

КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ КОНТРОЛЯ И УЧЕТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

DOI: 10.36724/2072-8735-2020-14-6-4-12

Любченко Александр Александрович,
Отраслевой центр разработки и внедрения
информационных систем (ОЦРВ), г. Сочи, Россия,
allyubchenko@gmail.com

Копытов Евгений Юрьевич,
Омский государственный университет путей сообщения
(ОмГУПС); Омский государственный университет путей
сообщения (ОмГУПС), г. Омск, Россия, jenya87@list.ru

Богданов Александр Александрович,
Омский государственный университет путей сообщения
(ОмГУПС), г. Омск, Россия, Alex-b0g@yandex.ru

Ключевые слова: АСКУЭ, концептуальная модель, GSM, модель Окамура-Хата, модель Эрланга-В

Достоверный учёт потребляемой электроэнергии является актуальной задачей в рамках повышения энергоэффективности как в промышленности, так и жилищно-коммунальном хозяйстве. Важным шагом в решении данной задачи является внедрение автоматизированных систем контроля и учета электроэнергии (АСКУЭ), позволяющих получить аналитическую информацию, необходимую для разработки и корректировки программ по энергосбережению. Развитие технологий передачи данных по сетям сотовой связи привело к широкому применению беспроводных каналов для организации информационного обмена в АСКУЭ. В качестве как основных, так и резервных каналов связи в данных системах могут использоваться технологии с коммутацией каналов GSM CSD и коммутацией пакетов GPRS. Выбор определенной технологии передачи данных в этом случае зависит от ряда технических или экономических факторов. Целью данной работы является построение концептуальной модели процесса передачи данных в автоматизированной системе контроля и учета электроэнергии с прямым подключением счетчиков по каналам GSM CSD и GPRS. Для моделирования физического уровня радиоканала сети сотовой связи выбрана модель распространения радиосигнала Окамура-Хата. Расчет вероятности блокировки вызова основан на модели Эрланга-В. В качестве счетчиков электроэнергии были выбраны модели МИР С-01 и СЭТ-4ТМ. Предложена концептуальная модель процесса передачи данных в системе АСКУЭ по каналам GSM CSD и GPRS, являющаяся основой для дальнейшей её математической формализации с целью моделирования информационного обмена между элементами АСКУЭ.

Информация об авторах:

Любченко Александр Александрович, к.т.н., старший специалист по анализу данных отраслевого центра разработки и внедрения информационных систем (ОЦРВ), г. Сочи, Россия

Копытов Евгений Юрьевич (ответственный автор), к.т.н., доцент каф. "Телекоммуникационные, радиотехнические системы и сети" Омского государственного университета путей сообщения (ОмГУПС); Доцент каф. "Средства связи и информационная безопасность" Омского государственного технического университета (ОмГТУ), г. Омск, Россия

Богданов Александр Александрович, Аспирант каф. "Автоматика и системы управления" Омского государственного университета путей сообщения (ОмГУПС), г. Омск, Россия

Для цитирования:

Любченко А.А., Копытов Е.Ю., Богданов А.А. Концептуальная модель процесса передачи данных в автоматизированных системах контроля и учета электроэнергии // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2020. Том 14. №6. С. 4-12.

For citation:

Lyubchenko A.A., Kopytov, E. Yu., Bogdanov A.A. (2020) Conceptual model of data transmission process in automated power accounting systems. T-Comm, vol. 14, no.6, pp. 4-12. (in Russian)

1. Введение

В настоящее время развитие информационных и сетевых технологий позволяет организовать автоматизированный обмен информацией между узлами сложных систем контроля и измерения, находящихся на большом расстоянии друг от друга. Примером являются распределенные автоматизированные системы контроля и учета электроэнергии (АСКУЭ), контролируемые объекты которых могут находиться на расстоянии в сотни километров от центра сбора данных. Для передачи информации в таких системах могут быть использованы каналы сотовой связи, ориентированные на передачу цифровых данных.

В данной работе АСКУЭ рассматривается как многоуровневая иерархическая информационно-измерительная система, выполняющая сбор, обработку и хранение результатов измерений значений контролируемых параметров в системе единого времени, а также диагностику технических и программных средств, входящих в состав системы.

Задача моделирования информационного обмена в автоматизированных системах сбора и обработки информации является актуальной задачей, так как на этапах разработки таких систем становится возможным проверка вариантов проектных решений без необходимости проведения дорогостоящих натурных испытаний. Практика применения теории и инструментов аналитического и имитационного моделирования показывает свою эффективность и востребованность при анализе процессов передачи данных в автоматизированных системах управления радиолокационными станциями [1], подвижным составом на железнодорожных станциях [2], технологическими процессами в сфере ЖКХ [3] и газотранспортного предприятия [4–6], а также в комплексах по контролю и учету электроэнергии [7] и мониторингу технологического оборудования в газовой отрасли [8].

В данной работе поставлена задача разработки концептуальной модели процесса передачи данных по каналам сети сотовой связи в АСКУЭ с прямым подключением счетчиков. Процесс информационного обмена между серверной частью и информационно-измерительными устройствами реализуется по беспроводным каналам сетей сотовой связи стандарта GSM, используя технологии с коммутацией каналов CSD и коммутацией пакетов GPRS. Выбор данных технологий обусловлен тем, что объекты контроля могут находиться в труднодоступных районах, где зачастую отсутствует радиосвязь более современных стандартов.

Моделирование радиointерфейса GSM CSD/GPRS реализуется на двух уровнях: физическом – распространение радиосигналов сети сотовой связи и канальном – обеспечение доступа к ресурсам радиоканала. Для выбора и обоснования применения моделей физического и канального уровней в рамках поставленной задачи был проведен анализ существующих решений, опубликованных в доступных источниках.

