

На правах рукописи



ТАРАСОВ Никита Алексеевич

**МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ПОВЫШЕНИЯ
ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ
СИСТЕМ ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ ГЕОЛОГО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
И ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ**

**Специальность 05.12.13 –
Системы, сети и устройства телекоммуникаций**

**АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

УФА – 2013

Работа выполнена в ОАО «Башнефтегеофизика», г. Уфа

Научный руководитель д-р техн. наук, с.н.с.,
Коровин Валерий Михайлович

Официальные оппоненты: д-р техн. наук, доцент
Кузнецов Игорь Васильевич
ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный
авиационный технический университет»

к-т техн. наук,
Зевиг Владимир Георгиевич
ведущий специалист отдела промышленной
автоматизации Департамента индустриаль-
ных решений ООО «СИТРОНИКС»

Ведущая организация ООО «НПП «ВНИИГИС», г. Октябрьский

Защита диссертации состоится «24» мая 2013 г. в 10 часов
на заседании диссертационного совета Д-212.288.07 при Уфимском
государственном авиационном техническом университете по адресу: 450000,
г. Уфа, ул. К. Маркса, 12

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Уфимского
государственного авиационного технического университета.

Автореферат разослан «18» апреля 2013 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета
д-р техн. наук, доцент



И. Л. Виноградова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Задачи построения систем, использующих беспроводные каналы там, где раньше в качестве линий связи использовались кабели, актуальны в самых разных прикладных областях. Особенно важен вопрос перехода на беспроводную связь в распределенных системах сбора данных, управления и автоматизации, где число устройств в сети может достигать сотен и тысяч. Известен ряд практических задач, в которых требуется контролировать состояние некоторого множества датчиков или простых исполнительных устройств, размещенных на относительно небольших расстояниях и к которым затруднительно или нежелательно подводить проводные линии связи. В некоторых случаях прокладка проводных линий вообще невозможна по технологическим или организационным причинам.

Среди наиболее известных беспроводных технологий можно выделить: Wi-Fi, Wi-Max, Bluetooth, Wireless USB и относительно новую технологию – ZigBee, которая изначально разрабатывалась с ориентацией на промышленные применения. На сегодняшний день ZigBee является наиболее перспективной технологией для построения беспроводных сетей с небольшими объемами передаваемой информации. При передаче геолого-технологической и геофизической информации по радиоканалам основной проблемой становится проблема согласования исходного потока данных с пропускной способностью канала связи. В последнее время широкое распространение нашли системы удаленного контроля и управления процессами строительства скважин – мониторинг. Для реализации системы мониторинга требуется передавать помимо данных ГИС и ГТИ, видеоинформацию. В этом аспекте проблема передачи больших потоков данных становится особенно острой.

Следовательно, решение задачи повышения эффективности телекоммуникационных систем для передачи геолого-технологических и геофизических данных является актуальной как в научном, так и в практическом плане.

Степень разработанности темы. Общая проблема повышения эффективности телекоммуникационных систем, при передаче информации по ограниченным по полосе каналам, является актуальной задачей и исследовалось рядом российских и зарубежных ученых, таких как Котельников В.А., Шеннон К., Найквист Г., Тихонова В.И., Коуэна Ф.Н., Гранта П.М., Харатишвили Н.Г., Гольденберга Л.М., Капеллини В, Хуанга Т.С., Скляр Б., Прокис Дж., Шахновича И.В.

Основными направлениями повышения эффективности систем передачи данных является экономное кодирование, использование методов сжатия исходной информации, коррекция формы импульса на приемной и передающей стороне и вторичного уплотнения сигналов.

В области передачи геолого-технологических и геофизических данных данная проблема решалась в работах В.М. Коровина, Е.М. Митюшин, Р.Т. Хамадинов, С.Н. Шматченко, Т. Н. Нестеровой, М.Г. Лугуманова, А.А. Иванова.

В данной работе, проблема передачи больших потоков данных решается путем совершенствования метода дифференциально-импульсной кодовой модуляции с предсказанием на основе использования прогнозирующего фильтра базирующегося на методе многомерной линейной экстраполяции. Цифровой фильтр, осуществляет дифференциально-импульсное кодирование, позволяющее без потери информации сжать первичный поток данных. Разработана методология синтеза цифровых прогнозирующих фильтров, позволяющих повысить информационную емкость радиоканала передачи геолого-технологической и геофизической информации. В работе решается задача построения дифференциально-импульсного кодового модулятора, предназначенного для повышения эффективности функционирования радиосети передачи данных стандарта IEEE 802.15.4 ZigBee, который является наиболее перспективной системой при построении беспроводных корпоративных персональных сетей.

Объект исследования являются телекоммуникационные системы для передачи геолого-технологических и геофизических данных.

Предмет исследования. Дифференциально-импульсная кодовая модуляция с предсказанием сигнала для передачи геолого-технологических и геофизических данных.

Цель работы. Разработка методов и средств повышения эффективности телекоммуникационных систем для передачи геолого-технологических и геофизических данных.

Задачи исследования. Для достижения поставленной цели в работе необходимо решить следующие задачи:

1. Разработать метод предсказания значений сигнала в потоке данных по предшествующим значениям, позволяющий прогнозировать значения сигналов в условиях нестационарности исходного потока данных.
2. Разработать метод дифференциально-импульсной кодовой модуляции, позволяющий повысить информационную емкость канала передачи данных за счет избыточности.
3. Разработать алгоритм кодирования для использования в передаче данных по радиоканалам в стандарте IEEE 805.15.4 ZigBee.
4. Разработать структуру дифференциально-импульсного кодового модулятора, позволяющую синтезировать кодирующие устройства, адаптируемые к нестационарным условиям.
5. Разработать структуру телекоммуникационной системы передачи данных при проведении геолого-технологических и геофизических исследований.

Методы исследований. В работе использованы основные положения теории передачи, цифровой фильтрации и модуляции сигналов, случайных процессов, применены методы математического моделирования, в том числе компьютерного.

