

ОПТИМИЗАЦИЯ КЛАССА ТОПОЛОГИИ СЕТЕЙ ДОСТУПА

Национальный авиационный университет

В статье описаны основные классы топологий составных сетей доступа. По выбранным критериям проведено сравнение классов топологий городской или региональной сети с использованием метода анализа иерархий. Рассчитаны отношения согласованности для каждого критерия.

Введение

Современные сети доступа представляют собой набор фрагментов с разными физическими средами передачи данных, эксплуатационными и техническими характеристиками, различными топологиями [1,2]. По существу, они представляют собой составные сети с высокой степенью гетерогенности.

В топологии сетей доступа обычно выделяют три основных архитектуры: “кольцо”, “точка-точка” (*P2P*) и “точка-множество точек” (*P2MP*), выбор которых зависит от требований заказчиков, плотности размещения абонентов и их удаления, от технологии и архитектуры магистральной сети, предоставляемых услуг и ряда других факторов.

Увеличение скорости до 10 Гбит/с, новые возможности в организации мультисервисных услуг благодаря применению таких стандартов и протоколов, как *IEEE 802.1q (VLAN)*, приоритизация трафика, классы *DiffServ* для обеспечения *QoS*, *MPLS* для быстрой коммутации пакетов в многопротокольных сетях [3], превратили *Ethernet* в технологию операторского класса.

Трактовка услуг операторского класса сводится к весьма простым правилам:

– когда вы набираете номер, то соединение устанавливается в соответствии с этим набранным номером;

– когда вы завершаете набор номера, телефон на противоположной стороне начинает звонить, а вы начинаете слушать гудки “Контроля посылки вызова” (или, в худшем случае, гудки зуммера “Занято”) не позже, чем через 2-3 с после завершения набора номера;

– в состоявшемся после ответа вызы-

ваемого абонента разговоре качество и разборчивость речи будут соответствовать нормам Международного союза электросвязи (МСЭ) без прослушивания эха, ощутимых задержек и посторонних шумов.

Существенную роль в услугах операторского класса играет принцип отделения организации услуг от коммутации, составляющий основу концепции интеллектуальной сети. С самого начала эта концепция стала средством глобального нагнетания вычислительной мощности в сеть связи общего пользования. На уровне городских сетей это выражается в распространении *Metro Ethernet*.

Хотя на магистралях региональных и городских сетей по-прежнему доминирует кольцевая, древовидная или ячеистая инфраструктура *ATM/SDH*, сегменты *Ethernet* постепенно появляются и здесь. Применение *Ethernet* в глобальных сетях и сетях доступа позволяет снизить стоимость услуг *Triple Play* и добиться прозрачного соединения удаленных офисов. В новых разработках *IP/Ethernet* для сетей доступа делается попытка объединить лучшие качества волоконной оптики и технологии *Ethernet*, причем последняя применяется не только для сетей с коммутацией пакетов, но и для унаследованных магистральных сетей *SDH*.

Для новых операторов, не имеющих унаследованной инфраструктуры и ориентирующихся на *Ethernet/IP*, построение последней милы на основе технологии *Ethernet* особенно актуально [4].

Простейший вариант организации доступа состоит в применении медиаконверторов “медь-оптика”, “оптика-медь” и “оптика-оптика”. Задача организации широкополосного волоконно-оптического

доступа может быть решена разными способами: по схеме "оптическое волокно до здания" (FTTB), "до жилища" (FTTH) или "до распределительной коробки" (FTTC).

Ранее медиа-конверторные платформы не обладали необходимой управляемостью, хотя ведущие производители медиа-конверторных решений разрабатывали собственные средства управления. Теперь же широкий спектр этих продуктов оснащается не только встроенными средствами администрирования, но и эффективными механизмами восстановления, что повышает надежность сети в целом и поэтому позволяет называть их решениями операторского класса.

С принятием IEEE стандарта 802.3ah, получившего название "Ethernet на первой миле" (EFM), появились расширенные возможности управления и мониторинга удаленных устройств и каналов связи для пакетных сетей Ethernet. Для всех топологий доступа предусматривается общий набор правил управления, администрирования и обслуживания (OAM). Оператор имеет возможность комбинировать оптические и медные сегменты сети и управлять ею посредством единого набора инструментов и процедур. Этот стандарт стал ориентиром для большинства производителей оборудования доступа по оптике и меди.