Полные характеристики распространения радиоволн можно получить, решая уравнения Максвелла, при определенных условиях, соответствующих физическим характеристикам объектов, создающих препятствия на пути распространения сигнала. Однако часто сложность и разнообразие условий функционирования радиоканалов затрудняет построение точной детерминированной модели.

В этих случаях широко используют эмпирические (статистические) модели. Данные модели предназначены для определения потерь на трассе для прогнозирования затухания в типичной рабочей среде, например, для городских и пригородных районов. Эти модели главным образом основаны на данных эмпирических измерений с учетом частотного диапазона и географического района.

В соответствии с рекомендациями МСЭ-R 1546-4 расчет затухания сигнала в дециметровом диапазоне волн следует выполнять с помощью модели Окамура-Хата. Сравнительный анализ статистических моделей беспроводных каналов связи, в том числе результатов эмпирических – модель Окамура [9], и их аналитической аппроксимации – модель Хата [10], приведен в работах [11–16]. Модель Окамура-Хата является наиболее распространенной для прогнозирования затухания сигнала в городских условиях, но при расстояниях между передающей и приемной антеннами более 1 км. При этом отмечается ее неприменимость для корректного расчета характеристик распространения радиосигнала в сетях стандарта LTE и 5G [12]. Однако, для более ранних стандартов сотовой связи данную модель вполне справедливо использовать. Поэтому статистическая модель Окамура-Хата и сегодня остается востребованной при анализе характеристик распространения радиосигнала в беспроводном канале. Так, в работе [17] авторы применяют данную модель для определения ослабления уровня поля в городах со специфической архитектурой зданий и зонах со сложным рельефом [16], используют в качестве базовой при разработке упрощенных методов расчета величины затухания радиосигнала [18] и при усовершенствовании модели расчета энергетических характеристик каналов подвижной радиосвязи в условиях влияния инфраструктуры железных дорог [15]. Применение модели Окамура-Хата не ограничивается сетями сотовой связи, а также распространяется на системы цифрового телевидения в диапазонах ОВЧ/УВЧ согласно рекомендациям МСЭ-R 1546-3 [19].

Таким образом, для моделирования физического уровня радиоканала, а именно величины затухания радиосигнала в сети сотовой связи стандарта GSM, выбрана модель Окамура-Хата.

Одной из основных характеристик, определяющих качество функционирования радиointерфейса на канальном уровне, является вероятность блокировки (отказа) доступа к ресурсам сети. Оценке и анализу этой важной характеристики функционирования сети сотовой связи также уделяется значительное внимание среди исследователей [20–26].

Наиболее стремительное развитие в настоящее время получают так называемые мультисервисные модели, предназначенные для расчета уровня блокировок в сетях с разнородным трафиком [24–26]. Однако в рамках решаемой задачи это излишне, так как рассматривается радиоканал, где основная доля трафика генерируется исключительно опрашиваемыми устройствами – счетчиками электрической энергии. В работе [20] предложена аналитическая модель процесса передачи данных по каналу GPRS в виде многолинейной системы массового обслуживания и проведен анализ вероятности блокировки от интенсивности поступающих в канал заявок. Как показано в работе [21], формула Эрланга-В для расчета вероятности отказа доступа находит свое применение на этапе проектирования сети.

Однако сравнительный анализ результатов моделирования и статистических данных, предоставленных компанией-оператором мобильной связи, демонстрирует незначительное отличие (не более 10%) расчетных и опытных данных. Следовательно, для моделирования уровня блокировок доступа АСКУЭ к ресурсам радиointерфейса GPRS выбрана модель Эрланга-В.

2. Структура АСКУЭ

Существуют различные варианты структурной реализации АСКУЭ [27]. В данной работе исследуется система с прямым подключением счетчиков электроэнергии, структурная схема которой приведена на рис. 1. Рассматриваемая система состоит из двух уровней:

- совокупности точек учета, каждая из которых представлена счетчиком электроэнергии (СЭЭ), сгруппированных в пределах одного энергообъекта и подключенных к одному устройству приема и передачи данных;
- информационно-вычислительного комплекса (ИВК), осуществляющего циклический опрос СЭЭ по каналам связи и хранение полученных данных.

Прямое подключение счетчиков к ИВК рекомендуется в системах с небольшим количеством энергообъектов и счетчиков с надежными каналами связи и отсутствием необходимости оперативного (от 3 до 5 минут) контроля потребления электроэнергии.

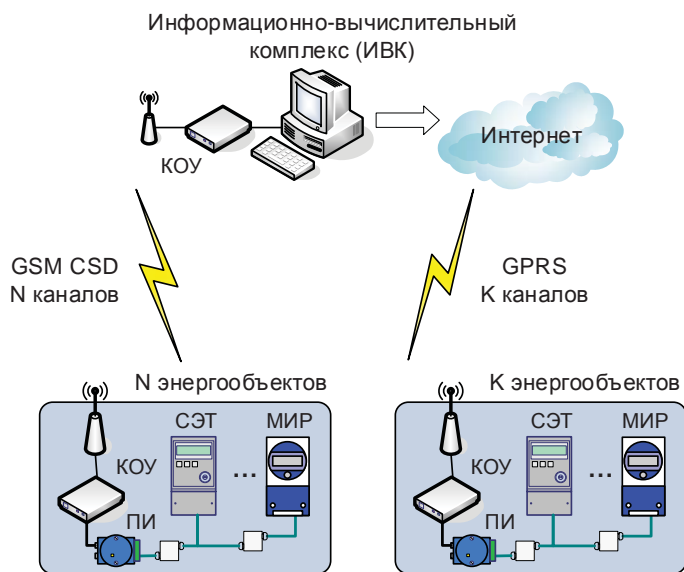


Рис. 1. Структурная схема системы с прямым подключением СЭЭ

Каждый энергообъект может содержать произвольное количество счетчиков электроэнергии моделей СЭТ-4ТМ и МИР С-01, подключаемых к каналобразующему устройству (КОУ) через преобразователь интерфейсов (ПИ). ПИ представляют собой прозрачное устройство, не вносящее дополнительную задержку в распространения сигнала. Опрос точек учета осуществляется через сеть сотовой связи стандарта GSM с применением либо технологии коммутации каналов CSD, либо коммутации пакетов GPRS. Каналы одной и той же технологии опрашиваются последовательно, при наличии каналов обеих технологий, опрос точек учета

производится параллельно. Резервирование каналов не предусматривается.

