

**Выводы.** В результате проведенного вычислительного эксперимента показано, что разработанные D-, JK-, E-триггеры превосходят по энерготопологическому критерию схемы аналогов на стандартных логических элементах в 2; 2,3 и 1,8 раза, соответственно.

#### Список литературы

1. Солонина, А.И. Цифровая обработка сигналов. Моделирование в MATLAB / А.И. Солонина, С.М. Арбузов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2008. – 816 с.
2. Harris D., Harris S. Digital design and computer architecture. – USA – Elsevier, Inc., 2013. – 675 p.
3. Рабаи, Ж.М. Цифровые интегральные схемы. Методология проектирования/ Ж.М. Рабаи, А. Чандракасан, Б. Николитч. – 2-е изд. – М.: ООО «И.Д. Вильямс», 2007. – 912 с.
4. Старых, А.А. Метод синтеза запоминающих элементов самосинхронных схем. // Нано- и микросистемная техника. – 2016. – Т. 18. – №3. – с. 166 – 172.
5. Старых, А.А. Метод синтеза функциональных блоков комбинационных схем с использованием минтермов и макстермов // Электронная техника. Серия 2. Полупроводниковые приборы. – 2015. – Выпуск 2–3 (236–237). – С. 63 – 69.
6. Угрюмов Е.П. Цифровая схемотехника. – СПб.: БХВ-Петербург, 2001. – 528 с.
7. Бойко, В.И. Схемотехника электронных систем. Цифровые устройства/ В.И. Бойко, А.Н. Гуржий, А.А. Жуйков. – СПб.: БХВ – Петербург, 2004. – 512 с.
8. Зельдин, Е.А. Триггеры. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 96 с.
9. Денисенко, В.В. Компактные модели МОП-транзисторов для SPICE в микро- и нанoeлектронике. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. – 408 с.
10. Ракитин, В.В. Интегральные схемы на КМОП-транзисторах. – Москва, 2007. – 307 с.

*Материал поступил в редколлегию 10.10.19.*

DOI: 10.30987/conferencearticle\_5e028213ade384.33198497  
УДК 621.396

А.Г. Коркин, К.Л. Цвилов  
(г. Орел, Академия ФСО России)  
A.G. Korkin, K.L. Zvirov (Oryol, Academy of the Federal Security Service of Russia)

### МОДЕЛЬ ЗОНЫ ОБСЛУЖИВАНИЯ СЕТИ РАДИОДОСТУПА

#### MODEL OF SERVICE AREA OF THE NETWORK OF RADIO ACCESS

*При планировании сети радиодоступа основной задачей является оценка пространственно-энергетических характеристик зоны обслуживания. Представлен подход к моделированию зоны обслуживания при регулировании скорости передачи за счет адаптивного выбора схемы модуляции и кодирования.*

*When planning a radio access network, the main task is to assess the spatial and energy characteristics of the service area. An approach to modeling the*

*service area in the regulation of the transmission rate due to the adaptive selection of modulation and coding schemes is presented.*

*Ключевые слова: зона обслуживания, вероятность связи.*

*Keywords: service area, probability of communication.*

В кризисных ситуациях и при проведении специальных мероприятий в интересах государственных органов из районов, неподготовленных в отношении связи, обеспечивается развертывание системы радиосвязи на основе современных технологий беспроводного широкополосного доступа (БШД) для оперативного предоставления информации абонентам.

Для обеспечения высокой скорости передачи данных в технологиях БШД используются адаптивные схемы модуляции и кодирования (СМК), формирующие различные градации скорости передачи. При выполнении требований по качеству связи передача информации с определенной градацией скорости зависит от пространственно-энергетических характеристик радиосигнала.

Для решения задачи обеспечения качества обслуживания в зоне обслуживания необходима разработка модели функционирования сети радиодоступа, однозначно связывающей качество приема информации с пространственно-энергетическими характеристиками радиосигналов при регулировании скорости передачи данных.

Качество обслуживания абонентов в сетях связи с подвижными объектами определяется вероятностью связи с требуемой достоверностью или вероятностью уверенного приема сигналов в предоставленном канале [1]. Для оценки вероятности уверенного приема сигналов в зоне обслуживания используются два показателя. Первый из них характеризует вероятность уверенного приема сигналов на границе зоны обслуживания (ЗО) круговой формы, т. е. вероятность уверенного приема на предельной дальности зоны обслуживания. Второй показатель характеризует усредненную по ЗО вероятность уверенного приема сигналов.

