

МЕТОД АДАПТАЦИИ ППРЧ-УСТРОЙСТВ К СИГНАЛЬНО-ПОМЕХОВОЙ ОБСТАНОВКЕ НА ОСНОВЕ ГРУППОВОЙ МНОГОТОЧЕЧНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ С ОГРАНИЧЕНИЯМИ

Анализ проблемы

Технология Bluetooth как характерный пример технологии с псевдослучайной перестройкой рабочей частоты (ППРЧ) поддерживается в 90 % современных портативных устройств. Для работы стандарта выделен не требующий лицензирования диапазон частот 2402–2483,5 МГц, совместно используемый системами абонентского радиодоступа стандарта 802.11. Кроме того, диапазон использует ряд других устройств, таких, как телефонные радиоудлинители 2,4 ГГц, микроволновые печи, ряд медицинских устройств и приборов [1].

Использование только лишь метода псевдослучайной перестройки рабочей частоты для борьбы с непреднамеренными помехами не является эффективным. Экспериментально подтверждено, что в современных условиях интенсивного использования рассматриваемого диапазона частот потеря пропускной способности в пикосети Bluetooth достигает 40 % [2].

В технологии Bluetooth количество доступных для использования в последовательности ППРЧ частотных каналов $C_{max} = 79$, длина генерируемой последовательности $len = 512$. Анализ последовательностей ППРЧ, сгенерированных используемым в настоящее время в Bluetooth методом [3], показал, что распределение элементов по подканалам имеет равномерный характер (рис. 1)

При использовании такой последовательности ППРЧ уменьшение пропускной способности пикосети Bluetooth будет пропорционально количеству частотных каналов, в которых присутствует помеха [4].

Основная часть

Решена оптимизационная задача выбора программы псевдослучайной перестройки рабочей частоты для Bluetooth-пикосети, работающей в условиях непреднамеренных промышленных и внесистемных помех. Решением оптимизационной задачи должна быть адаптированная к существующей сигнально-помеховой обстановке программа ППРЧ устройства Bluetooth. Целевая функция оптимизации – максимальное количество успешно переданных кадров, определяемое по кадрам подтверждения ведущему устройству (master) (1):

$$f_{gbest}(i, k) = \max(a(m_{i,k})), \quad (1)$$

$a(m_{i,k}) = ((a \text{ xor } b) + (c \text{ xor } d))$; $m_{i,k}$ – номер канала, на который указывает i -й элемент последовательности на k -м шаге оптимизации;

Область поиска решений – множество программ псевдослучайной перестройки рабочей частоты длиной len элементов, каждым из которых является номер канала в диапазоне от 1 до C_{max} . Решением оптимизационной задачи является многоэкстремальная функция с дискретными точечными экстремумами. Область поиска – $len^{C_{max}}$ решений. $len^{C_{max}} = 512^{79} \approx 10^{214}$ решений. Для такой обширной области поиска оптимальных решений наиболее целесообразно использование методов случайного поиска. В статье предлагается использовать метод групповой многоточечной оптимизации (Particle Swarm Optimization (PSO)) [5].

Сущность метода состоит в представлении решений в виде точек пространства и итеративном изменении координат этих точек на величину смещения v , которую также называют вектором скорости точки. На каждом шаге оптимизации для каждого решения вычисляется целевая функция оптимизации, результат которой влияет на вычисление вектора смещения v .

Предположим, что в диапазоне с 1 по 79 канал, существуют два поддиапазона, свободные от воздействия помех (рис. 4).

