

МЕТОД ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ ПРИ КОГНИТИВНОМ РАСПРЕДЕЛЕНИИ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОГО РЕСУРСА В СЕТЯХ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ

Постановка задачи

С появлением сетей мобильной связи (СМС) сигнально-помеховая обстановка (СПО) стала резко усложняться [1]. Возрастающее количество радиоэлектронных средств различного назначения приводит к образованию множественного характера электромагнитных взаимодействий между ними. При этом к СМС относятся не только ставшие уже традиционными системы сотовой связи, но и системы транкинговой, пейджинговой связи, системы абонентского радиодоступа (САРД). При этом САРД интенсивно развиваются, особенно в технологиях Wi-Fi, Wi-Max, LTE. Продолжают развиваться также системы радиорелейной, спутниковой и других видов радиосвязи. Одновременно с этим еще более принципиальным становится дефицит частотного ресурса, обостряется проблема электромагнитной совместимости. Найти пути решения данной проблемы можно используя когнитивное распределение ресурсов [2 – 5]. Система с когнитивным распределением ресурсов, в том числе и пространственно-временного должна обладать механизмами самоуправления с различными уровнями способности адаптироваться к изменяющейся радиосреде [6 – 8]. При этом механизмы самоуправления базируются на принципах обучения и искусственного интеллекта.

При когнитивном распределении пространственно-временного ресурса каждая абонентская станция (АС) сети должна непрерывно выполнять мониторинг пространственного спектра на наличие свободных каналов в направлении базовой станции (БС). Результаты анализа передаются БС, и она принимает окончательное решение относительно пригодности пространственного канала. При принятии решения БС опирается на результаты анализа спектра, информацию о местоположении, а также на вспомогательную информацию [4].

Задача распределения пространственно-временного ресурса может быть решена на основе пространственно-временного доступа (ПВД). В качестве антенны может быть использована антенная решетка [2 – 5] или же одна или несколько гибридных многолучевых антенн (МЛА).

Основная часть

Организация связи с ПВД может быть осуществлена в три этапа.

Первый этап – организация заявки на связь с АС. В данном случае заявку на связь БС принимает по широкому лучу. Повышение вероятности приема заявки может быть обеспечено с помощью широкополосного помехоустойчивого сигнала.

Второй этап – определение направления прихода сигнала абонента. Данная задача может быть решена с помощью известных методов оценки пространственного спектра, основанных на выделении и оценки компонент аддитивной смеси сигналов, приходящих из различных направлений.

Для детерминированных сигналов вектор значений направления прихода сигналов оценивается с помощью преобразования Фурье.

Для случайных сигналов чаще используют алгоритмы Music, Esprit и другие процедуры, основанные на получении собственных значений матрицы пространственной корреляции R_{xx} . Однако процедура, основанная на выделении собственных значений, достаточно громоздкая, поскольку требует большого объема выборки, чаще расходящейся (или слабо обусловленной). Поэтому данные методы не всегда позволяют произвести уверенную оценку

элементов пространственного спектра. Более того, для СМС данные задачи необходимо решать в реальном масштабе времени при наличии динамической СПО.

В работе [9] предложена рекурсивная процедура формирования пространственного спектра. Процедура состоит в том, что при каждом переходе от одного пространственного окна к другому формируются нули диаграммы направленности, ориентированные на прочие направления прихода сигналов.

Процедура состоит из трех основных рекурсивных составляющих:

- выделение пространственного окна;
- подавление сигналов, приходящих со всех невыделенных направлений;
- рекурсивное определение отметки соответствия амплитуды и пространственной фазы в выделенном окне.

Ограничение на ширину окна определяется исходя из числа и направленности антенных элементов [9].

В первой фазе цикла формируется пространственное окно с помощью управляющего вектора:

$$\vec{V}(\theta) = \exp\left(j \frac{2\pi}{\lambda} (n-1) \cdot d \cdot \sin \frac{\pi \cdot \theta}{180}\right), \quad (1)$$

где n – номер антенного элемента, $\vec{n} = \overline{1, N}$, N – количество антенных элементов, θ – направление пространственного окна, λ – длина волны, d – расстояние между антенными элементами.