Основные научные положения, выносимые на защиту:

1. Метод предсказания значений сигнала в потоке данных по предшествующим значениям, основанный на многомерной линейной экстраполяции, позволяющий прогнозировать значения сигналов в условиях нестационарности исходного потока данных.
2. Метод дифференциально-импульсной кодовой модуляции на основе прогнозирующего МЛЭ фильтра, позволяющий снизить информационную избыточность.
3. Алгоритм кодирования на основе дифференциально-импульсного кодового модулятора для использования в передаче данных по радиоканалам в стандарте IEEE 805.15.4 ZigBee.
4. Структура многоотводного дифференциально-импульсного кодового модулятора, позволяющая синтезировать кодирующие устройства, адаптируемые к нестационарным условиям.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Разработан метод предсказания значений сигнала в потоке данных по предшествующим значениям, отличающийся тем, что из исходного одномерного сигнала формируется многомерная композиция, к которой применяется эвристический метод многомерной линейной экстраполяции.
2. Разработан метод дифференциально-импульсной кодовой модуляции на основе прогнозирующего МЛЭ фильтра, отличающийся тем, что не требует определения корреляционных характеристик сигнала и позволяет снизить информационную избыточность за счет экстраполяции.
3. Разработан алгоритм дифференциально-импульсного кодирования, основанный на использовании многомерной линейной экстраполяции, отличающийся тем, что коэффициенты прогнозирующего фильтра зависят от входного сигнала таким образом, что ошибка экстраполяции не уменьшается.
4. Разработана структура многоотводного дифференциально-импульсного кодового модулятора, на основе метода многомерной линейной экстраполяции, отличающегося тем, что позволяет адаптироваться к нестационарным сигналам.

Обоснованность и достоверность результатов диссертации

Обоснованность результатов, полученных в диссертационной работе, базируется на использовании апробированных научных положений и методов исследования, согласованности результатов с известными теоретическими положениями. Достоверность полученных результатов и выводов подтверждается результатами проведенных численных и измерительных экспериментов.

Практическая значимость результатов. Практическая значимость полученных результатов заключается в повышении эффективности телекоммуникационной системы для передачи геолого-технологических и геофизических данных, с использованием ДИКМ с адаптивным прогнозирующим фильтром на основе многомерной линейной экстраполяции.

Основные результаты работы внедрены при проектировании тестовой системы на Ванкорском месторождении (Красноярский край, Туруханский район) при проведении ГТИ и ГИС на скважинах №№ 612, 611 куст 111 и в учебном процессе Уфимского государственного авиационного технического университета при проведении практических и лабораторных занятий по дисциплине «Математические основы цифровой обработки сигналов» и «Основы построения телекоммуникационных систем».

Апробация работы. Основные результаты работы обсуждались на VI Международной научно-технической конференции «Проблемы техники и технологии телекоммуникаций», г. Уфа, 2005 г., на V Молодежной научно-практической конференции «Промысловая геофизика: Проблемы и перспективы», г. Уфа, 2011 г.; на II Международной заочной научно-технической конференции «Информационные технологии. Радиоэлектроника. Телекоммуникации (ITRT-2012)», г. Тольятти, 2012 г.; на 17-ой Международной научно-технической конференции «Проблемы передачи и обработки информации в сетях и системах телекоммуникаций», г. Рязань, 2012 г.

Публикации. Результаты диссертационной работы отражены в 10 публикациях, в 3 научных статьях в периодических изданиях из списка ВАК, в 7 материалах международных и российских конференций.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и библиографического списка, и изложена на 116 страницах машинописного текста. Библиографический список включает 92 наименования литературы.

СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность темы исследований, сформулирована цель работы и решаемые в ней задачи, научная новизна и практическая ценность выносимых на защиту результатов.

В первой главе представлен анализ особенностей функционирования систем при передаче геолого-технологических (ГТИ), геофизических (ГИС) и данных видеонаблюдения. При передаче геолого-технологической информации с буровых кустов периодически возникает необходимость включения в поток данных не только данные нескольких десятков датчиков, но и видеоинформации, а также геолого-геофизические каротажные данные, поэтому возникают трудности, связанные с ограниченной пропускной способности канала передачи и большой информационной емкостью исходных данных, это позволяет сделать вывод о том, что необходимо совершенствовать методы анализа, фильтрации и передачи данных ГТИ,

ГИС и данных видеонаблюдения, получаемых с помощью специального регистратора, для передачи по радиоканалам.

Проведено изучение и анализ исходной передаваемой информации, технических особенностей передачи данных ГТИ, ГИС и видеотрафика. Исследования ГТИ являются составной частью геофизических исследований бурящихся скважин и предназначены для осуществления контроля процессов, происходящих в скважине, на всех этапах ее строительства. Техническое обеспечение геолого-технологических исследований состоит из оборудования, размещенного непосредственно на буровой установке и регистрирующей аппаратуры, находящейся в станции ГТИ.

Проведен анализ оптимальных и квазиоптимальных методов оценки сигналов, на основе различных фильтров. Рассмотрены оптимальные фильтры минимизирующие условное математическое ожидание случайной величины и оптимальные линейные фильтры Колмогорова-Винера по критерию минимума СКО.

Представлен анализ технологий передачи данных ГТИ и ГИС. Проводится анализ беспроводных сетей и предлагается для передачи данных использовать стандарт IEEE 805.15.4 ZigBee, в котором в зависимости от частоты (0,868-2,4 ГГц), на частоте 2,4 ГГц по 16-ти каналам с шагом 5 МГц между каналами (разрешено для использования во всех странах мира), максимальная скорость составляет 20-250 Кбит/с при использовании квадратурной офсетной фазовой модуляции(O_QPSK).

Протокол ZigBee изначально разрабатывался для для решения широкого круга прикладных задач, связанных с распределенным сбором, анализом и передачей информации: мониторинг технологического процесса, сбор информации со множества датчиков; мониторинг температуры, расхода воздуха, присутствия людей и управление оборудованием для поддержания микроклимата; управление освещением; управление энерго-снабжением; сбор показаний квартирных счетчиков газа, воды, электроэнергии; пожарная сигнализация; мониторинг состояния несущих конструкций зданий и сооружений.

Среди свойств ZigBee следует особо выделить поддержку сложных топологий сетей. Именно за счёт этого, при относительно малой максимальной дальности связи двух близлежащих устройств, возможно достижение большей зоны покрытия сети в целом. Также этому способствует 16-ти битная адресация, позволяющая объединять в одну сеть более 65 тысяч устройств.

