

«Сейфуллин окулары – 18(2): «XXI ғасыр ғылымы – трансформация дәуірі» халықаралық ғылыми -практикалық конференция материалдары = Материалы международной научно-практической конференции «Сейфуллинские чтения – 18(2): «Наука XXI века - эпоха трансформации» - 2022 .- Т.І, Ч.IV. – С.254-258

МЕТОД НАЗЕМНОГО РАДИОМОНИТОРИНГА ИСТОЧНИКОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ НИЗКООРБИТАЛЬНОГО СПУТНИКА

Б.Ж. Медетов, PhD, и.о. ассоциированный профессор
Казахский агротехнический университет им. С.Сейфуллина, г. Нур -султан

На сегодняшний день в рамках существующих наземных средств радиомониторинга невозможно качественно выполнить функции и задачи радиомониторинга. В связи с этим задача повышения эффективности систем радиомониторинга не теряет своей актуальности и по сей день. При выполнении таких задач одним из важнейших факторов является выделение полезного сигнала на фоне шумов и помех. Поэтому в данной работе рассматривается эффективность применения фильтра Калмана для спутникового радиомониторинга.

В последние годы беспроводные технологии достигли впечатляющей популярности. Однако из-за политики фиксированного распределения радиочастотного спектра (РЧС), РЧС становится все более дефицитным природным ресурсом. В таких условиях дефицита РЧС требуется совершенствование функций и механизмов регулирования и управления РЧС [1-3]. В настоящее время радиомониторинг преимущественно выполняется на базе наземных средств радиоконтроля [4,5]. Одним из направлений повышения эффективности систем радиомониторинга является исследование возможности использования низкоорбитальных малых космических аппаратов в качестве станций радиоконтроля.

В спутниковом радиомониторинге для определения параметров и текущего местоположения источников радиоизлучения (x) предлагается использовать радиоприемное оборудование, размещенное на борту низкоорбитального МКА. Предполагается, что в определенный момент времени на входе бортового измерительного приемника фиксируется наблюдение, то есть измеренное значение (z). При этом будет наблюдаться искажение сигнала (x) помехами (шумами) n . Здесь n – это случайная величина, которая проявляется в результате измерения, а также при передаче по каналу связи. Поэтому на входе измерительного бортового приемника определяются не истинные значения параметров сигнала (по которым определяются параметры источников радиоизлучения), а искаженные значения. Задача бортового измерительного приемника состоит в том, чтобы наиболее достоверно определить полезный сигнал (x).

При приеме сигнала, предполагается, что он является продуктом определенного динамического процесса, соответственно математическая модель системы будет иметь следующий вид:

$$\dot{x} = \frac{dx}{dt} = F(x, t) \quad (1)$$

где, x – вектор состояний исследуемой системы; $F(x, t)$ – функция, задающая эволюцию системы.

Таким образом, гармонический сигнал можно определить следующим образом:

$$\begin{cases} x_{k+1} = x_k + v_k * dt + \varepsilon_k, \\ z_k = x_k + \eta_k \end{cases} \quad (2),$$

где ε_k – ошибка модели, которая связана с точностью математической модели; η_k – это техническая погрешность, связанная с наличием шума и несовершенством измерительного оборудования ($\eta_k = \eta_k^{(1)} + \eta_k^{(2)}$; $\eta_k^{(1)}$ – шум, $\eta_k^{(2)}$ – погрешность измерительного оборудования).

Если условие $\eta_k^{(2)} \ll \eta_k^{(1)}$ выполняется, то η_k фактически действие шума.

Следовательно, $x_{k+1} = x_k + v_k * dt + \varepsilon_k$ – будет являться математической моделью, $z_k = x_k + \eta_k$ – измеряемое значение.

На рисунке 1 представлены графики измеренного сигнала во временной области с воздействием разного уровня шумов. На рисунке по оси абсцисс (x) представлены номера отсчетов сигналов, а по оси ординат (y) представлены значения сигналов из модели. На данных графиках красной линией обозначено исходное значение, а синей линией обозначено значение исходного сигнала с добавленным шумом.

