной работы являются расширение и обоснование списка элементов и качественных характеристик, которые должны присутствовать в радиолокационной системе для того, чтобы она классифицировалась как когнитивная. Предлагается применение метакогнитивного подхода для разработки модели целенаправленного поведения, которая выбирает наиболее выгодную стратегию и управляет когнитивными процессами, участвующими в обучении.

Выбор действий, основанный на восприятии окружающей среды, является основной характеристикой когнитивной системы. В конечном счете процесс выбора действия приводит к задаче оптимизации, когда желательно выбрать действие с максимальным вознаграждением, которое определяется степенью схожести текущих внутреннего и внешнего состояний с целевым. Исходя из того, что радиолокационные системы не должны однозначно классифицироваться как когнитивные или некогнитивные, их следует оценивать по степени выраженности когнитивных функций. В статье предлагается градация когнитивных систем по принципу целенаправленного поведения элементов системы управления.

Обоснована необходимость учета способности системы функционировать в режиме реального времени и вычислительной мощности как признака, определяющего степень выраженности ее когнитивных способностей.

Ключевые слова: когнитивная система, адаптивность, целенаправленное поведение, реальное время, радар.

Современные радиолокационные технологии [1], использующие активную фазированную антенную решетку, позволяющие осуществлять генерацию сигналов произвольной формы и регулировать направление излучения и форму диаграммы направленности, стали основой систем, способных оптимизировать сигналы передачи и обработку радиолокационной информации для текущей помехо-целевой обстановки и сценария работы. В ответ на это была предпринята попытка разработать методы, основанные на когнитивных способностях, которые управляют этими новыми степенями свободы, используя восприятие окружающей среды. Такое восприятие генерируется в реальном времени с использованием обнаруженных радиолокационных данных в сочетании со знаниями, извлеченными из внешних источников или полученными в ходе предыдущих действий. В когнитивном радаре система управления может сохранять знания и влиять на окружающую среду, что приводит к оптими-

зированной производительности в пределах ограничений доступных ресурсов [2]. Таким образом, когнитивные многофункциональные радиолокационные станции могут значительно повысить производительность в широком спектре современных радиолокационных применений.

Основные определения и постановка задачи

Согласно [3], когнитивная технология – это система методов воздействия на способы обработки знаний. Под когнитивным подходом в [4] понимается решение традиционных для данной науки проблем методами, учитывающими когнитивные аспекты, в которые включаются процессы восприятия, мышления, познания, объяснения и понимания. Когнитивный подход в любой предметной области акцентирует внимание на знаниях, вернее, на процессах их представления, хранения, обра-

ботки, интерпретации и производстве новых знаний. *Когнитивный радар* (КР) – это радиотехническая система, использующая технологию, которая позволяет системе получать знания об оперативной обстановке, географических условиях, установленных алгоритмах распределения ресурсов и внутреннем состоянии, динамически и автономно корректировать свои эксплуатационные параметры и протоколы в соответствии с полученными знаниями для достижения заранее определенных целей и учиться на полученных результатах [5]. По сравнению с адаптивным радаром КР учится адаптировать рабочие параметры, а также параметры обработки и может планировать свою работу на более длительные периоды времени. Из этих определений можно выделить основные функции системы управления, необходимые для того, чтобы она считалась когнитивной, а именно: планирование, память, обучение и решение.

Радиолокационная система не бывает полностью когнитивной во всех аспектах либо полностью некогнитивной, поэтому предлагается разделить диапазон возможных радиолокационных систем таким образом, чтобы можно было четко понять их функциональные возможности. В рамках полной классификационной схемы, в диапазоне от 0 до 10 [6], представлена градация от минимально полностью адаптивной до полностью когнитивного радара. При этом, чтобы радар рассматривался как полностью когнитивный, он должен каким-то образом уравнивать краткосрочные выгоды с долгосрочными от, казалось бы, неоптимального краткосрочного действия.

Однако представленный выше подход классификации не предполагает определения степени выраженности такой характеристики, как целенаправленность поведения, в результате которой предпринимаются действия для устранения несоответствия между ситуацией и целью.