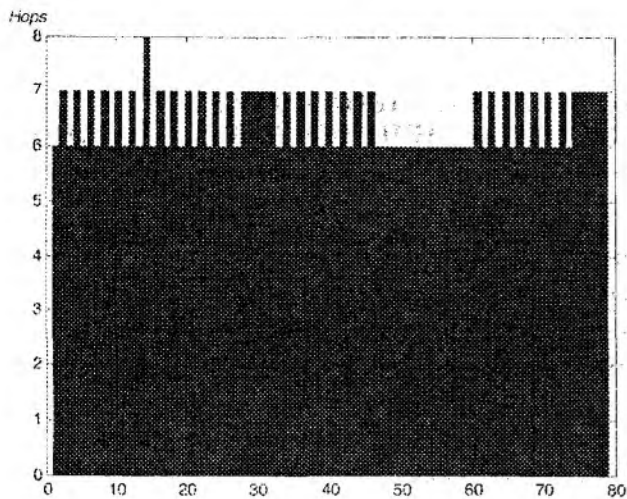


Рис. 1

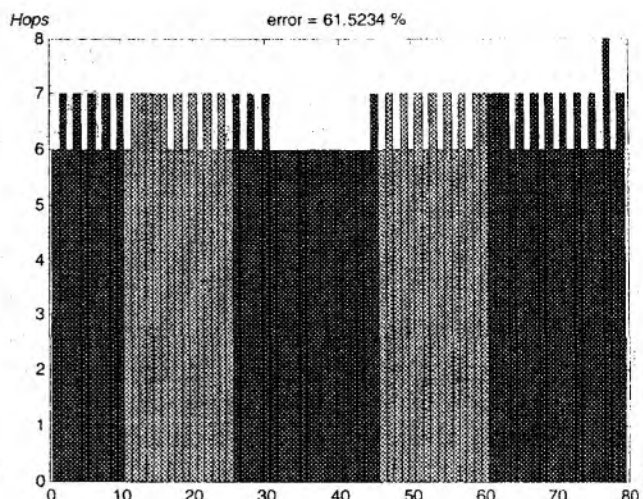


Рис. 2

В каналах 1...10, 25...45, 60...79 присутствуют помехи, препятствующие нормальной работе устройств Bluetooth, каналы 10...25 и 45...60 свободны от воздействия помех, и в них возможна успешная передача пакетов Bluetooth.

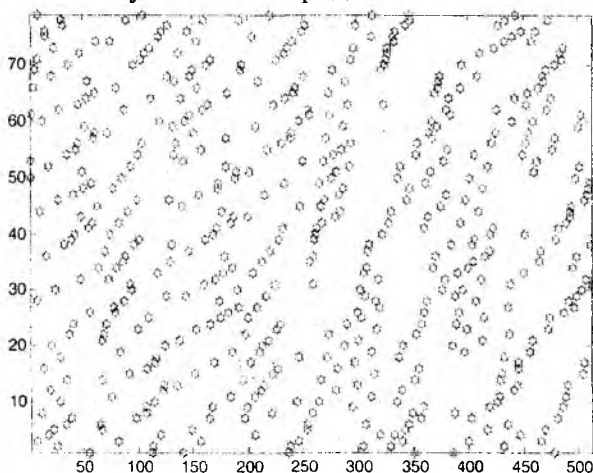


Рис. 3

Из графика видно, что при использовании существующей схемы потеря пакетов будет составлять более 60 %.

Задачей процедуры оптимизации является поиск свободных каналов и сосредоточении элементов последовательности ППРЧ (решений алгоритма оптимизации) именно в них.

Предположим, что каждый элемент последовательности ППРЧ представляет собой точку на декартовой плоскости, при этом координата X точки – это индекс данного элемента в последовательности ППРЧ, а Y – номер частотного канала, на который указывает данный элемент (рис. 3).

Пусть $m_{i,k}$ – частотный канал i -го элемента последовательности ППРЧ на k -м шаге оптимизации; $i \in 1 \dots len$, – индекс элемента последовательности; $k \in 1 \dots k_{max} - k_{max}$ определяется критерием допустимой ошибки; $m_{i,k} \in 1 \dots C_{max}$ – номер частотного канала должен быть в области допустимых значений

Другими словами, в последовательности ППРЧ могут быть только номера каналов, доступные для использования в Bluetooth

На каждом шаге оптимизации k , для каждого $m_{i,k}$ согласно выражению (2) вычисляется изменение номера частотного канала в большую или меньшую сторону, которое также называют скоростью поиска оптимального решения:

$$v_{i,k+1} = r_{0,k} \omega v_{i,k} + c_1 r_{1,k} (y_k - m_{i,k}) + c_2 r_{2,k} (y_k^* - m_{i,k}), \quad (2)$$

где $v_{i,k}$ – скорость точки на k -м шаге процедуры оптимизации; $r_{0,k}, r_{1,k}, r_{2,k} \in 0 \dots 1$ – случайные значения; ω – коэффициент, влияющий на величину смещения; c_1 – корректирующий коэффициент локального оптимума каждого решения; c_2 – корректирующий коэффициент глобального оптимума для всех решений; y_k – значение локального оптимума на k -м шаге; y_k^* – значение глобального оптимума на k -м шаге.