Производители оборудования дополняют 802.3ah собственными патентованными технологиями, такими, как управление пропускной способностью канала, измерение мощности оптического сигнала, управление параметрами оборудования (температура, напряжение источника питания), т.е., по существу, стандартами де-факто.

Стандарт *де-факто* - термин, обозначающий продукт какого-либо поставщика, который захватил большую долю рынка и который другие поставщики стремятся эмулировать, копировать или использовать для того, чтобы захватить свою часть рынка.

Одна из главных причин значимости современной программы стандартизации - осознание опасности злоупотребления стандартами *де-факто*. В 60-е и 70-е годы создание стандартов *де-факто* ставило пользователей в зависимое от производителе-

лей положение при использовании основных средств обработки данных и телекоммуникаций. Важный аспект сегодняшней работы по стандартизации - преодоление этой зависимости через продвижение стандартных интерфейсов.

Стандарт *де-юре* создается формально признанной стандартизирующей организацией. Он разрабатывается при соблюдении правил консенсуса в процессе открытой дискуссии, в которой имеет шанс принять участие каждый. Ни одна группа не может действовать независимо, создавая стандарты для промышленности. Если какая-либо группа поставщиков создаст стандарт, не учитывающий требования пользователей, она потерпит неудачу. То же самое происходит, если пользователи создают стандарт, с которым не могут или не будут соглашаться поставщики, этот стандарт также не будет успешным. Когда участие различных групп в разрабатываемых стандартах организациях сбалансировано, согласительный подход к стандартам *де-юре* позволяет всем участникам воплотить свои реалистичные ожидания и продвинуться в своих достижениях. Стандарты *де-юре* не могут быть изменены, не пройдя через процесс согласования под контролем организации, разрабатывающей стандарты. Стандарты OSI, Ethernet, POSIX, SQL и большинство стандартов языков - примеры такого рода стандартов.

Для организации канала управления используются межкадровые промежутки Ethernet (Inter-Packet Gap, IPG). Расширения не влияют на стандартные возможности управления, а лишь добавляют функциональность и число параметров управления. Система управления основана на базах MIB, использует стек протоколов SNMP и стандарт IEEE 802.3ah. Графический интерфейс системы управления NetBeacon позволяет получать информацию о событиях, соотносить их с сетевыми элементами и каналом связи, отображать состояние соединений и условия функционирования портов.

Конструктивно оборудование представляет собой модульные устройства, куда устанавливаются линейные карты с компактными съемными модулями (Small

Form-factor Pluggable, SFP), оснащенные средствами мониторинга качества линии, оптической амплитуды и параметров оборудования. Они способны поддерживать *CWDM*, а оптический транспондер *Multi-Rate Line Card (MRLC)* позволяет использовать различные протоколы (*Ethernet, STM-1/4/16, ESCON, FC*) и поддерживать сразу несколько услуг по одной оптической паре ("мультисервисный *CWDM*").

Постановка задачи

Благодаря компьютеризации сетевого оборудования, совершенствованию средств мониторинга, расширению функциональности появляется возможность приблизиться к потенциальным характеристикам сети, в первую очередь, по пропускной способности и качеству сервиса в целом. Кроме того, появляется возможность управлять логической топологией в широких пределах при фиксированной физической топологии сети [3]. Эту задачу можно автоматизировать и решать в реальном времени. Поэтому проблема выбора оптимальной топологии как для города (региона) в целом, так и для отдельных, слабо связанных между собой фрагментов сети доступа является актуальной.

Для решения задачи оптимизации топологии необходимо применять эффективные методы экспертных оценок. Одним из таких методов является метод анализа иерархий (МАИ) [5] – систематическая процедура для иерархического представления элементов, которые определяют суть проблемы. Метод анализа иерархий хорошо алгоритмизируется и легко модифицируется при изменении параметров и структуры аппаратного и/или программного обеспечения [6].

На первом уровне иерархии всегда находится одна вершина – цель исследования. Второй уровень иерархии составляют факторы, которые непосредственно влияют на достижение цели. При этом каждый фактор представляется в сооружаемой иерархии вершиной, соединенной с вершиной 1-го уровня. Третий уровень составляют факторы, от которых зависят вершины 2-го уровня. Процесс построения иерархии длится до тех пор, пока в иерархию не

включены все основные факторы или хотя бы для одного из факторов последнего уровня невозможно непосредственно получить необходимую информацию.

