

Проблемы развертывания одночастотных сетей, использующих OFDM

Ксианг Фенг (Xiang Feng)

Одночастотные сети (SFN) часто применяются в телевидении, где два и более передатчика одновременно передают один и тот же сигнал в одном частотном канале. Для расширения зоны покрытия используются ретрансляторы. В отличие от более традиционных многочастотных сетей (MFN), одночастотные ориентированы на эффективное использование спектра, занимая меньше частот. Кроме того, они обеспечивают более широкое и надежное покрытие, одновременно минимизируют дополнительные требования к спектру и снижают вероятность сбоев. Все эти преимущества делают одночастотные сети все более популярными в системах на основе OFDM, таких как DVB-T, DVB-T2, DTMB и ISDB-T.

Но, несмотря на популярность, построение хорошо работающей одночастотной сети по-прежнему является сложной задачей и для инженеров, и для операторов вещания. Основная причина этих трудностей кроется в том, что для обеспечения хорошего покрытия одночастотной сети требуется точное размещение передатчиков. Поэтому для решения этой проблемы и реализации всех преимуществ такой архитектуры необходимо тщательное планирование сети, и наиболее важное значение для такого планирования имеет измерение параметров сети.

Как работает одночастотная сеть

Обычно в одночастотной сети приемник принимает множественные отражения сигналов нескольких передатчиков. В реальных условиях

эти отражения могут быть запаздывающими, опережающими или запаздывающими и опережающими одновременно (рис. 1). Отражения могут привести к возникновению межсимвольных помех (ISI), которые отрицательно влияют на сигнал и не позволяют принимать его в областях с хорошим уровнем приема. Как показано на рис. 1, в одночастотных сетях существуют три типа отражений:

- Запаздывающее отражение.

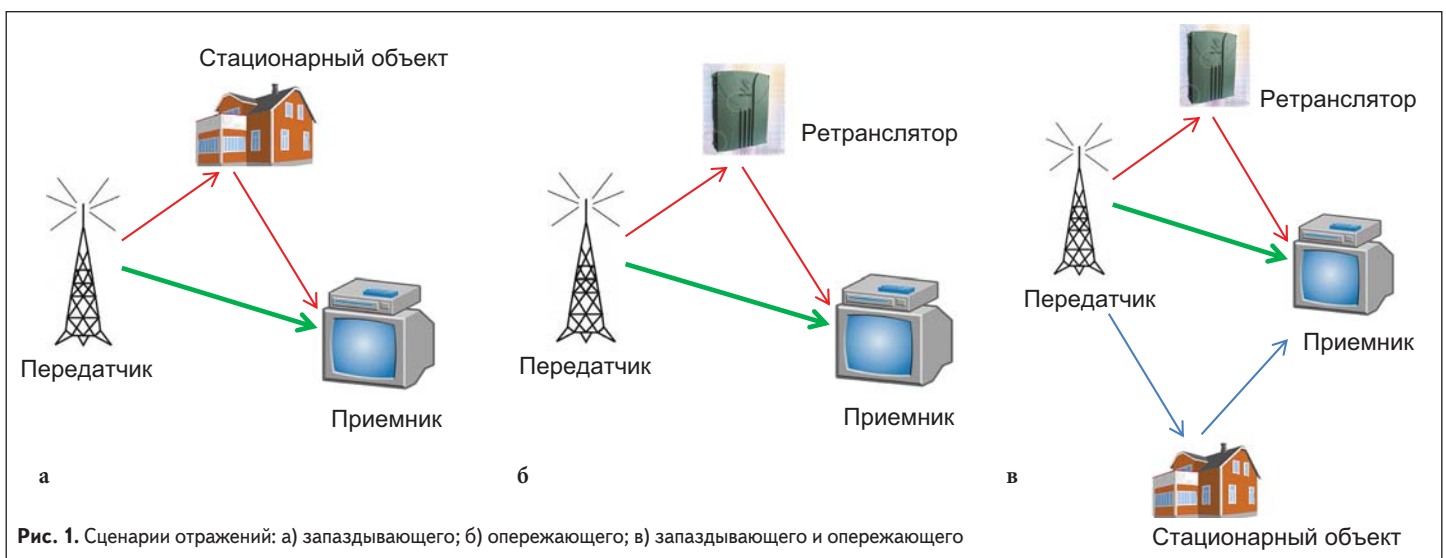
В этом сценарии самый мощный сигнал поступает от ближайшего передатчика (основной сигнал). Остальные сигналы являются либо сигналами расположенных вдали передатчиков, либо отражениями, приходящими после основного сигнала и имеющими меньший уровень мощности.

