

М. В. ШИМКІВ, студентка, УкрДАЗТ, Харків;
В. П. ЛИСЕЧКО, канд. техн. наук, доцент, УкрДАЗТ, Харків;
О. М. ПРОГОННИЙ, канд. техн. наук, доцент, УкрДАЗТ, Харків;
А. В. ГУМЕНЮК, студентка, УкрДАЗТ, Харків

МЕТОД МОНІТОРИНГУ СПЕКТРУ НА ОСНОВІ ЦИФРОВОЇ УЗГОДЖЕНОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ

В статье исследуется метод мониторинга спектра на основе цифровой согласованной фильтрации. Метод основан на использовании характеристик согласованного фильтра для оценки занятости радиочастотного спектра. Приведены результаты моделирования, соответствующие теоретическим положениям.

Ключевые слова: мониторинг спектра, согласованная фильтрация, радиочастотный спектр.

Постановка проблеми. Розвиток телекомунікаційних систем безпроводового доступу до мережі Інтернет став причиною різкого збільшення навантаження на обмежені ресурси радіочастотного спектру, що ділиться на діапазони, які виділяються різним системам. У наш час практично весь діапазон розподілений та ліцензований, що призвело до очевидного дефіциту спектру, тобто перевантаженні в певних смугах частот. Однак багато смуг частот виділені системам, які використовують їх неефективно, або системам, ступінь використання якими виділених діапазонів частот різко змінюється час від часу [2, 6]. Отже, існує багато смуг доступного спектру, які через політику виділення фіксованої частоти не можуть бути використані. Тому, існує гостра потреба в більш динамічному використанні спектру радіочастот, який забезпечував би гнучкий і рівномірний спосіб використання доступних ресурсів.

Когнітивне радіо є вирішенням проблеми спектрального перевантаження, представляючи собою механізм інтелектуального управління, який забезпечує більш ефективне використання діапазонів частот, що не використовуються ліцензованими користувачами [3].

Задачею статті є дослідження методу моніторингу спектру на основі цифрової узгодженої фільтрації, метою якого є боротьба з неефективним використанням радіочастотного спектру в когнітивних радіомережах.

Аналіз літератури. У сучасній літературі описуються методи моніторингу спектру: виявлення сигналів на основі узгодженої фільтрації, детектування енергії, виявлення на основі ознак циклостаціонарності, детектування на основі форми сигналу і виявлення сигналів на основі радіо-ідентифікації та інші. Зокрема, метод моніторингу спектру на основі цифрової узгодженої фільтрації розглянуто і проаналізовано недостатньо.

Цифрова узгоджена фільтрація в часовій області є швидшою і точнішою, однак методи вибору параметрів сигналу фільтра для досягнення максимального співвідношення сигнал/шум, зокрема, на сьогоднішній день розроблені ще неповно [5].

Мета статті. Дослідження методу моніторингу для виявлення сигналів в когнітивних радіомережах, на основі узгодженої фільтрації, що дозволить отримати результати, які в подальшому допоможуть створити оптимальний підхід для розв'язання поставленої задачі.

Основний матеріал.

1. Моніторинг спектру на основі цифрової узгодженої фільтрації.

Моніторинг спектру – це прийняття рішення щодо виду та класу сигналу, моніторинг включає стадію оцінки та стадію прийняття рішення [1]. Вторинна когнітивна мережа в процесі моніторингу повинна прийняти рішення згідно двох можливих гіпотез: або частотний діапазон зайнятий, або вільний. Чим більше даних про природу сигналу первинного користувача має система, тим більш надійним буде процес прийняття рішення. У випадку, коли немає ніяких даних про ліцензовані термінали, датчик енергії базується на підході, що являється найбільш загальним шляхом моніторингу спектру, і який не вимагає високої обчислювальної складності. Якщо система має деякі попередні знання про первинний сигнал, можуть бути використані складніші методи. Узгоджений фільтр для такої системи оптимальний в тому сенсі, що він максимізує відношення сигнал/шум, тому такий метод доцільно застосовувати для запобігання виникнення спектральних колізій, тобто зайняття різними вторинними терміналами однієї смуги частот. Це вимагає того, щоб первинний сигнал був апіорі відомий [4]. Основна перевага узгодженої фільтрації – це короткий час, необхідний для досягнення певної ймовірності помилкового виявлення або ймовірності пропуску сигналу у порівнянні з іншими методами. У реальних системах первинною мережею може використовуватися пілот-сигнал. Наприклад, в стандарті цифрового телебачення (DTV) використовується безліч синусоїдних пілот-сигналів, розташованих в різних частотних точках [3].