По окончании построения иерархии для каждой материнской вершины проводится оценка весовых коэффициентов, которые определяют степень ее зависимости от вершин, которые влияют на нее, более низкого уровня. При этом используется метод парных сравнений.

Рассмотрим для конкретной задачи наиболее распространенные классы топологий:

- кольцевая топология (КТ);
- точка – точка (ТТ);
- точка – множество точек как вариант общей шины (ТМТ);
- полносвязная топология или "каждый с каждым" (ПСТ).

Полносвязная топология, как известно, применяется довольно редко из-за своей дороговизны, однако для сетей с расширенными возможностями модификации логической структуры разница в стоимости различных топологий становится менее заметной. Поэтому она введена в качестве некоего эталона быстродействия и надежности для получения асимптотических оценок для остальных топологий.

Выбор целесообразно проводить по следующим критериям:

- пропускная способность сети;
- коэффициент готовности;
- надежность;
- помехоустойчивость;
- стоимость.

На основании этих данных необходимо составить матрицы парных сравнений для критериев, по которым определяется наиболее важный критерий, и матрицы парных сравнений альтернатив относительно каждого критерия. При этом используем стандартную шкалу относительной важности критериев [5] для проведения субъективных парных сравнений (табл. 1).

Таблица 1
Шкала относительной важности

1 - одинаковая важность
3 - умеренное преимущество одного над другим
5 - существенное преимущество одного над другим
7 - значительное преимущество одного над другим
9 - очень сильное преимущество одного над другим
2, 4, 6, 8 - соответствующие промежуточные значения

Полезным побочным продуктом метода является так называемый индекс согласованности (ИС), дающий информацию о степени нарушения согласованности относительной важности критериев: $ИС = (\lambda_{max} - n)/(n - 1)$, где λ_{max} – наибольшее собственное значение, $n \times n$ – порядок матрицы. Вместе с матрицей парных сравнений мы получаем меру оценки степени отклонения от согласованности. Если такие отклонения превышают установленные границы, то необходимо уточнить коэффициенты матрицы.

Для матриц парных сравнений, которые по определению являются обратно симметричными, выполняется условие $\lambda_{max} \geq n$.

Теперь сравним величину ИС с той, которая получилась бы при случайном выборе количественных суждений из шкалы, и образовании обратно симметричной матри-

цы. Ниже даны средние значения индекса случайной согласованности для матриц разного порядка (табл. 2).

Таблица 2

Размерность матрицы	Случайная согласованность (СС)
1	0
2	0
3	0,58
4	0,9
5	1,12
6	1,24
7	1,32
8	1,41
9	1,45
10	1,49

Разделив ИС на число, соответствующее случайной согласованности матрицы того же порядка, получим отношение согласованности r_c . Приемлемой считается величина r_c до 10%. В некоторых случаях допускается r_c до 20%, но не более, иначе нужно уточнять свои суждения.

Результаты анализа и обобщения

На основании этих данных составлены 6 матриц: матрица парных сравнений для критериев, по которым определяется приоритетный критерий (табл. 3) и 5 матриц парных сравнений альтернатив относительно каждого критерия (табл. 4, 8).

Таблица 3

Матрица парных сравнений для критериев

Критерии	1	2	3	4	5	W_i	X_i
1. Пропускная способность	1	3	1/5	1/5	3	0,815	0,125
2. Коэффициент готовности	1/3	1	1/3	1/3	3	0,644	0,099
3. Надежность	5	3	1	3	5	2,954	0,454
4. Помехоустойчивость	5	3	1/3	1	3	1,719	0,264
5. Стоимость	1/3	1/3	1/5	1/3	1	0,375	0,058
Сумма (Y_i)	11,667	10,333	2,067	4,867	15,000	6,507	1
(L_{max})	1,461	1,023	0,938	1,285	0,864		

Рассчитаем отношение согласованности (r_c) по следующей формуле:

$$r_c = ИС/СС,$$

где ИС = $(\lambda_{i1} - n)/(n - 1)$ – индекс согласованности;

$$n = 5; СС = 1,12;$$

$$\lambda_{i1} = \sum X_i * \sum y_{ij} = 1,461 + 1,023 + 0,938 + 1,285 + 0,864 = 5,573;$$

$$ИС = (5,573 - 5)/(5 - 1) = 0,143;$$

$$r_c = 0,143/1,12 = 0,128.$$

$r_c < 0,2$; следовательно, оценки пересматривать не нужно.

