УДК 621.391 DOI: 10.30748/nitps.2019.34.11

У.Р. Збежховська

Військова частина А1789, Васильків

СИСТЕМИ КОГНІТИВНОГО РАДІО: ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ

В даній статті проаналізовано основи роботи когнітивного радіо та когнітивних радіомереж, що викликано зростаючим попитом різних служб радіозв'язку на додатковий спектр частот, який приводить до формування більш складного середовища управління радіоспектром. Для вирішення такого завдання необхідно використовувати інноваційні методи управління спектром, які б забезпечували ефективне використання полоси частот службами, а також надавали можливість спільного використання обмежених ресурсів спектру та їх впровадження у телекомунікаційні системи. В певних умовах застосування підходів на основі динамічного доступу до спектру може сприяти вирішенню такої задачі. Але для її реалізації необхідно вирішити ряд певних складних задач, що пов'язані з управлінням використання спектру радіочастот.

Ключові слова: *когнітивне радіо, динамічне управління спектром радіочастот, геолокаційна база даних, широкосмуговий доступ.*

Вступ

Постановка проблеми. У зв'язку зі стрімким розвитком телекомунікаційних систем безпровідної передачі даних, таких як стільниковий та супутниковий зв'язок, локальних мереж Wi-Fi та WIMAX, виникає проблема дефіциту частотного діапазону. Тобто розподілений та ліцензований частотний спектр є перевантаженим в певних смугах частот, в той час як неліцензовані частоти використовуються недостатньо або взагалі не використовуються. Вирішенням даної задачі може стати динамічне управління спектром радіочастот, яке завдяки інтелектуальному управлінню під час зондування радіопростору здатне самостійно та за малий проміжок часу переключатися між тимчасово незайнятими ліцензованими частотами ("білими плямами").

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Подібні інтелектуальні мережі з динамічним управлінням спектром радіочастот запропонував використовувати американський дослідник Джозеф Мітола та назвав їх терміном "когнітивне радіо" [1]. Принцип його роботи є технічно складним процесом. Однак мережі, розроблені за даним принципом, на відміну від інших, здатні добувати, аналізувати та запам'ятовувати отриману інформацію від оточуючого середовища, передбачати зміни в ньому та самостійно перелаштовувати свої параметри для досягнення визначених цілей і "навчатися" на основі отриманих результатів [2].

В якості технічної реалізації подібних систем було запропоновано використовувати підходи на основі геолокаційної бази даних та спектрального зондування електромагнітної обстановки. Але слід відмітити, що перспективи подальшого впровадження різних підходів щодо систем когнітивного радіо потребують ретельного дослідження з врахуванням ефективності запропонованих рішень.

На даний час в ряді країн запущені пілотні проекти, які ґрунтуються на теоретичних засадах систем когнітивного радіо [3–5]. Так, наприклад, у США реалізовано наступні проекти:

– університет Делавер у США – розроблено проект доступу до мережі інтернет в діапазоні "білих плям" по засобах Wi-Fi;

– в університеті Західної Вірджинії вперше забезпечено широкосмуговий доступ (ШСД) до інтернет на території університету на основі "білих плям". Мета даного проекту – надання послуг ШСД до інтернет в невеликих містах та сільській місцевості;

– в місті Вілмінгтон, штат Північна Кароліна, була побудована мережа "розумне місто". Цей проект має за мету створення систем моніторингу стану дорожнього руху за допомогою безпровідних камер, якості води в районах з болотяною місцевістю та для надання доступу до інтернету по засобах Wi-Fi в місцевих парках.

В Національному університеті Сінгапуру було реалізовано проект щодо управління повітряними кондиціонерами в гуртожитку університету на основі принципів роботи системи когнітивного радіо.

В шотландському місті Стартклайд за підтримки Microsoft запущено пілотний проект по забезпеченню безпровідним широкосмуговим зв'язком районів з важкодоступною місцевістю. В рамках проекту передбачається розгортання базових станцій, які розроблені на основі аналогічних принципів, у місцевому університеті.

