

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УЧАСТКА ОПТИЧЕСКОЙ СЕТИ ДОСТУПА GPON

Терехов Ю.С., студ.; Червинский В.В., доц., к.т.н.

(ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)

Одной из развивающихся, перспективных для использования на «последней миле» технологий широкополосного мультисервисного доступа является семейство технологий пассивных оптических сетей – PON (Passive Optical Network). Как видно из названия, данная технология использует оптическое волокно без активных сетевых элементов в узлах разветвления, а также одноволоконную древовидную топологию типа «точка-многоточка» и волновое разделение трактов приема/передачи.

При проектировании сетей PON перед планировщиком встают следующие задачи: определение местоположения корня дерева с активным оборудованием (OLT) и мест установки абонентских оконечных модулей (ONU), выбор топологии сети, определение трасс прохождения кабеля и мест установки пассивных сплиттеров, расчет бюджета потерь для каждой ветви и определение оптимальных коэффициентов деления всех сплиттеров. Первые две задачи обычно решаются анализом исходных данных по расположению телекоммуникационного узла провайдера и местоположению пользователей. Выбор топологии, типа, расположения и количества сплиттеров и кабельной продукции, с учетом допустимого уровня потерь, предполагает исследование множества возможных вариантов и выбора наилучшего с точки зрения проектировщика и заказчика, то есть решения некоторой оптимизационной задачи.

Анализ работ показал, что на сегодня вопросам исследования пассивных оптических сетей PON уделяется достаточно пристальное внимание. Это подтверждено большим количеством публикаций, и вызвано тем, что данная тематика охватывает очень широкий спектр задач в самых различных областях. Существует много изданий, которые классифицируют и раскрывают различные способы и методы проектирования. Но в большинстве случаев они рассматриваются или в контексте общепринятых топологий систем передачи, или вообще без описания последних. Еще меньше статей рассматривают вопрос оптимизации. Поэтому целью данной статьи является исследование влияния параметров оптической сети, их оптимизация и оценки их эффективности.

Постановка задачи оптимизации предполагает выполнение следующих этапов:

- 1) составление математической модели объекта оптимизации,
- 2) выбор критерия оптимальности и составление целевой функции,
- 3) установка возможных ограничений, которые должны накладываться на переменные,
- 4) выбор метода оптимизации.

Задача оптимизации может быть однокритериальной или многокритериальной.

Для сети PON основными критериями оценки качества могут выступать следующие:

- приведенные затраты на создание и эксплуатацию системы;
- характеристики надежности структуры;
- сбалансированность сети PON;
- распределение пропускной способности для передачи трафика.

Каждая технология из семейства PON обладает определенно пропускной способностью. Поэтому при выборе технологии важным является оценка максимального количества абонентов, которые могут быть подключены к одному порту PON устройства OLT. Данное количество абонентов, с одной стороны, не превышает предельное для данного устройства ограничение. Например, для большинства устройств OLT технологии GPON оно составляет 64. С другой стороны, трафик, создаваемый пользователями, должен быть передан с высоким качеством обслуживания, что обеспечивается пропускной способностью

порта PON. Для определения максимального количества абонентов на порт PON OLT можно воспользоваться следующей методикой [3]:

Предлагается считать трафик сети доступа пуассоновским, составленным из множества видов узкополосных и широкополосных услуг с пакетной передачей. Также предлагается считать сеть широкополосной и мультисервисной.

Каждый терминал пользователя характеризуется параметрами телетрафика:

- интенсивность входящего потока заявок на предоставление услуг (вызов/час), $\gamma_{термин}^{(k)}$, где $k=1, 2, \dots$ - номера услуг;

- средняя длительность сеанса связи $T_{сеанс}^{(k)}$;

- удельная интенсивность нагрузки:

$$P_{термин}^{(k)} = \gamma_{термин}^{(k)} \cdot T_{сеанс}^{(k)} / 3600 \text{ (ЭЭрл)} \quad (1)$$

Для служб с изменяющимся трафиком для описания скорости передачи используются следующие параметры:

- пиковая или максимальная битовая скорость передачи $K_{нач}^{(k)} = B_{макс}^{(k)} / B_{ср}^{(k)} \cdot B(k)_{макс}$;

- средняя битовая скорость $B_{ср}^{(k)} B(k)_{ср}$;

- пачечность:

$$K_{нач}^{(k)} = B_{макс}^{(k)} / B_{ср}^{(k)}. \quad (2)$$

Среднее значение и дисперсия битовой скорости k -ой услуги при образовании $N(k)$ вк числа виртуальных каналов определяются:

$$B_{ср}^{(k)} = N_{вк}^{(k)} \cdot B_{макс}^{(k)} / K_{нач}^{(k)}, \quad (3)$$

$$D^{(k)} = N_{вк}^{(k)} \cdot (B_{макс}^{(k)})^2 / K_{нач}^{(k)}.$$

Среднее значение и дисперсия случайной величины битовой скорости передачи в цифровом тракте или оптическом канале, которая требуется для удовлетворения потребностей пользователей, определяется по теореме сложения математических ожиданий и дисперсии:

$$B_{ср} = \sum_{k=1}^K B_{ср}^{(k)}, \quad (4)$$

$$D = \sum_{k=1}^K D^{(k)}.$$

Максимальная допустимая скорость передачи в тракте при заданной вероятности потери пакета:

$$B_{макс тр} = B_{ср} + U \sqrt{D}, \quad (5)$$

где U – параметр, связанный с вероятностью потери пакета в тракте передачи, определяется по справочным данным для нормального закона распределения [3].