Таблица 4

Пропускная способность сети

Класс топологий	1	2	3	4	W_i	X_i
1. КТ	1	3	1/3	1/5	0,669	0,115
2. ТТ	1/3	1	1/3	1/7	0,355	0,061
3. ТМТ	3	3	1	1/5	1,158	0,199
4. ПСТ	5	7	5	1	3,637	0,625
Сумма (Y_i)	9,333	14,000	6,667	1,543	5,819	1
$(L_{max})_i$	1,073	0,854	1,327	0,964		

Отношение согласованности:

$$r_c = 0,073/0,9 = 0,081.$$

$$n = 4; CC=0,9$$

 $r_c < 0,2$; следовательно, оценки пересматривать не нужно.

$$\lambda_{ij} = \sum X_i * \sum y_{ij} = 4,218;$$

$$ИС = (4,218 - 4)/(4 - 1) = 0,073;$$

Таблица 5

Коэффициент готовности

Класс топологий	1	2	3	4	W_i	X_i
1. КТ	1	3	5	1/3	1,495	0,306
2. ТТ	1/3	1	1/3	1/3	0,439	0,090
3. ТМТ	1/5	3	1	1/3	0,669	0,137
4. ПСТ	3	3	3	1	2,280	0,467
Сумма (Y_i)	4,533	10,000	9,333	2,000	4,882	1
$(L_{max})_i$	1,388	0,899	1,278	0,934		

Отношение согласованности:

$$r_c = 0,166/0,9 = 0,185.$$

$$n = 4; CC=0,9$$

 $r_c < 0,2$; следовательно, оценки пересматривать не нужно.

$$\lambda_{ij} = \sum X_i * \sum y_{ij} = 4,499;$$

$$ИС = (4,499 - 4)/(4 - 1) = 0,166;$$

Таблица 6

Надежность

Класс топологий	1	2	3	4	W_i	X_i
1. КТ	1	1/3	1/3	1/5	0,386	0,076
2. ТТ	3	1	3	1/3	1,316	0,261
3. ТМТ	3	1/3	1	1/3	0,760	0,150
4. ПСТ	5	3	3	1	2,590	0,513
Сумма (Y_i)	12,000	4,667	7,333	1,867	5,052	1
$(L_{max})_i$	0,917	1,216	1,103	0,957		

Отношение согласованности:

$$r_c = 0,064/0,9 = 0,071.$$

$$n = 4; CC=0,9$$

 $r_c < 0,2$; следовательно, оценки пересматривать не нужно.

$$\lambda_{ij} = \sum X_i * \sum y_{ij} = 4,193;$$

$$ИС = (4,193 - 4)/(4 - 1) = 0,064;$$

Таблица 7

Помехоустойчивость

Класс топологий	1	2	3	4	W_i	X_i
1. КТ	1	3	3	3	2,280	0,475
2. ТТ	1/3	1	3	3	1,316	0,275
3. ТМТ	1/3	1/3	1	1/3	0,439	0,092
4. ПСТ	1/3	1/3	3	1	0,760	0,158
Сумма (Y_i)	2,000	4,667	10,000	7,333	4,794	1
$(L_{max})_i$	0,951	1,281	0,915	1,162		

Отношение согласованности:
 $n = 4; CC=0,9$
 $\lambda_{il} = \sum X_i * \sum y_{ij} = 4,309;$
 $ИС = (4,309 - 4)/(4 - 1) = 0,103;$

$rc = 0,103/0,9 = 0,115.$
 $rc < 0,2;$ следовательно, оценки пересматривать не нужно.