Як показано на рис. 1 узгоджений фільтр детектує отриманий сигнал через пілот-сигнал з допомогою рівняння [3]:

$$V(m) = \sum_N x(m) \cdot x_p(m)^* , \quad (1)$$

де $x(m)$ – отриманий сигнал в адитивному білому Гаусівському шумі; $x_p(m)^*$ – спряжений з пілот-сигналом.

Зазвичай, пілот-сигнал вибирається як ортогональний до даного і може розглядатися незалежно. Значення порівнюється з фіксованим порогом λ , знайденим за допомогою критерію Неймана-Пірсона, і, таким чином здійснюється прийняття рішення щодо наявності сигналу первинного користувача [3].

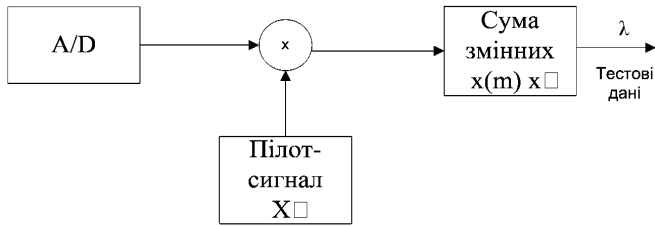


Рисунок 1 – Визначення пілот-сигналу з допомогою узгодженої фільтрації

2. Цифрова узгоджена фільтрація. Узгоджена фільтрація (УФ) є ефективним засобом для виявлення різноманітних сигналів, зокрема шумоподібних, на фоні завад. Цифрова узгоджена фільтрація (ЦУФ) вимагає великого числа математичних операцій для обчислення згортки сигналу і імпульсної характеристики фільтра. Цифрову фільтрацію можна здійснювати, як в часовій, так і в частотній областях.

Оптимальний пристрій, який приймає і виявляє вузькосмугові сигнали на фоні білого Гаусівського шуму повинен виробляти значення кореляційного інтеграла виду, який служить мірою подібності двох сигналів [5]:

$$R_{US} = \int_0^{T_c} U(t) \cdot S(t) dt, \quad (2)$$

де T_c – тривалість сигналу; $S(t)$ – відомий сигнал, який ми підводимо на аналітичний вхід фільтра (тобто пілот - сигнал), вигляд якого наведено на рис. 2.

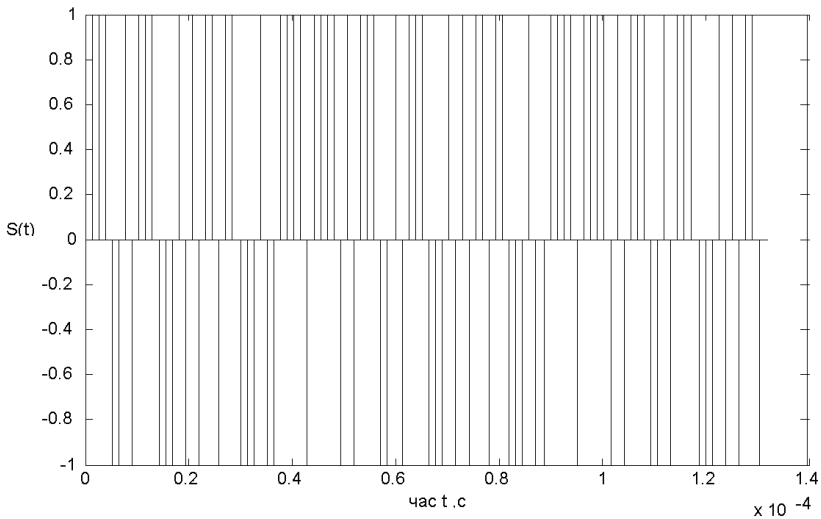


Рисунок 2 – Графік пілот - сигналу

При розповсюдженні на радіостанції до вихідного сигналу домішується шум, і в результаті отримуємо:

$$U(t) = S(t) + n(t), \quad (3)$$

На рис. 3 приведено зображення імпульсного вхідного сигналу $U(t)$.