Применение данной методики для условий Куйбышевского р-на г. Донецка показывает, что при предоставлении провайдером услуг ISP подключения к Интернет, IPTV и VoIP суммарный трафик, генерируемый группой из 64 абонентов, не превышает 300-500 Мбит/с, для обслуживания которого вполне достаточно канала в 1 Гбит/с, предоставляемого одним портом GEAPON OLT.

Количественную оценку оптимизируемого качества проектируемой сети PON, т.е. выражение критерия оптимальности будем искать в виде экономической оценки себестоимости проектируемой сети. На основании критерия оптимальности составляется целевая функция, представляющая собой зависимость критерия оптимальности от

параметров, влияющих на ее значение. Решение задачи оптимизации будем искать как экстремум целевой функции.

Для математического описания проектируемой сети PON, с целью оценки ее себестоимости, учтем стоимость кабеля, сварки, сплиттеров и затрат на монтажные работы.

В основу описания сети положено ее графовое представление в виде матрицы смежности размерностью $(n \times n)$, где n – общее количество узлов, включая порт OLT, все ONU и сплиттеры.:

$$X = \lfloor x_{ij} \rfloor \quad (6)$$

где

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если существует дуга между узлами } i \text{ и } j, \\ 0, & \text{несуществует} \end{cases}$$

Общая стоимость сети доступа на базе технологии PON составляет:

$$I = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_{ij} \left(L_{ij} \cdot C_{BO} + C_{CB} \cdot \left| \frac{L_{ij}}{l_B} \right| \right) + \sum_{s=1}^S C_{СП}^{(s)} \cdot n^{(s)}, \quad (7)$$

где L_{ij} – расстояние между i -м j -м узлами;

C_{BO} – погонная стоимость оптоволоконного кабеля, включая стоимость монтажных работ;

C_{CB} – стоимость монтажных работ по сварке оптоволоконного кабеля;

l_B – длина оптоволоконного кабеля в бухте;

s – тип сплиттера (1:2, 1:4, 1:8, 1:16, 1:32);

$n^{(s)}$ – количество сплиттеров с коэффициентом деления 1:s;

$C_{СП}^{(s)}$ – стоимость сплиттера с коэффициентом деления 1:s;

Кроме критерия оптимальности, необходимо учесть ограничения, которые должны накладываться на переменные. Немало важным показателем при построении сети является затухание и оптический бюджет, которым должна удовлетворять спроектированная сеть. Для оценки влияния затухания на сеть удобно использовать характеристику оптический бюджет. Оптический бюджет мощности определяется как разница между мощностью передатчика (SFP OLT трансивера) и чувствительностью приёмника в ONU, подразумевается максимальное затухание сигнала от OLT-а до ONU. Это затухание складывается из следующих составляющих:

- затухание на коннекторах (~ 0.5 dB);
- затухание на волокне (0.36/0.24 dB/km на длинах волн 1310/1490 nm);
- затухание на сварке волокна (~ 0.05 dB);

Бюджет потерь подразумевается максимальное затухание сигнала от OLT-а до ONU. В сетях PON оптический бюджет равен 30 дБ, т.е. общее затухание от порта OLT до каждого порта ONU имеет ограничение:

$$\alpha_{\text{общ}} < 30 \text{ дБ}. \quad (8)$$

Затухание может быть рассчитано по следующей формуле:

$$\alpha_{\text{общ}} = L \cdot \alpha + n_{\text{ср}} \cdot \alpha_{\text{ср}} + n_{\text{рс}} \cdot \alpha_{\text{рс}} + \alpha_t + \alpha_3, \quad (9)$$

где L – длина кабеля от порта OLT до порта ONU, км;

α – коэффициент затухания в световодах, дБ/км;

$n_{\text{ср}}$ – число сростков (неразъёмных соединителей);

$\alpha_{\text{ср}}$ – затухание в сростках (равно 0,02 дБ), дБ;

$n_{\text{рс}}$ – число разъёмных соединителей;

$\alpha_{\text{рс}}$ – затухание в разъёмных соединителях, дБ;

α_t - допуск на температурные изменения затухания оптического волокна,

α_z - эксплуатационный запас (принимается равным от 6 до 10 дБ), дБ.

