

УДК 621.372

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТАЭВРИСТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ В СИСТЕМАХ КОГНИТИВНОГО РАДИО

С.Н.Сорокин (*info.iinst@gmail.com*)

*Институт инновационных систем и технологий*

Б.С. Сорокин (*info.iinst@gmail.com*)

*Институт инновационных систем и технологий*

В докладе рассматривается применение метаэвристических алгоритмов в системах когнитивного радио. На основе анализа приводятся достоинства и недостатки применения различных метаэвристических алгоритмов в системах когнитивного радио.

### Введение

Развитие телекоммуникационных систем приводит к постоянному усложнению методов регулирования использования ограниченного частотного ресурса. Помехи от одновременно используемых в одном частотном диапазоне радиопередатчиков приводят к значительным искажениям в передаваемой информации и могут значительно затруднять работу телекоммуникационных систем различного назначения [Зинченко и др., 2003]. Одним из возможных путей решения указанной проблемы является переход к системам когнитивного радио.

Подход к построению интеллектуальных радиосистем, получивший название когнитивное радио, является передовой технологией, позволяющей обеспечить рациональное использование радиочастотного спектра [Rondeau et al, 2009]. К отличительным особенностям когнитивного радио следует отнести то, что эти радиосистемы способны получать и передавать сигнал на адаптивно изменяемых радиочастотах, а также изменяя вид модуляции, тип кодирования и другие параметры системы.

Исследования в области когнитивного радио лежат на стыке радиотехники и систем искусственного интеллекта. Используемая в системах когнитивного радио вычислительная система должна накапливать информацию об окружающей среде и на основе имеющейся информации вырабатывать различные стратегии использования

телекоммуникационной системы. При этом в ходе обучения система когнитивного радио должна учитывать особенности используемых полос частот и допустимые режимы использования имеющейся аппаратуры.

Однако вопросы разработки исследования алгоритмов, предназначенных для использования в системах когнитивного радио, в настоящее время находятся в стадии исследования.

В докладе анализируются возможные подходы к применению метаэвристических алгоритмов в системах когнитивного радио. Показано, что использование указанных выше алгоритмов позволяет упростить проектирование и последующую эксплуатацию систем когнитивного радио.

## 1. Системы когнитивного радио

Под системой когнитивного радио понимается радиосистема, обладающая механизмами самоуправления с различными уровнями способности адаптироваться к изменяющейся радиосреде. При этом механизмы самоуправления базируются на принципах обучения и искусственного интеллекта.

К особенностям систем когнитивного радио следует отнести:

- возможность получать информацию о состоянии окружающей радиосреды;
- возможность проводить интеллектуальный анализ информации о состоянии окружающей радиосреды;
- при изменении радиосреды адаптивно изменять параметры телекоммуникационной системы таким образом, чтобы обеспечить эффективное функционирование системы связи.

На рис. 1 показана простейшая модель системы когнитивного радио.

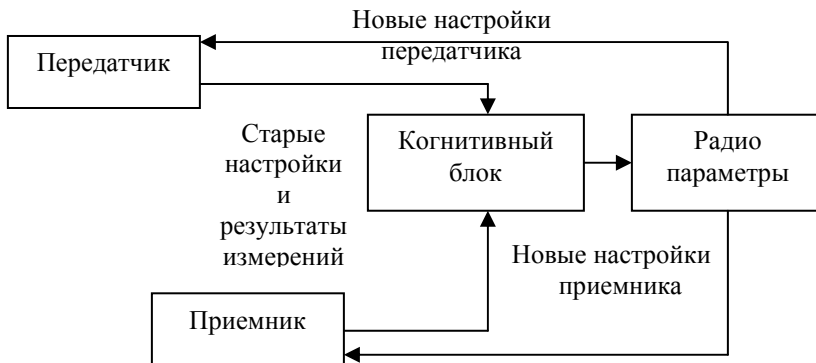


Рис. 1. Простейшая модель системы когнитивного радио

При взаимодействии когнитивного блока с радиосистемой одними из важнейших критериев являются настройки радиосистемы и результаты измерений. Под настройками радиосистемы понимаются тип модуляции, параметры модуляции, диапазон частот и т. п. Под результатами измерений понимаются мощность сигнала, частота ошибочных бит (Bit Error Rate (BER)) и т.п. Системы когнитивного радио, базируясь на результатах измерений, строят систему знаний об окружающей радиосреде и на основе этой модели затем изменяют настройки радиосистемы таким образом, чтобы улучшить качество связи.