Метакогнитивный подход

Для решения данной задачи предполагается взять за основу метакогнитивный подход оптимизации характеристик радара, предложенный в [7]. Метакогнитивный подход формально определяется как мышление более высокого порядка, которое активно управляет когнитивными процессами, участвующими в обучении. Это определение обобщает метапознание как познание об обучении или знание о знании.

В основе метакогнитивной системы лежат четыре компонента: получение знаний об окружающей среде, мониторинг различных методов познания, стратегия использования полученной информации, перенос усвоенной стратегии в новую среду.

Задача состоит в том, чтобы разработать модель целенаправленного поведения, которая выбирает наиболее выгодную стратегию на основе анализа изменяющейся окружающей среды и оценки эффективности действий в реальном времени [8]. Следовательно, КР должен включать в себя множество стратегий с их собственными когнитивными циклами. Выбор соответствующей стратегии осуществляется с помощью метапознания. Это достигается путем сопоставления нескольких когнитивных циклов или целей в системе для различных сценариев и выбора наиболее подходящего для конкретной ситуации. Таким образом, когнитивный подход предполагает наличие целенаправленного поведения, в результате которого предпринимаются действия для устранения несоответствия между ситуацией и целью. Из-за своей центральной роли в процессе выбора действий выбор цели существенно влияет на эффективность поведения. Такая спецификация требуемой производительности ориентирует оптимизацию на решение конкретной задачи. Тем самым предотвращает слепую оптимизацию до лучшей, чем требуемая производительность, потенциально освобождая ресурсы для решения других задач.

Целенаправленное поведение

Целенаправленность – характеристика деятельности, направленной на достижение определенного конечного результата, цели [9]. Если охарактеризовать цель как активность, направленную на удовлетворение некоторого критерия, то можно определить результат как такое состояние системы, в котором она оказывается при удовлетворении критерия [10]. Если принять гипотезу о направленности любых рефлексов на минимизацию раздражений и затрат времени (энергии) для ответа на них и на борьбу с последствиями от них, то можно вывести критерий выживаемости, уравнивающий краткосрочные выгоды с долгосрочными выгодами от, казалось бы, неоптимального краткосрочного действия.

Целенаправленная деятельность стремится к удовлетворению некоторой потребности. Смысл активности и деятельности – изменить

текущее внешнее и внутреннее состояния для достижения результата. Таким образом, когнитивная система целенаправленно функционирует в цикле «восприятие–действие», сравнивая текущее состояние с целевым – принимая решения, планируя выбор действий, записывая в *базу знаний* (БЗ) наиболее полезные действия, выполнение которых приближает ее к цели. И проявляет способность к самонаблюдению, то есть осознанию собственного состояния [11].

Процесс принятия решений должен учитывать вероятность достижения цели в данной ситуации, затраты энергетических, временных и вычислительных ресурсов для реализации того или иного способа достижения цели, наличие существующих знаний (продукционных правил поведения) и возможность получения новых в случае, когда имеющихся недостаточно для принятия решения.

Классификация функций КР

На основе классификационной схемы когнитивной радиолокационной системы, предложенной в [12], к таким категориям, как планирование, память, обучение и решение, добавлена цель (см. таблицу), которая позволяет учитывать целенаправленность для оценки по степени выраженности когнитивных функций КР.

Действие, которое предпринимает система, зависит не только от ситуации как таковой, но и от цели, то есть от той ситуации, которой система стремится достигнуть. Действие системы определяется в результате сравнения ситуации и цели и направлено на устранение несоответствия между ними. Через блок сравнения ситуация определяет действие [13]. Уровни постановки цели (см. таблицу) можно условно разделить на три группы: 0–5 – цель постоянна и задана извне; 6–7 – цель задана извне, но корректируется системой; 8–10 – система сама способна формировать цель, анализируя ситуацию. При этом повышается степень автономности системы.

Память и обучение рассматриваются как способность изучать и получать доступ к знаниям, используя БЗ для хранения и извлечения данных. Предполагается, что в КР используется динамическая БЗ, способная к обучению, то есть обновляемая новыми знаниями в режиме реального времени.