Также сеть должна удовлетворять условиям сбалансированности сети. Сбалансированная сеть PON – это сеть, в которой полные потери по всем оптическим путям одинаковы: $\alpha_{обц i} = \alpha_{обц j}$ для всех абонентских узлов i, j .

Пример построения участка сети PON для 32 абонентов, используя топологию типа «1x2+1x16» приведена рис. 1. На рис. 2 показан пример сети для тех же условий и для топологии типа «1x4+1x8».

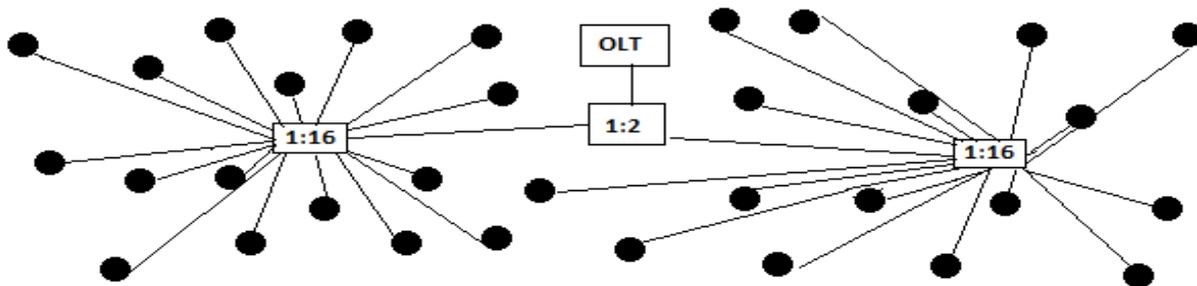


Рисунок 1 - Топология «1x2+1x16»

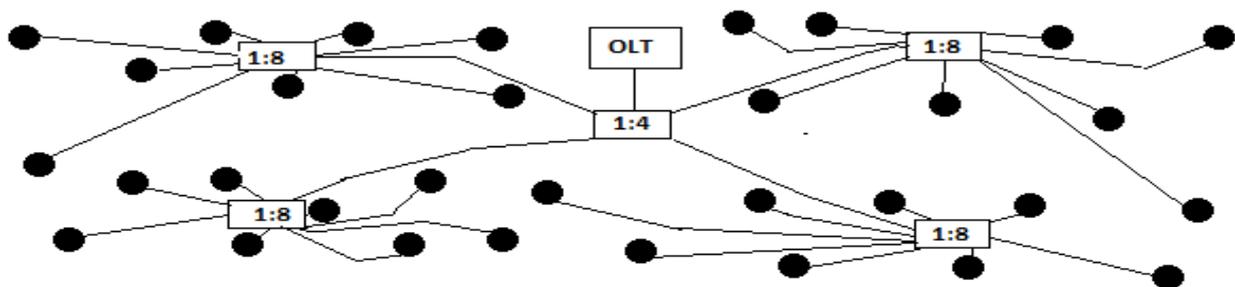


Рисунок 2 - Топология «1x4+1x8»

Для расчета стоимости сети используем следующие значения: $C_{во}=4$ у.е.; $C_{св}=563$ у.е.; $C_{сп}^{(2)}=2328$ у.е.; $C_{сп}^{(4)}=2720$ у.е.; $C_{сп}^{(8)}=3504$ у.е.; $C_{сп}^{(16)}=4853$ у.е;

Тогда согласно (7) затраты на реализацию первой сети $I=66176$ у.е.; затраты на вторую сеть $I=73916$ у.е. В обоих случаях бюджет потерь составляет <30 дБ.

Таким образом, в статье приведена математическая модель участка сети доступа PON, учитывающая трафик, генерируемый конечными пользователями, и определяющая критерий стоимости сети с ограничением в виде максимального затухания от порта OLT до ONU пользователя.

Перечень ссылок

1. Kokangul, A. Optimization of passive optical network planning [Текст] / A. Kokangul, A. Ari // Applied Mathematical Modelling 35 (2011) p.3345–3354
2. Топологии пассивных GPON-сетей. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ic-line.ua/wiki/topologiya-gepon>
3. Фокин, В.Г. Проектирование оптической сети доступа: учебное пособие [Текст] / В.Г. Фокин. - Новосибирск: ФГОБУ ВПО «СибГУТИ», 2012. -312 с.
4. Червинский, В.В. Телекоммуникационная сеть провайдера услуг TRIPLE PLAY для условий микрорайона «Абакумова» [Текст] / В.В. Червинский, Ю.С. Терехов // Автоматизация технологических объектов и процессов. Поиск молодых. Сборник научных трудов XV Международной научно-технической конференции аспирантов и студентов в г. Донецке 20-22 мая 2015 г. - Донецк, ДонНТУ, 2015. - С.41-44.