

УДК 621.391

А.В. БРЕЗГУНОВ, С.А. БРЕЗГУНОВ**ФИЛЬТРАЦИЯ РАДИОСИГНАЛА ЗА СЧЁТ ПЕРЕСТАНОВКИ МЕЖДУ СОБОЙ ЕГО ЧАСТЕЙ НА ДРУГИЕ ВРЕМЕННЫЕ ИНТЕРВАЛЫ**

Розглянуто ідея зниження потужності шуму, що надійшов з каналу зв'язку і не пригніченого в попередніх каскадах обробки сигналів, і зниження потужності шуму внесеного каскадами тракту радіоприйому. Мета досягається за рахунок розбиття сигналу на частини малої тривалості і їх перестановки на інші тимчасові інтервали з подальшою смуговий фільтрацією. Розглянуто можливість додаткової реалізації методу накопичення.

Ключові слова: сигнал, шум, кореляція, фільтрація, амплітуда, потужність, перестановка частин шуму.

Рассмотрена идея понижения мощности шума, поступившего из канала связи и не подавленного в предыдущих каскадах обработки сигналов, и понижения мощности шума внесённого каскадами тракту радиоприёма. Цель достигается за счёт разбиения сигнала на части малой длительности и их перестановки на другие временные интервалы с последующей полосовой фильтрацией. Рассмотрена возможность дополнительной реализации метода накопления.

Ключевые слова: сигнал, шум, корреляция, фильтрация, амплитуда, мощность, перестановка частей шума.

We consider the idea of lowering the noise power delivered from the communication channel and not suppressed in the previous stages of signal processing, and reducing the noise power without saving cascades reception path. The aim is achieved at the expense of signal splitting apart of short duration and their transposition to other time slots followed by a band-pass filtering. The possibility of an additional implementation of the method of accumulation is considered.

Keywords: signal, noise, correlation, filtration, amplitude, power, rearrange the pieces of noise.

Введение. Радиоимпульсы с постоянным значением частоты несущего высокочастотного колебания нашли широкое применение в системах связи и радиолокации [1, 2]. Возрастающие потребности к повышению энергетической эффективности радиотехнических систем способствовали совершенствованию способов обработки радиосигналов, для этих целей стали широко использовать средства вычислительной техники [1, 2]. Если частота принятого сигнала имеет значения, при которых возможна цифровая обработка сигналов или может быть понижена до этих значений, например, путём переноса сигнала на промежуточную частоту, то появляются новые возможности по “очистке” принятого сигнала, как от флюктуационных гауссовых шумов каналов связи, так и от внутренних шумов, создаваемых элементами тракта приёма.

Цель статьи – рассмотреть идею по понижению средней мощности P_N шума $n(t)$, поступившего из канала связи и не подавленного в предыдущих каскадах обработки сигналов, и понижение мощности шума, внесённого каскадами тракта приёма. Реализация цели – повышения соотношения P_S/P_N мощности P_S принятого сигнала к мощности P_N шума достигается за счёт разбиения шума $n(t)$ на части малой длительности (“дробления” шума) и их перестановки на другие временные интервалы с последующей полосовой фильтрацией.

Основная часть. Пусть в линию связи был передан сигнал с амплитудой A , на несущей частотой ω , с начальной фазой φ_0 .

$$n(t) = B(t) \cdot \cos[(\omega t + \Delta\omega(t))]. \quad (1)$$

С выхода фильтров усилителя радиочастоты частоты поступает сигнал

$$S^*(t) = A' \cos(\omega t + \varphi_0) + n(t). \quad (2)$$

После частотной фильтрации в тракте приёма флюктуационный гауссов шум $n(t)$ с центральной частотой ω изменяется по частоте в полосе пропускания Π относительно ω на величину $\pm\Delta\omega(t)$ и имеет амплитуду $B(t)$ [1] ($\Delta\omega/\omega \ll 1$):