Основными особенностями данной сети является самоорганизация и адаптивность к изменениям в условиях эксплуатации. Это свойство основано на том, что каждый узел следит за своими соседями, постоянно обновляя маршрутные таблицы на основе оценки мощности принятых от них сигналов. В результате, при изменении пространственного расположения соседей или выходе из сети одного из устройств, вычисляется новый маршрут следования сообщения. Это преимущество является исключительно

важным в сетях, функционирующих на промышленных объектах в жестких условиях эксплуатации при наличии промышленных помех, а также в тех случаях, когда часть узлов находится на движущихся устройствах, например, станциях геолого-технологических исследований (ГТИ) и геофизических исследований (ГИС).

Вторая глава посвящена разработке метода синтеза авторегрессионных фильтров для повышения эффективности телекоммуникационных систем передачи геолого-технологической информации по радиоканалам стандарта IEEE 805.15.4 ZigBee.

Приведены теоретические основы дифференциально-импульсной кодовой модуляции (ДИКМ). Рассматривается одноотводный и N-отводный модулятор с предсказанием. Рассмотрена методология многомерной линейной экстраполяции. В качестве математической основы для разработки метода дифференциально-импульсной кодовой модуляции был выбран метод многомерной линейной экстраполяции (МЛЭ).

Метод МЛЭ позволяет решить широкий круг задач проектирования и оперативного управления и по своей эвристической математической сути и универсальности находится в одном ранге с такими математическими парадигмами, как метод сплайнов, метод группового учета аргумента, нейронные сети. По простоте реализации, возможности использования в адаптивных системах и высокой эффективности в ряде случаев МЛЭ занимает более высокие позиции.

Суть МЛЭ состоит в следующем. Пусть имеется некоторая система, преобразующая вектора входных данных $\vec{X}_i$ в выходные $\vec{Y}_i$. При этом число наблюдений за системой k мало и недостаточно для априорного построения линейной модели:

$$\vec{Y} = L(\vec{X}), \quad (1)$$

$$\text{т.е. } k < n + 1, \quad (2)$$

где n - размерность вектора $\vec{X}_i$.

В условиях информационной недостаточности, можно построить линейную модель системы на векторных подпространствах $\{\vec{X}_i\}$ и $\{\vec{Y}_i\}$, образованных совокупностью наблюдений за системой

$$\{\vec{X}_i; \vec{Y}_i\}, i = \overline{1, k} \quad (3)$$

Подпространства $\{\vec{X}_i\}$ и $\{\vec{Y}_i\}$ являются гиперплоскостями в пространствах $\{\vec{X}_i\}$ и $\{\vec{Y}_i\}$, образованных совокупностью наблюдений (3):

$$\{\vec{X}_i\} = \vec{X}_1 + \sum_{i=1}^{k-1} \lambda_i (\vec{X}_{i+1} - \vec{X}_i), \quad (4)$$

$$\{\vec{Y}_i\} = \vec{Y}_1 + \sum_{i=1}^{k-1} \mu_i (\vec{Y}_{i+1} - \vec{Y}_i). \quad (5)$$

Рассматривается метод повышения точности прогнозирующих фильтров на основе многомерной линейной экстраполяции. В основе исходного алгоритма МЛЭ положено предположение о том, что пространство наблюдений сигнала, на котором происходит обучение системы фиксировано (неподвижно).

В этом случае задача ставится как задача минимизации расстояния в Евклидовой метрике между обучающим подпространством $\{X\}$, построенным на векторах $\vec{X}_1, \vec{X}_2$ и вектором новой ситуации $\vec{X}_3$ по параметру λ . Для повышения точности линейной экстраполяции можно использовать идею подвижных пространственных ситуаций (оболочек), заключающаяся в том, чтобы сдвинуть или повернуть подпространство $\{X\}$ таким образом, чтобы сблизить подпространство с вектором $\vec{X}'$. Этого можно достигнуть двояким образом.

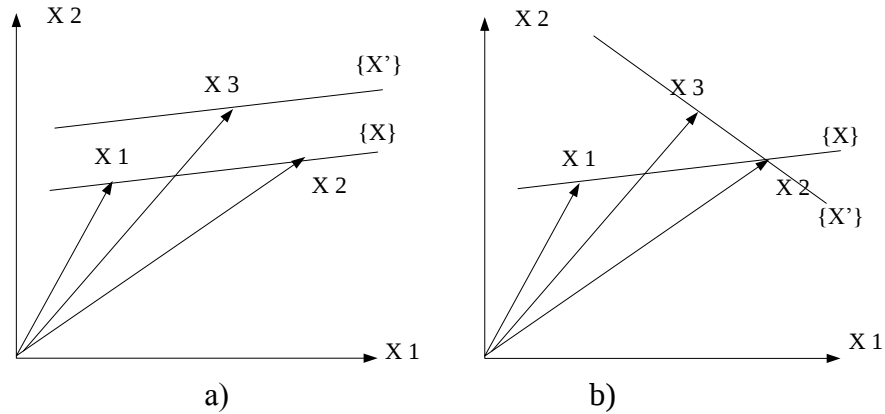


Рисунок 1 – а) Метод сдвига подпространств ситуаций, б) метод поворота подпространств ситуаций

В частности, если произвести сдвиг подпространства $\{X\}$, то в результате векторы $\vec{X}_1, \vec{X}_2$ преобразуются в вектора $p\vec{X}_1, p\vec{X}_2$ (рисунок 1), где p – параметр сдвига (масштабный множитель). Тогда подпространство обучающих ситуаций можно записать в виде

$$\{X'\} = pX_1 + \lambda(pX_2 - pX_1) = p[X_1 + \lambda(X_2 - X_1)]$$

В сдвинутом пространстве расстояние между подпространством $\{X'\}$ и вектором $\vec{X}'$ будет иметь вид:

$$\rho\{X' - \vec{X}'\} = \{p[X_1 + \lambda(X_2 - X_1)] - \vec{X}'\}^2 \quad (6)$$

Тогда прогнозируемое значение определится из выражения

$$\vec{Y}' = p(\vec{Y}_1 + \sum_{i=1}^{k-1} \lambda_i (\vec{Y}_{i+1} - \vec{Y}_1)) \quad (7)$$