В процессе проектирования подобной системы должно быть определено среднее время опроса одного СЭЭ, а также среднее время, затрачиваемое на опрос группы СЭЭ по каждому энергообъекту, соответственно каналу связи. Исходя из значений этих параметров можно делать вывод о количестве СЭЭ, которое возможно объединить в одном канале, учитывая периодичность опроса устройств.

Рассматриваемая АСКУЭ предназначена для сбора следующих данных:

- срезов профилей мощности;
- потребления электроэнергии за сутки;
- параметров счетчиков (например, версия ПО, серийный номер, количество фаз);
- дополнительных параметров (например, время счетчика, значение тока и напряжения по фазам, частота сети, температура внутри счетчика);
- журналов событий счетчиков (например, включение/выключение счетчика, коррекции времени, открытие/закрытие клеммной крышки)

Таким образом, учитывая структуру и назначение рассматриваемой АСКУЭ, основными элементами концептуального представления исследуемого процесса передачи данных в такой системе являются четыре составляющие, модель радиointерфейса GSM CSD, модель радиointерфейса GPRS, модели счетчиков МИР С-01 и СЭТ-4ТМ.

3. Концептуальная модель радиointерфейса GSM CSD/GPRS

Модель радиointерфейса GSM CSD состоит из симметричных каналов передачи от сети к клиенту и обратно, при этом прием и передача разнесены во времени. При доступе к ресурсам сети GSM, каждому абоненту выделяется только один временной интервал в TDMA-кадре для передачи данных на скорости 9,6 кбит/с, который остается занятым вплоть до разрыва соединения.

Моделирование физического уровня радиointерфейса выполняется с помощью модели Окамура-Хата, используемой для определения затухания при распространении радиосигнала и последующего расчета значения отношения сигнал-шум SNR и величина битовой ошибки BER. Тогда как для моделирования процедуры доступа к ресурсам сети предложено руководствоваться нормами на показатели качества услуг связи, приведенные в РД 45.254-2002 «Нормы на показатели качества услуг связи и методики проведения их оценочных испытаний». Данный документ регламентирует три уровня качества и соответствующие им значения вероятностей установления соединения P_{CON} , его непреднамеренного разрыва P_{DIS} , а также времени установления T_{CON} и разрыва T_{END} соединения.

Кроме того, на канальном уровне реализуется процедура автоматического запроса повторной передачи ARQ при обнаружении на приемной стороне ошибочно принятого кадра. Вероятность возникновения ошибки в передаваемом кадре преимущественно определяется величиной битовой ошибки BER.

Для защиты от ошибок в радиоканалах мобильной связи GSM используются сверточное и блочное кодирование с перемежением. Реальное время задержки сигнала на этапе

канального кодирования и перемежения составляет от 70 до 80 мс. Время распространения радиосигнала в прямом и обратном направлении составляет 233,3 мкс. Общая же задержка в канале GSM при распространении в прямом и обратном направлениях, вызванная обработкой сигнала, кодированием/декодированием речи, канальным кодированием и т.д., составляет около 180 мс [28]. Однако с учетом экспериментальных данных, представленных в [29], примем, что общая задержка в радиоканале t_d является случайной величины с нормальным распределением с параметрами $\mu = 0,83$ и $\sigma = 0,17$.

По результатам исследования моделей и подходов к моделированию беспроводного канала технологии GSM CSD, предложено использовать следующий набор параметров:

- фиксированными:
 - а) общая задержка в радиоканале (t_d);
 - б) мощность передатчика базовой станции (P_{BS}), 24 дБм;
 - в) коэффициент усиления антенны базовой станции (G_{BS}), 5 дБи;
 - г) коэффициент усиления антенны абонентской станции (G_{MS}), 3 дБи;
 - д) частота радиосигнала (f), 930 МГц.
- задаваемыми при моделировании:
 - а) вероятность установления соединения (P_{CON});
 - б) таймаут повторного установления соединения (Δt_{CON});
 - в) вероятность непреднамеренного разрыва соединения (P_{DIS});
 - г) время установления соединения (T_{CON}), с;
 - д) время разъединения установленного соединения (T_{END}), с;
 - е) высота антенны базовой станции (h_b), м;
 - ж) высота антенны абонентской станции (h_t), м;
 - з) расстояние от абонентской станции до базовой станции (d), км;
- изменяющимися в процессе моделирования:
 - а) отношение сигнал-шум (SNR), дБ;
 - б) величина битовой ошибки (BER).

Среднее значение отношения сигнал-шум SNR (дБ) на входе приемника перед осуществлением передачи блока данных может быть вычислено по формуле:

$$SNR = P_{MS} - N, \quad (1)$$

где N – фоновый шум, дБ;

P_{MS} – среднее значение уровня мощности полезного сигнала на входе приемника абонентской станции, дБ, рассчитываемое в соответствии с Рекомендацией МСЭ-Р Р.529-2:

$$P_{MS} = P_{BS} + G_{BS} + G_{MS} - L, \quad (2)$$

где P_{BS} – мощность передатчика базовой станции, дБм;

G_{BS} – коэффициент усиления антенны базовой станции, дБи;

G_{MS} – коэффициент усиления антенны абонентской станции, дБи;

L – среднее значение затухания, дБ, рассчитываемое в соответствии с моделью Окамура-Хата в зависимости от условий распространения радиоволн.