$$n(t) = B(t) \cdot \cos[(\omega t + \Delta\omega(t))]. \quad (3)$$

Полагаем, что в системе обеспечена высокоточная синхронизация. Видно (см. рис. 1, а), что на каждом временном интервале $\Delta t_1, \dots, \Delta t_7$, в данном случае $\Delta t_j = T$ (T – период колебаний сигнала $S(t)$), отрезки сигнала $S(t)$ одинаковы, а отрезки шума $n(t)$ отличаются по форме, но разрыв фаз между отрезками шума $n(t)$ отсутствует. Шум $n(t)$ представляет сигнал с амплитудно-частотной модуляцией, по виду близкий к периодическому сигналу. Если сигнал $S(t)$ широкополосный, тогда $\Delta\omega/\omega < 1$, и отличие отрезков шума $n(t)$ будет ещё более существенным, т.к. через широкополосные фильтры могут “просочиться” и помеховые импульсы различной длительности, амплитуды и формы. После перестановки отрезков шума $n(t)$ на другие временные интервалы (рис. 1, б), получаем шум $n^*(t)$ после разбиения шума $n(t)$ на части и перестановки его частей у которого отрезки шума $n(t)$ стыкуются с разрывом фаз между отрезками шума $n(t)$. Перестановка отрезка 2 шума $n(t)$ на позицию 7, отрезка 3 шума $n(t)$ на позицию 7 и т.д. (см. рис. 1) позволила без нарушения формы сигнала $S(t)$, получить непериодический сигнал – шум $n^*(t)$, состоящий из импульсов разной формы. Если интервал Δt_j выбрать $\Delta t_j < T$, например, $\Delta t_j < T/4$ или ещё

© А. В. Брезгунов, С. А. Брезгунов

В выражениях (7) для простоты записи коэффициенты передачи всех сигналов $S_{Pi}^*(t)$ написаны одинаковыми (равными единице). Можно добиться, при правильной перестановке частот шума $n(t)$, чтобы все реализации шума $n^*(t)$ были некоррелированы между собой. Тогда, не трудно осуществить реализацию известного метода накопления [2]. Организовав L каналов обработки в соответствии с (7), и суммируя их выходные сигналы, получим на выходе сумматора сигнал:

$$Y(t) = \Sigma[S(t) + n_i^*(t)] \approx LS(t) + \Sigma n_i^*(t). \quad (8)$$

Полагаем, что во всех каналах обеспечивается одинаковый коэффициент передачи, средняя мощность шума в них практически одинакова. Так как шумы $n_i^*(t)$ в каналах можно считать некоррелированными, получим результат такой же, как для обработки L последовательных повторов сигнала известным методом накопления [2]. Отношение мощностей сигнала и помехи на выходе сумматора возрастёт в $\sim L$ раз.

Таким образом, мощность шума $n(t)$ может быть уменьшена в $M \cdot L$ раз, а “очищенный” от шума сигнал может быть подвержен дальнейшей “очистке” от шума, например, методом корреляционного приёма [1, 2].

Если $M = (100 \dots 1000)$, а $L = (10 \dots 100)$, то мощность шума при реализации рассмотренной идеи может быть уменьшена в $10^3 \dots 10^5$ раз.

Наиболее реализуемым может быть подход, при котором осуществляется оцифровка сигнала $S^*(t)$ [1, 2] в моменты времени принятия им нулевых значений и меду ними. Тогда, перестановка частот шума $n(t)$ может быть успешно реализована с помощью микропроцессорной техники. Обработку сигналов наиболее целесообразно осуществлять на низких промежуточных частотах, если несущая частота переданных сигналов выше частот сигналов, которые могут оцифровывать и обрабатывать современные микропроцессоры. Перестановку частот шума $n(t)$ можно организовать и аппаратными методами, разработав для этого специализированные микросхемы, что обеспечит более высокие скорости обработки сигналов. В качестве элементов полосовой фильтрации могут быть использованы любые фильтры, обеспечивающие заданную полосу частот фильтрации Π , в том числе, и цифровые фильтры [1].

Рассматриваемый подход может быть применён и для обработки радиоимпульсов с изменяющимся значением их амплитуды, например, гауссовой формы, но тогда необходимо осуществлять перестановку между теми частями шума $n(t)$, где амплитуды A' полупериодов сигнала $S(t)$ равны (при перестановке в полупериодах с разной полярностью, знаки инвертируются), число которых мало. Поэтому

здесь получение уменьшения мощности шума $n(t)$ даже в десятки раз может быть затруднительно.

Выводы. 1. Понижение мощности шума, поступившего из канала связи и не подавленного в предыдущих каскадах обработки сигналов, и понижение мощности шума, внесённого каскадами тракта приёма, может быть обеспечено за счёт разбиения шума на части малой длительности и их перестановки на другие временные интервалы с последующей полосовой фильтрацией. Только за счёт этого выигрыш в повышении соотношения P_S/P_N может быть десятки – сотни раз и больше, при обеспечении высокоточной синхронизации в системе передачи сигналов.

