

**РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВНЕДРЕНИЮ СТАНДАРТА БЕСПРОВОДНОЙ СВЯЗИ
IEEE 802.22 В СИСТЕМАХ РАДИОСВЯЗИ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

В статье исследуются вопросы инновационного развития радиосистем специального назначения. Представлены особенности работы физического и программного уровней доступа, а также предложена упрощенная модель системы когнитивного радио. Приведен обобщенный подход к построению системы автоматизированной радиосвязи. Разработаны предложения по внедрению стандарта в системах радиосвязи специального назначения.

Масесов М.О., Панченко И.В., Бондаренко Л.О., Малых В.В. Рекомендації щодо впровадження стандарту безпроводового зв'язку IEEE 802.22 у системах радіозв'язку спеціального призначення. У статті досліджуються питання інноваційного розвитку радіосистем спеціального призначення. Представлені особливості роботи фізичного й програмного рівнів доступу, а також запропонована спрощена модель системи когнітивного радіо. Наведено узагальнений підхід до побудови системи автоматизованого радіозв'язку. Розроблено пропозиції по впровадженню стандарту в системах радіозв'язку спеціального призначення.

N. Masesov, I. Panchenko, L. Bondarenko, V. Malyh Recommendations on introduction of the Wireless Communications Standard IEEE 802.22 in Radio Communication Systems of Special Purpose. In the article questions of innovation radio systems of special purpose development are researched. The peculiarity of the physical and programme level of the access work are presented. It was also offered the simplified model of cognitive radio system. The generalised approach to building of the automated radio communication system is brought. The offer on introducing the standard in radio communication systems of special purpose is designed.

Ключевые слова: когнитивное радио, анализ спектра, параметры сканирования, уровень доступа.

В современных условиях ведения войн и вооруженных конфликтов роль системы связи при управлении группировками войск (сил) на театре военных действий существенно возрастает. Именно система связи, выполняя задачи обеспечения информационного обмена в системе управления, должна быстро реагировать на изменения обстановки, динамично изменять свою структуру, совершенствовать способы построения и режимы работы.

Достижение этого возможно только путем создания эффективной системы связи, функционирующей в едином информационном пространстве, способной в реальном масштабе времени обрабатывать информацию, вырабатывать информационные воздействия и доводить приказы и команды до боевых платформ.

Подчеркивая **актуальность** научных изысканий в указанном направлении, совершенствование системы связи группировки войск (сил) на театре военных действий должно осуществляться с применением инновационных подходов и перспективных информационных технологий.

Одним из возможных путей решения поставленных задач является переход к системам когнитивного радио.

Подход к построению интеллектуальных радиосистем, получивший название когнитивное радио, является передовой технологией, позволяющей обеспечить рациональное использование радиочастотного спектра. Однако внедрение указанной технологии в средствах связи специального назначения требует дополнительных исследований, которые учитывают специфические особенности работы радиосредств в сложной электромагнитной обстановке, а также в условиях активного радиопротиводействия противника. Таким образом, **целью статьи** является разработка рекомендаций по внедрению технологии когнитивного радио в системах радиосвязи специального назначения.

Проведенный в рамках исследования **анализ** известных на сегодняшний день **публикаций** [1 – 6] показал, что основы технологии когнитивных радиосистем представлены в виде стандарта IEEE 802.22, принятого относительно недавно (в 2011 году).

Согласно указанного стандарта, система когнитивного радио (CR – Cognitive Radio) – это радиосистема, использующая технологию, позволяющую этой системе получать знания о своей среде эксплуатации и географической среде, об установленных правилах и о своем внутреннем состоянии; динамически и автономно корректировать свои эксплуатационные параметры и протоколы согласно полученным знаниям для достижения заранее поставленных целей и учиться на основе полученных результатов [1].

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.

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

Таким образом, известные публикации по исследуемой тематике [1–8] не учитывают приведенные выше особенности работы систем радиосвязи специального назначения, поэтому не могут дать однозначные рекомендации по использованию когнитивного радио с целью повышения устойчивости функционирования таких систем.