Для нахождения величины битовой ошибки BER в канале с релейскими замираниями применяется соотношение [30]:

$$BER = \frac{1}{2 + SNR}. \quad (3)$$

Модель радиointерфейса GPRS состоит из асимметричных каналов передачи от сети к клиенту и обратно, при этом прием и передача разнесены во времени. Главное отличие от технологии GSM CSD состоит в том, что одному абоненту может быть выделено более одного физического канала, а также отсутствует необходимость установления соединения. Следовательно, выделение ресурсов осуществляется динамически и характеризуется загруженностью соты, определяемой с помощью модели Эрланга-В для системы с отказами. Если мобильная станция получает доступ к среде, то ему выделяется возможное количество физических каналов в TDMA-кадре, в противном случае абонент ожидает в течение 1 секунды освобождения физического канала.

Как и для каналов с технологией GSM CSD моделирование физического уровня радиointерфейса, т.е. расчет потерь при распространении радиосигнала, выполняется с помощью модели Окамура-Хата. Найденное аналогичным образом значения отношения сигнал-шум позволяет в последующем определить значение Block Error Rate (BLER) по известным зависимостям между SNR и BLER [31]. В соответствии с вероятностью ошибочного приема блока данных BLER организуется одноразово повторная передача ошибочно принятого пакета.

Моделирование работы канального уровня радиointерфейса GPRS предлагается выполнять с помощью модели Эрланга-В. Доступ к ресурсам радиоканала зависит от вероятности блокировки доступа к радиоресурсам P_B , вычисляемой по формуле:

$$P_B = \frac{A^N}{N! \sum_{i=0}^N \frac{A^i}{i!}}, \quad (4)$$

где N – количество физических каналов передатчика базовой станции; A – нагрузка (трафик) на базовую станцию, Эрл.

Нагрузка A , создаваемая абонентами, находящимися в пределах базовой станции, может быть рассчитана по формуле:

$$A = \frac{N_{MS} \cdot \lambda \cdot T}{3600}, \quad (5)$$

где λ – интенсивность поступления заявок на обслуживание за 1 час; T – средняя время обслуживания одного абонента, с; N_{MS} – количество активных абонентов в пределах базовой станции.

Для разрабатываемой модели радиointерфейса GPRS примем, что время обслуживания одного абонента подчинено экспоненциальному распределению со средней продолжительностью равной 180 с, а интенсивность поступления заявок равняется трём.

Допускается, что количество активных абонентов в соте N_{MS} может изменяться, при этом значение данной величины подчинено равномерному распределению с параметрами MAX_{MS} и MIN_{MS} . Таким образом, в дискретные моменты времени происходит вычисление по формуле (4) значения вероятности блокировки доступа к радиоресурсам P_B . Чтобы обеспечить динамическое распределение ресурсов с учетом максимального количества слотов как для каналов передачи ($MAXUP_{slot}$), так и для каналов приема ($MAXD_{slot}$) предложено ввести правило:

$$\begin{aligned}
 & MAX_{slot} = 1 \rightarrow 1 \text{ ФК}; \\
 & MAX_{slot} = 2 \rightarrow \begin{cases} 0,50 < P_B \leq 0,99 \rightarrow 1 \text{ ФК}; \\ 0,00 < P_B \leq 0,50 \rightarrow 2 \text{ ФК}; \end{cases} \\
 & MAX_{slot} = 3 \rightarrow \begin{cases} 0,60 < P_B \leq 0,99 \rightarrow 1 \text{ ФК} \\ 0,30 < P_B \leq 0,60 \rightarrow 2 \text{ ФК}. \\ 0,00 < P_B \leq 0,30 \rightarrow 3 \text{ ФК} \end{cases}
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

Как и для радиointерфейса GSM, задержка кодирования в канале GPRS определяется производительностью цифрового процессора обработки сигналов и ее значение лежит в диапазоне от 70 до 80 мс.

Задержки формирования пакетов вызвана процессом подготовки пакетов данных, так как в одном пакете могут быть собраны несколько блоков данных. Закодированный блок данных радиointерфейса GPRS составляет 456 бит, если размер передаваемого пакета принять равным 128 байт, следовательно, в один пакет будет помещено 2 блока данных. Таким образом, используя, например, кодек G.729 будет получена задержка равная 20 мс. Также к этому значению добавляется значение задержки 5 мс для инкапсуляции пакетов в IP-пакет.

Задержка передачи пакета, равная частному от деления размера пакета на скорость передачи. При этом, скорость передачи данных при выделении под прием/передачу одного физического канала определяется значением отношения сигнал-шум на входе приемника абонентской станции, а также используемой в терминале схемы кодирования. Результирующая скорость передачи равна произведению скорости для одного тайм-слота на количество выделенных физических каналов приемника.

Сетевая задержка возникает при передаче пакетов по сети и зависит от используемых в сети каналов и протоколов передачи, а также приемных буферов для удаления джиттера. Данная задержка может занимать существенную часть общей задержки и в некоторых сетях IP составляет от 100 до 1000 мс. В модели примем, что величина данной задержки имеет нормальное распределение с параметрами $\mu = 0,7$ и $\sigma = 0,3$.

Задержка сборки данных определяется ожиданием прихода всех пакетов данных и их извлечение. Так как размер блока передаваемой информации помещается в один пакет, то, следовательно, в данном случае задержка определяется процессом декодирования и извлечения блока из IP-пакета и равна 25 мс.