Досвід впровадження когнітивного радіо в США, Сінгапурі та Великобританії доводить, що використання "білих плям" має перспективу для роботи в сільській або важкодоступній місцевості для усунення пробілів в покритті сучасних мереж ШСД. В результаті реалізації пілотних проектів вдалось регламентувати принципи використання когнітивного радіо: максимально допустимі параметри когнітив-

© Збежховська У.Р., 2019

них пристроїв, типи обладнання, принципи захисту ліцензованих пристроїв, питання конфіденційності інформації і процедури взаємодії когнітивних пристроїв. Але варто відмітити, що остаточно правила та рекомендації використання "білих плям" ще не сформовані, тому їх застосування носить локальний, здебільшого досліджуваний характер і на даний момент не отримало широкого розповсюдження.

Мета статті – аналіз теоретичних положень побудови систем когнітивного радіо та принципів їх роботи, узагальнення досвіду реалізації відповідних проектів провідними країнами світу в існуючі системи зв'язку та визначення перспектив їх розвитку.

Виклад основного матеріалу

Технічна реалізація систем когнітивного радіо на основі спектрального сканування (зондування) електромагнітної обстановки базується на властивості досліджуваних систем виявляти тимчасово зайняті/незайняті ділянки спектра та переключатися між ними. Зондування спектру може застосовуватися у випадках, коли рівень виявленого сигналу достатньо великий чи завчасно відомі тип або форма сигналу.

Більш детально принцип роботи когнітивної системи радіозв'язку, побудованої на основі геолокаційної бази даних виглядає наступним чином (рис. 1).

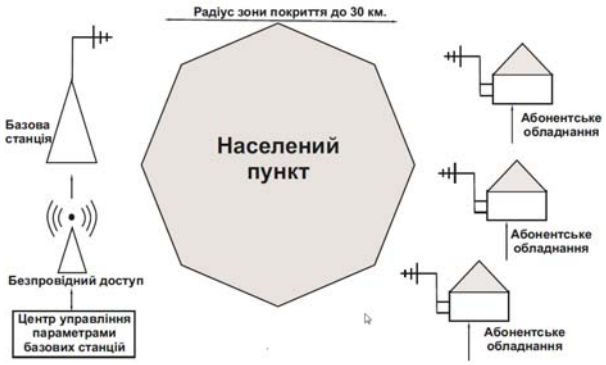

Рис. 1. Загальна схема мережі когнітивного радіо

Мобільна станція, завдяки вбудованій системі навігації, визначає своє місцезнаходження (географічні координати), після чого ці координати по службовому каналу зв'язку передаються базовій станції (БС). Базова станція транслює дану інформацію в обчислювальний центр, де визначається радіоелектронна обстановка в районі знаходження мобільної станції, допустимі параметри її роботи і передаються в зворотному порядку до БС. Далі мобільний пристрій коригує свої параметри роботи на основі отриманої інформації. Весь процес відбувається в автоматичному режимі з використанням геолокаційної бази даних.

Для забезпечення взаємодії між когнітивним пристроєм і базою даних слід реалізувати спеціалізований протокол. При його розробці необхідно максимально забезпечити сумісність з вимогами міжнародних стандартів.

Результати останніх досліджень показують, що головною проблемою впровадження систем когнітивного зв'язку є забезпечення електромагнітної сумісності когнітивних пристроїв з пристроями наземного телевізійного мовлення (частота мовлення яких 174-230МГц і 470-862МГц) [6]. Одним з рішень даної задачі є рознесення передавальних антен когнітивних пристроїв та прийомних антен телевізійного мовлення в діапазоні від 5 до 300 метрів в залежності від параметрів когнітивних систем. Зазначений варіант може бути прийнятним лише для стаціонарних когнітивних систем, які мають фіксоване місце установки, однак не для абонентських пристроїв, що можуть бути встановлені за власним бажанням користувача.

На даний час перспективи розвитку застосування систем когнітивного радіо остаточно не визначені. В міжнародних організаціях, які займаються стандартизацією [7], тривають дискусії стосовно використання когнітивних мереж зв'язку в різних сферах діяльності. Найбільш ймовірним варіантом використання когнітивного радіо є надання послуг ШСД. Для вирішення такої задачі радіоелектронні системи когнітивного радіо можуть використовуватися в якості різних елементів мережі широкосмугового доступу [8]:

– магістральних ліній зв'язку між населеними пунктами;

– ліній зв'язку між головними (базовими) станціями та станціями абонентського зв'язку;

– кінцевого інтерфейсу для підключення абонентського пристрою;

– комбінації наведених вище варіантів застосування.

