

ОБОБЩЕННАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СЕЛЕКТИВНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ В ПРИЕМНИКЕ МОБИЛЬНОГО ТЕРМИНАЛА

Предложена обобщенная математическая модель расчета параметров селективного в приемнике мобильного терминала транспортного средства, движущегося со скоростью 200-300 км/час.

Ключевые слова: мультисервисные радиооптические сети, миллиметровый диапазон, супергетеродинный приемник, селективное преобразование.

Запропонована узагальнена математична модель розрахунку параметрів селективного перетворення в приймачі мобільного терміналу транспортного засобу, що рухається зі швидкістю 200-300 км/год.

Ключові слова: мультисервісні радіо оптичні мережі, міліметровий діапазон, супергетеродинний приймач, селективне перетворення.

In this article a generic analytical model for calculating the selective allocation parameters in a mobile terminal receiver of a vehicle traveling at a speed of 200-300 km/h is proposed.

Keywords: multiservice radio over fibre network, mm length wave, superheterodyne receiver, selective allocation.

Современное развитие области телекоммуникаций привело к необходимости обеспечить предоставление сервисов пользователям везде и всегда, когда это требуется. Допустимая скорость движения мобильных пользователей уже повысилась до 200-300 км/час. Такой сценарий актуален для высокоскоростных автомобильных или железнодорожных магистралей. Однако проблемы, связанные с переходом мобильного терминала (МТ) от одной базовой станции (БС) к другой (*handover*), ограничивают скорости движения значениями 100-150 км/ч [1]. При этом скорость передачи данных не превышает 100 Мбит/с.

Достигнуть требуемых скоростей доступа мобильных пользователей к мультимедийным ресурсам позволяет гибридная радиооптическая технология *RoF (Radio over Fiber)*, объединяющая высокую пропускную способность (ПС) проводных и портативность беспроводных сетей [2]. Для удешевления сети были предложены следующие решения в архитектуре [3]: упрощение функциональности БС [4] и выбор оптимальной топологии их связи с централь-

ной станцией для уменьшения длины используемого оптоволоконного кабеля. Такие решения позволяют предоставлять сервисы с большой пропускной способностью (3, 12 Мбит/с) для нескольких тысяч абонентов, движущихся с высокой скоростью (200-300 км/ч). При этом функции МТ заключаются в приеме сигнала полосой до 4 ГГц и выделении (селекции) из него заказанной услуги. Стоит отметить, что граница применения цифровой обработки составляет 1 ГГц, следовательно, подвергнуть цифровой обработке весь сигнал не имеется возможности. Должно иметь место некое селективное преобразование сигналов услуг с миллиметрового диапазона приема в зону частот цифровой обработки сигнала.

Современные приемники, применяемые в миллиметровом диапазоне, имеют разную архитектуру и принцип работы [5]: супергетеродинные, гомодинные, с одной промежуточной частотой (ПЧ), с двумя ПЧ и т.д. Их всех объединяет тот факт, что преобразование частоты выполняется во всем изначально принятом сигнале.

Задача состоит в создании обобщенной

математической модели, способной при разных исходных данных, с учетом текущего уровня техники, находить параметры селективного преобразования в приемнике, а именно: несущую частоту, значение первой и второй ПЧ, значение полос, выделяемых после первой и второй ПЧ, таким образом, чтоб частотная эффективность была максимальной, количество типов оборудования минимально, а зона покрытия от одной БС максимальная.

Новый способ селективного преобразования услуги в приемнике мобильного терминала

Для обеспечения высокой ПС системы необходимо использовать схему расширения спектра со многими несущими, которая базируется на технологии *OFDM*. Использование поднесущих в технологии *OFDM* для передачи отдельных услуг предложено в работе [6].

Особенности архитектуры сети предусматривают одновременную передачу всех услуг (например, 2048 услуг с ПС 3÷12 Мбит/с каждая) всем МТ (каждый МТ в сети принимает сигнал, содержащий все услуги, и должен уметь выделить свою услугу). Аналого-цифровые преобразователи (АЦП), наличие которых обусловлено применением цифровой обработки *OFDM*-символов, в приемнике имеют ограничения по входной частоте преобразуемого сигнала. На данный момент это значение составляет 1 ГГц [7]. При модуляции КАМ-64 сигнал (2048 услуг) займет 1÷4 ГГц. Следовательно, необходимо разбивать в ЦС услуги на группы, и в каждой группе формировать *OFDM*-символы [8]. Задача приема широкополосного сигнала и выделение нужной услуги возложена на МТ пользователя. Решение задачи оптимизации формирования сигнала в ЦС даст ответ, сколько *OFDM*-символов будет содержаться в сигнале и каково их наполнение: 64, 128, 256 или 512 услуг в зависимости от вида применяемой модуляции (КАМ-64, КАМ-128, КАМ-256 или КАМ-512), а также определит скорость услуг в каждом *OFDM*-символе. Принять сиг-