На второй фазе цикла включается процедура подавления сигналов, приходящих по боковым лепесткам. Данная процедура может быть реализована с использованием алгоритма Уидроу, Калмана – Бьюси, Апфельбаума или других известных алгоритмов управления вектором весовых коэффициентов адаптивной антенной решетки. Так, модификация алгоритма Апфельбаума для подавления сигналов вне выделенного окна имеет вид

$$\vec{W}(k+1) = \vec{W}(k) - 2\beta[\vec{X}(k)\vec{W}^T(k)\vec{X}(k) - \vec{V}(\theta)], \quad (2)$$

где β – шаговая постоянная k – дискретное время; $\vec{W}(k)$ – вектор весовых коэффициентов (ВВК) в момент времени k ; $\vec{X}(k)$ – вектор входных воздействий в момент времени k .

Далее выполняется рекурсивная процедура определения отметки соответствия амплитуды и пространственной фазы в выделенном окне:

$$P(k+1, \theta) = P(k, \theta) + \vec{W}(\theta)^T (\vec{X}(k) \cdot \vec{X}(k)^T) \vec{W}(\theta). \quad (3)$$

К началу третьей фазы переходные процессы второй фазы должны быть завершены. При этом остается отметка о сигнале, попадающем в защитное окно.

Третий этап – предоставление связи абоненту по узкому лучу, формируемому в соответствии с заявкой МЛА. В качестве алгоритмов формирования пучка узких лучей могут быть использованы программные методы или же алгоритмы адаптивных антенных решеток (ААР), такие, как алгоритмы, синтезированные по критерию минимума среднеквадратического отклонения принимаемого сигнала от опорного и осуществляющие подавление всех сигналов, не совпадающих по форме с опорным:

$$\vec{W}(k+1) = \vec{W}(k) + 2\mu[d(k) - \vec{W}(k)^T \vec{X}(k)] \vec{X}(k), \quad (4)$$

где μ – шаговая постоянная; $d(k)$ – опорный сигнал в момент времени k , формируемый с помощью полученной амплитуды и пространственной фазы в выделенном окне $P(\theta)$.

При этом сигнал на выходе ААР определяется выражением

$$y(k) = X^T(k)W_{opt} + n(k), \quad (5)$$

где n – шумы в каналах приема.

Структурная схема организации ПВД с N -элементной ААР для обеспечения связи с m абонентами представлена на рис. 1.