Если использовать метод поворота пространства обучающих ситуаций (рисунок 2), то повернутое подпространство определится выражением

$$\{X'\} = pX_1 + \lambda(X_2 - pX_1) \quad (8)$$

В результате прогнозирование будет осуществляться по формуле

$$\vec{Y}' = p\vec{Y}_1 + \sum_{i=1}^{k-1} \lambda_i (\vec{Y}_{i+1} - p\vec{Y}_1) \quad (9)$$

Разрабатывается метод предсказания значений сигнала в потоке данных по предшествующим значениям, основанный на многомерной линейной экстраполяции. Для адаптации метода МЛЭ к построению авторегрессионной модели данных рассмотрим произвольные совокупности $\{S_i\}$ выборки сигнала, состоящие из $m+1$ элементов и образуем из них две совокупности векторов: одномерных векторов (скаляров) $\{S_i\}$ и m -мерных векторов $\{S_{i-1}, S_{i-2}, \dots, S_{i-k}\}$. Первую совокупность отнесем к пространству $\{\vec{Y}\}$, вторую к пространству $\{\vec{X}\}$. Для упрощения рассмотрим ситуацию для совокупности наблюдений (3) при $k=2$, т.е. будем считать, что нам известны две выборки сигнала $\{S_{i-1}^{(1)}, S_{i-2}^{(1)}, \dots, S_{i-m+1}^{(1)}\}$ и $\{S_{j-1}^{(2)}, S_{j-2}^{(2)}, \dots, S_{j-m+1}^{(2)}\}$, где $i \neq j$ - произвольные числа, такие что $i \neq j$.

Образуем из этих выборок векторные пространства так, что:

$$\vec{Y}_1 \equiv \{S_{i-1}^{(1)}\} \equiv \{\hat{S}_1\}, \quad (10)$$

$$\vec{Y}_2 \equiv \{S_{j-1}^{(2)}\} \equiv \{\hat{S}_2\}, \quad (11)$$

$$\vec{X}_1 \equiv \{S_{i-2}^{(1)}, S_{i-3}^{(1)}, \dots, S_{i-m+1}^{(1)}\}, \quad (12)$$

$$\vec{X}_2 \equiv \{S_{j-2}^{(2)}, S_{j-3}^{(2)}, \dots, S_{j-m+1}^{(2)}\}. \quad (13)$$

Тогда в соответствии с (10) и (11) подпространства $\{\vec{X}'\}$ и $\{\vec{Y}'\}$ определяются соотношениями:

$$\{\vec{X}'\} = \vec{X}_1 + \lambda(\vec{X}_2 - \vec{X}_1), \quad (14)$$

$$\{\vec{Y}'\} = \vec{Y}_1 + \lambda(\vec{Y}_2 - \vec{Y}_1). \quad (15)$$

В качестве расстояния (13) примем Евклидово расстояние:

$$\rho = \rho(\vec{X}, \vec{X}') = |\vec{X} - \vec{X}'|^2. \quad (16)$$

В этом случае на основании обучающих выборок (10-13) оценка $\hat{S}_3$ произвольного значения сигнала авторегрессионной модели будет осуществляться по правилу:

$$\hat{S}_3 = \hat{S}_1 + \lambda(\hat{S}_2 - \hat{S}_1), \quad (17)$$

где в соответствие с (10) и (11):

$$\hat{S}_1 = S_{i-1}^{(1)}, \quad (18)$$

$$\hat{S}_2 = S_{j-1}^{(2)}. \quad (19)$$

Параметр λ определяется на основе минимизации расстояния $\rho = \left| \vec{X}' - \hat{S}_3 \right|^2 \rightarrow \min$, что соответствует решению уравнения:

$$\frac{d\rho}{d\lambda} = 0. \quad (20)$$

Уравнение (20) в соответствии с выражениями (10), (11), (16) -(19) вырождается в простое линейное уравнение.

Пусть координатное представление обучающих векторов имеют вид

$$\begin{aligned} \vec{S}_1 &= \{S_i^{(1)}\} i=1, 2, \dots, n \\ \vec{S}_2 &= \{S_i^{(2)}\} i=1, 2, \dots, n \end{aligned} \quad (21)$$

где $\{S_i^{(1)}\}, \{S_i^{(2)}\}$ выборки сигнала из n элементов.

Будем оценивать значения сигнала $S_{n+1}^{(1)}$ и $S_{n+1}^{(2)}$ с помощью метода МЛЭ, считая, что эти значения являются точными оценками, т.е.

$$S_1 = S_{n+1}^{(1)}, \quad (22)$$

$$S_2 = S_{n+1}^{(2)}. \quad (23)$$

Введем вектор $\vec{S}_3 = \{S_i^{(3)}\} i=1, 2, \dots, n$ и будем оценивать значение $S_{n+1}^{(3)}$ приняв в качестве обучающих векторов $\vec{S}_1, \vec{S}_2$. Обозначив $S_3 \equiv S_{n+1}^{(3)}$, в соответствии с методом МЛЭ найдем:

$$S_3 = S_{n+1}^{(1)} + \lambda(S_{n+1}^{(2)} - S_{n+1}^{(1)}), \quad (24)$$

где в соответствии с (20) определяется из решения уравнения

$$\frac{d}{d\lambda} \left(\sum_{i=1}^n S_i^{(1)} + \lambda(S_i^{(2)} - S_i^{(1)}) \right) = 0, \quad (25)$$

или

$$\sum_{i=1}^n \{((S_i^{(1)} + \lambda(S_i^{(2)} - S_i^{(3)})) - S_i^{(3)}) * (S_i^{(2)} - S_i^{(1)})\} = 0, \quad (24)$$

Решение уравнения имеет вид:

$$\lambda = \frac{\sum_{i=1}^N (S_i^{(3)} - S_i^{(1)}) \cdot (S_i^{(2)} - S_i^{(1)})}{\sum_{i=1}^N (S_i^{(2)} - S_i^{(1)})^2}. \quad (27)$$

В третьей главе приводится разработанная структура многоотводного дифференциально-импульсного кодового модулятора, адаптируемого к нестационарным условиям (рисунок 2) и описывается принцип ее работы.