Как результат, аналогично модели радиointерфейса GSM CSD, для моделирования характеристик канала GPRS предлагается следующий набор параметров:

- фиксированные:
 - а) задержка распространения радиоволны, 2 мс;
 - б) задержка кодирования данных, от 70 до 80 мс;
 - в) задержка формирования пакетов данных, 25 мс;
 - г) задержка сборки данных на приемной стороне, 25 мс;
 - д) мощность передатчика базовой станции (P_{BS}), 24 дБм;
 - е) коэффициент усиления антенны базовой станции (G_{BS}), 5 дБи;
 - ж) коэффициент усиления антенны МС (G_{MS}), 3 дБи;
 - з) частота радиосигнала (f), 930 МГц.
- задаваемые при моделировании:
 - а) схема кодирования (CS);

- б) максимальное количество слотов на прием и передачу ($MAXD_{slot}, MAXUP_{slot}$), шт;
 - в) количество частотных каналов базовой станции (N_f), шт;
 - г) высота антенны базовой станции (h_b), м;
 - д) высота антенны абонентской станции (h_r), м;
 - е) расстояние от абонентской станции до базовой станции (d), км;
 - ж) максимальное количество активных абонентов (MAX_{MS}), шт;
 - з) минимальное количество активных абонентов (MIN_{MS}), шт.
- изменяющиеся в процессе моделирования:
- а) отношение сигнал-шум (SNR), дБ;
 - б) количество активных абонентов (N_{MS}), шт;
 - в) вероятность ошибки на блок данных (Block Error Rate, BLER);
 - г) величина нагрузки на базовую станцию (A), Эрл;
 - д) вероятность блокировки доступа к радиоресурсам (P_B);
 - е) сетевая задержка, мс;
 - ж) время передачи пакета, мс.

Таким образом, сформировано концептуальное описание радиointерфейсов GSM CSD и GPRS на физическом и канальном уровнях. Данное представление является основой для дальнейшей математической формализации модели с использованием существующих подходов к моделированию.

4. Концептуальная модель СЭЭ

Для моделирования работы счетчиков СЭТ-4ТМ и МИР С-01 предложено использовать следующие задаваемые параметры: список опрашиваемых параметров, максимальное значение таймаута ответа, скорость обмена данными и вероятность отсутствия ответа. Счетчики в составе системы всегда являются ведомыми, т.е. не могут передавать информацию в канал без запроса ведущего устройства, в качестве которого выступает управляющий информационно-вычислительный комплекс.

Количество байт запроса и ответа не является постоянной величиной и зависит от характера запроса и состояния счетчика. Байты в последовательностях запросов и ответов должны идти друг за другом, без разрывов во времени, т.е. за стоповым битом предыдущего байта должен следовать стартовый бит следующего байта, если он есть. Критерием окончания любой последовательности (кадра) является гарантированный таймаут, длительность которого зависит от выбранной скорости обмена.

Работа со счетчиком СЭТ-4ТМ осуществляется в четыре этапа: тест канала связи, открытие сеанса связи, опрос параметров и закрытие сеанса связи. Для счетчика МИР С-01 процедура тестирования канала связи отсутствует. Взаимодействие счетчиком осуществляется посредством запросов и ответов от него. Для счетчика СЭТ-4ТМ размеры запросов и ответов приведены в табл. 1, для счетчика МИР С-01 – табл. 2.

Из таблиц 1 и 2 видно, что срезы профиля мощности считываются 12 раз, так как за один раз может быть считано два полчасовых среза, а так как опрос производится раз в сутки, следовательно, запрос и ответов будет послано и получено указанное число раз.

События в счетчике СЭТ-4ТМ записываются в кольцевые массивы размерностью [1,10], следовательно, для считывания каждой записи требуется десять обращений к каждому массиву.

Таблица 1

Размеры запросов и ответов для счетчика СЭТ-4ТМ

Операция	Величина запроса, байт	Величина ответа, байт
Тест канала связи	4	4
Открытие сеанса связи	10	4
Считывание срезов профиля мощности	8x12 раз	9x12 раз
Считывание информации о потреблении энергии за сутки	6	19
Считывание информации о параметрах счетчика	5	10
	5	6
	5	13
Считывание информации о дополнительных параметрах	6	6
	5	10
	4x6 раз	16x6 раз
Считывание информации о дополнительных параметрах	5	5
	4x2 раза	16x2 раза
	(4x10 раз) ₁	(16x10 раз) ₁
Считывание информации из журнала событий
	(4x10 раз) ₆	(16x10 раз) ₆
Закрытие сеанса связи	4	4

Таблица 2

Размеры запросов и ответов для счетчика МИР С-01

Операция	Величина запроса, байт	Величина ответа, байт
Открытие сеанса связи	19	11
Считывание срезов профиля мощности	10	3
Считывание информации о потреблении энергии за сутки	14x12 раз	53x12 раз
Считывание информации о параметрах счетчика	12	2
	11	13
	11	15
Считывание информации о дополнительных параметрах	11	15
	11	112
	11	17
Считывание информации о дополнительных параметрах	11	37
	(10 12x10 раз) ₁	(13 23x10 раз) ₁

Считывание информации из журнала событий	(10 12x10 раз) ₁₀	(13 23x10 раз) ₁₀

Закрытие сеанса связи	10	11

В счетчике МИР С-01 журналы событий также реализованы в виде кольцевых массивов за одним исключением, перед считыванием каждой записи, отправляется запрос для определения количества записей в массиве. В данном случае примем, что в каждом массиве содержится по десять записей.

Таким образом, рассматриваемая в работе концептуальная модель информационного обмена в АСКУЭ может быть представлена в виде обобщенной структурной схемы, изображенной на рис. 2.