Найбільш відомими є типові схеми організації мереж радіозв'язку з використанням систем когнітивного радіо [9].

Однією з них є топологія "точка-точка" (рис. 2), яка дозволяє забезпечити населений пункт ШСД [3].

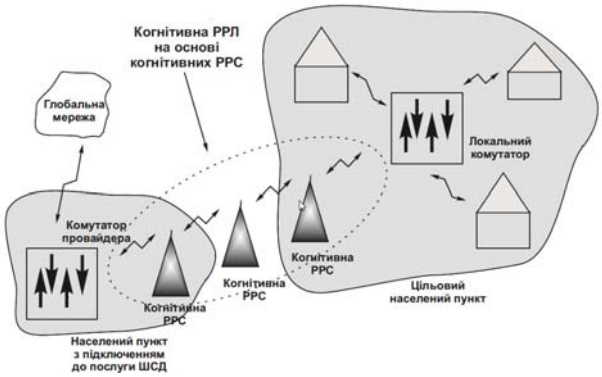

Рис. 2. Варіант широкосмугового доступу з використанням когнітивних радіостанцій, побудований за топологією "точка-точка"

За допомогою з'єднання "точка-точка" можливо організувати радіолінію між мережею провайдера послуг широкосмугового зв'язку та локальними точками доступу в цільовому населеному пункті. В цьому випадку, когнітивні станції зв'язку використовуються лише для створення транспортного каналу між комутатором провайдера з однієї сторони та локальним з іншої.

При цьому для надання послуг ШСД неподалік від цільового пункту повинен знаходитися інший населений пункт, підключений до ШСД. Радіоканал в даному випадку організовують на основі радіорелейних ліній (РРЛ), які будують на основі принципів роботи когнітивного радіо. Перевагою подібної структури є можливість створювати достатньо довгі лінії когнітивних радіорелейних станцій (РРС), наприклад, для випадку розміщення декількох населених пунктів вздовж річки, що в декілька разів збільшує дальність зв'язку.

Враховуючи міжнародний досвід, вищенаведена система організації транспортного каналу не застосовується, так як до подібних технічних рішень ставляться дуже високі вимоги. Недолік побудови мережі за даною топологією – недостатня кількість інформації про те, що канали телевізійного мовлення є вільними. Тому необхідно застосовувати цю мережу лише за наявності резервних каналів ТВ-мовлення, для можливості екстреного переключення на них.

На даний час більшість країн, що проводять дослідження в галузі використання систем когнітивного радіозв'язку, будують свої системи за топологією "точка-багатоточка" (рис. 3).

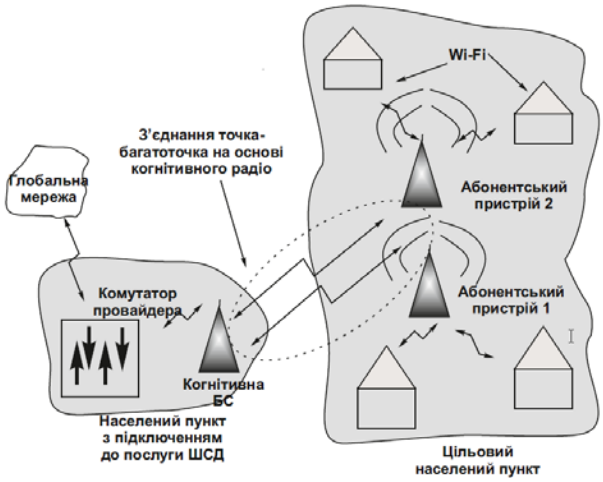

Рис. 3. Варіант широкосмугового доступу з використанням когнітивних радіостанцій, побудований за топологією "точка-багатоточка"

З'єднання "точка-багатоточка" дозволяє отримати доступ до мережі інтернет за допомогою безпровідного з'єднання з БС, що працює за принципами когнітивного радіо. При цьому зона обслуговування БС може досягати 10 км в радіусі дії антени і забезпечувати необхідну якість зв'язку. Подібний тип з'єднання має транспортний канал між БС когнітивного радіозв'язку та абонентськими пристроями цільового населеного пункту. За допомогою радіоканалу здійснюється доступ до послуги ШСД між користувачем і абонентським пристроєм когнітивного радіо. Перевагою такої топології є можливість використання радіочастотного спектру телевізійної служби, що дає змогу зменшити витрати на його покупку чи оренду для функціонування БС. Також застосування частотного діапазону, в якому працює служба телевізійного мовлення, є більш сприятливим, ніж радіодіапазон, що використовується мобільними операторами при наданні послуг широкосмугового зв'язку.