Поступающие на модулятор данные $S(m)$ с помощью $n+2$ линий задержки, где n -число компонент сигнала, из которых формируются вектора $\vec{S}_1, \vec{S}_2, \vec{S}_3$, передаются:

1. В блок вычисления λ -коэффициентов, которые являются коэффициентами усиления МЛЭ фильтра;
2. В блок вычисления среднеквадратической ошибки Δ по обучающей выборке, представляемо векторами $\vec{S}_1, \vec{S}_2$;
3. На операционные усилители, с переменными коэффициентами усиления, формируемыми в блоке вычисления λ -коэффициентов.

С операционных усилителей сигналы поступают на МЛЭ фильтр, на выходе которого формируется оптимальная оценка, на основе операции $S_3 = S_{n+1}^{(1)} + \lambda(S_{n+1}^{(2)} - S_{n+1}^{(1)})$. На выходном сумматоре формируется выходной разностный сигнал, который передается в канал связи. На блок управления подается два сигнала:

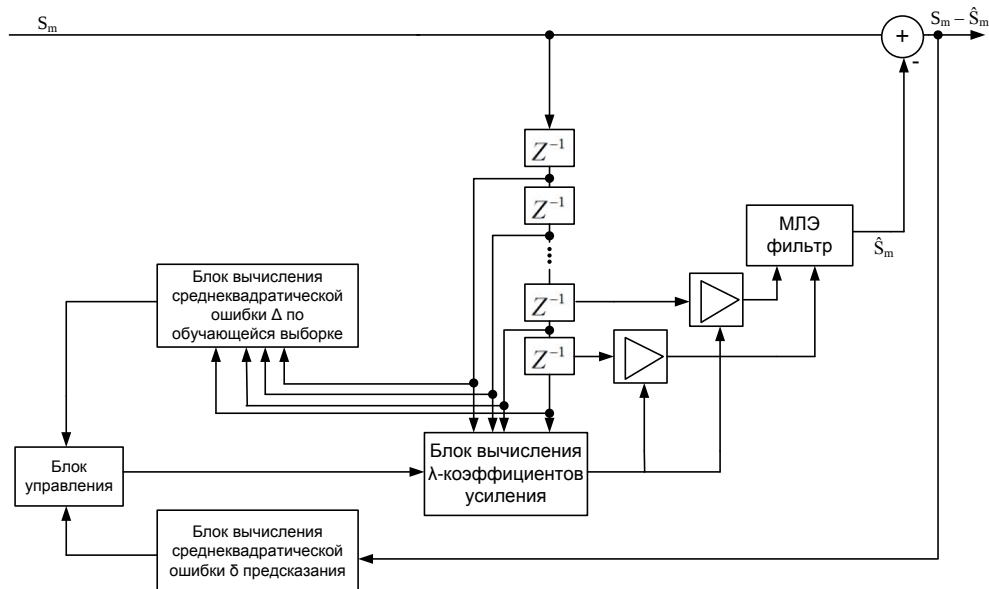


Рисунок 2 – Многоотводный дифференциально-импульсный кодовый модулятор

1. Среднеквадратическая ошибка $\Delta = \sqrt{(S_3(n) - S(n))^2}$ вычисляемая по обучающей выборке $\vec{S}_1, \vec{S}_2$;
2. Среднеквадратическая ошибка прогнозирования формируемая за цикл длины p , определяющей длину сигнала в течении которого он

$$\text{является стационарным } \delta_{cp} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^p (S_3(i) - S(i))^2}{p}}.$$

В блоке управления происходит сравнение δ_{cp}^2 и Δ^2 . Если выполняется условие $\delta_{cp}^2 \leq \Delta^2$, то считается, что процесс стационарен и следующий

цикл вычисления разностного сигнала осуществляется с теми же коэффициентами усиления λ , что и в предыдущем цикле, в противном случае процесс считается нестационарным и происходит перевычисление коэффициентов усиления по новой выборке.

Таким образом происходит адаптация модулятора в процессе работы с нестационарными сигналами.

Разрабатывается алгоритм кодирования фильтра (рисунок 3), адаптируемого к нестационарным условиям. Приводится описание работы. На вход поступают данные датчиков ГТИ, ГИС и видеоданных, описываемы в общем случае следующим видом $X[1]...X[N]$. Далее Формируется выборки из $k+n$ элементов входного потока геофизических данных, где k -число обучающих векторов, n -размерность обучающих векторов. Далее вычисляются прогнозирующие коэффициенты авторегрессионного фильтра, которые поступают на прогнозирующий фильтр, после вычисляются разности сигнала и определяется среднеквадратическая ошибка Δ^2 по обучающей выборке. На следующем этапе происходит выборка из входного массива $k+n+1$ элементов и происходит предсказание до $k+n+p$.