нал всех услуг можно только в миллиметровом диапазоне из-за широкой суммарной полосы рабочих частот сигналов всех услуг. В миллиметровом диапазоне выделить отдельную группу с нужной услугой не удастся из-за ограничений полосовых фильтров. Это значит, что необходимо весь принятый сигнал преобразовать на ПЧ. Этого преобразования будет недостаточно, ведь поместить сигнал полосой 4 ГГц в диапазон от 0 до 1 ГГц не удастся. Необходима еще одна ступень преобразования. Увеличение количества преобразований до 3 или 4 нецелесообразно ни технически, ни экономически.

Для решения такой задачи, был предложен способа приема со следующими отличительными особенностями[9]:

- прием входным каскадом приемника сигнала с полосой 4 ГГц, в котором содержится несколько отдельных *OFDM*-символов;
- выделение фильтром после первого преобразования частот на первой ПЧ одного или более *OFDM*-символов (но не всех);
- выделение фильтром после второго преобразования частот на второй ПЧ одного *OFDM*-символа, в котором содержится заказанная услуга владельца МТ.

Чтобы был один фильтр после антенны до преобразования частот, один смеситель и гетеродин в звене первого преобразования, необходимо зарезервировать некую частотную область с максимальной полосой частот, которую займет сигнал на первой промежуточной частоте. Тогда при всех остальных вариантах формирования состава услуг сигнал поместится в этой полосе. Для любого случая принимать и переносить на первую ПЧ необходимо именно максимальную полосу частот, равную 4 ГГц. Это позволит использовать однотипное оборудование во всех МТ для первой ступени преобразования. Задача разбиения сигнала на первой ПЧ на зоны (группы *OFDM*-символов) является самой важной, так как она определит частотную эффективность и количество типов оборудования МТ, используемых в сис-

теме. В то время как вторая ПЧ находится в интервале от 0 до 1 ГГц, значение первой ПЧ подлежит определению.

Математическая модель определения параметров селективного преобразования в приемнике мобильного терминала

Исходными данными задачи расчета селективного преобразования частот в приемнике мобильной связи является состав сигнала, содержащий все услуги. Допустим, что система предоставляет 2 типа услуг: низкоскоростные (v_1 услуг) со скоростью V_1 (бит/с) и высокоскоростные (v_2 услуг) со скоростью V_2 (бит/с). Максимальное количество абонентов в системе (количество услуг) $K = v_1 + v_2$. Все услуги разбиты на группы по 64, 128, 256 или 512 услуг в зависимости от набора модуляторов, используемых на передающем конце, причем:

- a_1, a_2, a_3, a_4 – количество групп с 64, 128, 254, 512 услугами соответственно со скоростью V_1 бит/с;
- b_1, b_2, b_3, b_4 – количество групп с 64, 128, 254, 512 услугами соответственно со скоростью V_2 бит/с.

К исходным данным также отнесем уровень техники, который выражается возможностью полосовых фильтров выделять полосу на определенной несущей. Предположим, что отношение ширины выделяемой полосы к несущей частоте выделения не меньше t_1 , но не больше t_2 . При этом идеальным будем считать значение $t_{ид}$.

Введем определение: зона – частотная область с полосой Δf_s на первой ПЧ, которую переносят на вторую ПЧ и которая включает одну или более групп услуг. При этом Δf_s больше или равна полосе, которую занимают исключительно OFDM-символы, входящие в ее состав.

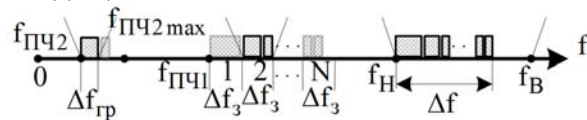


Рис. 1. Параметры способа приема сигнала

На рис.1 представлена схема преобразования полос частот сигнала при его приеме.

Определению подлежат следующие параметры:

- 1) f_H, f_B – нижнее и верхнее значение полосы рабочих частот Δf , которая переносится на первую ПЧ при любом составе входного сигнала. Это позволит использовать одноступенчатое оборудование в первой ступени преобразования для всех вариантов. Она равна максимально возможной полосе рабочих частот сигнала: $\max \{ \Delta f \}$.
- 2) $\Delta f_s, N, f_{ПЧ1}$ – полоса зоны, количество зон, необходимых для перекрытия всех групп услуг, и нижняя частота первой ПЧ.