Імпульсна характеристика узгодженого фільтра є дзеркальним відображенням відомого сигналу $S(t)$, в нашому випадку цей сигнал і є пілот-сигналом [5]:

$$h_0(t_0 - x) = S(x), \quad (4)$$

де x – це затримка, з якою слідує дзеркально відображений сигнал.

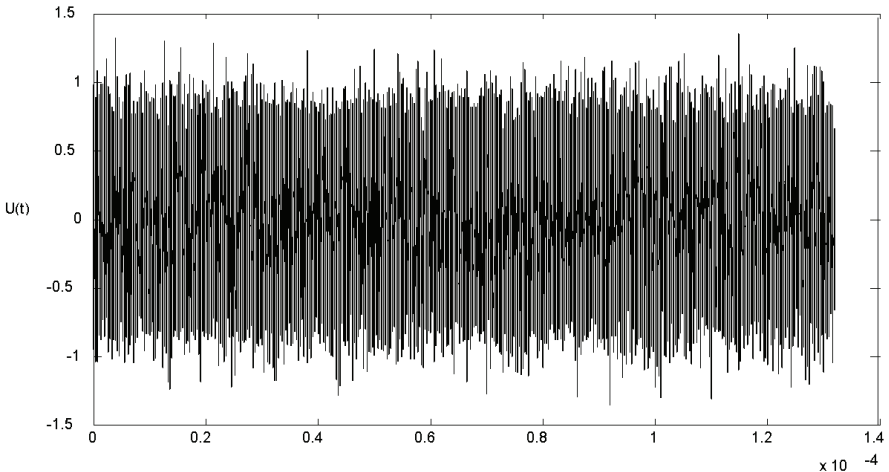


Рисунок 3 – Графік імпульсного вхідного сигналу

А так як у нас фільтрація відбувається в цифровому узгодженому фільтрі, то [5]:

$$h(mT) = S[(Nc - m)T], \quad (5)$$

де T – період дискретизації; $Nc = \tau_c/T$ – число відліків сигналу, що очікується; τ_c – тривалість сигналу; M – число відомих відліків.

На першому етапі здійснюється порівняння ширини смуги вхідних сигналів та імпульсної характеристики.

Потім фільтрований сигнал зводиться в квадрат і інтегрується по інтервалу спостереження t . Вихідний ефект після кореляції порівнюється із вже відомим порогом λ , і якщо цей ефект не перевищує цього значення, то на вході оптимального приймача є сигнал.

Блок-схема детектора на основі ЦУФ представлена на рис. 4.

Вихідний ефект цифрового узгодженого фільтра – це добуток імпульсної характеристики на $U(t)$, який виражається виразом лінійної згортки [5]:

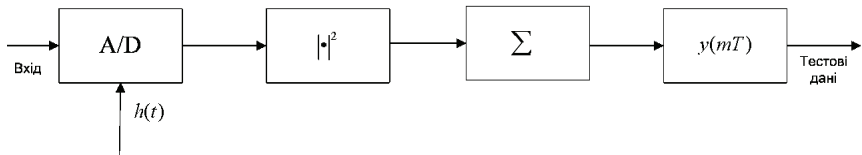


Рисунок 4 – Детектор на основі ЦУФ

$$y(mT) = \sum_{m=0}^{n_c} S[(Nc - m)T] \cdot u[(n_c - m)T]. \quad (6)$$

При виконанні дослідження вихідного ефекту використовуємо вираз (6). В результаті отримуємо вираз який наведено нижче:

Якщо $(n_c - i_c) = z$ і припустити що $U(t) = S(t)$, то отримаємо функцію автокореляції, яка проводить порівняння імпульсної характеристики і сигналу:

$$R(mT) = \sum_{z=0}^{i_c-1} S(zT) \cdot S[m - (i_c - z)T], \quad (7)$$

де i_c – число символів імпульсної характеристики; z – число відліків сигналу.

3. Цифрова узгоджена фільтрація в часовій області. Цифрова узгоджена фільтрація в часовій області є швидшою і точнішою. Вона проводиться в квадратурних каналах.

Комплексна, що охоплює вхідний сигнал на виході квадратурного змішувача [5]:

$$U(m) = uc(m) - jus(m), \quad (8)$$

де $uc(m)$ та $jus(m)$ – дійсна та уявна складові вхідного сигналу відповідно.