Подібний тип з'єднання – найбільш поширений варіант реалізації послуги ШСД за допомогою когнітивного радіо. Він застосовувався майже у всіх пілотних проектах, реалізованих в країнах ЄС, США та країнах Західної Африки.

Одним з перших практичних впроваджень, що в повному обсязі використовує технології когнітивного радіо, є стандарт IEEE 802.22. (WRAN) [10–12], оскільки він дозволяє користуватися всім спектром частот без необхідності отримання ліцензії. Стандарт створений для роботи в сільській та важкодоступній місцевостях, де щільність населення – мала, але є необхідність забезпечити безпровідний ШСД. Збільшення радіусу дії отримане завдяки зменшенню робочого діапазону частот, які зазвичай використовують технології Wi-MAX та LTE. Радіус дії такої системи є змінною величиною, оскільки стандарт дозволяє застосовувати різні типи модуляції та систем кодування. Максимальний радіус дії стандарту WRAN – 100 км при ідеальних умовах розповсюдження. Найбільш поширеним радіусом дії є відстань від 10 до 30 км.

Управління спектром частот в стандарті IEEE 802.22. – це когнітивна функція на базовій станції, яка використовує вхідні дані шляхом сканування частотного спектру, геолокації, діючої бази даних з метою прийняття рішення про частотний канал, що буде використовуватися. При цьому, встановлюються обмеження на потужність випромінювання для конкретного абонентського пристрою.

Впровадження мереж на основі стандарту IEEE 802.22. потребує нових інженерно-технічних та нормативно-правових рішень.

Перш за все проблемними питаннями є малі обсяги сучасного виробництва відповідного обладнання для систем когнітивного радіо та необхідність адаптації сучасних мереж зв'язку до вимог їх використання, оскільки існуючий стан свідчить про те, що в найближчі 10–15 років системи когнітивного радіо не зможуть отримати широкого поширення.

Крім того, застосування пристроїв, які працюють за принципами когнітивного радіо, а також економічна ефективність запровадження подібної технології зумовлюються ємністю доступного частотного ресурсу. Розміри та кількість так званих "білих плям" визначають можливості когнітивних пристроїв як по зоні обслуговування, так і за пропускною здатністю. Тому для формування наступних проектів в галузі використання систем когнітивного радіо необхідно оцінити розміри ділянок з доступним частотним ресурсом на заданій території.

Висновки

Доведеними перевагами використання систем когнітивного радіо є унікальний підхід до вирішення задач щодо виділення радіочастотного діапазону. Відсутність необхідності проведення експертизи і оформлення дозволів на використання радіочастот може зробити системи на основі когнітивного радіо поширеною технологією безпровідного зв'язку для покриття значних територій, особливо в сільських та важкодоступних місцевостях, при веденні бойових дій.

Важливо відмітити, що така технологія не потребує створення інфраструктури оператора зв'язку. Виходячи з цього, найбільш ймовірною сферою застосування таких систем будуть локальні мережі широкосмугового доступу.

Тому, для більш швидкої реалізації та впровадження систем когнітивного радіо необхідно розробити чіткі вимоги до їх технічних та експлуатаційних параметрів, опрацювати геолокаційну базу даних та внормувати правила користування частотним спектром, враховуючи досвід застосування таких систем.

Список літератури

1. Mitola III J. Radio. An Integrated Agent Architecture for Software Defined Radio: Doctor of Technology Dissertation / J. Mitola III. – Sweden: Royal Institute of Technology, 2000. – 313 с.

2. Комашинский В.И. Когнитивные системы и телекоммуникационные сети / В.И. Комашинский // Вестник связи. – 2011. – № 10. – С. 4-8.

3. Справочник по перспективам внедрения систем когнитивного радио в диапазоне УВЧ в странах участников РСС. – Астана, 2016. – 93 с.

4. Definitions of Software Defined Radio (SDR) and Cognitive Radio System (CRS): отчет МСЭ-Р SM.2152 [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL: https://www.itu.int/pub/R-REP-SM.2152-2009 (дата обращения 15.10.2018).