- Опережающее отражение.

Оно часто появляется, когда поблизости расположен ретранслятор. В этом сценарии самый мощный сигнал поступает от ретранслятора, и приходит он не первым. Первым приходит сигнал по линии прямой видимости, но он имеет меньший уровень мощности.

- Запаздывающее и опережающее отражение.

Эта ситуация соответствует случаю, когда в канале передачи присутствуют и запаздывающие и опережающие отражения. Самый сильный сигнал приходит от ретранслятора. Сигнал по линии прямой видимости приходит первым, но с меньшим уровнем мощности. Сигналы, пришедшие позже, могут быть отражениями.



Чтобы лучше понять влияние отражения на системы OFDM, нужно учитывать, что в одночастотной сети импульсная характеристика канала $h(n)$ описывается уравнением:

$$h(n) = \sum_{i=0}^{L-1} \alpha_i \delta(n - \tau_i), 0 \leq n \leq N-1,$$

где L — число отражений; α_i — комплексный коэффициент усиления; τ_i — задержка i -го отражения.

Воздействие отражений на импульсную характеристику канала приводит к наложению символов OFDM и, следовательно, к возникновению ISI, что вызывает снижение качества приема. Для предотвращения ISI в системах OFDM между символами вставляются защитные интервалы (GI). Теоретически ISI не возникает до тех пор, пока максимальная задержка не превышает GI. В одночастотной сети отражения сигналов разных передатчиков должны лежать в пределах GI. Отражения за пределами GI должны быть настолько малыми, чтобы система их не обнаруживала.

Помимо ISI, принимаемые отражения могут создавать конструктивную и деструктивную интерференцию, порождающую затухание или самоинтерференцию. Это особенно проблематично в широкополосных системах связи и в высокоскоростных системах передачи данных, где затухание может сильно зависеть от частоты. В одночастотной сети близкие по мощности сигналы от разных передатчиков могут значительно ослабляться в точке приема из-за деструктивной интерференции. Для предотвращения такого затухания и создаваемых им проблем можно использовать конфигурации с несколькими антеннами и корректирующие фильтры. Например, в стандарте DVB-T2 для решения этой проблемы используется схема Аламоути с несколькими входами и одним выходом (MISO).

Оптимизация одночастотной сети

Оптимизируя одночастотную сеть (независимо от того, используются ли в ней системы с одним входом и одним выходом (SISO) или системы MISO), операторы должны, в первую очередь, отделить проблемы, связанные с приемником, от проблем, возникающих в самой сети. Некоторые спецификации тестирования приемников, такие как MBRAI (спецификации интерфейса радиодоступа MT-Mobile и портативного DVB-T/H) и NorDig (спецификации цифрового телевидения для скандинавского региона и Ирландии), определяют сценарии, в которых все приемники должны достичь квазибезошибочного (QEF) приема с достаточным отношением уровня сигнала к шуму (С/Ш). Эти сценарии включают измерение мощности и задержки отражений, а также определяют маску отражений. Если QEF-прием не достигается, качество приема гарантировать нельзя.

В то время как измерения коэффициента битовых ошибок (BER) очень важны для тестирования передатчиков и оценки качества сигнала в сети, этот показатель неэффективен для оптимизации сети, поскольку достижимый BER сильно зависит от параметров приемника. Вместо этого операторы должны знать такие характеристики сети, как относительная мощ-

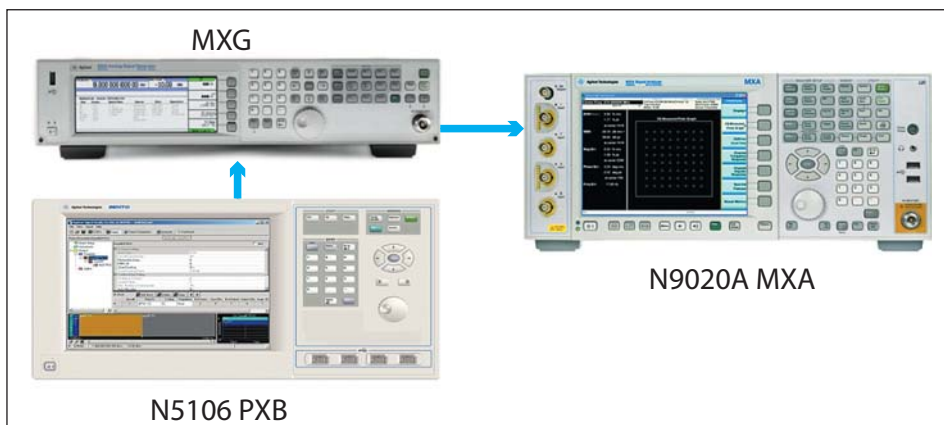


Рис. 2. Демонстрационная система Agilent для измерения характеристик одночастотной сети

ность отражения и задержка распространения, которые могут сильно влиять на способность приемника восстанавливать полезные данные. Кроме того, для гарантированного обеспечения хорошего приема нужно выполнять измерения в разных точках сети. Когда эти показатели известны, операторы могут легко настроить параметры передачи для достижения оптимального покрытия сети.