При поиске оптимальных значений перечисленных параметров целевая функция должна предусматривать следующие целеустремленности:

$N \rightarrow \min$ минимизация количества зон, а следовательно и фильтров, необходимых для перекрытия/выделения всех групп;

$E_f = (\Delta f_s \cdot N - \Delta f) \rightarrow \min$ минимизация неэффективно используемого спектра при разбиении групп на зоны, который возникает из-за особенности OFDM-символа – запрещено разбивать его до цифровой обработки. Следовательно, одна группа не может быть разбита и находиться в двух зонах од-

новременно $\Phi = \frac{\sum \Phi_i}{N} \rightarrow \min$, где

$$\Phi_i = \left| \frac{\Delta f_s}{f_{ПЧ1} + (i-1)\Delta f_s} - t_{ид} \right|, i = 1 \dots N$$

показывает, насколько отношение полосы зоны к частоте, на которой она выделяется на первой ПЧ, отличается от идеального $t_{ид}$.

Поскольку разные варианты будут содержать разное количество параметров Φ_i , то для возможности их оценить между собой будем минимизировать их среднее арифметическое. При известном значении полосы частот Δf_s , занимаемой зоной, этот параметр позволяет выбрать частоту первой ПЧ $f_{ПЧ1}$, на которой выделение полосы Δf_s будет максимально технически просто;

$d \rightarrow \max$ – максимизация зоны обслуживания

ния на трассе передатчиком одной БС:

$$d(N) = \frac{1,414 \operatorname{tg}(\theta)c}{4\pi f_c} \sqrt{\frac{P_{\Sigma \text{нос}}^{\Phi \text{Д}} K^{\text{ПР}} K_y^{A1} K^{\text{Д}}}{\frac{2AkT_{\text{ш}}^{\text{МТ}} \Delta f'}{K_y^{A2} N}}}$$

где θ – половинный угол ширины диаграммы направленности антенны по уровню 0,707, c – скорость распространения света; f_c – частота несущей волны, $P_{\Sigma \text{нос}}^{\Phi \text{Д}}$ – уровень мощности насыщения фотодиода, $K^{\text{ПР}}$ – потери преобразования 2-х лучей в радиочастоту, K_y^{A1} – коэффициент усиления антенн БС; $K^{\text{Д}}$ – коэффициент деления мощности сигнала БС на многорупорной антенне, A – отношение уровня мощности сигнала к уровню мощности шумов на входе приемника-декодера МТ, k – постоянная Больцмана, $T_{\text{ш}}^{\text{МТ}}$ – эквивалентная шумовая температура приемника мобильного терминала (МТ) на входе его линейного тракта в плоскости стыковки с выходом антенны $A2$; $\Delta f'$ – полоса частот передаваемого сигнала после разбиения его на зоны, K_y^{A2} – коэффициент усиления антенны МТ; N – количество зон, необходимых для перекрытия всех групп услуг.

3) $f_{\text{ПЧ2}}$ – нижнее значение второй ПЧ. Определяется исходя из неравенства: $f_{\text{ПЧ1}} + f_s < f_{\text{ПЧ2max}}$.

Обобщенная математическая модель селективного преобразования в приемнике мобильного терминала

Задача нахождения параметров селективного преобразования приемника мультисервисной сети доступа к МТ абонента, движущегося с высокой скоростью, является комплексной. Она может быть определена тройкой множеств [10]:

$$3 \rightarrow (A_i, B_i, P_i),$$

где 3 – абстрактное обозначение задачи, A_i – входная информация, B_i – выходная информация, P_i – способ (алгоритм) решения задачи. A_i и B_i можно определить в виде

множества качественных показателей $K_{\text{ввх}}$ и $K_{\text{ввых}}$ соответственно.

Исходными данными для решения задачи и параметрами, которые подлежат определению, являются следующие:

$$A_i = K_{\text{ввх}} = \begin{pmatrix} V_1, V_2 \\ K \\ a_i \\ b_i \\ t_1, t_2, t_{\text{ид}} \end{pmatrix}, \quad B_i = K_{\text{ввых}} = \begin{pmatrix} f_H, f_B \\ \Delta f_s \\ N \\ f_{\text{ПЧ1}} \\ f_{\text{ПЧ2}} \end{pmatrix}.$$

В качестве P_i выступают определенные ранее целеустремленности: $N \rightarrow \min, d \rightarrow \max, E_f = (\Delta f_s \cdot N - \Delta f) \rightarrow \min, \Phi = \frac{\sum \Phi_i}{N} \rightarrow \max, .$

Для решения задачи оптимизации необходимо привести все критерии к одному направлению оптимизации. Чтобы привести все направления к минимуму, возьмем обратную величину для определения параметра по четвертому критерию.