5. Принципы, проблемы и вопросы управления использованием спектра, связанные с динамическим доступом к частотным диапазонам посредством радиосистем, использующих когнитивные технологии: Отчет МСЭ – R SM.2405-0, Женева, 2018. – 72 с.

6. Экономические аспекты управления использованием спектра: Отчет МСЭ – R SM.2012-4. – Женева, 2015. – 180 с.

7. Китчер Эммануэль. Методы и алгоритмы принятия решений для когнитивного радио: дис. канд. тех. наук: 05.13.01. / Китчер Эммануэль. – Владимир, 2013. – 142 с.

8. Быховский М.А. Управление радиочастотным спектром и электромагнитная совместимость радиосистем / М.А. Быховский. – Москва: Эко-Трендз, 2006. – 376 с.

9. Михалевский Л.В. Когнитивное радио – передовая технология на пути к более рациональному использованию радиочастотного спектра / Л.В. Михалевский // Тезисы доклада семинара МСЭ "Конвергенция служб радиосвязи как средство повышения эффективности использования радио частотного спектра" (Ереван, 28-30 апреля 2008 года). – Москва, 2008.

10. Иннокова Е.П. Особенности стандарта IEEE 802.22 WRAN (WI-FI) / Е.П. Иннокова // Матеріали II Всеукраїнської конф. "Інформаційні технології. Безпека та зв'язок", 2011.

11. Маковеенко Д.О. Стандарт IEEE 802.22. Технологии. Применение. Перспективы [Электронный ресурс] / Д.О. Маковеенко // Журнал Wireless Ukraine. – 2013. – Режим доступа: https://asp24.com.ua/blog/standart-ieee-802-22-tehnologii-primenenie-perspektivy/.

12. Сорокин В. На пути к когнитивности [Электронный ресурс] / В. Сорокин. – Режим доступа: http://www.rfs-rf.ru/upload/medialibrary/5e0/018692.pdf.

References

1. Mitola III, J. (2000), *Cognitive Radio. An Integrated Agent Architecture for Software Defined Radio*: *Doctor of Technology Dissertation*, Royal Institute of Technology, Sweden, 313 p.

2. Komashinskij, V.I. (2011), "Kognitivnye sistemy i telekommunikacionnye seti" [Cognitive systems and telecommunications networks], *Communications herald*, No. 10, pp. 4-8.

3. (2016), "*Spravochnik po perspektivam vnedreniya sistem kognitivnogo radio v diapazone UVCH v stranakh uchastnikov RSS*" [*Handbook of the prospects for the implementation of cognitive radio systems in the UHF band in the participating countries of the RCC*], Astana, 93 p.

4. Report ITU-P SM.2152 (2009), *Definitions of Software Defined Radio (SDR) and Cognitive Radio System (CRS)*, available at: https://www.itu.int/pub/R-REP-SM.2152-2009 (accessed: 15 October 2018).

5. Report ITU – R SM.2405-0 (2018), "*Printsipy, problemy i voprosy upravleniya ispolzovaniyem spektra, svyazannyye s dinamicheskim dostupom k chastotnym diapazonam posredstvom radiosistem, ispol'zuyushchikh kognitivnyye tekhnologii*" [*Spectrum management principles, challenges and issues related to dynamic access to frequency bands by means of radio systems employing cognitive capabilities*], Geneva, 72 p.

6. Report ITU-R SM.2012-4 (2015), "*Jekonomicheskie aspekty upravlenija ispol'zovaniem spektra*" [*Economic aspects of spectrum management*], Geneva, 180 p.

7. Kitcher, Jemmanujel (2013), "*Metody i algoritmy prinjatija reshenij dlja kognitivnogo radio: dissertaciia 05.13.01*" [*Methods and algorithms of decision for cognitive radio: dissertation 05.13.01*], Vladimir, 142 p.

8. Byhovskij, M.A. (2006), "*Upravlenie radiochastotnym spektrom i jelektromagnitnaja sovmestimost' radiosistem*" [*Radio-frequency spectrum management and electromagnetic compatibility of radio systems*], Jeko-Trendz, Moscow, 376 p.