Комплексна, що охоплює пілот-сигнал на виході квадратурного змішувача:

$$H^*(m) = hc(m) + jhs(m), \quad (9)$$

де $hc(m)$ та $jhs(m)$ – дійсна та уявна складові вхідного сигналу відповідно.

Тоді сигнал на виході ЦУФ визнач відношенням для дискретної згортки:

$$v(m) = vc(m) + jvs(m) = \sum_{z=0}^{i_c-1} [uc(m-z) - jus(m-z)] \cdot [hc(ic-z) + jhs(ic-z)], \quad (10)$$

де m – число відліків, що очікується;

$$vc(m) = uc(m) + hc(m);$$

$$jvs(m) = jus(m) + jhs(m).$$

Якщо $(i_c - z) = l$ і виразити $z = i_c - l$, то отримаємо вихідний ефект цифрового узгодженого фільтра у часовій області:

$$v(m) = \sum_{l=1}^{i_c} [uc(m - (ic - l) \cdot T) - jus(m - (ic - l) \cdot T)] \cdot [(hc(l) + jhs(l)) \cdot T]. \quad (11)$$

На рис. 5 наведено графік функції кореляції пілотного сигналу із імпульсною характеристикою цифрового узгодженого фільтра на виході системи.

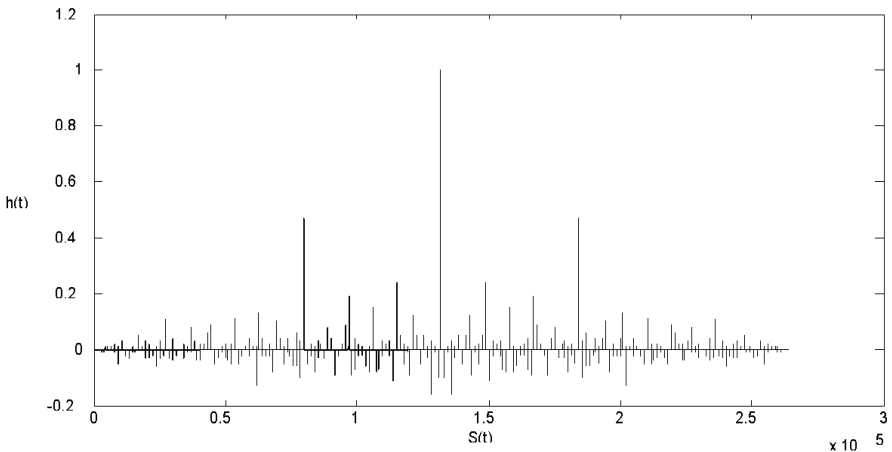


Рисунок 5 – Графік вихідного ефекту ЦУФ

При виконанні дослідження вихідного ефекту ЦУФ в часовій області використовуємо вираз (12). В результаті отримуємо вираз наведено нижче:

$$Rus(mT) = \int_0^T \sum_{l=1}^{ic} [uc(m - (ic - l)) - jus(m - (ic - l))] \cdot [hc(l) + jhs(l)] \cdot \lambda. \quad (12)$$

Вираз (12) дозволяє провести тестування отриманого на виході сигналу із пороговим значенням λ , тобто залежність взаємкореляційної функції вхідного сигналу (див. рис. 3) та пілотного сигналу (див. рис. 2), результат якого наведено на рис. 6.

З рисунку видно, що залежність має подобу із функцією автокореляції, однак, внаслідок наявності завад, максимальні викиди бічних пелюсток мають значно менші значення, ніж у АКФ сигналів без шуму, проте вони є достатніми для прийняття однозначного рішення про наявність очікуваного сигналу.

На рис. 7 наведено вигляд функції взаємної кореляції різних вхідного та пілотного сигналів, які належать до одного ансамблю.

З рис. 7 видно, що рівень максимальних викидів бічних пелюсток функції взаємної кореляції відповідає теоретичним положенням та набагато менший за рівень максимальних викидів АКФ очікуваного вхідного та пілотного сигналів.

Процес тестування вихідного ефекту із пороговим значенням було змодельовано в середовищі математичного програмування Matlab. Результати оцінки тестування наведено на рис. 8.

