

УДК 621.395.74.072

ОСОБЕННОСТИ ДОСТАВКИ СИГНАЛОВ ЧАСТОТНОЙ И ВРЕМЕННОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ В СИСТЕМАХ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ 3G/LTE С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ БАЗОВЫХ СТАНЦИЙ

Гайдаманчук В. А., Семенко А. И.

(Гос. унив-т информационно-коммуникационных технологий)

Проанализированы причины необходимости модернизации сети синхронизации частоты и времени в современных системах мобильной связи. Рассмотрены преимущества и проблемы использования в системах мобильной связи 3G/LTE распределенных базовых станций, а также возможности и перспективы использования медиаконвертеров «оптика – радиоканал» на основе интерфейса CPRI. Рассмотрен алгоритм оценивания занятых широкополосных каналов связи, позволяющий с помощью встроенных цифровых детекторов адаптивно компенсировать причины ухудшения состояния радиоканала, вызванные погодными условиями, проблемами антенной системы и др., которые потенциально могут ухудшить условия доставки синхросигналов.

Объемы трафика в сетях операторов мобильной связи ежегодно будут увеличиваться не менее чем в 1,5 раза. Более смелые аналитики прогнозируют 5 – 6-кратный рост, объясняя это стремительным повышением популярности смартфонов, планшетных компьютеров и других портативных устройств, а также других расточительных по отношению к полосе пропускания приложений, в первую очередь видео. Обеспечить это предназначены новые стандарты мобильной связи: так переход к технологиям LTE должен будет обеспечить более чем в 25 раз увеличение предельных скоростей на уровне абонента [1]. Как следствие, все более актуальным становится подключение базовых станций по магистралям 2,5 – 10 GB. Существующая инфраструктура мобильных операторов на это попросту не рассчитана и подлежит существенной модернизации.

Технику коммутации пакетов изначально разрабатывали для асинхронной работы и хотя основа магистральной инфраструктуры при переходе на технологию пакетной коммутации остается работоспособной, для многих приложений тактовая синхронизация была и есть необходима. Например, требования к синхронизации частоты базовых станций мобильной связи и ее стабильности – важный фактор использования радиочастотного спектра. Кроме того, при эмуляции каналов временного уплотнения на границе сети в пункте приема частоту требуется синхронизировать с частотой в пункте эмуляции и поддерживать ее стабильность. Ясно, что требование синхронизации частоты относится не к магистральной сети, а к приложениям на ее граничных участках. К тому же возможность распределения синхронизации от центра уменьшается по мере того, как инфраструктуру переводят на коммутацию пакетов (рис.1).

Технические требования к параметрам тактовой синхронизации, которые должны быть обеспечены перевалочным сегментом нового поколения сетей мобильной связи (3G/UMTS), сведены в разделе 4.2 европейского стандарта ETSI TS 125 402 – Synchronisation in UTRAN Stage 2: «Основная проблема состоит в том, чтобы для формирования сигналов в радиосегменте обеспечить для базовой станции опорный сигнал синхронизации с точностью частоты лучше, чем 50×10^{-9} . Основная рекомендация для ее решения – источником опорного сигнала должно быть первичное устройство синхронизации, соответствующее Рекомендации ITU-T G.811 (т.е. PRC). Уровень фазовых блужданий достаточно поддерживать в соответствии с Рекомендацией ITU-T G.813. Параметры оборудования синхронизации элементов

сети радиодоступа и распределение в ней опорных сигналов должны быть такими, чтобы обеспечить во время отказов в сети синхронизации точность частоты на базовой станции 50×10^{-9} (рис. 2).

Как полагают, для того, чтобы удовлетворить последнему требованию к точности частоты в аварийных ситуациях, необходимо доставлять к базовой станции тактовую частоту с точностью не хуже $\sim 16 \times 10^{-9}$ [2].

Необходимо отметить, что основные усилия по устранению возникшего «узкого места» (доставка сигналов синхронизации) сети в процессе перехода от SDH к Ethernet/MPLS были сосредоточены на решении проблемы, как эту доставку в новой среде возобновить [3, 4]. При этом проблема считалась решенной при условии доставки сигнала синхронизации нормативного качества до уровня I_{ub} (см.рис.2). Дальнейшая