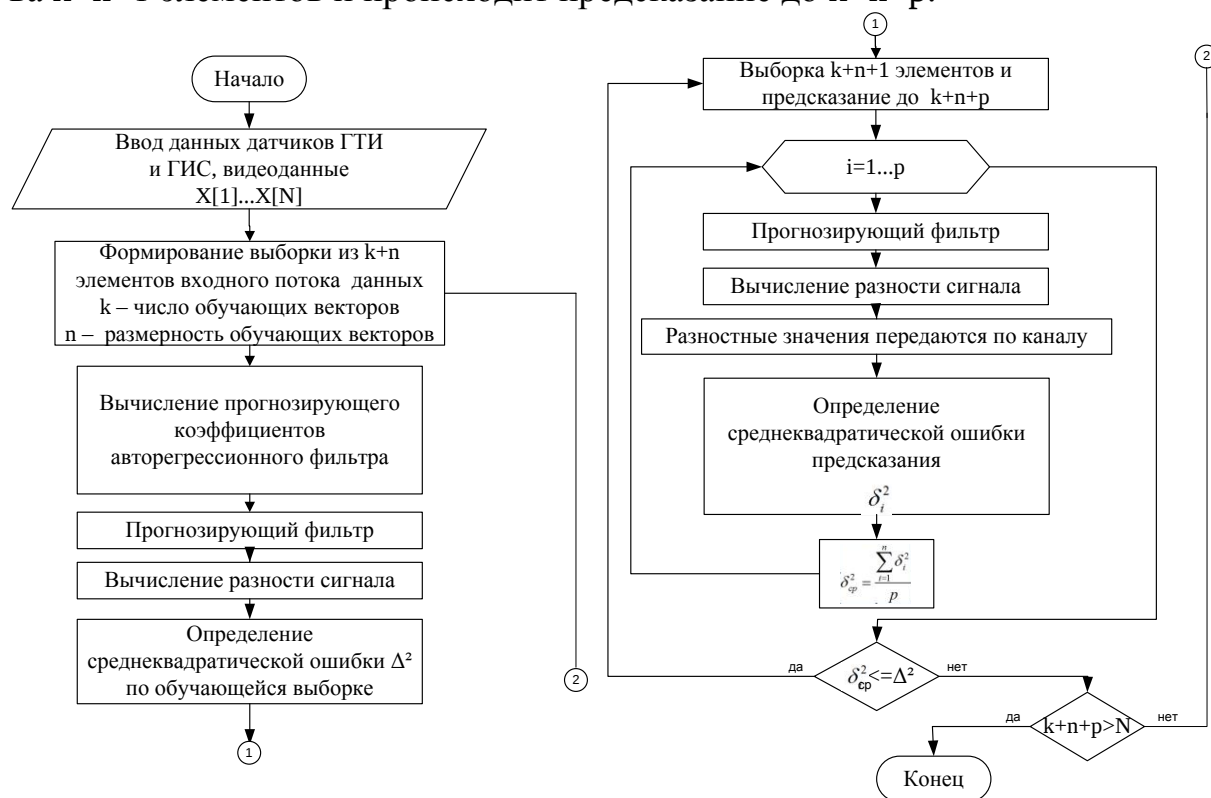


Рисунок 3 – Алгоритм кодирования фильтра, адаптируемого к нестационарным условиям

На следующем этапе работы цикл осуществляет вычисление разности сигнала после прогнозирующего фильтра и определяет среднюю среднеквадратическую ошибку δ^2 до тех пор, пока цикл не пройдет значения от $i=1...p$. Как только условие цикла выполнится, происходит сравнение ошибок Δ^2 и δ^2 . Если условие выполняется $\delta^2 \leq \Delta^2$, то происходит даль-

нейшая выборка элементов $k+n+1$ и предсказание до $k+n+p$, происходит повторение работы цикла. Если условие не выполняется, то алгоритм проверяет условие $k+n+p > N$, где N – длина передаваемых данных. Если условие выполняется то происходит выход из алгоритма, передача данных оканчивается, если условие не выполняется то происходит формирование новой выборки из $k+n$ элементов и алгоритм начинает работу заново.

На основе разработанного имитационного комплекса (рисунок 4) были проведены вычислительные эксперименты по исследованию эффективности модулятора на основе МЛЭ предсказания.

Также проведены вычислительные эксперименты (рисунок 5) по использованию разработанного модулятора в системах передачи ГТИ и установлено, что использование модулятора на основе МЛЭ позволяет в 1,5-3 раза повысить информационную емкость канала передачи данных без потери информации за счет избыточности геолого-технологических данных различного типа, включая видеоинформацию.

Результаты экспериментов подтверждают возможность практического применения разработанных методов и улучшение показателей пропускной способности, а также адаптации фильтра к нестационарным условиям и снижения информационной избыточности данных в 1,5-2,5 раза за счет повышения точности прогнозирования по сравнению с существующим методом ДИКМ.

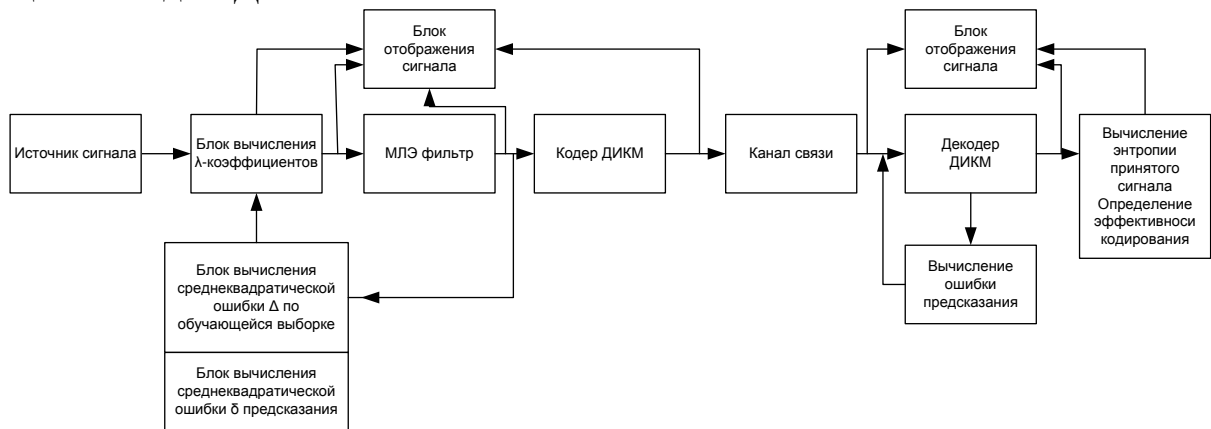


Рисунок 4 – Функциональная схема имитационного комплекса

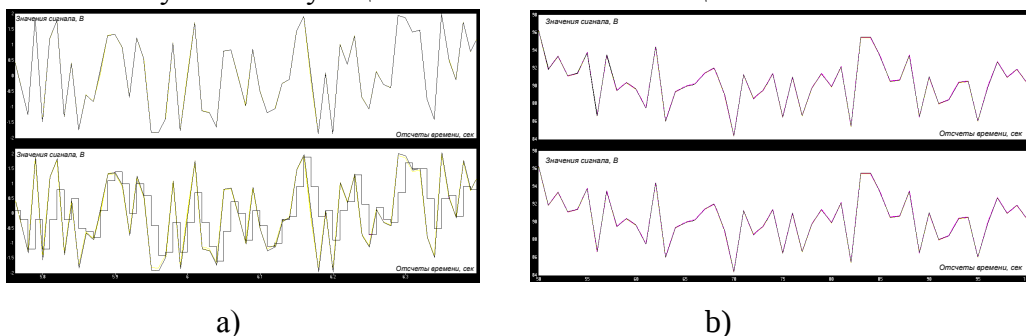


Рисунок 5 – а) Сигнал датчика восстановлен классическим кодом, б) Сигнал датчика восстановлен на основе МЛЭ фильтра

Эффективность предсказания определяется величиной энтропии, приходящейся на информационный символ. Приведены результаты вычислительных экспериментов.