Новое значение номера частотного канала i -го элемента последовательности ППРЧ определяется суммой его текущего значения со смещением из выражения (2):

$$m_{i,k+1} = m_{i,k} + v_{i,k+1} \quad (3)$$

В отличие от классического PSO-алгоритма, в котором отсутствуют ограничения значения координат точек, в предложенной реализации введены ограничения, потому что каждая точка является элементом последовательности ППРЧ. Значения номеров каналов всех элементов последовательности должны находиться в области допустимых значений. Для предотвращения ситуации, когда значение координаты точки оказывается больше допустимого значения, в предлагаемую реализацию процедуры оптимизации были внесены следующие ограничения:

$$m_{i,k} = 1, \text{ если } m_{i,k} < 1, \quad (4)$$

$$m_{i,k} = C_{max}, \text{ если } m_{i,k} > C_{max}.$$

Таким образом, соотношения (1) – (4) представляют существо предложенного метода адаптации. Алгоритм адаптации по предложенному методу представлен на рис. 4

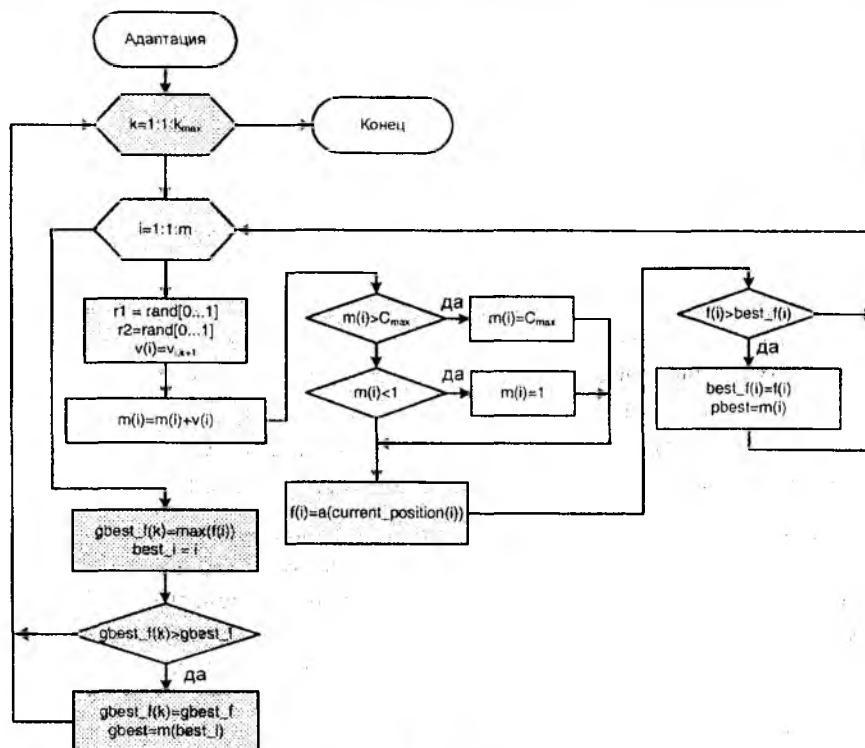


Рис. 4

Координаты точек в пространстве на 2- и 5-м шаге оптимизации представлены на рис. 5.