9. Mihalevskij, L.V. (2008), "Kognitivnoe radio – peredovaja tehnologija na puti k bolee racional'nomu ispol'zovaniju radiochastot-nogo spectra" [Cognitive radio – advanced technology on the way to a more efficient use of the radio frequency spectrum], *Convergence of radiocommunication services as a means of increasing the efficiency of the use of the radio frequency spectrum*, Moscow.

10. Innokova, E.P. (2011), "Osobennosti standarta IEEE 802.22 WRAN (WI-FI)" [Special aspects of standard IEEE 802.22 WRAN (WI-FI)], *The second All-Ukrainian conference "Information technologies. Security and communications".*

11. Makoveenko, D.O. (2013). "Standart IEEE 802.22. Tehnologii. Primenenie. Perspektivy" [Standard IEEE 802.22. Technologies. Appliance. Future directions], *Wireless Ukraine*, available at: https://asp24.com.ua/blog/standart-ieee-802-22-tehnologii-primenenie-perspektivy/

12. Sorokin, V. "*Na puti k kognitivnosti*" [*Towards Cognitiveness*], available at: http://www.rfs-rf.ru/upload/medialibrary/5e0/018692.pdf.

Надійшла до редколегії 27.11.2018
Схвалена до друку 20.12.2018

Відомості про авторів:

Збежховська Уляна Романівна
старший помічник начальника
оперативного відділення штабу
військової частини А1789,
Васильків, Україна
https://orcid.org/0000-0001-6213-5531

Information about the authors:

Uliana Zbezhkhovska
First Officer of Operations Staff Leader
of Military Base A1789
Vasulkiv, Ukraine
https://orcid.org/0000-0001-6213-5531

СИСТЕМЫ КОГНИТИВНОГО РАДИО: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

У.Р. Збежховская

В данной статье проанализированы основы работы когнитивного радио и когнитивных радиосетей, что вызвано растущим спросом разных служб радиосвязи на дополнительный спектр частот, который приводит к формированию более сложной среды управления радиоспектром. Для решения такой задачи необходимо использовать инновационные методы управления спектром, которые бы обеспечивали эффективное использование полосы частот службами, а также предоставляли возможность общего использования ограниченных ресурсов спектра и их внедрения в телекоммуникационные системы. В определенных условиях применение подходов на основе динамического доступа к спектру может способствовать решению такой задачи. Но для ее реализации необходимо решить ряд определенных сложных задач, связанных с управлением использования спектра радиочастот.

Ключевые слова: *когнитивное радио, динамическое управление спектром радиочастот, геолокационная база данных, широкополосный доступ.*

COGNITIVE RADIO SYSTEMS: PROBLEMS AND FUTURE DEVELOPMENT

U. Zbezhkhovska

The article analyzes basic operation of cognitive radio and cognitive radio networks. Due to the rapid development of telecommunication systems of wireless broadband access, such as cellular and satellite communications, local area networks Wi-Fi and WIMAX, arise a problem with the frequency band deficit. This mean that the distributed and licensed frequency spectrum is overloaded in certain bandwidths, while non-licensed frequencies are used insufficiently or not used at all. To solve this problem, it is necessary to use innovative spectrum controlling methods that would support efficient use of the frequency band by the services, and also made it possible the common use of the limited spectrum resources and their implementation into the telecommunication systems. Under certain conditions, deployment of approaches based on dynamic control on the radio spectrum can contribute to solving such a problem. Ensure of the intelligent control during radio domain sweep they can independently and over a short period of time switch between temporarily empty and licensed frequencies ("white spots"). However, for its implementation it is necessary to solve a number of complex tasks, which related to the manipulation of the use of the spectrum of radio frequencies. Similar intelligent networks with the dynamic control of the spectrum of radio frequencies suggested to use American researcher Joseph Mitola and called them the term "cognitive radio". Its work principle is a technically complex process. However, the networks developed according to this principle, unlike the others, are enabled to extracting, analyzing and storing information received from the environment, forecasting changes in it and self-adjusting their parameters to achieve the stated goals and "learning" on the evidence found. As the technical realization of such systems has been proposed to use approaches based on geolocation database and spectral sensing electromagnetic environment. But it should be noted that the future directions of the introducing different approaches to cognitive radio systems require careful research with allowance for the effectiveness of the proposed solutions.

Keywords: *cognitive radio, dynamic control on the radio spectrum, geolocation database, broadband access.*