Сигнал датчика ГТИ (рисунок 5), температура на входе, прибор Тим 11.05.12 ВН 162СВ куст 108 восстановлен классическим кодом, дисперсия - 12,4, энтропия (бит/символ) - 3,7; сигнал датчика восстановлен на основе МЛЭ фильтра дисперсия - 7,1, энтропия (бит/символ) - 1,48.

Четвертая глава посвящена практическому внедрению разработанных методов и алгоритмов передачи и обработки геолого-технологической информации и геофизических данных.

Бурение на нефть и газ происходят все в более отдаленных, мало населенных или вообще не населенных районах. Естественно инфраструктура, в том числе и телекоммуникационная, в таких районах отсутствует. А необходимость в оперативной передаче геофизических и геолого-технологических данных, наоборот, с каждым годом растет. Бурение одной скважины может обходиться Заказчику до 300 миллионов рублей. Поэтому Заказчик-недропользователь требует получения данных ГИС И ГТИ в кратчайшие сроки, а зачастую и в режиме on-line. Данные требования диктуют необходимость использования беспроводных сетей связи для передачи данных в офис Заказчика.

Рассмотрены возможности передачи данных от буровой скважины к заказчику с помощью спутниковых каналов связи. В ОАО «Башнефтегеофизика» мобильные средства связи для передачи геофизических данных используются с 2001 года при организации канала передачи данных между экспедицией и центром мониторинга технического процесса бурения и обработки информации в г. Уфе. Длительное время одним из сдерживающих факторов внедрения систем мобильной связи являлось отсутствие надежного быстродействующего канала связи между скважинами и сетью, объединяющей заказчиков и подрядчиков. Системы спутниковой связи, такие как Inmarsat M4, Inmarsat BGAN, VSAT позволили решить эту задачу несмотря на относительно высокую стоимость оборудования и затрат на обслуживание (абонентская плата, трафик).

Приведены основные технические и экономические особенности систем передачи, которые используются в ОАО «Башнефтегеофизика» г. Уфа - центр мониторинга технического процесса бурения и обработки информации. Анализ преимуществ и недостатков данных видов связи, позволил оптимальным образом использовать тот или иной вид связи, в зависимости от местоположения буровых и типа передаваемых данных. Для организации спутниковой системы передачи данных с буровой при проведении ГТИ с технической и экономической точки зрения, целесообразно использовать спутниковый терминал стандарта VSAT. При проведении ГИС на скважине оптимально использование мобильных спутниковых терминалов (BGAN или M4) или сотовых сетей передачи данных, если работы проводятся в зоне доступа.

Приведены технические особенности реализации данной структуры на основе стандарта IEEE 802.15.4 ZigBee и спутниковых терминалов передачи данных, объединяющую все датчики ГТИ, табло бурильщика, станцию ГТИ, станцию ГИС и систему видеомониторинга.

Приведены параметры повышения эффективности телекоммуникационной системы для передачи геолого-технологических и геофизических данных, с использованием ДИКМ с адаптивным прогнозирующим фильтром на основе многомерной линейной экстраполяции, позволяет повысить информационную емкость канала передачи данных ГТИ и ГИС в 1,7 раз.

Предлагается структура корпоративной телекоммуникационной системы передачи данных при проведении геолого-технологических и геофизических исследований (рисунок 6).

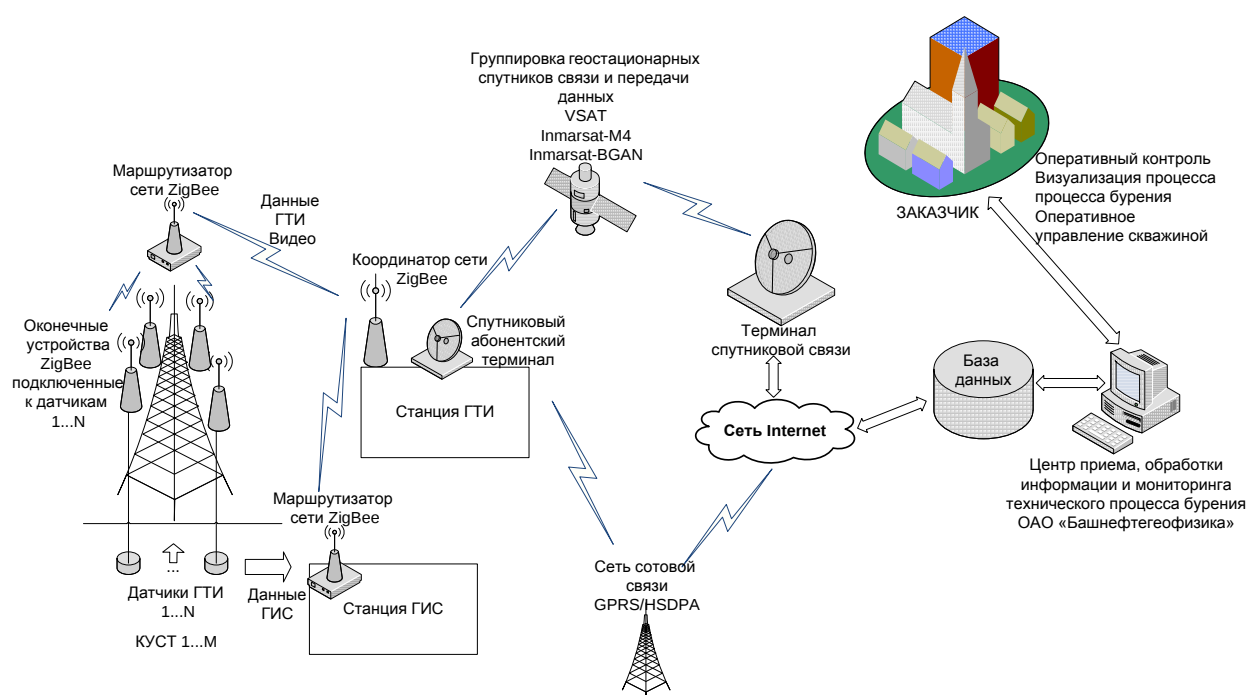


Рисунок 6 – Корпоративная телекоммуникационная система сбора, обработки и передачи информации данных ГТИ и ГИС

В заключении изложены основные научные результаты, полученные в диссертационной работе в ходе исследования.

