

Уровень приложений включает три основных сегмента:

B2C: управление потреблением коммунальных ресурсов (не только электроэнергии) в домах граждан. Системы мониторинга и управления потреблением бытовых устройств и имеющегося в домах оборудования, включая интеграцию датчиков и сенсоров, установку систем автоматического и/или дистанционного включения/выключения устройств (например, систем отопления, освещения и т. д.), в зависимости от нагрузки, времени суток, погодных условий и т. п., а также подключение альтернативных генераторов (например, ветряных установок) и систем накопления энергии. Такие услуги в частных домах фактически являются подмножеством более широкого набора операторских услуг, рассматриваемого в рамках концепции умный дом (Smart City) и включающего управление, в том числе медийным и развлекательным пространством, интеграции фиксированной и беспроводной связи, а также доступа в Интернет. Активно развиваются на основе технологии M2M. Темпы роста рынка таких систем и услуг в мире пре-

вышают 50 % в год, объем рынка оценивается в 15 млрд. долл. к 2015 г.;

B2B: повышение эффективности потребления ресурсов в корпоративном секторе в масштабах предприятия с учетом географической специфики размещения его производства и структуры филиальной сети на основе ИТ-инфраструктуры оператора и предприятия (в ряде случаев также обслуживаемой оператором по модели аутсорсинга). Пакет сервисов включает системы сбора и обработки данных о потреблении, управление потреблением с целью снижения затрат, в том числе на основе данных о текущей ценовой конъюнктуре рынка. Объем рынка таких систем оценивается в 7 млрд. долл. к 2015 г.;

B2O: управление энергетическими системами в региональном и национальном масштабах. Обеспечение баланса между потреблением и производством, оптимизация нагрузок в системах передачи электроэнергии, дистанционное управление автоматикой, отключение/активация отдельных кластеров. Проблема текущих электрических сетей (в которых сбор данных до сих пор в основном идет в аналоговом режиме)

состоит в невысокой точности и низком уровне дискретности сбора информации о состоянии системы. Например, данные о нагрузке снимаются очень редко, например, раз в час, что не позволяет делать качественные прогнозы изменения состояния сетей и осуществлять проактивное управление ими. Концепции Advanced Metering Infrastructure (AMI) и Smart Grid направлены на решение именно этой проблемы.

В силу очень высокой привлекательности сегмента в него активно продвигаются не только операторы, но и вендоры — производители ПО и оборудования для систем Smart Metering, системные интеграторы, рассматривающие новые ниши в рамках концепции аутсорсинга, а также ОТТ, которые “поверх” энергетической и Интернет-инфраструктуры продвигают приложения, позволяющие любому пользователю управлять потреблением ресурсов и снизить затраты на них.

В России данный рынок фактически пуст и имеет огромный потенциал роста, поэтому у операторов связи есть все возможности и компетенции, чтобы сформировать его “под себя” и получить новые источники дохода.

Производительность когерентных DWDM-систем с канальной скоростью 100 Гбит/с

Н.В. ГУРКИН, инженер ООО “Т8”, кандидат технических наук, О.Е. НАНИЙ, заведующий отделом, профессор физического факультета МГУ им.

М.В. Ломоносова, доктор физико-математических наук, В.Н. ТРЕЩИКОВ, генеральный директор, кандидат физико-математических наук, Р.Р. УБАЙДУЛЛАЕВ, инженер, кандидат физико-математических наук

Четырехуровневый фазовый формат модуляции с поляризационным мультиплексированием (формат DP-QPSK) обеспечивает сочетание высокой спектральной и энергетической эффективности за счет использования для кодирования информации всех четырех независимых параметров (степеней свободы) светового пучка: по две квадратуры в каждой из двух поляризаций. Дальность безрегенерационной передачи с канальной скоростью 100 Гбит/с при использовании формата модуляции DP-QPSK достигла 4000 км и может быть

Для наиболее экономичного решения задачи увеличения пропускной способности опорных DWDM-систем необходимо добиться передачи макси-

увеличена до 8000 км. Спектральная эффективность формата составляет 2 бит/с/Гц при использовании сетки 50 ГГц и может быть увеличена до 3 бит/с/Гц. Такая спектральная эффективность обеспечивает получение суммарной скорости 25 Тбит/с в диапазоне C+L, а потенциальная производительность DWDM-систем связи достигает 100 Пбит×км/с. Обсуждаются технические возможности увеличения канальной скорости до 200 и 400 Гбит/с при использовании многоуровневых форматов модуляции (DP-mQAM).

мально большого потока информации на максимальное расстояние без использования регенерации оптического сигнала. Производство дальности безрегенерационной передачи на

полную скорость передачи информации будем называть производительностью DWDM-системы.

Ширина спектральной полосы, используемой для передачи информации в волоконно-оптических системах дальней связи, ограничена спектром усиления оптических усилителей и спектром пропускания волокна, поэтому для увеличения суммарной скорости передачи информации важно добиться увеличения спектральной эффективности DWDM-системы, определяемой как:

$$SE = B/\Delta\nu, \quad (1)$$

имеющей размерность бит/с/Гц, где B — скорость передачи (количество переданных бит в единицу времени), а $\Delta\nu$ — спектральная полоса, занимаемая сигналом, измеряется в Гц.