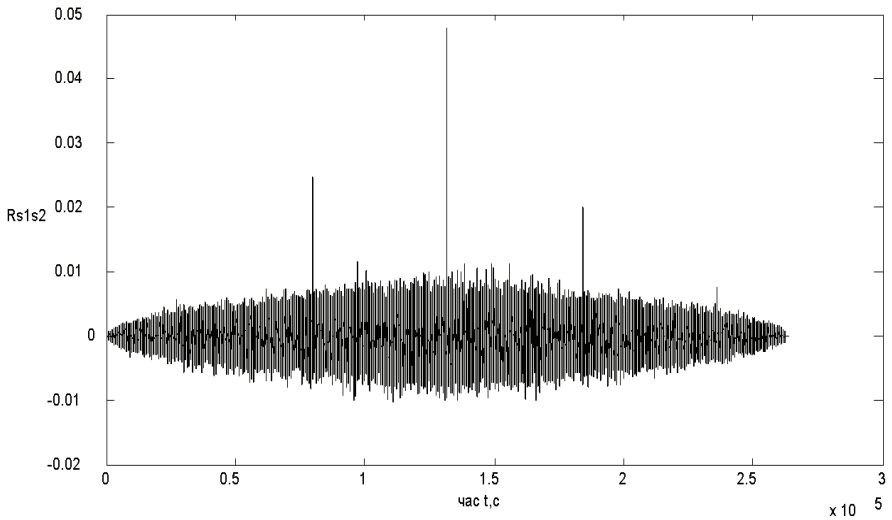


Рисунок 6 – Графік функції взаємної кореляції двох різних сумішей сигналів

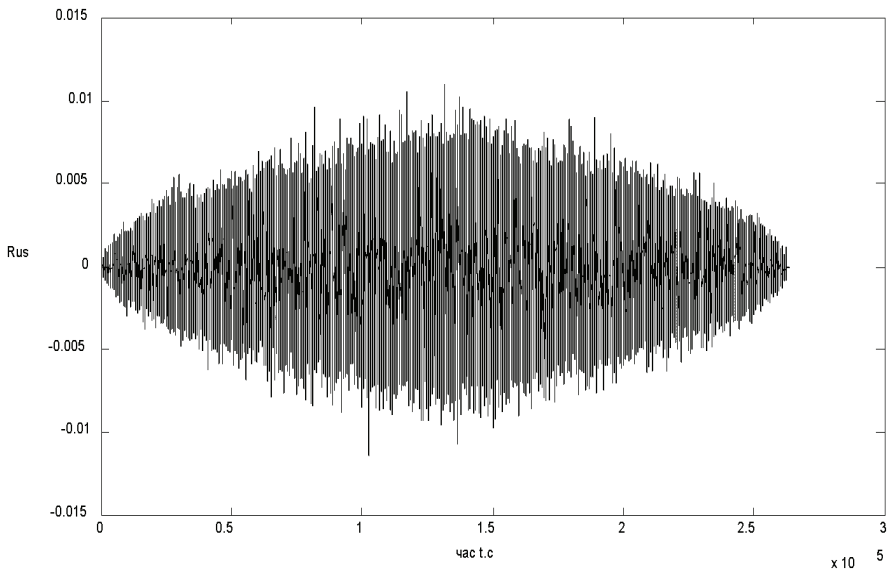


Рисунок 7 – Графік взаємокореляційної функції

З рис. 8 видно, що завдяки розробленому методу моніторингу на основі цифрової узгодженої фільтрації, можливе забезпечення такого відношення сигнал/шум, щоб значення максимальних викидів бокових пелюстків функції взаємної кореляції очікуваного вхідного та пілотного сигналів було максима-

льним. В результаті було отримано залежність максимальних викидів функції взаємної кореляції очікуваного вхідного сигналу із пілотним сигналом від відношення сигнал/шум. Очевидно, що чим краще завадостійкість, тим більшим буде значення функції взаємної кореляції, і, відповідно, тим легша процедура прийняття рішення про наявність очікуваного сигналу. Таким чином, результати моделювання відповідають теоретичним положенням.