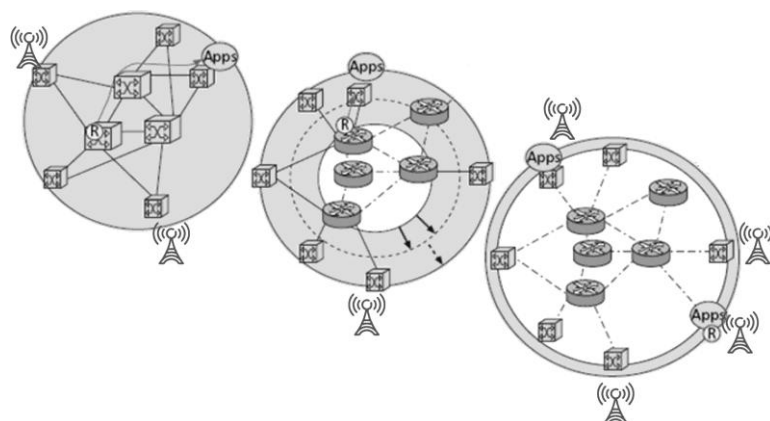


Рис. 1. Изменение роли сетей с пакетной коммутацией в системах мобильной связи

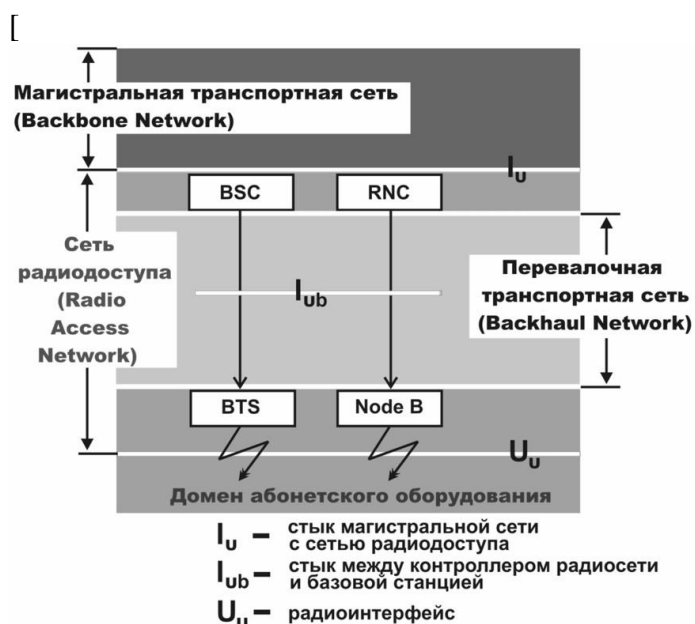


Рис. 2. Перевалочная транспортная сеть – «узкое место» для доставки синхросигналов

траектория доставки синхросигналов до уровня приемопередатчиков базовых станций Node B не требовала каких-либо дополнительных мер по обеспечению этой доставки, поскольку базировалась на решениях на основе интерфейса Common Public Radio Interface (CPRI) [5], который обеспечивает доставку сигнала, базируясь на SDH технологии. Однако поскольку эта часть «Backbone Network» (см. рис.2) в последнее время подвергается существенной системной реорганизации, причиной которой является потребность адаптироваться к требованиям 3G/LTE, возникает необходимость отдельно проанализировать этот участок сети, тенденции его развития и влияние

системных изменений на качество доставки синхросигналов.

Сети радиодоступа систем мобильной связи в их нынешнем виде также неспособны справиться с «бурным потоком» трафика, поэтому рядом производителей предложены новые решения, основанные на существенном уменьшении размеров, повышении универсальности элементов базовых станций и оптимального распределения их по сети (см. рис. 3) [6]. Это позволит предоставить требуемую емкость и производительность сети радиодоступа, где и когда это

необходимо, повысив качество обслуживания абонентов и экономические показатели оператора.

Главное препятствие на пути внедрения таких систем – потребность в очень скоростных каналах для трафика CPRI – в таком формате передается преобразованный в цифровой вид радиочастотный сигнал. Например, для передачи сигнала от одной антенны LTE, работающей в полосе 10 МГц, требуется канал 460 Мбит/с, а для четырехантенной системы MIMO – уже 1,8 Гбит/с. Использование оптических волокон или отдельных длин волн (технология WDM) позволяет успешно обеспечивать эти потребности, однако

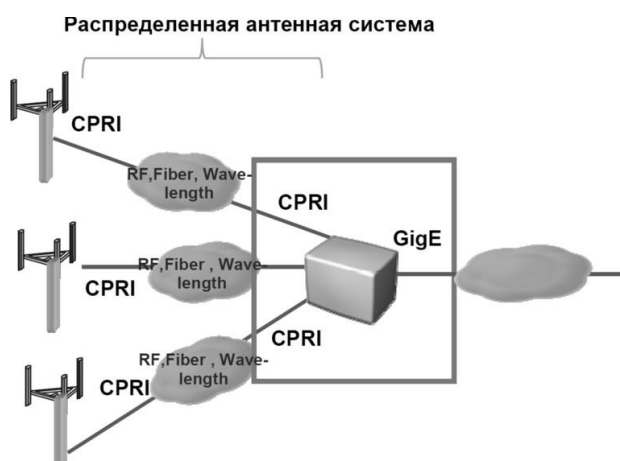


Рис. 3. Распределенная базовая станция («звезда»)