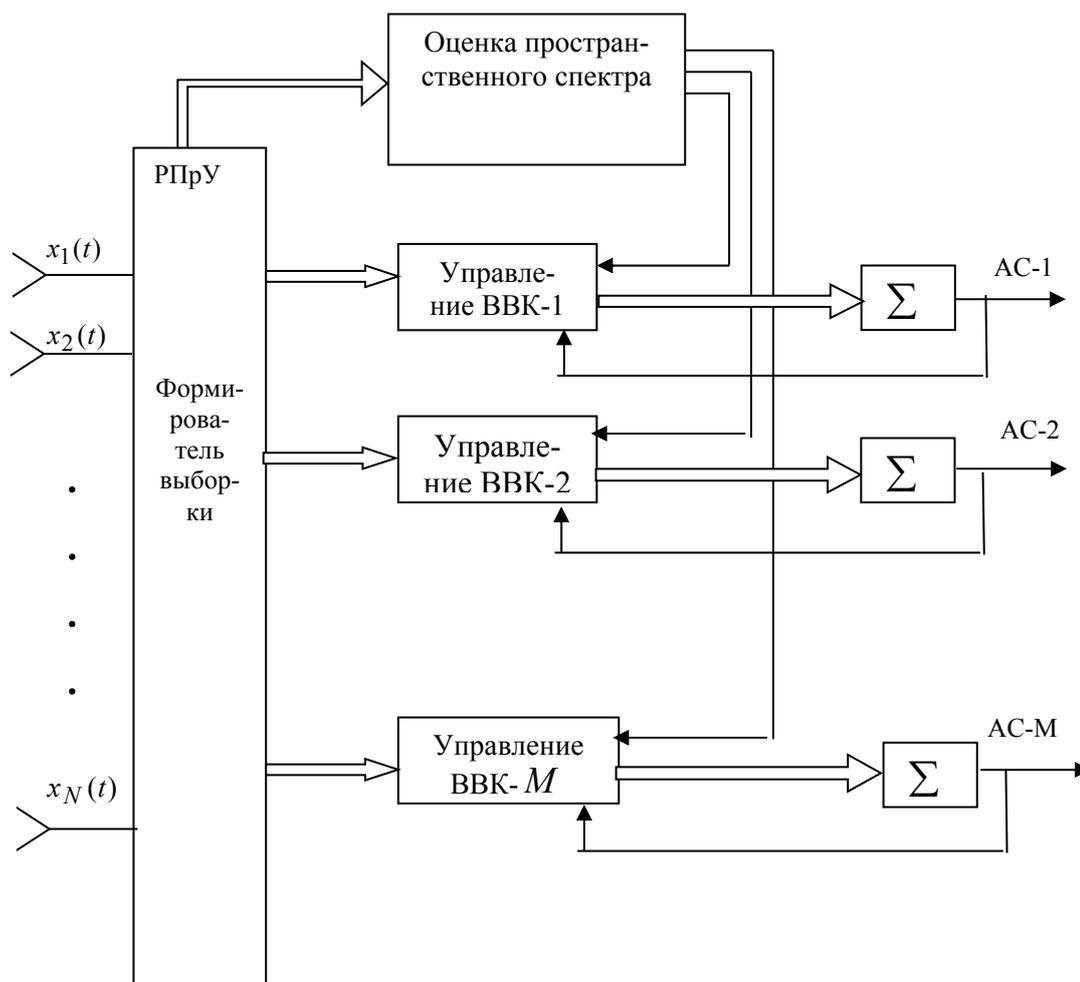


Рис. 1. Структурная схема организации ПВД

Согласно данной схеме в устройстве управления ВВК генерируется опорный сигнал $d(k)$ в соответствии с априорной информацией о направлении прихода сигнала от абонента и формируется ВВК согласно процедуре (4). Далее взвешенный сигнал поступает на сумматор, где реализуется процедура (5) и приемник. Таким образом, для каждого абонента формируется свой узкий луч диаграммы направленности (ДН).

В среде Matlab с помощью математического моделирования получены ДН 15-и элементной линейной эквидистантной ААР (рис. 2). Как видно из рисунка, главные лепестки ДН расположены в 0, 30, 60 и 90 градусах, что дает возможность передачи сигналов 4-м АС на одной и той же частоте, но в различном направлении.

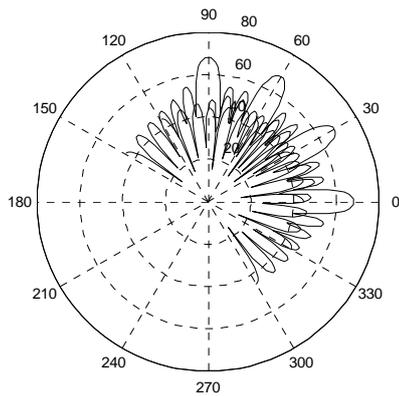


Рис. 2. Диаграммы направленности 15-элементной ААР с главными лепестками в различных направлениях

Заключение

1. Предложено решение задачи распределения пространственно-временного ресурса в СМС, основанное на ПВД, когда каждому из активных абонентов направляется узкий луч, ширина которого может составлять несколько градусов.

2. Организация связи с ПВД осуществляется в три этапа. На первом этапе заявка на связь с абонентской станцией базовая станция принимает по широкому лучу с помощью широкополосного помехоустойчивого сигнала. Вторым этапом является определение направления прихода сигнала абонента, основанное на рекурсивной процедуре оценки пространственного спектра. Третьим этапом является предоставление связи абоненту по узкому лучу. В качестве алгоритмов формирования пучка узких лучей могут быть использованы программные методы или же алгоритмы адаптивных антенных решеток.

3. Данный подход позволит осуществлять подстройку лучей в реальном масштабе времени и обеспечивать уверенный прием при случайных изменениях положения абонентских станций.