Анализ представленной на рис. 1 простейшей модели системы когнитивного радио показывает, что представленная архитектура может быть легко реализована на основе систем искусственного интеллекта.

Основная теоретическая проблема, которая должна быть решена при разработке систем когнитивного радио, относится к наиболее сложным – решение задачи многокритериальной оптимизации. При этом в системах когнитивного радио эта задача должна быть решена в режиме реального времени многократно для изменяющейся радиосреды. В связи с этим когнитивный блок должен включать в себя множество целевых функций, методы их анализа и алгоритмы оптимизации этих целевых функций в зависимости от характеристик радиосистемы. Таким образом, когнитивный блок должен обладать следующей функциональностью: возможностью наблюдать за окружающей радиосредой, адаптироваться в этой постоянно изменяющейся среде, планировать действия, решать, обучаться и действовать. Для решения задачи наблюдения за окружающей средой система когнитивного радио (рис. 1) должна быть дополнена датчиками, которые обеспечивают информацию об окружающей среде. Для реализации принятых решений в системе когнитивного радио необходимо использование актюаторов, позволяющих изменить радиосистему таким образом, чтобы обеспечить ее эффективное использование. Таким образом, когнитивный блок должен включать компоненты следующих трех типов:

1. Компонент восприятия. В него должны быть включены датчики, обеспечивающие информацию о состоянии окружающей радиосреды, а также данные о доступных вычислительных ресурсах системы когнитивного радио и т.д.

2. Компонент обучения и рассуждения. Он должен обеспечивать обучение системы и принятие решений в зависимости от информации, предоставляемой компонентом восприятия.

3. Компонент исполнения. Этот блок должен включать в себя механизм адаптации, позволяющий изменить параметры системы когнитивного радио.

В докладе рассматриваются различные подходы к построения компонента обучения и рассуждения на основе метаэвристических алгоритмов.

## **2. Особенности применения метаэвристических алгоритмов в системах когнитивного радио**

Метаэвристические алгоритмы являются одними из наиболее эффективных при решении задач обучения и принятия решений. Все существующее множество метаэвристических алгоритмов может быть разделено на две большие группы:

- метаэвристики, базирующиеся на использовании единственного альтернативного решения (непопуляционные метаэвристики);
- метаэвристики, которые используют при выборе дальнейшей траектории несколько альтернативных решений (или популяционные метаэвристики).

В первую группу алгоритмов входят алгоритмы имитации отжига, поиск с запретами, алгоритмы ускоренного вероятностного моделирования. Вне зависимости от конкретных особенностей этих алгоритмов при их использовании необходимо выполнить следующую последовательность действий.

1. Генерация начального решения.
2. Оценка текущего решения.
3. Модификация текущего решения.
4. Селекция лучшего решения из текущего решения и модифицированного.
5. П. 2-4 повторяются до тех пор, пока не будут выполнены критерии сходимости или не будет достигнут предел заданного количества итераций.

К алгоритмам второй группы следует отнести алгоритмы эволюционных вычислений, алгоритмы оптимизации на основе имитации поведения муравьиных колоний, алгоритмы ройной оптимизации, а также иммунные алгоритмы.

К их отличительным особенностям по сравнению с первой группой алгоритмов следует отнести наличие множества альтернативных решений (популяции) на каждой итерации.

При использовании метаэвристик первой группы требуется меньший размер памяти для хранения альтернативных решений. Также меньше вычислительные затраты для оценки различных альтернативных решений. Однако метаэвристики второй группы отличаются лучшей асимптотической сходимостью, что особенно важно при решении задач многокритериальной оптимизации. В табл. 1 приведены результаты

сравнительного анализа достоинств и недостатков применения различных метаэвристических алгоритмов в системах когнитивного радио.