особое внимание следует уделить тем реализациям, где использование оптических кабелей затруднено по тем либо иным причинам (не всегда возможной прокладкой кабеля, многочисленными согласованиями или большими арендными платежами). Такие случаи не являются очень редкими, ведь согласно статистике, например, в США по оптическому волокну было подключено лишь 10% базовых станций, тогда как по беспроводным линиям T1/E1 – около 85% и оставшиеся 5% приходились на высокоскоростные беспроводные линии СВЧ-диапазона. Поскольку частот до 40 ГГц, традиционно используемых для организации высокоскоростных беспроводных линий, в городах с высокой плотностью населения уже не хватает, а ограниченный частотный ресурс заставляет использовать все более сложные способы модуляции, что, сказывается на стоимости оборудования, производители распределенных антенных систем обречены искать приемлемые решения в беспроводных решениях миллиметрового диапазона.

В свою очередь внедрение распределенных антенных систем безусловно требует дополнительного анализа эффективности доставки тактовых и временных синхросигналов посредством широкополосных радиоканалов.

Такой канал связи с точки зрения оператора полностью эквивалентен оптическому кабелю, проложенному между точками установки радиомоста. Это позволяет передавать кадры протокола CPRI, необходимые для управления радиооборудованием базовых станций. Администрирование по SNMP делает возможной централизованную диагностику устройств из диспетчерской оператора связи.

Следует отметить, что все перечисленные устройства работают в полнодуплексном режиме: общая канальная скорость радиомостов достигает 2,5 Гбит/с.

Одним из тонких мест, ограничивающим возможности использования подобных решений, является то, что факторы, влияющие на качество приема в радиоканале (погодные условия, снижение уровня сигнала, вызванное разворотом антенны, искажения усилителей мощности приемопередатчиков и др.) [7] и вызванное ими ослабление сигнала являются основным ограничительным фактором для дальности миллиметровых линий. По данным ряда производителей, длина линии диапазона 80 ГГц с антеннами диаметром 60 см и доступностью 99,95% в условиях города может достигать 7 км, однако когда требуется обеспечить доступность на уровне 99,995%,

расстояние сокращается вдвое. Таким образом использование средств оценки качества приема в радиоканале позволят как контролировать ухудшение состояния канала связи так и оперативно изменять параметры приемопередатчиков базовых станций для компенсации отрицательных факторов, влияющих на состояние радиоканала. Учитывая необходимость обеспечения приемопередатчиков синхросигналами нормативного уровня, использование радиомостов в миллиметровом диапазоне в системах мобильной связи 3G/LTE обязательно должно сопровождаться использованием таких средств оценки и контроля.

Дальнейшее расширение сферы применения таких решений в распределенных антенных системах различных конфигураций : например кольцевой (рис. 4) или другого типа , будет определяться, в том числе, наличием быстродействующих алгоритмов оценки качества каналов радиосвязи, позволяющих без существенного снижения скорости передачи оценивать состояние занятого канала связи.

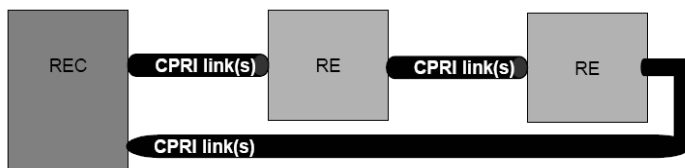


Рис.4.Распределенная базовая станция («кольцо»):
REC-radio equipment control;RE-radio equipment

Рассмотрим один из возможных подходов к решению данной проблемы – синтез алгоритма оценки качества занятого широкополосного канала связи, обеспечивающий оперативно оценить состояние радиоканала и на основании оценки принимать решения по адаптации параметров приемопередатчиков базовых станций.

Известно [8] , что вероятность P_T ошибочного декодирования хотя бы одного из кодов, принятых с ошибками кратности R за время контроля T , будет

$$P_t = 1 - \prod_{R=1}^d (P_R)^{Q_R} ,$$

где $P_R = 1 - P_R$; Q_R – количество ошибок кратности R за время контроля T .

Пусть $L_i^y = \begin{cases} 1, y = R; \\ 0, y \neq R; \end{cases} \quad s = [T/t]$, где t – время декодирования одной кодовой комбинации. Тогда $Q_R = \sum_{i=1}^s \sum_{y=1}^d L_i^y$.