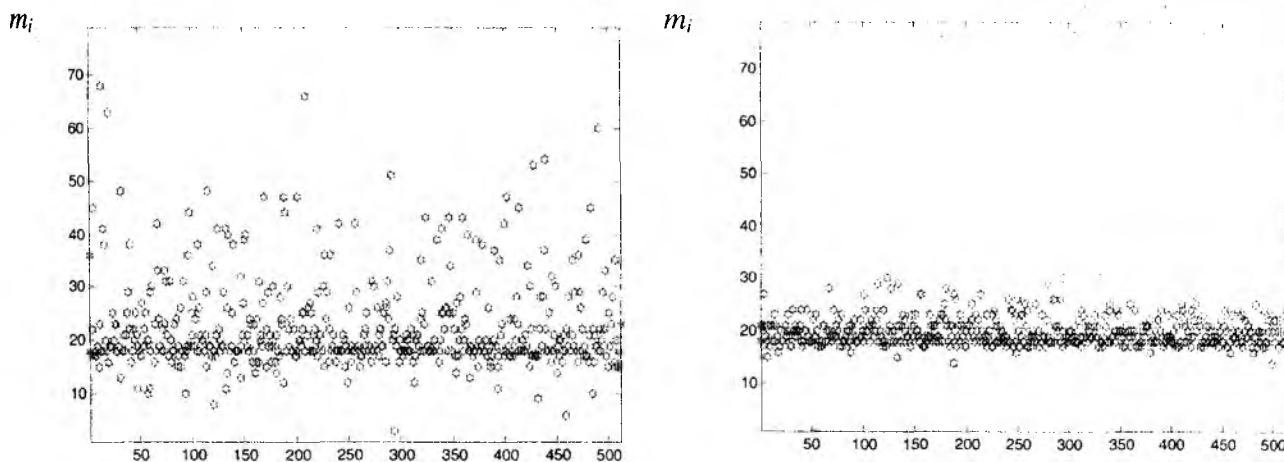


Рис. 5

Гистограмма распределения элементов последовательности ППРЧ по каналам представлена на рис. 6. На рис. 7 представлен график сходимости процедуры оптимизации, из которого видно, что предложенный алгоритм находит удовлетворяющее заданным условиям решение за 4 - 6 шагов оптимизации.

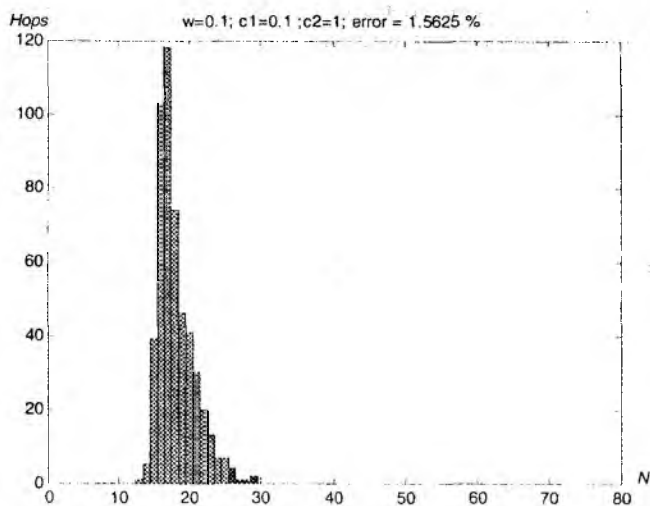


Рис. 6

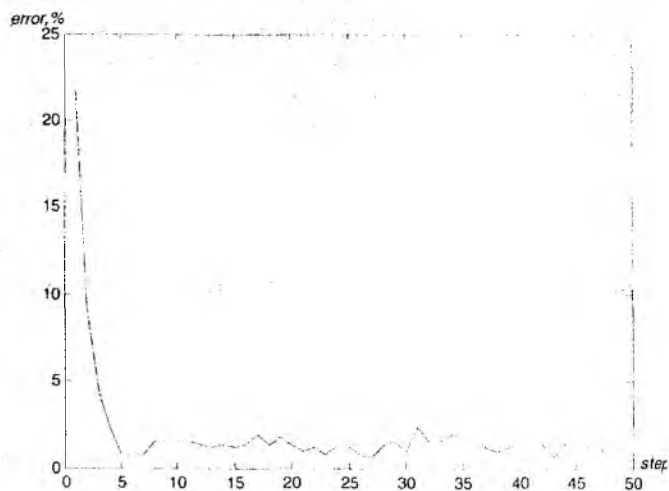


Рис. 7

Выводы

Результатом работы алгоритма оптимизации является новая, адаптированная к существующей сигнально-помеховой обстановке, последовательность ППРЧ с меньшим количеством используемых частотных каналов (при заданных условиях – 13) и вероятностью потери кадров не более 2 %. Предложенный подход позволяет существенно (с 60 до 2 %) снизить потери пропускной способности при воздействии внесистемных помех

Список литературы. 1. Коваленко А.А. Анализ источников помех в системах абонентского радиодоступа // 11-й международный молодежный форум «Радиоэлектроника и молодежь в XXI в.». Сб. материалов. Х.: ХНУРЭ, 2007. Ч.1. 2. Звіт 06-04 про науково-дослідну роботу „Експериментальні дослідження систем абонентського радіодоступу”, ХНУРЕ, 2006 р. 3. Bluetooth Special Interest Group, “Specification of the Bluetooth System, Core, Version 1.0B,” December 1999. 4. А. А. Коваленко. Анализ пропускной способности bluetooth-пикосети в условиях совместной работы с точкой доступа стандарта 802.11g. // Радиотехника. Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2006. Вып. 144. С.147-151. 5. Субботин С. А. Олейник Ан. А. Олейник Ал. А. Фрагмент рабочих материалов монографии. часть 3. Интеллектуальные мультиагентные методы. (Swarm intelligence).

Харьковский национальный
университет радиоэлектроники

Поступила в редколлегию 08.11.2008