2. Так как количество правил перестановки частот шума $n(t)$ может быть очень значительным, то можно получить L вариантов шума $n^*(t)$ и осуществить реализацию известного метода накопления, позволяющего дополнительно повысить соотношение P_S/P_N приблизительно ещё в десять – сто раз и выше. Поэтому, реализация рассматриваемой идеи понижение мощности шумов может позволить повысить соотношение P_S/P_N в тысячи раз.

3. Рассмотренный метод фильтрация радиосигнала может быть реализован на современной элементной базе, как для систем с узкополосными, так и с широкополосными сигналами, однако для повышения скорости обработки сигналов целесообразно разработать специализированные интегральные микросхемы. Целесообразно вести обработку на промежуточной частоте.

4. Наибольший интерес, предложенный метод повышения соотношения P_S/P_N , может представлять для систем, использующих радиоимпульсы с прямоугольной огибающей, например, для систем связи и радиолокации с импульсной модуляцией, фазовой и квадратурной дискретной модуляцией, в научных исследованиях. Он позволяет получить “очищенный” сигнал, который далее может “очищаться” другими методами.

Список литературы

1. Баскаков С. И. Радиотехнические цепи и сигналы: Учебник для вузов по специальности “Радиотехника” / С. И. Баскаков. – М.: Высш. школа, 2005. – 462 с.
2. Кузьмин И. В. Основы теории информации и кодирования / И. В. Кузьмин, В. А. Кедрус. – К.: Вища школа, 1986. – 238 с.

References (transliterated)

1. Baskakov S. I. *Radiotekhnicheskie cepi i signaly: Uchebnik dlja vuzov po special'nosti "Radiotekhnika"* [Radio engineering circuits and signals: Textbook for high schools by specialty "Radio engineering"]. Moscow, Vyssh. shkola, 2005. 462 p.
2. Kuz'min I. V., Kedrus V. A. *Osnovy teorii informacii i kodirovanija* [Fundamentals of information theory and coding]. Kiev, Vyssh. shkola, 1986. 238 p.

Поступила (received) 31.05.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Фільтрація радіосигналу за рахунок перестановок між собою його частин на інші тимчасові інтервали / О. В. Брезгунов, С. О. Брезгунов // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Радіофізика та іоносфера. – Х.: НТУ «ХПІ», 2017. – № 47 (1268). – С. 3 – 6. – Бібліогр.: 2 назв. – ISSN 2078-9998.

Фильтрация радиосигнала за счёт перестановок между собой его частей на другие временные интервалы / А. В. Брезгунов, С. А. Брезгунов // Вестник НТУ «ХПИ». Серия: Радиофизика и ионосфера. – Х.: НТУ «ХПИ», 2017. – № 47 (1268). – С. 3 – 6. – Библиогр.: 2 назв. – ISSN 2078-9998.

Filtering radio signal due to permutations between themselves its parts to other time slots / O. V. Brezgunov, S. O. Brezgunov // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Radiophysics and ionosphere. – Kharkov: NTU "KhPI", 2017. – No. 47 (1268). – P. 3 – 6. – Bibliogr.: 2. – ISSN 2078-9998.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Брезгунов Олександр Володимирович – кандидат технічних наук, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», старший викладач кафедри радіоелектроніки; тел.: (066) 097-32-85; e-mail: brezgunovu@gmail.com.

Брезгунов Александр Владимирович – кандидат технических наук, доцент, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», старший преподаватель кафедры радиоэлектроники; тел.: (066) 097-32-85; e-mail: brezgunovu@gmail.com.

Brezgunov Oleksandr Vladivirovych – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Associate Professor at the Department of Radioelectronics; tel.: (066) 097-32-85; e-mail: brezgunovu@gmail.com.

Брезгунов Сергій Олександрович – спеціаліст, м. Київ, ЧП інженер; тел.: (066) 659-43-23; e-mail: bigsun0407@gmail.com.

Брезгунов Сергей Александрович – специалист, г. Киев, ЧП инженер; тел.: (066) 659-43-23; e-mail: bigsun0407@gmail.com.

Brezgunov Sergey Oleksandrovych – specialist, c. Kiev, engineer; tel.: (066) 659-43-23; e-mail: bigsun0407@gmail.com.