Для изложения *основного материала исследований* следует привести основополагающие положения и представить модель, поясняющую работу когнитивной радиосистемы.

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.

Учитывая особенности работы системы когнитивного радио, на рис. 1 показана ее модель.

При взаимодействии когнитивного блока с радиосистемой одними из важнейших критериев являются настройки радиосистемы и результаты измерений.

Для решения задачи наблюдения за окружающей средой система когнитивного радио 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:

– компонент восприятия. В него должны быть включены сенсоры, обеспечивающие информацию о состоянии окружающей радиосреды, а также данные о доступных вычислительных ресурсах системы когнитивного радио и т.д.;

– компонент обучения и рассуждения. Он должен обеспечивать обучение системы и принятие решений в зависимости от информации, предоставляемой компонентом восприятия;

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

Под настройками радиосистемы понимаются тип модуляции, параметры модуляции, диапазон частот, ширина полосы частот радиоканала 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 затем на основе этой модели изменяют настройки радиосистемы с целью улучшения качества связи.

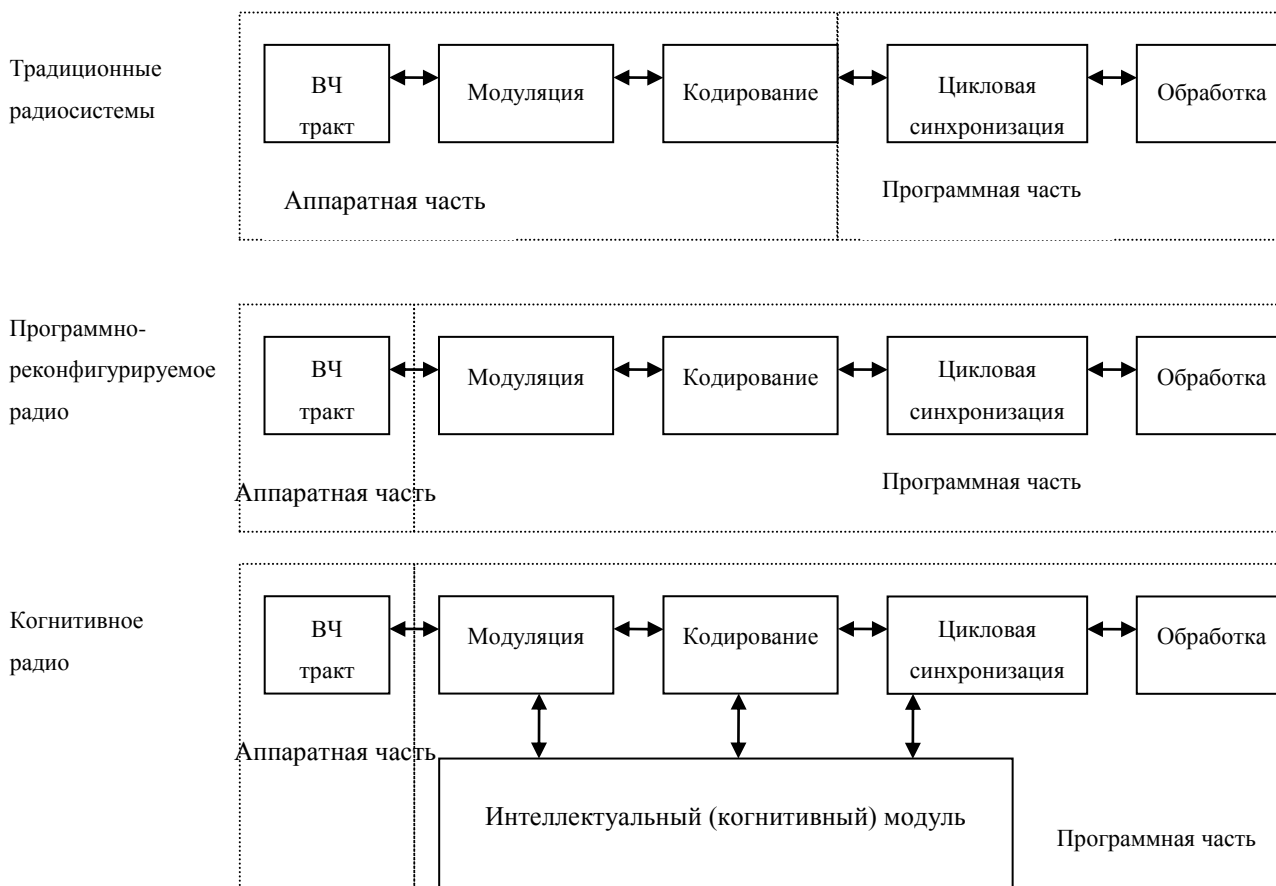


Рис. 1. Модель системы когнитивного радио

Результаты анализа иллюстрируемой на рис. 1 модели системы когнитивного радио показывают, что представленная архитектура может быть реализована на основе систем искусственного интеллекта. Основной теоретической задачей, решаемой при разработке систем когнитивного радио, является задача многокритериальной оптимизации [7]. При этом в системах когнитивного радио эта задача должна быть решена в режиме реального времени для постоянно 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;
- действовать.