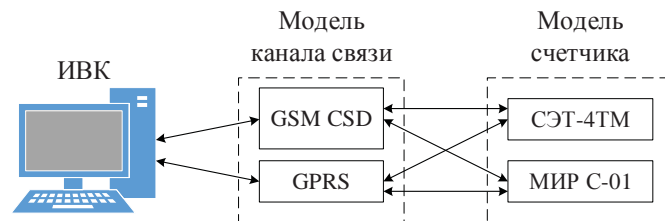


Рис. 2. Обобщенная структурная схема концептуальной модели

5. Заключение

В работе представлена концептуальная модель процесса передачи данных в системе АСКУЭ с использованием технологий передачи данных с коммутацией каналов GSM CSD и коммутацией пакетов GPRS, учитывающая особенности взаимодействия счетчиков электроэнергии с информационно-вычислительным комплексом. В процессе разработки были определены параметры составляющих элементов системы, счетчиков электроэнергии и каналов связи с технологиями передачи GSM CSD и GPRS, а также предложены варианты расчета основных характеристик физического и канального уровней радиointерфейсов на основе выполненного анализа существующих моделей для беспроводных каналов связи в сетях GSM.

В основу моделирования каналов технологии GPRS положены модель Окамура-Хата, а также модель Эрланга-В, позволяющие определить среднее значение отношения сигнал-шум и вероятность блокировки вызова соответственно. Тогда как для цифровых каналов с технологией CSD применяется модель Окамура-Хата и набор регламентируемых показателей качества услуг мобильной связи.

В качестве счетчиков электрической энергии были взяты устройства МИР С-01 и СЭТ-4ТМ, отличающиеся главным образом размерами запросов и ответов при опросе параметров, а также системой организации процесса опроса.

Последующая математическая формализация представленной концептуальной модели позволит производить моделирование информационного обмена в системе с задаваемым количеством каналов и счетчиков в каждом из них и давать оценку времени затрачиваемого на опрос группы счетчиков в зависимости от значений изменяемых параметров, определяющих конфигурацию сот сети GSM и качества передачи данных.

Применение такого инструмента видится востребованным при проектировании систем АСКУЭ с целью поддержки принятия решений, в частности, при определении количества счетчиков, которые могут быть опрошены в одном или нескольких каналах рассмотренных технологий передачи данных.

Литература

1. Халиков Э.М., Уланов А.В. Моделирование процессов сбора и обработки информации в автоматизированных системах управления радиолокационными станциями // Известия ТулГУ. Технические науки. 2017. № 12-2. С. 410-416.

2. Бахвалов Л.А., Долганюк С.И. Моделирование цифрового радиоканала связи системы автоматизированного управления локомотивами на станции // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2010. № 3. С. 23-31.
3. Илюхин А.А., Попов В.В. Моделирование процессов информационного обмена в системе сбора и обработки данных автоматизированной системы управления на основе марковских процессов принятия решений // Новая наука: от идеи к результату. 2016. № 9-1. С. 17-21.
4. Анисимов Д.В. Моделирование процесса сбора и обработки данных в беспроводном сегменте АСУ ТП газотранспортного предприятия // Информационные системы и технологии. 2014. № 3(83). С. 5-10.
5. Лякишев А.А. Моделирование процессов информационного обмена в модульных структурах систем сбора и обработки данных АСУ газотранспортного предприятия // Информационные системы и технологии. 2013. № 5(79). С. 104-111.
6. Шульгин Р.Н. Математическое моделирование процессов сбора и обработки данных о нарушениях функционирования в вычислительных сетях газотранспортного предприятия // Информационные системы и технологии. 2014. № 1(81). С. 114-121.
7. Гусаров А.Н. Моделирование канала связи автоматизированной системы контроля и учета электроэнергии // Аспирант и соискатель. 2008. № 2(45). С. 167-170.
8. Жевак А.В., Арьков В.Ю. Моделирование и оптимизация процесса сбора данных в системе мониторинга газовых скважин и газосборных коллекторов // Вестник УГАТУ. 2010. № 5(40). С. 110-116.
9. Okumura Y. et al. Field Strength and Its Variability in VHF and UHF Land-Mobile Radio Service // Review of the Electr. Commun. Lab. 1968. Vol. 16, № 9-10.
10. Hata M. Empirical formula for propagation loss in land mobile radio services IEEE // Trans. Veh. Technol. 1980. Vol. VT-29. № 3. P. 317-325.
11. Жулябин Д.Ю. Модели каналов для беспроводных систем связи // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2014. № 1(4). https://moit.vivt.ru/wp-content/uploads/2014/03/Zhulyabin_1_14_1.pdf, (дата обращения 16.02.2020).
12. Буряндин А.Д., Гончарова П.С. Методы расчета дальности и качества связи для современных стандартов связи // Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке. 2017. т. 2. С. 181-185.
13. Утц В.А. Исследование потерь при распространении радиосигнала сотовой связи на основе статистических моделей // Вестник БФУ им. И. КАНТА. 2011. № 4. С. 44-49.
14. Свистунов А.С. Эмпирические модели распространения радиоволн для анализа внутрисистемной электромагнитной совместимости и безопасности сетей сотовой связи с микросотовой структурой // Журнал Белорусского государственного университета. Физика. 2018. № 2. С. 107-116.
15. Горобец Н.Н. Особенности расчета энергетических характеристик каналов подвижной радиосвязи // Радиотехника. 2017. № 188. С. 116-125.
16. Михайлова А.Ю., Борисов А.П. Исследование распространения дециметровых волн в зонах со сложным рельефом на основе статистических моделей // Ползуновский альманах. 2015. № 1. С. 137-141.
17. Шахобиддинов А.Ш., Юсупова А.Р. Исследование влияния архитектуры мегаполиса на ослабление уровня поля базовых станций стандарта GSM // Альманах современной науки и образования. 2015. № 9(99). С. 144-147.
18. Дворников С.В., Балыков А.А., Котов А.А. Упрощенная модель расчета потерь сигнала в радиолинии, полученная путем сравнения квадратичной формулы Введенского с существующими эмпирическими моделями // Системы управления, связи и безопасности. 2019. № 2. С. 87-99. DOI: 10.24411/2410-9916-2019-10204
19. Попов А.С. Применение методов Окамура-Хата и Введенского для расчета зон покрытия цифровых телевизионных передатчиков // Доклады ТУСУР. 2010. № 2-2(22). С. 166-179.
20. Абаев П.О., Гайдамака Ю.В., Рудикова Е.В. Численный анализ модели обслуживания сессий в сети GSM/GPRS // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2010. № 7. С. 130-133.
21. Бонч-Бруевич М.М. О вопросах определения вероятности блокировки вызова в сети стандарта GSM // Спецтехника и вязь. 2010. № 2-3. С. 65-67.
22. Перегудов М.А., Степиковой А.С. Бойко А.А. Вероятностная модель процедуры случайного множественного доступа к среде типа CSMA/CA // Труды СПИИРАН. 2018. № 4(59). С. 92-114. DOI: 10.15622/sp.59.4
23. Газарина Л.Г., Кокорева Е.В. Особенности обеспечения информационной безопасности канального уровня сети GPRS на основе аналитической модели протокола MAC/RLC // Вопросы защиты информации. 2007. № 4(79). С. 58-61.
24. Поначугин А.В., Гусев И.В. Моделирование системы радиодоступа в мультисервисных сетях связи // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2018. № 1(20). С. 118-130.
25. Самуйлов К.Е., Гайдамака Ю.В., Щукина О.Н. О применении модели Эрланга к расчету вероятностей блокировок в мультисервисной сети с одноадресными и многоадресными соединениями // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2011. т. 5. № 7. С. 45-48.
26. Башарин Г.П., Клапоуцак С.Н., Русина Н.В. Мультисервисная модель Эрланга с потоковым трафиком и пороговой стратегией доступа для эластичного трафика // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2012. Т. 6. № 7. С. 19-22.
27. Ожегов А.Н. Системы АСКУЭ: учеб. пособие. Киров: Вятский государственный университет, 2006. 102 с.
28. Защита информации в системах мобильной связи: учебное пособие для вузов / А.В. Заряев, С.В. Скрьль [и др.]; под ред. А.В. Заряев и С.В. Скрьль. М.: Горячая линия – Телеком, 2005. 171 с.
29. Кинцов Ю.Г. Защита переговоров в сетях GSM связи // Безопасность сетей и средств связи. 2007. № 2. С. 40-42.
30. Абилов А.В. Разработка и исследование алгоритмов оценивания цифровых сигналов и оптимального использования частотного ресурса в радиотелефонной системе: диссертация кандидата технических наук: 05.13.16. Ижевск, 2000. 161 с.
31. Brand A., Aghvami H. Multiple Access Protocols for Mobile Communications: GPRS, UMTS and Beyond. John Willey & Sons, 2002. 468 p.