Выполнение измерений в одночастотной сети

При измерении необходимых характеристик сети нужно учитывать множество факторов, среди которых немаловажную роль играет выбор измерительных приборов. На рис. 2 показана демонстрационная система, которую можно использовать для имитации одночастотной сети. Как видно на этой схеме, демонстрационная система Agilent для измерения характеристик одночастотной сети состоит из векторного генератора

сигналов (N5182A или N5182B MXG), генератора модулирующего сигнала и имитатора канала N5106A PXB и анализатора сигналов N9020A MXA. Эта конфигурация позволяет использовать разные сценарии работы одночастотных сетей для оценки систем DVB-T и DVB-T2 MISO. В этой демонстрационной системе для имитации сигнала одночастотной сети используется векторный генератор сигналов MXG, а также генератор модулирующих сигналов и эмулятор канала PXB. В реальной системе для измерения характеристик одночастотной сети вместо сигнала, создаваемого генераторами MXG и PXB, анализатор сигнала измеряет реальный принимаемый сигнал, причем это измерение должно соответствовать требованиям стандартов цифрового телевидения (рис. 2). Кроме того, анализатор сигналов должен быть адаптирован для решения проблем, связанных с оптимизацией одночастотных сетей (рис. 3). Измерительное программное обеспечение N6153A DVB-T/H/T2 работает на анализаторе N9020A

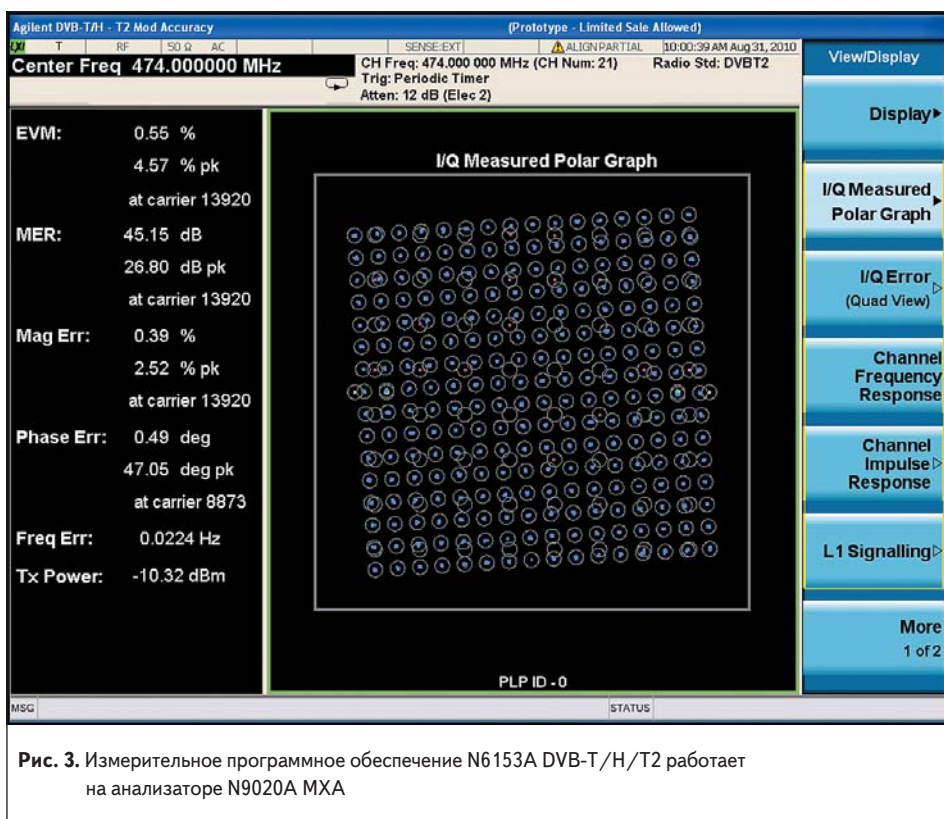
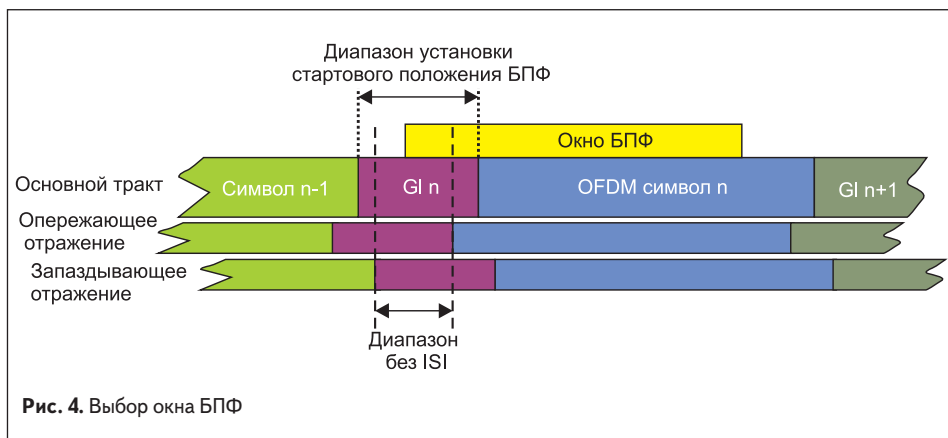