В приложении представлены акты внедрения результатов диссертационной работы в опытной эксплуатации ОАО «Башнефтегеофизика» и в учебном процессе ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет».

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Разработан метод предсказания значений сигнала в потоке данных по предшествующим значениям, отличающийся тем, что из исходного одномерного сигнала формируется совокупность многомерных век-

торов и используется метод многомерной линейной экстраполяции, вычислительная сложность которого достаточна для оперативной реализации в стандарте IEEE 802.15.4 ZigBee.

2. Разработан метод дифференциально-импульсной кодовой модуляции на основе многомерного линейного экстраполирующего прогнозирующего фильтра, отличающийся тем, что не требует определения корреляционных характеристик сигнала и позволяет снизить информационную избыточность за счет экстраполяции в 1,5-2,5 раза.

3. Разработан алгоритм дифференциально-импульсного кодирования, основанный на использовании многомерной линейной экстраполяции, отличающийся тем, что коэффициенты прогнозирующего фильтра зависят от входного сигнала таким образом, что ошибка экстраполяции не уменьшается, что позволяет адаптироваться к нестационарным условиям.

4. Разработана структура многоотводного дифференциально-импульсного кодового модулятора, на основе метода многомерной линейной экстраполяции, отличающегося тем, что позволяет адаптироваться к нестационарным сигналам и повысить информационную емкость канала передачи данных в 1,5-2,5 раза по сравнению с использованием классической схемы ДИКМ.

5. Разработана структура телекоммуникационной системы передачи данных при проведении геолого-технологических и геофизических исследований, позволяющая повысить информационную емкость канала передачи данных ГТИ и ГИС в 1,7 раз при проектировании тестовой системы на Ванкорском месторождении (Красноярский край, Туруханский район), на основе разработанных методов и алгоритмов.

Перспективы дальнейшей разработки темы. В рамках дальнейших исследований возможность увеличения шага предсказания и уменьшения ошибки предсказания за счет совершенствования метода прогнозирования на основе модификации метода МЛЭ и его комплексирования с другими методами предсказания.

Также предполагается для повышения эффективности использования сетей ZigBee разработать методы и алгоритмы синтеза оптимальных формирующих фильтров для минимизации межсимвольных искажений.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В рецензируемых журналах из списка ВАК:

1. Анализ космической и сотовых каналов связи для применения в промысловой геофизике / Н.А. Тарасов, А.Р. Исламов, В.М. Коровин, С.Н. Шматченко // Научно-технический вестник "Каротажник", выпуск 2 (212), г. Тверь, 2012 г. – С. 20-26.

2. Структура телекоммуникационной системы передачи данных при проведении геолого-технологических и геофизических исследований / В.М. Коровин, Н.А. Тарасов, И.К. Мешков // Научно-технический вестник "Каротажник", выпуск 7-8 (217-218), г. Тверь, 2012 г. – С. 116-126.

3. Метод синтеза авторегрессионных фильтров для повышения эффективности телекоммуникационных систем передачи геолого-технологической информации по радиоканалам / В.М. Коровин, А.Х. Султанов, В.Х. Багманов, Н.А. Тарасов // Научно-технический вестник "Каротажник", выпуск 7-8 (217-218), г. Тверь, 2012 г. – С. 259-265.

В других изданиях

4. Система видеомониторинга работы буровой станции / Н.А. Тарасов, С.П. Мальков // Проблемы техники и технологии телекоммуникаций: Материалы VI Международной научно-технической конференции – Уфа, УГАТУ, 2005 г. – С. 51-52.

5. Виды и средства передачи данных с буровой / В.М. Коровин, Н.А. Тарасов // Проблемы геологии, геофизики, бурения и добычи нефти. Экономика и управление: Сборник статей аспирантов и молодых специалистов, Выпуск 6. – Уфа, ОАО «НПФ «Геофизика», 2009 г. – С. 17-20.

6. Специальный регистратор технологии бурения скважин с функцией видеофиксации – СРТБС «Черный ящик» / В.М. Коровин, Н.А. Тарасов // Проблемы геологии, геофизики, бурения и добычи нефти. Экономика и управление: Сборник статей аспирантов и молодых специалистов, Выпуск 6. – Уфа, ОАО «НПФ «Геофизика», 2009 г. – С. 21-23.

7. Техничко-экономический анализ космической и сотовых каналов связи для применения в промысловой геофизике / Н.А. Тарасов, В.М. Коровин, С.Н. Шматченко // Промысловая геофизика в XXI веке: Материалы Первой молодежной научно-практической конференции. – Уфа, ОАО «Башнефтегеофизика», 2009 г. – С. 81-85.

8. Специальный регистратор данных / Н.А. Тарасов // Промысловая геофизика: Проблемы и перспективы: Материалы Пятой молодежной научно-практической конференции, Выпуск 5, – Уфа, ОАО «Башнефтегеофизика», 2011 г. – С. 101-103.

9. Цифровой фильтр для передачи геолого-технологической информации по радиоканалам / Багманов В.Х., Султанов А.Х., Коровин В.М., Тарасов Н.А. // Информационные технологии. Радиоэлектроника. Телекоммуникации (ITRT-2012): Материалы II Международной заочной научно-технической конференции. – Тольятти, ПВГУС, 2012 г. – С. 285-290.

10. Самоорганизующаяся телекоммуникационная система сбора данных при проведении геолого-технологических и геофизических исследований скважин / Тарасов Н.А. // Проблемы передачи и обработки информации в сетях и системах телекоммуникаций: Материалы 17-ой Международной научно-технической конференции. – Рязань, РГРТУ, 2012 г. стр. 285-290.

Диссертант



Н.А. Тарасов

ТАРАСОВ Никита Алексеевич

Методы и средства повышения эффективности
телекоммуникационных систем для передачи
геолого-технологических и геофизических
данных

Специальность 05.12.13 –
Системы, сети и устройства телекоммуникаций

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать 16.04.2013. Формат 60×84 1/16.
Бумага офисная. Печать плоская. Гарнитура Таймс.
Усл.печ.л. 1,0. Усл. кр.-отт. 1,0. Уч.-изд.л. 0,9.
Тираж 100 экз. Заказ № 228

ООО «Издательство ЦДУМ»
450000, г. Уфа, ул. Тукаева, 50