Новый стандарт беспроводной связи IEEE 802.22 спроектирован для беспроводных региональных сетей (Wireless Regional Area Network, WRAN), и известен под именем „white space” („пробел”), который предполагает покрытие зон радиусом в десятки километров.

Увеличение радиуса действия достигается благодаря уменьшению значений рабочих частот, обычно используемых в диапазонах применения КВ/УКВ радиосредств специальных пользователей, а также в диапазонах радиосредств Wi-Fi, WiMax или LTE для передачи информации.

Подбор оптимальных частот зависит от многих факторов. Для обеспечения наибольшей дальности с сохранением рациональной мощности и приемлемой полосы пропускания используются частоты диапазона от 54 до 862 МГц, так называемые телевизионные частоты. В стандарте 802.22 предполагается использовать ширину полосы одного канала в 8 (6,7) МГц. Существующая система телерадиовещания может служить примером успешного использования этого диапазона для покрытия больших площадей. К достоинствам работы на данных частотах относится незначительное влияние препятствия при распространении радиоволн. Однако в использовании ОБЧ/УВЧ есть недостаток: меньшие частоты (длинные волны) нуждаются в более габаритных антенных системах. Кроме повсеместно используемых систем аналогового и цифрового телевидения диапазон официально закреплен за радиосвязью государственных служб, министерств и ведомств, а также коммерческих сервисов (такси и т.д.). В данной полосе также работают беспроводные микрофоны и др.

Разработчики отмечают, что IEEE 802.22 WRAN является одной из первых спецификаций, использующих в полной мере когнитивные технологии в радиосвязи. Таким образом, стандарт позволяет эффективно использовать имеющийся спектр рабочих частот без необходимости получения разрешений на их использование, а также повышает разведзащищенность сетей специального назначения и позволяет достичь скорости передачи данных до 22 Мбит/с с зоной покрытия радиусом до 100 км.

Сравнительные обобщенные характеристики различных систем беспроводного доступа представлены на рис. 2.