Количество БС, необходимое для покрытия фиксированной зоны обслуживания, требуется минимизировать $1/d \rightarrow \min$ [1/м]. Чем меньше БС, тем меньше стоимость развертывания сети.

Тогда оптимизация выполняется по следующим параметрам:

$$y_1 = N, y_2 = E_f, y_3 = \Phi, y_4 = 1/d,$$

а целевая функция:

$$F(y_1, y_2, y_3, y_4) \rightarrow \min.$$

Таким образом, задача расчета параметров селективного преобразования в приемнике МТ является многокритериальной с четырьмя целеустремленностями:

$$3 \rightarrow (K_{\text{ввх}}, K_{\text{ввых}}, F(y_1, y_2, y_3, y_4) \rightarrow \min).$$

Выводы

Предложен способ селективного преобразования услуги в приемнике мобильного терминала, отличающийся тем, что фильтры после первого и второго звена ПЧ выполняют не только классическую функцию "непропускания" паразитных составляющих, но еще и функции селективного выделения части принятого сигнала, а сам при-

нятий сигнал являється набором окремих OFDM-символів.

Обобщенная математическая модель расчета параметров архитектуры приемника МТ, позволяет выполнять селективное преобразование сигналов услуг. Математическая модель состоит из входных параметров, выходной информации и критерия оптимизации, представленного 4-я целеустремленностями.

дучков К. С., Яцук О. С., Тихоненко Ю. Ю. :заявник та патентовласник НТУУ "КПІ". – №u201115670; заявл. 30.12.2011; опубл. 10.07.2012, Бюл. № 13.

10. Яцук О.С., Шелковников Б.М. Системний підхід до моделювання НВЧ пристроїв // Електроніка і зв'язок (тем. вип.. "Електроніка і нанотехнології"). – 2010. – №5(58). – С.222-226.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Pleros N., Vyrsoinos K., Tsagkaris K., Tselikas N. A 60 GHz Radio-Over-Fiber Network Architecture for Seamless Communication With High Mobility // *Lightwave Technol.* – 2009. – 27 (12). – P.1957-1967.
2. Ng'oma A , Sauer M. Radio-over-Fiber systems for multi-gbps wireless communication // *Communications and Photonics Conference and Exhibition (ACP)*. – 2009. – 7632. P.1-10.
3. Патент 71355 Україна, МПК⁶ Н 04 В 7/26. Архітектура мобільної мережі в діапазоні міліметрових хвиль / Сундучков К.С., Волков С.Е., Яцук О.С., Тихоненко Ю.Ю.: заявн. та патентові. НТУУ "КПІ". – №u201115677; заявл. 30.12.2011; опубл. 10.07.2012, Бюл. № 13.
4. Патент 71353 Україна, МПК⁶ Н 04 В 7/26. Базова станція мобільної мережі в діапазоні міліметрових хвиль / Сундучков К.С., Волков С.Е., Тихоненко Ю.Ю., Яцук О.С.:заявн. та патентові. НТУУ "КПІ". – №u201115671; заявл. 30.12.2011; опубл. 10.07.2012, Бюл. № 13.
5. Parsa A., Razavi B. New transceiver architecture for the 60-GHz Band // *IEEE Journ. of solid-state circ.* – 2009. – 44 (3). – P. 751-762.
6. Тихоненко Ю.Ю., Сундучков К.С. Математическая модель каналобразующей аппаратуры гетерогенной распределительной телекоммуникационной сети // *Наукові записки УНДІЗ*. – 2011. – 20 (4). – С103-109.
7. Chuang K., Yeh D., Pinel S., Laskar J. A low-power analog-to-digital converter for multi-gigabit wireless receiver in 90nm // *Proceedings of the 40th European Microwave Conference (EuMA-2010)*. – 2010. – P. 218-221.
8. Патент 71354 Україна, МПК⁶ Н 04 Q 5/06. Спосіб передачі послуг абонентам в мобільній мережі зв'язку / Сундучков К.С., Тихоненко Ю.Ю., Яцук О.С.: заявн. та патентовл. НТУУ «КПІ». – № u201115675; заявл. 30.12.2011; опубл. 10.07.2012, Бюл. № 13.
9. Патент 71352 Україна, МПК⁶ Н 04 В 1/06. Спосіб селективного перетворення зі зниженням частоти сигналів в мобільному терміналі багатосервісної мережі з високою швидкістю руху абонентів / Сун-