Как известно, частота ошибок $N_{ош}$ — аппроксимация $P_{ош}$ за время T , будет $N_{ош} = N_{но} / BT$, где $N_{но}$ – количество необнаруженных ошибок в данных; B – скорость передачи .

При ошибочном декодировании кодовой комбинации в информации появляются в среднем β ошибок, где β – среднее расстояние между кодовыми комбинациями.

Тогда $N_{но} = \beta W$, где W – количество ошибочных декодирований за время контроля T . С целью упрощения детектора качества, реализующего алгоритм оценивания, из возможных кратностей ошибки можно выбрать значение $R = j$, для которого $\delta_j = \left(1 - \prod_{R=1}^{j-1} P_R\right)^{Q_R} \approx 0$. Тогда состоятельную оценку P_T можно записать в

виде $P_T = 1 - M_j^{Z_j}$, где $Z_j = \left(\sum_{R=j}^d Q_R\right)$ количество ошибок кратности $R \geq j$ за время контроля T ; $M_j = \left(\sum_{R=j}^d P_R\right) / (d - j + 1)$ – математическое ожидание P_R для $R \geq j$.

Тогда $Z_j = [ln(1 - P_T) / ln(M_j)]$, $P_T \neq 1$.

Пусть необходимо различать K градаций качества приема. Тогда детектор оценивания качества (рис. 5), реализующий этот алгоритм, должен различать значения N_{oui}^q , для $q \in [1, \dots, (K-1)]$

Рассмотренный алгоритм оценивания позволяет с минимальными аппаратными затратами реализовать соответствующий встроенный цифровой детектор, который полностью совместим с технологиями ASIC/FPGA, на основе которых реализованы различные модификации оборудования CPRI для распределенных базовых станций мобильных систем 3G/LTE [9].

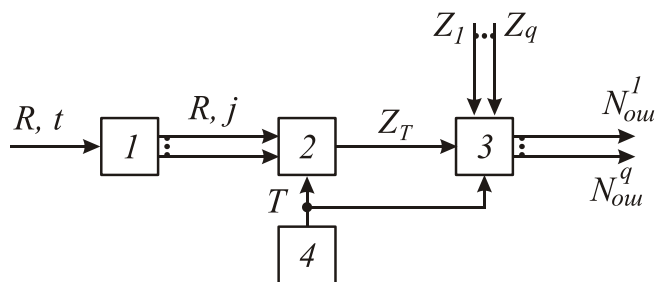


Рис. 5. Структурная схема детектора оценивания качества радиоканала:

1-дешифратор; 2-сумматор;
3-компаратор; 4-синхронизатор

Выводы

– Использование в системах мобильной связи распределенных базовых станций позволяет более эффективно обеспечивать доставку постоянно возрастающих потоков данных и одновременно требует при их внедрении и эксплуатации контролировать качество доставки сигналов синхронизации базовых станций.

– Использование радиоканалов миллиметрового диапазона позволяет обеспечить большую гибкость при развертывании распределенных базовых станций систем мобильной связи.

– Использование медиаконверторов поддерживающих интерфейс CPRI требует применения специальных мер, позволяющих оптимизировать состояние радиоканалов и влияющих на эффективность обмена данными в распределенных базовых станциях систем мобильной связи 3G/LTE.

Литература

1. Al Wegener, Reduce The Cost Of Your CPRI Links For 3G And 4G Wireless, Texas Instruments, 2011
2. S. Ruffini. WCDMA and LTE Synchronization Aspects // The 6-th International Telecom Sync Forum, Munich, ITSF. – 2008.
3. John C. Eidson. Measurement, Control, and Communication Using IEEE 1588: Springer-Verlag New York, Inc., – 2006. – 283 p.
4. Гайдаманчук В. А. Экспериментальное исследование влияния интенсивности трафика в пакетных сетях на устойчивость работы генератора ведомых часов оборудования PTP // Наукові записки УНДІЗ. – 2010. – № 1(13) – С. 74-78.
5. CPRI Specification V 4.2 . 2010.
6. C. Plante, J. Wong, Opening Base Station Architectures Part 2: An Inside Look at CPRI, Altera Corp. 2004.
7. Pothecary Nick, Feedforward linear power amplifiers. Artech House, 1999. – 204 p.
8. Гайдаманчук В.А., Паламарчук А.А., Ушаков В.Д. Алгоритм оценивания качества приема в занятых каналах широкополосных систем связи с исправлением ошибок // Известия ВУЗов. Радиоэлектроника. – 1989. – Т.32, № 3. – С. 80-81.
9. Гайдаманчук В.А., Паламарчук А.А. Микросхема двухканального цифрового коррелятора // Электронная промышленность (РФ). – 1995. – № 3. – С.16.