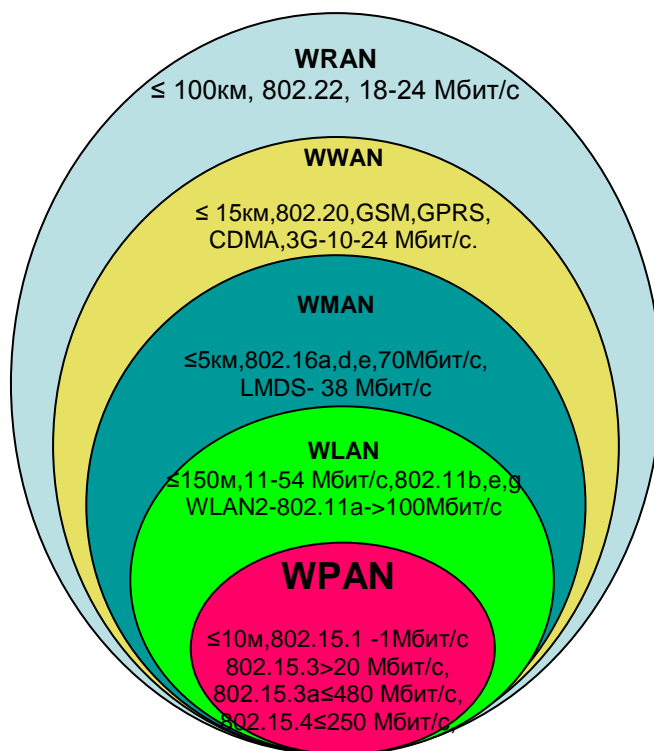


Рис. 2. Сравнительные характеристики систем беспроводного доступа

На физическом уровне, между базовой станцией и пользовательским оборудованием на физическом уровне организована двухсторонняя связь с временным разделением (Time Division Duplexing, TDD). В таком разделении входные и выходные данные передаются на

одной частоте, но в разные промежутки времени. Если нужно изменить приоритет по скорости, то достаточно продлить выделенное время для одного потока данных и сократить для другого.

Как транспортный механизм в 802.22 используется технология мультиплексирования с ортогональным частотно-временным разделением каналов (Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM). Аналогичная схема применяется и в WiMax. В спецификации предусмотрены различные виды схем модуляции, которые выбирается исходя из условий передачи:

- квадратурная фазовая манипуляция (Quadrature Phase Shift Key, QPSK);
- квадратурная амплитудная манипуляция порядка 16 и 64 (Quadrature Amplitude Modulation, 16 QAM и 64 QAM).

Для более стабильной работы в 802.22 предусмотрено использование кодов, позволяющих корректировать ошибки. В том числе коды Галлагера (Gallager), которые на данный момент представляют лучшее решение для передачи информации по каналу связи с шумами в ограниченной полосе.

Для организации доступа к каналу связи нескольких абонентов одновременно применяется техника частотно-временного разделения (Orthogonal Frequency Division Multiple Access, OFDMA). Это уникальная технология, позволяющая использовать доступное частотное пространство максимально выгодным способом. OFDMA уже отлично себя зарекомендовала в таких стандартах, как WiMax и LTE. В механизме OFDMA доступные специальные частоты делятся между пользователями сети.

Спектральная эффективность по стандарту может варьироваться от 0,624 до 3,12 Бит/с/Гц. Для компенсации низкой пропускной способности канала при минимальной спектральной эффективности используется методика канального объединения (channel bonding). Суть методики заключается в использовании до трех каналов одновременно, чтобы за счет ширины полосы в 24 (18, 21) МГц обеспечить приемлемую скорость передачи [8].

Для защиты каналов занятых другими пользователями необходимо выдерживать частотный интервал, чтобы исключить возникновение помех. Ширину частотного интервала в стандарте 802.22 рекомендуется делать сопоставимой с шириной одного канала. Фактически необходимо иметь в ОВЧ/УВЧ-диапазоне пробелы шириной от трех каналов (один информационный плюс два защитных по бокам) и более.

Уровень управления доступом к среде MAC (Media Access Control) – организует адресацию и контроль доступа к сети.

MAC, основанный на когнитивных технологиях, должен иметь очень динамичную и гибкую архитектуру, чтобы оперативно реагировать на изменения в сети.