Табл. 1

Параметр	Непопуляционные метаэвристики	Популяционные метаэвристики
Требуемый размер памяти	+	-
Вычислительные затраты для оценки различных альтернативных решений	+	-
Асимптотическая сходимость	-	+
Возможность распараллеливания	-	+

Анализ результатов, представленных в табл.1, показывает, что обе группы метаэвристик обладают как достоинствами, так и недостатками при их использовании в системах когнитивного радио.

### **3. Функции пригодности в системах когнитивного радио**

Анализ принципов функционирования систем когнитивного радио позволяет сформулировать следующие особенности функций пригодности, предназначенных для использования в системах когнитивного радио:

1. При эксплуатации систем когнитивного радио при принятии решения необходимо учитывать несколько критериев.
2. Множество критериев может варьироваться в зависимости от конкретного использования системы когнитивного радио.
3. Внешняя радиосреда определяет методы оценки критериев.
4. Потребности пользователей, а также оценки параметров могут варьироваться в зависимости от конкретного использования системы когнитивного радио.
5. При решении задачи зачастую требуется найти не оптимальное решение, а одно из возможных решений, удовлетворяющих заданным ограничениям.

Для удовлетворения перечисленных выше требований когнитивный блок должен базироваться на решении задачи многокритериальной оптимизации. Этот подход позволит обеспечить требуемую гибкость эксплуатации системы когнитивного радио, а также обеспечить выбор альтернативных решений, удовлетворяющих всем заданным ограничениям.

В метаэвристических алгоритмах используются различные подходы к построению функций пригодности. Одним из наиболее простых

подходов является использование взвешенной суммы различных критериев. В частности, в работах [Сорокин и др., 2003], [Alander et al, 2004] рассматривались подходы к оценке различных весовых коэффициентов при проектировании дипольных антенн.

В докладе рассматриваются различные функции пригодности для систем когнитивного радио. Показано, что выбор линейной или нелинейной функции пригодности зависит от конкретных приложений. Обсуждаются различные сценарии, которые могут быть реализованы при выборе различных весовых коэффициентов.

Рассматриваются также вопросы построения множества Парето-оптимальных решений и последующий выбор единственного решения. Для некоторых параметров граница фронта Парето является выпуклой [Newman et al, 2007]. Однако в общем случае граница фронта Парето является произвольной, что существенно затрудняет поиск эффективных решений. В докладе рассматриваются особенности сценариев, которые могут быть реализованы при использовании оптимизации по Парето.

#### 4. Заключение

В докладе рассматриваются некоторые возможные подходы для применения метаэвристических алгоритмов в системах когнитивного радио. Показано, что как популяционные, так и непопуляционные метаэвристики обладают достоинствами и недостатками при применении в системах когнитивного радио.

Проведен сравнительный анализ различных подходов к построению функций пригодности, предназначенных для использования в системах когнитивного радио.

#### Список литературы

- [Зинченко и др., 2003] Зинченко Л.А., Сорокин С.Н. Эволюционное проектирование элементов телекоммуникационных систем. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2003.
- [Сорокин и др., 2003] Сорокин С.Н., Зинченко Л.А., Олейник М.П. Эволюционное проектирование антенн Яги-Уда с улучшенными характеристиками // Труды конференции «ИСАПР 2003». 2003.
- [Alander et al, 2004] Alander J.T., Zinchenko L. A., Sorokin S.N. A comparison of fitness landscapes in evolutionary design of dipole antennas. // IEEE Trans. on antennas and propagation. 2004. №52(11).
- [Newman et al, 2007] Newman T. R., Barker B. A., Wyglinski A. M., Agah A., Evans J. B., Minden G. J. Cognitive Engine Implementation for Wireless Multicarrier Transceivers // Wiley Journal on Wireless Communications and Mobile Computing. 2007. №7(9).
- [Rondeau et al, 2009] Rondeau T. W., Bostian C. W. Artificial Intelligence in Wireless Communications. - Artech House Publishers, 2009.