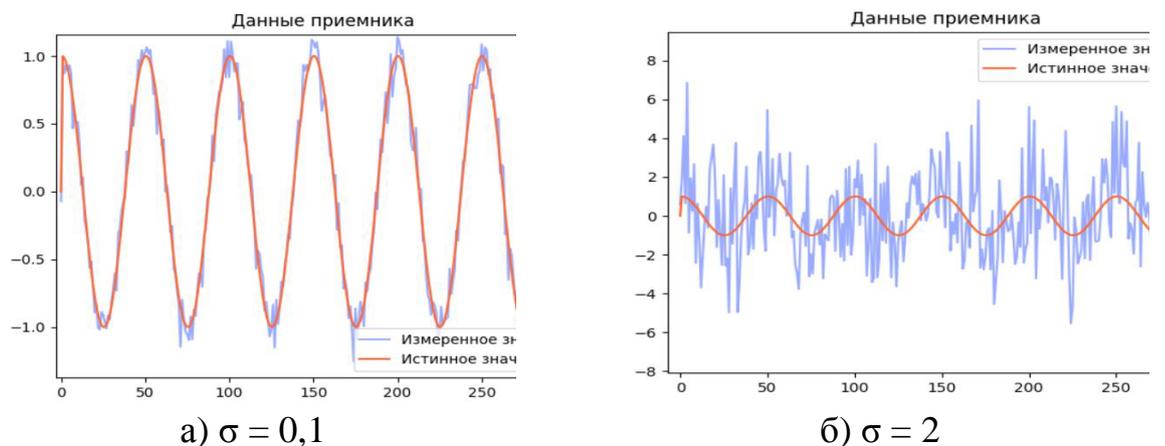


Рис. 1 Вид модельного измеренного сигнала во временной области при значениях дисперсии шума 0,1 и 2

На рисунке 2 представлены графики обнаружения и распознавания радиосигналов от источников радиоизлучения (для повышения качества радиомониторинга) с помощью фильтра Калмана. При применении фильтра Калмана для определения (установления) полезного сигнала из зашумленных сигналов (синяя линия), установлено, что коэффициент Калмана довольно быстро адаптируется между x_k – реальным значением сигнала и z_k – значением измерения.

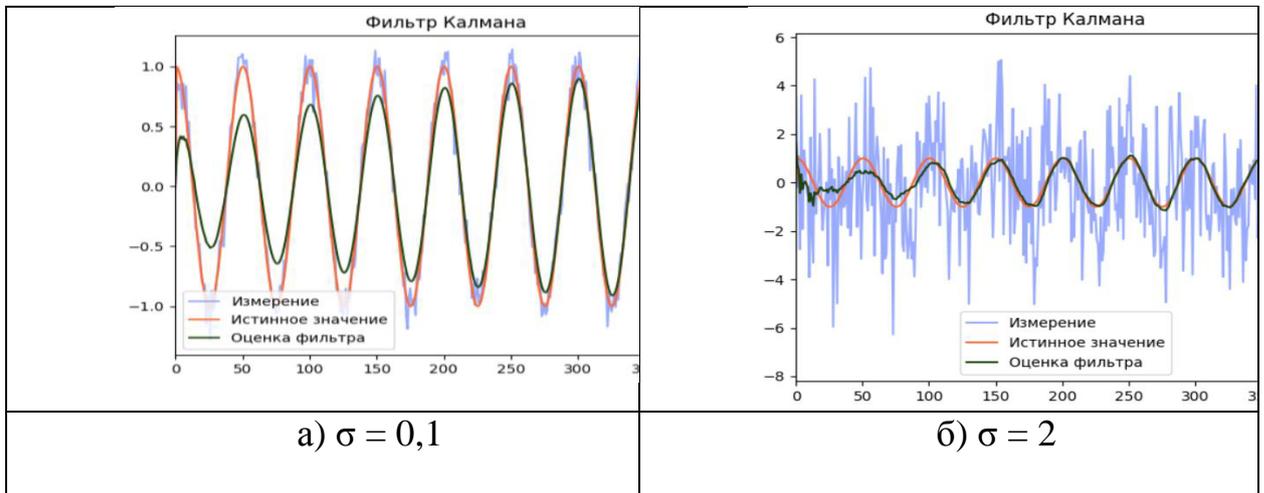


Рис. 2 Представление сигналов во временной области по результатам выполнения фильтра Калмана при разных значениях дисперсии шума в случае наличия искомого сигнала

Таким образом, как показано на графиках сигнал на выходе фильтра Калмана (зеленая линия) в начальных отсчетах при значении $\sigma = 0,1$ отличается от истинного значения присутствующего сигнала (красная линия), далее в последующих итерациях ускоренно стабилизируется под истинный сигнал. Следовательно, при значении $\sigma = 0,5$, в случае наличия искомого сигнала коэффициент Калмана быстро адаптируется к исходному сигналу, т.е. осуществляется обнаружение полезного сигнала.

На рисунке 3 представлен результат работы фильтра Калмана при отсутствии искомого сигнала на входе фильтра.

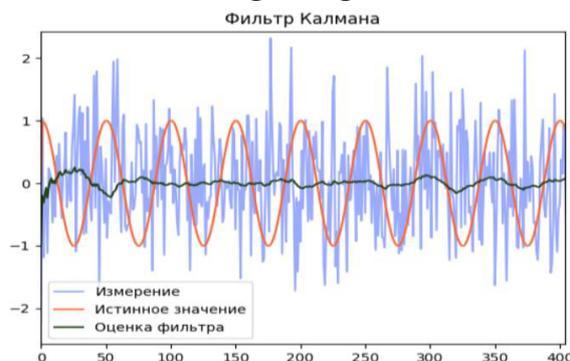


Рис. 3 Результат работы фильтра Калмана при отсутствии искомого сигнала на входе фильтра

Для этой цели вводим понятие коэффициента сходства отфильтрованного сигнала при помощи фильтра Калмана к исходному сигналу.