Механизм принятия решений является центральным элементом интеллектуальной системы. Качество принятых решений основано

на целостном восприятии информации из окружающей среды и БЗ. Процесс принятия решений может также основываться на реализации продукционных правил использования эвристик, которые пытаются обеспечить более гибкую реакцию, применяя простую базу правил, или полного процесса оптимизации, который обеспечивает оптимальное решение с учетом всей имеющейся информации.

В аспекте планирования уровень когнитивных способностей повышается с увеличением временного интервала, на который система способна планировать действия. Информация, полученная из предыдущих ситуаций и преобразованная в знания, позволяет принимать решения и применять их в будущем.

Длительный период планирования расширяет адаптивность, давая системе возможность выбирать краткосрочные действия, которые кажутся неоптимальными на короткой перспективе, но обеспечивают долгосрочный выигрыш.

Реальное время и вычислительные ресурсы

Ограничение масштаба времени и вычислительная мощность также могут быть рассмотрены как характеристики когнитивной системы. Способность системы обрабатывать большой объем информации и возможность в реальном времени реагировать на изменения окружающей среды и внутреннего состояния путем распределения ресурсов и действий системы может использоваться в качестве меры выраженности когнитивных способностей. Это обусловлено прежде всего тем, что от этих аспектов напрямую зависит качество принятия решений при нехватке ресурсов радара в условиях быстро меняющейся помехо-целевой обстановки.

Заключение

Таким образом, когнитивный подход предполагает наличие целенаправленного поведения, в результате которого предпринимаются действия для устранения несоответствия между ситуацией и целью. Действия базируются на принципе наименьших затрат ресурсов и на методах, учитывающих когнитивные аспекты, в которые включаются процессы восприятия, мышления, познания, объяснения и понимания.

Уровни когнитивных способностей

Cognitive ability levels

| | Планирование | Память/Обучение | Решение | Цель |
|--|--|---|--|---|
| 10 | Период планирования на время выполнения миссии | Понимание знаний, создание нового поведения | Принятие решений основано на понимании, обучении и знаниях | Цель формируется самостоятельно на уровне миссии |
| Полностью когнитивный уровень | | | | |
| 9 | Период планирования на время выполнения задачи, нескольких задач | Абстракция, использование предыдущего опыта | Методы оптимизации, основанные на обучении, многопараметрические | Цель формируется самостоятельно на уровне нескольких задач |
| 8 | Период планирования на время выполнения задачи | Определение намерений объектов в окружающей среде (оценка обстановки) | Методы оптимизации, основанные на обучении | Цель формируется самостоятельно на уровне одной задачи |
| 7 | Длительный временной период планирования, несколько задач | Идентификация объектов в окружающей среде (оценка обстановки) | Методы оптимизации | Цель корректируется самостоятельно на уровне нескольких задач |
| 6 | Длительный временной период планирования | Предварительный расчет параметров, мультисенсорный, внешний обучающий агент | Эвристические алгоритмы и правила основанные на обучении, многопараметрический | Цель корректируется самостоятельно на уровне одной задачи |
| 5 | Короткий временной период планирования, несколько задач | Предварительный расчет параметров, мультисенсорный | Эвристические алгоритмы и правила, основанные на обучении | 1 Цель = несколько задач, одновременно несколько задач |
| 4 | Короткий временной период планирования | Предварительный расчет параметров | Фиксированные эвристические алгоритмы и правила | 1 Цель = несколько задач |
| 3 | Нет планирования, несколько задач | Знание обновляется внешним обучающим агентом | Правила, основанные на обучении | Цели заданы сразу, 1 цель = 1 задача |
| 2 | Нет планирования | Фиксированные память и знания | Фиксированные правила | Фиксированная цель |
| Минимально полностью адаптивный уровень | | | | |
| 1 | Внешнее планирование | Внешнее обучение | Внешнее принятие решений, адаптивный уровень на прием | Цель задана извне |
| 0 | Нет необходимости в планировании, все планирование вне системы | Нет обучения | Принятие решений не требуется | Задание цели не требуется |

Дальнейшее исследование будет направлено на конкретную (конечную) реализацию

предлагаемых методов и их интеграцию в единую систему управления ресурсами.