Дальность безрегенерационной передачи пропорциональна мощности сигнала, вводимого в линию связи. Мощность в свою очередь ограничена нелинейными искажениями. Поэтому для увеличения дальности передачи информации важно максимально увеличить энергетическую эффективность DWDM-систем связи. Энергетической эффективностью называется величина, численно равная среднему числу переданных битов, приходящихся на единицу передаваемой энергии:

$$EE = B/P, \quad (2)$$

где P — средняя мощность светового сигнала.

В большинстве коммерчески эксплуатируемых DWDM-систем применяются бинарные форматы модуляции, например, амплитудная (OOK, ASK) в сочетании с прямым детектированием или дифференциальная фазовая модуляция (DPSK), см. рис. 1а), б). В этих форматах модуляции каждый символ передает всего один бит информации, а их спектральная эффективность ограничена величиной порядка 1 бит/с/Гц. В коммерческих DWDM-системах с канальной скоростью 40 Гбит/с в сетке 50 ГГц спектральная эффективность составляет 0,8 бит/с/Гц [1 — 4]. При использовании прямого детектирования большая дальность безрегенерационной передачи может быть обеспечена только для форматов с малой спектральной эффективностью. Это связано с тем, что в системах с прямым детектированием используются не все параметры светового пучка (степени свободы) [5].

Для одновременного достижения высокой спектральной и энергетической эффективности наиболее пер-

спективно использование технологии когерентного детектирования. При этом для кодирования информации могут использоваться две компоненты электрического поля (синфазная — in-phase или I, квадратурная — quadrature или Q) в каждой из двух ортогональных состояний поляризации поля. Иными словами, могут применяться все четыре степени свободы одномодового светового пучка. Это позволяет увеличить спектральную эффективность в четыре раза по сравнению с форматом ASK без уменьшения дальности безрегенерационной передачи.

Четырехуровневый фазовый формат модуляции с поляризационным мультиплексированием

Четырехуровневый фазовый формат модуляции с поляризационным мультиплексированием (DP QPSK) обеспечивает сочетание высокой спектральной и энергетической эффективности за счет использования для кодирования информации всех четырех независимых параметров (степеней свободы) светового пучка: по две квадратуры в каждой из двух поляризаций. Формат DP QPSK обеспечивает максимальную производительность системы связи, равную произведению дальности на суммарную скорость передачи информации. Почти все коммерческие реализации DWDM-систем дальней связи с канальной скоростью 100G используют технологии когерентного детектирования, поляризационного мультиплексирования и четырехуровневой фазовой модуляции (формат DP-QPSK) с символьной скоростью от 28 до 32 Гбод, в зависимости от типа и сложности применяемого для исправления ошибок кода (FEC). Дополнительно к этому, цифровая обработка сигнала обеспечивает электронную компенсацию хроматической дисперсии и поляризационной модовой дисперсии (ПМД).

На рис. 1 приведены амплитудно-фазовые диаграммы (сигнальные созвездия) форматов модуляции, использующих 1, 2 и 4 степени свободы (независимо модулируемых параметров) светового пучка. По горизонтали объединены конфигурации с одинаковым числом битов, передаваемых в

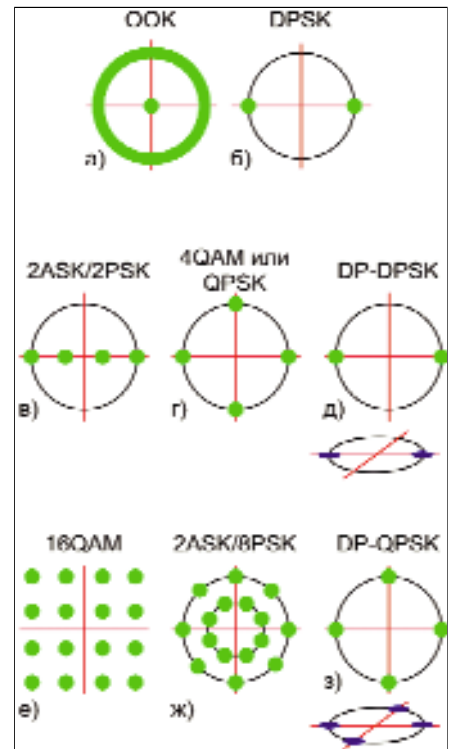


Рис. 1. Амплитудно-фазовые диаграммы форматов модуляции, использующих 1, 2 и 4 степени свободы (независимо модулируемых параметра) светового пучка. Когерентное детектирование позволяет реализовать любые многоуровневые форматы модуляции:
 а) 1 бит/символ, 1 степень свободы, прямое детектирование;
 б) 1 бит/символ, 1 степень свободы, интерферометрическое детектирование;
 в) 2 бит/символ, 1 степень свободы, интерферометрическое детектирование;
 г) 2 бит/символ, 2 степени свободы, интерферометрическое детектирование;
 д) 2 бит/символ, 3 степени свободы, интерферометрическое детектирование;
 е) 4 бит/символ, 2 степени свободы, нет реализаций;
 ж) 4 бит/символ, 2 степени свободы, нет реализаций;
 з) 4 бит/символ, 3 степени свободы, когерентное детектирование

одном символе. Увеличение символьной эффективности формата при сохранении количества используемых степеней свободы ведет к уменьшению энергетической эффективности, о чем свидетельствует уменьшение расстояния между значениями сигнала (точками) на диаграммах б) и в) или г) и е). Формат DP-QPSK использует все 4 степени свободы и обладает максимальной энергетической эффективностью: расстояние между точками на диаграмме з) больше, чем на диаграммах е) и ж).

Окончание следует