CONCEPTUAL MODEL OF DATA TRANSMISSION PROCESS IN AUTOMATED POWER ACCOUNTING SYSTEMS

Alexander A. Lyubchenko, Russian railways affiliated company, Sochi, Russia, allyubchenko@gmail.com

Evgeny Yu. Kopytov, Omsk State Transport University (OSTU); Omsk State Technical University (OmSTU), Omsk, Russia, jenya87@list.ru

Alexander A. Bogdanov, Omsk State Transport University (OSTU), Omsk, Russia, Alex-b0g@yandex.ru

Abstract

An accurate accounting of electricity consumption is a relevant task for the improvement of energy efficiency both in industry and in housing and communal services. An important step in solving this task is the deployment of automated metering systems that allow obtaining analytical information required for development and adjustment of energy saving programs. The development of data transmission technologies over cellular networks has led to the widespread use of wireless channels for information exchange in automated energy control and monitoring systems. As both main and reserve communication channels, these systems can use technologies with channel switching (GSM CSD) and packet switching (GPRS). The choice of a particular data transmission technology in this case depends on a number of technical or economic factors. The aim of this work is the development of a conceptual model of the data transmission process in the automated energy consumption monitoring systems with direct connection of meters via GSM CSD and GPRS channels. For modeling the physical layer of the radio channel the model of signal propagation of Okamura-Hata was chosen. Calculation of call blocking probability is based on Erlang-B model. MIR C-01 and CET-4TM have been chosen as electric energy meters. In the work, the conceptual model of data transmission process in the monitoring system with GSM CSD and GPRS channels is offered, being a basis for its further mathematical formalization for the purpose of modelling of an information exchange between elements of the automated energy consumption monitoring system.

Keywords: Automated Power Accounting System, conceptual model, GSM, Okamura-Hata model, Erlang-B model.