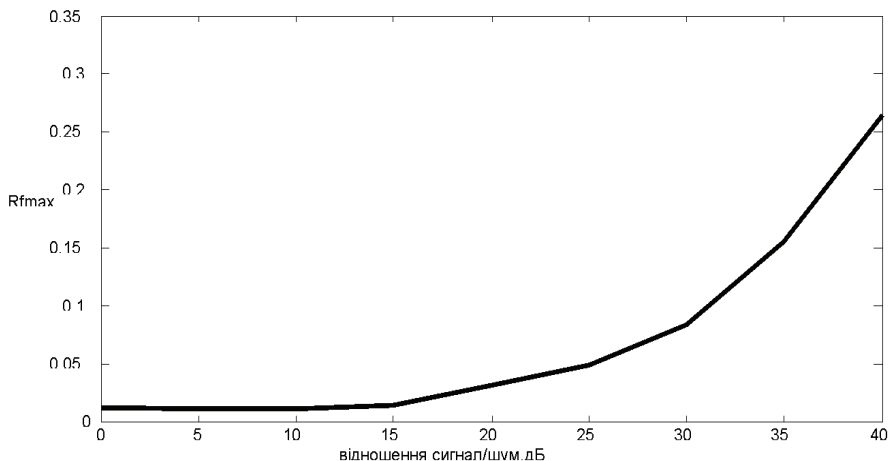


Рисунок 8 – Результати тестування

Висновки

У статті було розроблено метод моніторингу спектру для когнітивної радіомережі на основі цифрової узгодженої фільтрації, який відрізняється від відомих тим, що завдяки максимізації відношення сигнал/шум, тобто модифікації часової структури шляхом збору енергії, яка узгоджується із пороговим значенням і в завершенні кожного інтервалу передачі символу, являє собою результат фільтрації у вигляді максимальних значень амплітуди, дозволяє запобігти виникненню спектральних колізій за рахунок зменшення часу необхідного для досягнення певної ймовірності помилкового виявлення або ймовірності пропуску сигналу. Метод засновано на використанні характеристик узгодженого фільтра для оцінки зайнятості радіочастотного спектру. Наведено результати моделювання, що відповідають теоретичним положенням. Однак в подальшому необхідно провести більш детальне статистичне дослідження розробленого методу.

Список літератури. 1. *B. Fette* Cognitive radio technology // Newnes. – 2006. 2. *E. Sousa* Spectrum sensing in cognitive radio networks: requirements, challenges and design tradeoffs // IEEE Communications Magazine. – 2008. – Р. 33. 3. Моніторинг спектру у каналах із завмираннями та частотними спотвореннями. Системи обробки інформації // *В.П. Лисечко, І.І. Сопрунок, О.В. Севєрінов* // ХУПС ім. І. Кожедуба. – Х.: 2010. – Вип. 9 (90). – С. 94-98. 4. Метод моніторинга спектра в когнітивних радіосетях на основе БПФ. Вестник Национального технического университета //

I. I. Сопронюк, В. П. Лисечко // Вісник НТУ «ХПИ». – 2011. – Вип. 16. – С. 173-180. 5. Склад Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение : Пер. с англ. / Б. Склад. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. – 1104 с. 6. J. Mitola III, G. Q. Maguire Jr. Cognitive Radio: Making Software Radios More Personal // IEEE Pers. Commun. – Aug. 1999. – Vol. 6, № 4. – PP. 13-185 : B.A. Fette, Ed., Cognitive Radio Technology, Elsevier, 2006.

Надійшла до редакції 28.10.2013

УДК 621.391

Метод моніторингу спектру на основі цифрової узгодженої фільтрації / М. В. Шимків, В. П. Лисечко, О. М. Прогонний, А. В. Гуменюк // Вісник НТУ «ХПИ». Серія: Техніка та електрофізика високих напруг. – Х.: НТУ «ХПИ», 2013. – № 60 (1033). – С. 127-135. – Бібліогр.: 6 назв.

У статті досліджується метод моніторингу спектру на основі цифрової узгодженої фільтрації. Метод засновано на використанні характеристик узгодженого фільтра для оцінки зайнятості радіочастотного спектру. Наведено результати моделювання, що відповідають теоретичним положенням.

Ключові слова: моніторинг спектру, узгоджена фільтрація, радіочастотний спектр.

The method of monitoring the spectrum was researched in the article on the basis of a digital matched filter. The method is based on the characteristics of the matched filter to estimate the spectrum of employment. Simulation results are corresponding to the theoretical propositions.

Key words: monitoring the spectrum, matched filter, radio frequency spectrum.