Для обмена данными в 802.22 используются суперфреймы (superframe). Длительность одного суперфрейма составляет 160 мс. В начале каждого суперфрейма расположена специальная преамбула (preamble) и контрольный заголовок суперфрейма (superframe control header, далее — SCH). По каждому из доступных и отвечающих всем требованиям каналов базовая станция посылает суперфреймы. Абоненты, находящиеся в зоне действия станции и еще не подключенные к сети, "слушают" свободные каналы на наличие суперфреймов.

Получив данные, абонентское оборудование извлекает из SCH всю необходимую информацию для инициализации сетевого соединения. Длительность одного фрейма составляет 10 мс, соответственно в одном суперфрейме 16 фреймов. Каждый суперфрейм состоит из фреймов (frame). Фреймы являются непосредственными переносчиками данных.

Используя представленный выше анализ функционирования системы когнитивного радио, авторами предлагаются следующие предложения по внедрению их в системы беспроводной связи специального назначения.

Первоочередной задачей использования указанных технологий при организации и обеспечении связи является разработка и утверждение нормативно-правовой базы для работы когнитивных радиосредств в указанном частотном диапазоне.

Дополнительные научные исследования необходимы для исследования проблемы электромагнитной совместимости при одновременной работе множества когнитивных радиосредств на ограниченной территории (театре военных действий).

Использование новых механизмов работы в перспективных и модернизируемых радиосредствах даст возможность обеспечить устойчивость функционирования системы радиосвязи в целом с целью управления группировками войск (сил) на театре военных действий. Частное сканирование рабочего диапазона, постоянный мониторинг и отслеживание изменений, а также процедура совместного использования спектра с лицензионными пользователями предлагает новый подход к организации радиосвязи, когда разные устройства разных стандартов не функционируют обособленно, а взаимодействуют между собой и организуют окружающее пространство для выгодного совместного использования.

Используемый частотный диапазон стандарта позволяет применять его в средствах УКВ-связи, а так же в малоканальных (низкоскоростных) радиорелейных станциях, что дает возможность при модернизации указанных средств использовать существующее антенно-мачтовое оборудование. Единая база данных диапазона изначально предотвращает работу радиосети на постоянно занятых и подавленных системами радиоэлектронной борьбы противника частотах. Кроме того, использование стандарта 802.22 позволяет совместно использовать оптимальный частотный диапазон и не требует согласования на использование определенных частот.

В спецификации стандарта 802.22 предполагается использование как ненаправленных, так и направленных антенн. При необходимости изотропную антенну можно заменить секторной. Такая конфигурация позволит эффективнее охватывать зону с неравномерным распределением абонентов по площади или со сложным размещением нескольких базовых станций. На стороне абонента может применяться узконаправленная антенна с ориентированием в сторону базовой станции (или базовой станции с максимальным сигналом, если их несколько). Таким образом, повышается показатель помехоустойчивости работы системы [9]. Кроме того, в абонентском оборудовании должна быть сканирующая (sensing) антенна для функционирования когнитивных механизмов.

Процесс установления связи оказывается сложнее, чем в существующих беспроводных сетях. Всё усложняется тем, что нет изначально определенного канала связи. Таким образом, пользовательскому оборудованию сначала необходимо просканировать сетку частот и составить карту всего диапазона. Затем в свободных и подходящих пробелах искать SCH базовой станции.

Дополнительным предложением по внедрению когнитивных систем является разработка и обоснование научных подходов к реализации интеллектуальных свойств на сетевом уровне работы системы связи специального назначения. Это позволит более полно использовать преимущества технологии в условиях быстроменяющейся топологии построения радиосетей, а также оптимальной адаптации сетей к возможному воздействию внешних факторов. Среди недостатков использования рассматриваемой технологии в системах связи специального назначения следует отметить следующие. Во-первых, в системах когнитивного радио проявляется тенденция усложнения процесса обработки сигналов, как в базовых, так и в абонентских станциях. Во-вторых, особенности одновременной работы в сети и сканирования параметров радиоканалов требуют наличия одновременно двух радиоприемных трактов и антенного оборудования, что может сказаться на мобильности и разведзащищенности абонентов когнитивной радиосети. Третьим существенным недостатком является неизвестность возможности практической работы системы при существенном заполнении всего доступного частотного диапазона, который в условиях боевых действий неизбежно окажется ограниченным ресурсом на театре военных действий.