References

1. Khalikov E.M. and Ulanov A.V. (2017), "The modeling of accumulation and processing of information in computer-assisted control systems of radar station", *Proceedings of the TSU. Technical sciences*, no 12-2, pp. 410-416.
2. Bakhvalov L.A. and Dolganyuk S.I. (2010), "Modeling of the digital radio communication channel of automated locomotive control system at station", *Mining informational and analytical bulletin*, no 3, pp. 23-31.
3. Ilyukhin A.A. and Popov V.V. (2016), "Modeling of information exchange processes of data collecting and processing in automated control system on the basis of Markov decision-making processes", *New science: from an idea to the result*, no 9-1, pp. 17-21.
4. Anisimov D.V. (2014), "Modeling of data collection and processing in the wireless segment APCS gas transportation company", *Information systems and technologies*, no 3(83), pp. 5-10.
5. Lyakishev A.A. (2013), "Modeling of information processes exchange in modular structures of data collection and processing systems ACS gas transportation company", *Information systems and technologies*, no 5(79), pp. 104-111.
6. Shul'gin R.N. (2014), "Mathematical modeling of collecting and data processing about operational occurrences in computer networks of gas transmission company", *Information systems and technologies*, no 1(81), pp. 114-121.
7. Gusarov A.N. (2008), "Communication channel modeling of an automated system for electric power control and accounting", *Aspirant i soiskatel*, no 2(45), pp. 167-170.
8. Zhevak A.V. and Arkov. V.U. (2010), "Modeling and optimization of data gathering process in the gas wells and pipelines monitoring system", *Vestnik USATU*, no 5(40), pp. 110-116.
9. Okumura Y. et al. (1968), "Field Strength and Its Variability in VHF and UHF Land-Mobile Radio Service", *Review of the Electr. Commun. Lab*, vol. 16, no 9-10.
10. Hata M. (1980), "Empirical formula for propagation loss in land mobile radio services", *Trans. Veh. Technol.*, vol. VT-29, no 3, pp. 317-325.
11. Zhulyabin D.Y. (2014) "The models of channels for wireless systems of communication", *Modeling, Optimization and Information Technology*, no 1(4), available at: https://moit.vivt.ru/wp-content/uploads/2014/03/Zhulyabin_1_14_1.pdf, (Accessed 16.02.2020).
12. Burindin A.D. and Goncharova P.S. (2017), "Methods of communication distance and quality calculating for modern communication standards", *Scientific, technical and economic cooperation of Asia-Pacific countries in XXI century*, vol 2, pp. 181-185.
13. Utz V.A. (2011), "Investigation of losses at cellular communication radio signal propagation on the basis of statistical models", *IKBFU's Vestnik*, no 4, pp. 44-49.
14. Svistunov A.S. (2018), "Empirical models of radio signals propagation for the analysis of intra-system electromagnetic compatibility and safety of cellular communication networks with microcellular structure", *Journal of Belarus state university. Physics*, no 2, pp. 107-116.
15. Gorobets N.N. (2017) "Features of energy characteristics calculation of mobile radio communication channels", *Radiotekhnika*, no 188, pp. 116-125.
16. Mikhailova A.Yu. and Borisov A.P. (2015), "Investigation of decimeter waves propagation in zones with difficult terrain on the basis of statistical models", *Polzunovskij almanah*, no 1, pp. 137-141.

17. Shakhobiddinov A.S. and Yusupova A.R. (2015), "Research of megalopolis architecture impact on GSM standard base stations field level attenuation", *Almanah sovremennoj nauki i obrazovania*, no 9(99), pp. 144-147.
18. Dvornikov S.V., Balykov A.A. and Kotov A.A. (2019), "The simplified model for radio signal path loss computation, which was developed by comparing the Vvedensky quadratic equation with existing empirical models", *Systems of Control, Communication and Security*, no 2, pp. 87-99. DOI: 10.24411/2410-9916-2019-10204
19. Popov A.S. (2010), "The application of Okumura-Hata and Vvedensky models for calculations of the field strength of DVB-T television transmitters", *Proceedings of TUSUR University*, no 2-2(22), pp. 166-179.
20. Abayev P.O., Gaidamaka Yu.V. and Rudikova E.V. (2010), "Numerical analysis of session service model in GSM/GPRS network", *T-Comm*, no 7, pp. 130-133.
21. Bonch-Bruevich M.M. (2010), "About the definition of call blocking probability in GSM network", *Spectekhnika i svyaz*, no 2-3, pp. 65-67.
22. Peregudov M.A., Steshkovoy A.S. and Boyko A.A. (2018), "Probabilistic random multiple access procedure model to the CSMA/CA type medium", *SPIIRAS Proceedings*, no 4(59), pp. 92-114. DOI: 10.15622/sp.59.4
23. Gagarina L.G. and Kokoreva E.V. (2007), "Features of information security of GPRS network channel level on the basis of analytical model of MAC/RLC protocol", *Information security questions*, no 4(79), pp. 58-61.
24. Ponachugin A.V. and Gusev I.V. (2018), "Modeling of the radio-dynamic system in multi-service communication networks", *Modeling, optimization and information technology*, no 1(20), pp. 118-130.
25. Samouylov K.E., Gaidamaka Y.V. and Schukina O.N. (2011), "Some warnings on inadmissibility of Erlang loss model to compute blocking probabilities in multiservice networks with multicast connections", *T-Comm*, vol. 5, no 7, pp. 45-48.
26. Basharin G.P., Klapouschak S.N. and Rusina N.V. (2012), "Erlang multi-rate loss model for the analysis of streaming traffic and threshold admission control for elastic traffic", *T-Comm*, vol. 6, no 7, pp. 19-22.
27. Ozhegov A.N. (2006), *Automated power accounting systems: tutorial*, Vyatka State University, Kirov, Russia.
28. Zaryaev A.V. and Skryl' S.V. (2005), *Information security in mobile communication systems: manual for higher education institutions*, Hotline-Telecom Publ., Moscow, Russia.
29. Kincov Yu.G., Smirnov V.A., Sotov A.V. (2007), "Security of conversations in GSM networks", *Security of networks and means of communication*, no 2, pp. 40-42.
30. Abilov A.V. (2000), *Development and research of algorithms for evaluation of digital signals and optimal application of frequency resource in radiotelephone system: thesis of candidate of technical sciences*, Izhevsk, 161 p.
31. Brand A. and Aghvami H. (2002), *Multiple Access Protocols for Mobile Communications: GPRS, UMTS and Beyond*, John Willey & Sons, New-Jersey, USA.

Information about authors:

Alexander A. Lyubchenko, Candidate of Engineering Sciences, data scientist, OCRV, Russian railways affiliated company, Sochi, Russia

Evgeny Yu. Kopytov, Candidate of Engineering Sciences, associate professor, Department of Telecommunications, radio system and networks, Omsk State Transport University (OSTU); Associate professor, Department of Communication and Information Safety, Omsk State Technical University (OmSTU), Omsk, Russia

Alexander A. Bogdanov, Postgraduate student, Department of Automation and control systems, Omsk State Transport University (OSTU), Omsk, Russia