Литература

1. Charlish A., Bell K., Goodman N., Smith G.E. Guest editorial: cognitive radar Source. IET Radar Sonar & Navigation, 2018, vol. 12, no. 12, pp. 1361–1362. DOI: 10.1049/iet-rsn.2018.5568.
2. Moo P.W., Ding Z. Adaptive Radar Resource Management. Academic Press Publ., 2015, 158 p.
3. Кудашов В.И. Социальные технологии в обществе знания: когнитивные аспекты // Вестн. ТГУ. Философия. Социология. Политология. 2012. Т. 4. № 1. С. 58–64.
4. Трембач В.М. Когнитивный подход к созданию интеллектуальных модулей организационно-технических систем // Открытое образование. 2017. № 2. С. 78–87. DOI: 10.21686/1818-4243-2017-2-78-87.

5. Отчет МСЭ-R SM.2152. Определения системы радиосвязи с программируемыми параметрами (SDR) и системы когнитивного радио (CRS). 2009. URL: <https://www.itu.int/pub/R-REP-SM.2152-2009> (дата обращения: 26.09.20).
6. Huang H.-M., Pavak K., Albus J.S., Messina E. Autonomy levels for unmanned systems (ALFUS) framework: An update. Proc. SPIE, 2005. DOI: 10.1117/12.603725.
7. Mishra K.V., Shankar M.R., Ottersten B. Toward metacognitive radars: Concept and applications. Proc. IEEE Intern. Radar Conf., 2020, pp. 77–82. DOI: 10.1109/RADAR42522.2020.9114713.
8. Martone A.F., Sherbondy K.D., Kovarskiy J.A., Kirk B.H., Thornton C.E., Owen J.W. et al. Metacognition for radar coexistence. Proc. IEEE Intern. Radar Conf., 2020, pp. 55–60. DOI: 10.1109/RADAR42522.2020.9114775.
9. Борзенков В.Г. Функция. Целенаправленность. В кн.: Энциклопедия эпистемологии и философии науки. М.: Канон+, 2009. 1248 с.
10. Витяев Е.Е. Целенаправленность как принцип работы мозга // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2014. Т. 18. № 4/3. С. 1172–1183.
11. Солодов А.А., Трембач В.М. Разработка и использование модели когнитивной системы для решения задач целенаправленного поведения // Статистика и Экономика. 2019. Т. 16. С. 77–86. DOI: 10.21686/2500-3925-2019-6-77-86.
12. Horne C., Ritchie M., Griffiths H. Proposed ontology for cognitive radar systems. IET Radar, Sonar & Navigation, 2018, vol. 12, no. 12, pp. 1363–1370. DOI: 10.1049/iet-rsn.2018.5280.
13. Турчин В.Ф. Феномен науки: кибернетический подход к эволюции. М.: ЭТС, 2000. 368 с.

Software & Systems
DOI: 10.15827/0236-235X.133.047-052

Received 29.09.20
2021, vol. 34, no. 1, pp. 047–052

Application of the purposeful behavior principle in the cognitive control system of a radar station

*A.A. Nepryaev*¹, Chief Specialist, nepryaev@cps.tver.ru

¹ R&D Institute Centerprogramsystem, Tver, 170024, Russian Federation

Abstract. The application of cognitive technologies in radar is a rapidly developing area with many opportunities for innovation. A significant obstruction in this discipline is the lack of a common understanding of how the architecture of a multi-function radar control system should be designed to include multiple feedback loops that enable the manifestation of cognition. In the radar community, there is still no precise definition of what distinguishes an adaptive system from a cognitive one.

This work is intended to expand and substantiate the list of elements and qualitative characteristics that must be present in a radar system in order for it to be classified as cognitive. The author suggests the use of a metacognitive approach to developing a model of purposeful behavior that selects the most profitable strategy and controls the cognitive processes involved in learning.