Моделирование ЗО с учетом регулирования скорости передачи данных за счет адаптивного изменения СМК будем осуществлять концентрическим делением на субзоны. Деление на субзоны осуществим так, чтобы в них обеспечивались одинаковые вероятности уверенного приема на их внешних границах, т.е. найдем множество значений внешних радиусов кольцевых субзон  $\vec{r} = \{r_1, r_2, \dots, r_m\}$ , на которых вероятности уверенного приема одинаковы и равны требуемым значениям:

$$P_{\text{св гр}}(r_i) = P_{\text{св гр доп}}, \quad i = \overline{1, M}. \quad (1)$$

Как известно [1, 2], вероятность уверенного приема сигналов на границе зоны обслуживания  $P_{\text{св гр}}$  определяется выражением

$$P_{\text{св гр}} = P[S > S_{\text{мин}}] = \int_{S_{\text{мин}}}^{\infty} p(S) dS = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \operatorname{erf} \left( \frac{S_{\text{мин}} - S_m}{\sigma_S \sqrt{2}} \right) = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \operatorname{erf}(a_r),$$

а вероятность обеспечения связи с требуемой достоверностью в ЗО круговой формы –

$$P_{\text{св ЗО}} = F_{\text{укр}}(0, R) = \frac{1}{2} \left[ 1 + \operatorname{erf}(a_r) + \exp \left( \frac{2a_r b + 1}{b^2} \right) \left[ 1 - \operatorname{erf} \left( \frac{a_r b + 1}{b} \right) \right] \right] = \\ = \frac{1}{2} P_{\text{св гр}}(r_i) + \frac{1}{2} \exp \left( \frac{2a_r b + 1}{b^2} \right) \left[ 1 - \operatorname{erf} \left( \frac{a_r b + 1}{b} \right) \right],$$

где

$$a = (S_{\text{мин}} - \alpha) / \sigma_S \sqrt{2},$$

$$\operatorname{erf}(a_r) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{a_r} e^{-t^2} dt,$$

$$b = \left( 10 \gamma \log \left( \frac{d}{R} \right) \right) / \sigma_S \sqrt{2} = 10 \gamma \frac{\lg e}{\sigma_S \sqrt{2}},$$

$S_{\text{мин}i}$  – минимальный требуемый уровень сигнала на приеме для данных показателей качества, равный чувствительности приемника  $R_{\text{пр}mi}$  для  $i$ -й скорости передачи информации;  $S_m$  – средняя мощность сигнала на приеме с учетом логнормальных замираний;  $\alpha$  – постоянная величина, зависящая от мощности передатчика, коэффициентов усиления антенн, потерь в фидере и т.д.;  $\gamma$  – показатель ослабления сигнала;  $\sigma_S$  – среднеквадратическое отклонение уровня сигнала;  $d$  – расстояние между базовой и мобильной станциями;  $R$  – радиус ЗО.

Если  $S_{\text{мин}i}$  – это чувствительность приемника при скорости передачи  $V_{\text{бит}i}$ , то можно определить часть зоны обслуживания, в которой можно передавать сигнал со скоростью  $V_{\text{бит}i}$  из набора скоростей при обеспечении требуемой достоверности.

Для определения радиусов субзон, в которых можно передавать информацию с различными градациями скорости при обеспечении требуемой достоверности:

определяем исходные данные для моделирования, которые включают в себя параметры системы радиодоступа и среды распространения для возможного сценария развертывания сети БШД;

определяем вероятность уверенного приема сигналов на границе зоны обслуживания  $P_{\text{св гр доп}}$  для заданной вероятности уверенного приема  $P_{\text{св ЗО зад}}$ ;

определяем требуемое значение чувствительности приемника, которое необходимо при работе на  $i$ -й скорости;

определяем максимально допустимые потери сигнала  $L_{P_i \max}$  на трассе распространения для  $i$ -й скорости передачи информации в параметрах в соответствии с используемой системой беспроводного доступа.

Сравнивая полученное значение  $L_{P_i \max}$  на трассе распространения сигнала со значением потерь в тракте  $\overline{L_p}(d)$ , рассчитанные по модели потерь в тракте, определяем радиус  $r_i$  субзоны круговой формы, в которой можно передавать информацию со скоростью  $V_{\text{бит}i}$  с заданной достоверностью. Данный радиус  $r_i \in \{r_1, r_2, \dots, r_m\}$  равен максимальному расстоянию от базовой станции, которое определяет долю от всей площади ЗО круговой формы, в которой возможна передача со скоростью  $V_{\text{бит}i}$  при выполнении условия выражения 1.

При концентрическом делении ЗО субзоны будут ограничиваться не только своим внешним радиусом  $r_i$ , но и внутренней окружностью с радиусом  $r_{i-1}$ , равным внешнему радиусу субзоны круговой формы, в которой возможна передача со скоростью  $V_{\text{бит}i-1}$ , а найденные значения внешних радиусов  $r_i \in \{r_1, r_2, \dots, r_m\}$  будут определять границы переключения скоростей передачи в ЗО в зависимости от расстояния до терминального оборудования при обеспечении заданных показателей качества обслуживания.

Предложенная модель позволяет количественно оценить расстояния от базовой станции до терминального оборудования, на которых можно передавать информацию на заданных скоростях и границы их переключений при выполнении требований по качеству обслуживания для различных условий функционирования, а также среднюю скорость передачи информации в зоне обслуживания при регулировании скорости передачи данных за счет адаптивного выбора схемы модуляции и кодирования.

С помощью предложенной модели также можно определять энергетические параметры системы БШД, требуемые для удовлетворения заданных показателей качества обслуживания на требуемой площади зоны обслуживания.

#### Список литературы

1. Связь с подвижными объектами в диапазоне СВЧ/ под ред У.К. Джейкса: пер. с англ. – М.: Связь, 1979.– 349 с.
2. *Vijay K. Garg*. Wireless communications and networking. – Elsevier Inc . 2007. – 931 p.

*Материал поступил в редколлегию 25.09.19.*