Таблица 8

Класс топологий	Стоимость				W_i	X_i
	1	2	3	4		
1. КТ	1	1/3	1/3	1/5	0,386	0,076
2. ТТ	3	1	3	1/3	1,316	0,261
3. ТМТ	3	1/3	1	1/3	0,760	0,150
4. ПСТ	5	3	3	1	2,590	0,513
Сумма (Y_i)	12,000	4,667	7,333	1,867	5,052	1
$(L_{max})_i$	0,917	1,216	1,103	0,957		

Отношение согласованности:
 $n = 4; CC=0,9$
 $\lambda_{il} = \sum X_i * \sum y_{ij} = 4,193;$
 $ИС = (4,193 - 4)/(4 - 1) = 0,064;$
 $r_c = 0,064/0,9 = 0,071.$
 $r_c < 0,2;$ следовательно, оценки пересматривать не нужно.

произведений локальных приоритетов на соответствующий взвешивающий коэффициент. Глобальные приоритеты приведены в табл. 9, из которой видно, что следует остановить свой выбор на классе архитектуры с максимальным значением глобального приоритета.

Глобальный приоритет для каждой альтернативы вычисляется как сумма

Таблица 9

Глобальные приоритеты

Класс топологий	Критерии					Глобальные приоритеты
	Пропускная способность сети	Коэффициент готовности	Надежность	Помехоустойчивость	Стоимость	
	Численно значение вектора приоритета					
	0,125	0,099	0,454	0,264	0,058	
КТ	0,115	0,306	0,076	0,475	0,076	0,209
ТТ	0,061	0,090	0,261	0,275	0,261	0,223
ТМТ	0,199	0,137	0,150	0,092	0,150	0,140
ПСТ	0,625	0,467	0,513	0,158	0,513	0,429

С помощью метода анализа иерархий проведено сравнение классов архитектур программного обеспечения по следующим критериям: 1) пропускная способность сети; 2) коэффициент готовности; 3) надежность; 4) помехоустойчивость; 5) стоимость. В табл. 3 приведена матрица сравнения критериев. Наиболь-

шим локальным приоритетом обладает критерий "надежность". Конечным этапом сравнения является синтез глобальных приоритетов (см. табл. 9). Преимущество, как и следовало ожидать, отдается полностью связанной топологии, потому что этот класс топологий в условиях сравнительно малой разницы в стоимости имеет наибольший глобальный приоритет.

Заклучение

Разработанный метод выбора и оптимизации класса топологий сети может использоваться для настройки и модификации широкополосных составных сетей доступа с высокой степенью гетерогенности и расширенными возможностями смены логической структуры непосредственно в процессе функционирования. Роль эксперта, в качестве которого выступает администратор сети, сводится к первоначальному вводу критериев качества работы сети и их модификации при изменении внешних и/или внутренних условий.

Подчеркнем, что эксперт, сравнивая n факторов, реально проводит не n сравнений, а $n*(n-1)/2$ сравнений. В действительности, учитывая соотношения $a_{ij} = a_{ik} * a_{kj}$, справедливое для всех значений индекса k , проводится опосредованное сравнение факторов влияния A_i и A_j через соответствующие сравнения этих факторов с фактором A_k . Принимая во внимание сделанное замечание, можно утверждать, что в действительности эксперт выполняет значительно больше сравнений, чем даже показывает первая оценка, равная $n*(n-1)/2$. Таким образом, каждая ячейка матрицы парных сравнений реально содержит не одно число (результат непосредственного сравнения), а целый вектор (с учетом всех опосредствованных сравнений через сравнение с дру-

гими факторами). Учет дополнительных сравнений позволяет повысить надежность получаемых результатов и степень автоматизации процесса принятия решения.

Список литературы

1. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Учебник для вузов. 3-е изд. – СПб.: Питер, 2006. – 958 с.
2. Жуков И.А., Ластовченко М.М. Основы сетевых технологий. Навчальний посібник для студентів.-М.:Издаг. дом "Дродека ХХІ", К.: "МК-Пресс", 2007.- 432 с.
3. Armitage G. Quality of Services in IP Networks. – Indianapolis. – IN.: Macmillan Technical Publishing. – 2000. – 309 p.
4. Вишневский В.М., Ляхов А.И., Портной С.Л., Шахнович И.В. Широкополосные беспроводные сети передачи информации. – М.: Техносфера. – 2005. – 592 с.
5. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий /Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1993. – 320 с.
6. Віноградов М.А., Черниш О.О. Оптимізація класу архітектури програмного забезпечення комплексних тренажерів // Проблеми інформатизації та управління: Збірник наукових праць: Вип. 3. – К.: НАУ, 2006. – С. 41 – 46