Коэффициент сходства вычисляется следующим образом:

- рассчитывается разность двух сигналов (отфильтрованного и искомого);
- вычисляется среднеквадратичное значение разностного сигнала;
- среднеквадратичное значение разностного сигнала вычитается из амплитуды искомого сигнала.

На рисунке 4 продемонстрированы графики зависимости коэффициента сходства от уровня шума. Как видно из рисунка 4 коэффициент сходства имеет значение больше 0,9 при любых положительных значениях отношения сигнал/помеха. Соответственно данное значение 0,9 можно принять как пороговое значение для принятия решения о наличии искомого сигнала в измеренном сигнале, т.е если в результате вычислений коэффициент сходства окажется больше 0,9, то принимается решение о том, что искомый сигнал присутствует.

Как видно из рисунка 4, коэффициент сходства имеет значение не более 0,3 при любых положительных значениях отношения сигнал/помеха. Соответственно данное значение 0,3 можно принять как пороговое значение для принятия решения об отсутствии искомого сигнала в измеренном сигнале, т.е если в результате вычислений коэффициент сходства окажется меньше, чем 0,3, то принимается решение о том, что искомый сигнал отсутствует. Достоинством данного метода является то что коэффициент сходства при наличии искомого сигнала имеет значение больше порогового (0,9) даже при отрицательных значениях отношения сигнал/помеха.

На рисунке 4 путем объединения двух вышерассмотренных графиков коэффициента сходства можно продемонстрировать метод верификации наличия полезного сигнала, где можно ввести верхний и нижний пороги принятия решения при мониторинге источников радиоизлучения. Нижний порог служит для исключения ложной тревоги. Верхний порог служит для исключения пропуска цели. Таким образом, при коэффициенте сходства больше 90% можем с уверенностью подтвердить наличие полезного сигнала, при значении отношения сигнал/помеха больше нуля.

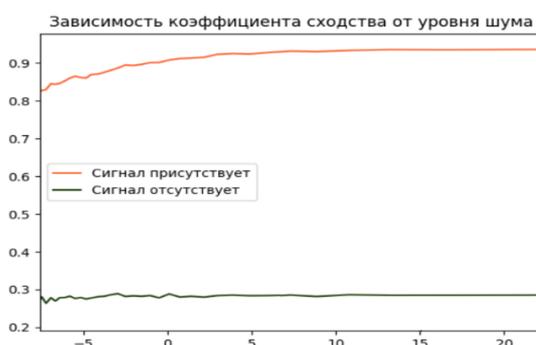


Рис. 4 Зависимость коэффициента сходства от отношения сигнал/помеха при наличии и отсутствии искомого сигнала в измеренном сигнале

Очевидно, что показатель надежности метода, рассчитанный таким образом, принимает значения от 0 до 1. Чем выше значение данного показателя, тем выше уровень достоверности и надежности предлагаемого метода обнаружения гармоничного сигнала. На рисунках 5 и 6 показаны зависимости показателя надежности метода от отношения сигнал/помеха для обоих случаев: при наличии и отсутствии искомого сигнала в измеренном сигнале.



Рис. 5 Зависимость надежности метода от уровня шума при наличии искомого сигнала в измеренном сигнале

Как видно из рисунка 5, показатель надежности метода имеет очень высокое значение, фактически равное 1, при всех положительных значениях ОСШ. Но при отрицательных значениях ОСШ показатель резко стремится к нулю и уже при -6 дБ достигает своего возможного минимального значения.

Список использованной литературы

- 1 Ramirez, D. A. A., Cardenas-Juarez, M., Pineda-Rico, U., Arce, A., & Stevens-Navarro, E. Spectrum Occupancy Measurements in the Sub-6 GHz Band for Smart Spectrum Applications. In 2018 IEEE 10th Latin-American Conference on Communications (LATINCOM) IEEE. 2018. -P. 1-6.
2. Zhang J. et al. Spectrum Knowledge and Real-Time Observing Enabled Smart Spectrum Management [Text] / IEEE Access. – 2020. – Т. 8. – С. 44153-44162.
3. Takeo FUJII, Kenta UMEBAYASHI, «Smart Spectrum for Future Wireless World», IEICE TRANSACTIONS on Communications, -2017. Vol.E100-B No.9 -P.1661-1673. DOI: 10.1587/transcom.2016PFI0014.
4. Mazar H. Radio spectrum Management: Policies, regulations and techniques. – John Wiley & Sons, 2016.
5. Rembovsky, A.M., Ashikhmin, A.V., Kozmin V.A., Smolskiy S.M. (2018). Radio Monitoring: Automated Systems and Their Components Springer. 2018. - 486 p.