Рис. 3. Измерительное программное обеспечение N6153A DVB-T/H/T2 работает на анализаторе N9020A MXA



МХА и предлагает однокнопочное измерение мощности и параметров модуляции сигналов DVB-T/H/T2 в соответствии с требованиями стандартов. Его можно использовать для измерения в одночастотных сетях DVB-T/H, SISO и MISO DVB-T2.

Для получения оптимальных результатов при измерении параметров сети настоятельно рекомендуется, чтобы выбранные измерительные приборы обладали рядом ключевых возможностей. Во-первых, приборы должны быть достаточно гибкими и многофункциональными для развертывания систем OFDM и других систем (например, ISDB-T) и допускать применение как в лабораторных, так и в полевых условиях. Кроме того, они должны предлагать надежный способ выполнения требуемых тестов в сценариях с запаздывающими, опережающими или запаздывающими и опережающими отражениями, а также с отражениями, задержка которых выходит за пределы защитного интервала (GI). Эти измерительные приборы должны не только обнаруживать отраженные сигналы, но и из-

мерять коэффициент усиления и задержку каждого обнаруженного отражения.

Возможность точного измерения мощности и задержки отражений в процессе развертывания сети весьма важна для обеспечения хорошего покрытия. Это связано с тем, что приемники одночастотной сети используют коррекцию для подавления отражений, и на параметры этой коррекции сильно влияют два фактора: задержка и мощность отраженных сигналов.

При измерении в системах OFDM для оценки и отслеживания состояния канала обычно используются готовые пилотные несущие гребенчатого типа. Используя такие несущие в сочетании с тщательно спроектированным фильтром, операторы могут точно определить и измерить все отражения в разных сценариях, когда максимальная задержка отражений не превышает GI. Когда GI превышен и отражения в одночастотной сети не соответствуют маске отражений, определенной в MBRAI и NorDig, важную роль играет способность измерительных приборов обнаруживать отражения, нарушающие маску.

Чтобы получить точную структуру отражений, анализатор одночастотной сети должен уметь определять лучшее положение окна быстрого преобразования Фурье (БПФ) для выполнения демодуляции и анализа. Кроме того, он должен обладать гибкостью, позволяющей перемещать окно БПФ и оценивать влияние положения этого окна на качество измерений, как показано на рис. 4. Выбор окна БПФ играет важную роль для получения точной структуры отражений. Здесь показан сценарий с одним опережающим и одним запаздывающим отражением. Обратите внимание, что в качестве начальной точки окна БПФ использовано стартовое положение БПФ. Для точного измерения структуры отражений окно БПФ нужно установить так, чтобы обеспечить минимальное значение ISI и охватить как можно больше отражений. «Диапазон без ISI» означает, что если установить стартовое положение БПФ в этом диапазоне, то наложение предшествующих и последующих символов разных отражений будет отсутствовать.

Заключение

Благодаря высокой спектральной эффективности и простоте частотного планирования одночастотные сети телевизионного вещания получили широкое распространение. Однако полная реализация потенциальных возможностей одночастотных сетей требует тщательной проработки, которая начинается с точного измерения характеристик сети. Решение для измерения характеристик одночастотных сетей с описанными выше возможностями оптимально подходит для решения этой проблемы. Используя такое решение, инженеры и операторы могут получить серьезные конкурентные преимущества, необходимые им для успешного развертывания сетей DVB-T, DVB-T2 и ISDB-T. ■