Список литературы: 1. Багатоканальний електрозв'язок та телекомунікаційні технології / В.В. Поповський, В.А.Лошаков, С.О.Сабурова ті інш. ; за ред. В.В Поповського. – Харків : СМІТ, 2010. – 469 с. 2. Mitola, J. III. Cognitive Radio for Flexible Mobile Multimedia Communications // Mobile Multimedia Communications (MoMuC'99). IEEE International Workshop, San Diego, CA, USA, Nov. 1999. – P. 3–10. 3. Mitola, J. III. Cognitive Radio. An Integrated Agent Architecture for Software Defined Radio: thesis ... doctor of philosophy / Mitola Joseph III. – Sweden : Royal Institute of Technology, 2000. – 313 p. 4. Гурьянов, И.О. Когнитивное радио: новые подходы к обеспечению радиочастотным ресурсом пер-

С помощью имитационного моделирования получены графики зависимости отношения мощности сигнала к мощности помехи и шума (ОСПШ) на выходе ААР от угла прихода помехи. Зависимости получены при ОСПШ на входе ААР -10 дБ, угол прихода сигнала составляет 50 градусов. На рис. 3 представлены данные зависимости при количестве антенных элементов 3 (нижняя кривая), 5 (средняя кривая) и 15 (верхняя кривая). Как видно из графиков, ОСПШ на выходе ААР удается повысить на 30 – 45 дБ по отношению к ОСПШ на ее входе. Когда угол прихода помехи приближается к углу прихода сигнала ОСПШ на выходе ААР начинает плавно уменьшаться и достигает минимума в -10 дБ при совпадении угла прихода сигнала и помехи, наблюдается так называемое «ослепление» ААР.

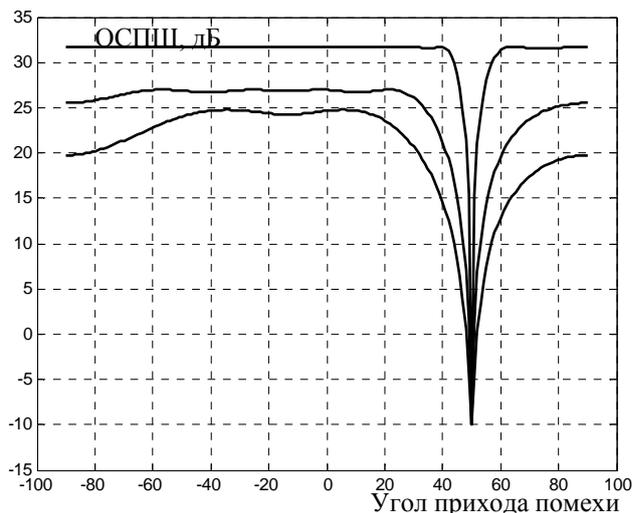


Рис.3. Зависимости ОСПШ на выходе ААР от угла прихода помехи

спективных радиотехнологий / И.О. Гурьянов // Электросвязь. – 2012. – № 8. – С. 5 – 8. 5. Кизима, С.В. Когнитивные радиотехнологии. Аспекты практической реализации / С.В. Кизима, С.Г. Митченков, Б.Б. Емельяников // Электросвязь. – №9. – 2014. – С. 44-48. 6. Metzger, B.H. Spectrum management technique / B.H. Metzger // Presented at the 38-th National ORSA Meeting, Detroit, Michigan, USA, 1970. – P. 34-46. 7. Survey on Spectrum Management in Cognitive Radio Networks / I.F. Akyildiz, W.Y. Lee, M. C. Vuran, M. A. Shantidev // IEEE Communications Magazine. – 2008. – Vol. 46. – P. 40–48. DOI: [10.1109/MCOM.2008.4473090](https://doi.org/10.1109/MCOM.2008.4473090). 8. Ghasemi, A. Spectrum sensing in cognitive radio networks: Requirements, challenges, and design trade-off / A. Ghasemi, S.E. Sousa // IEEE Communications Magazine. – 2008. – Vol. 46. – P. 32–39. DOI: [10.1109/MCOM.2008.4473090](https://doi.org/10.1109/MCOM.2008.4473090). 9. Коляденко, Ю.Ю. Оценка пространственного спектра сигналов с адаптивной пространственно-временной обработкой / Ю.Ю. Коляденко // Вісник Укр. будинку економічних та науко-технічних знань. – 2003. – Вып. 2. – С.128 – 132.

*Харьковский национальный
университет радиоэлектроники*

Поступила в редколлегию 17.01.2017