The action selection based on the perception of the environment is the fundamental characteristic of the cognitive system. Finally, the choosing process leads to the optimization problem, when it is desirable to choose the action with the maximum reward. This is determined by the degree of similarity of the current internal and external states with the target one. This is based on the principle that radar systems should not be classified as cognitive or non-cognitive, but should be evaluated by the degree of severity of cognitive functions. The author suggests a gradation of cognitive systems based on the principle of purposeful behavior of control system elements.

The article substantiates the need to consider the ability of the system to function in actual time and computing power as a sign that determines the degree of expression of its cognitive abilities.

Keywords: cognitive system, adaptability, purposeful behavior, actual time, radar.

References

1. Charlish A., Bell K., Goodman N., Smith G.E. Guest editorial: cognitive radar source. *IET Radar Sonar & Navigation*, 2018, vol. 12, no. 12, pp. 1361–1362. DOI: 10.1049/iet-rsn.2018.5568.
2. Moo P.W., Ding Z. *Adaptive Radar Resource Management*. Academic Press Publ., 2015, pp. 109–135.
3. Kudashov V.I. Social technologies in the knowledge society: cognitive aspects. *Tomsk State University Journal of Philosophy, Sociology and Political Science*, 2012, vol. 4, no. 1, pp. 58–64 (in Russ.).
4. Trembach V.M. Cognitive approach to the creation of intelligent modules of organizational and technical systems. *Open Education*, 2017, no. 2, pp. 78–87 (in Russ.). DOI: 10.21686/1818-4243-2017-2-78-87.
5. Report. *SM.2152-0. Definitions of SDR and CRS*, 2009. Available at: <https://www.itu.int/pub/R-REP-SM.2152-2009> (accessed 26.09.20).
6. Huang H.-M., Pavsek K., Albus J.S., Messina E. Autonomy levels for unmanned systems (ALFUS) framework: An update. *Proc. SPIE*, 2005. DOI: 10.1117/12.603725.
7. Mishra K.V., Shankar M.R., Ottersten B. Toward metacognitive radars: Concept and applications. *Proc. IEEE Intern. Radar Conf.*, 2020, pp. 77–82. DOI: 10.1109/RADAR42522.2020.9114713.
8. Martone A.F., Sherbondy K.D., Kovarskiy J.A., Kirk B.H., Thornton C.E., Owen J.W. et al. Metacognition for radar coexistence. *Proc. IEEE Intern. Radar Conf.*, 2020, pp. 55–60. DOI: 10.1109/RADAR42522.2020.9114775.
9. Borzenkov V.G. *Function. Purposefulness*. In: *Encyclopedia of Epistemology and Philosophy of Science*. Moscow, 2009, 1248 p. (in Russ.).
10. Vityaev E.E. Purposefulness as the principle of brain activity and functional systems theory. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*, 2014, vol. 18, no. 4/3, pp. 1172–1183 (in Russ.).
11. Solodov A.A., Trembach V.M. Development and use of a model of the cognitive system for solving the tasks of purposeful behavior. *Statistics and Economics*, 2019, vol. 16, pp. 77–86 (in Russ.). DOI: 10.21686/2500-3925-2019-6-77-86.
12. Horne C., Ritchie M., Griffiths H. Proposed ontology for cognitive radar systems. *IET Radar, Sonar & Navigation*, 2018, vol. 12, no. 12, pp. 1363–1370. DOI: 10.1049/iet-rsn.2018.5280.
13. Turchin V.F. *Phenomenon of Science: A Cybernetic Approach to Evolution*. Moscow, 2000, 368 p. (in Russ.).

Для цитирования

Непряев А.А. Применение принципа целенаправленного поведения в когнитивной системе управления радиолокационной станцией // Программные продукты и системы. 2021. Т. 34. № 1. С. 047–052. DOI: 10.15827/0236-235X.133.047-052.

For citation

Nepryaev A.A. Application of the purposeful behavior principle in the cognitive control system of a radar station. *Software & Systems*, 2021, vol. 34, no. 1, pp. 047–052 (in Russ.). DOI: 10.15827/0236-235X.133.047-052.