Однако указанные недостатки не могут существенно снизить существующие преимущества создания когнитивных радиосистем. Поэтому стандарт 802.22 уже в ближайшее время может самым распространенным стандартом беспроводной связи для покрытия больших площадей как общего, так и специального применения.

В качестве **выводов** следует отметить, что применение технологий когнитивного радио в радиосистемах специальных пользователей позволит обеспечить широкополосный беспроводной доступ к сетям передачи данных как в закрепленных диапазонах частот специальных пользователей, так и в лицензированных диапазонах частот без создания взаимных помех. Одновременно с этим, приведенные решения в рамках указанной технологии при построении радиосистем специальных пользователей позволят обеспечить разведзащищенность, стойкость, надежность и скрытность системы связи. Дальнейшие исследования будут направлены на разработку рекомендаций по модернизации существующих и разработку новых средств связи специального назначения с использованием технологии когнитивного радио, а также на усовершенствование методов управления сетевыми ресурсами в сетях с динамической архитектурой и возможностью самоорганизации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Отчет ПСК по техническим, эксплуатационным и регламентарно-процедурным вопросам, подлежащим рассмотрению Всемирной конференцией радиосвязи 2012 года. 2-я сессия Подготовительного собрания к конференции для ВКР-12. Женева. Февраль 2011.
2. IEEE 802.22 Working Group on Wireless Regional Area Networks Enabling Rural Broadband Wireless Access Using Cognitive Radio Technology in TV Whitespaces Recipient of the IEEE SA Emerging Technology Award. – Режим доступа : grouper.ieee.org/groups/802/22/.
3. Бузов А.Л. Управление радиочастотным спектром и электромагнитная совместимость радиосистем. Учебное пособие / Под ред. д.т.н., проф. М.А. Быховского. — М.: Эко-Трендз, 2006. — 376 с., ISBN 5-88405-067-4.
4. Сопронюк И.И. Метод мониторинга спектра в когнитивных радиосетях на основе использования информационного критерия Акайке // И.И. Сопронюк, В.П. Лысечко, Е.А. Ухова / Харьков: Украинская государственная академия железнодорожного транспорта. – 2011 г. – С. 1-3.
5. Николаев В.И. Прогноз развития технологий широкополосного доступа двойного назначения до 2020 года // В.И. Николаев, А.В. Гармонов, Ю.И. Лебедев / IX научно-техническая конференции „Технологическая модернизация – основа повышения конкурентоспособности радиоэлектронной промышленности”, Томск, 14 сентября 2010г.
6. Гурьянов И.О. Когнитивное радио: новые подходы к обеспечению радиочастотным ресурсом перспективных радиотехнологий // И.О. Гурьянов / „Электросвязь”. – 2012. – № 8. – С. 5 – 8.
7. Муромцев Д.Ю. Анализ и синтез радиосистем на множестве состояний функционирования // Д.Ю. Муромцев, Ю.Л. Муромцев / Вестник ТГТУ. – 2008. – № 2. – С. 3 – 7.
8. Николаев В. Системы широкополосного доступа 4 поколения: выбор сигнально-кодовых конструкций выбор // В. Николаев, А. Гармонов, Ю. Лебедев / „Первая миля”. – 2010. – № 5, 6. – С. 2 – 7.
9. Gossain H. CrossLayer Directional Antenna MAC and Routing Protocols for Wireless Ad Hoc Networks // H. Gossain, C. Cordeiro, T. Joshi, and D. Agrawal / Wiley Wireless Communications and Mobile Computing (WCMC) Journal, Special Issue on Ad Hoc Wireless Networks, to Appear. – Режим доступа : cs.uc.edu/cordeicm/papers/edama_wcmc.pdf.