**BC/NW 2016 № 1 (29): 11.1**

**АНАЛИЗ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ЯДРА КОРПОРАТИВНОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ НИУ МЭИ**

Абросимов Л.И., Тагирова М.А. Хорьков С.Н.

Национальный Исследовательский Университет «МЭИ» (НИУ МЭИ) сегодня – это один из крупнейших технических университетов России в области энергетики, электротехники, электроники, информатики, в котором обучается 28 тысяч студентов.

На фоне массового развития высших учебных заведений, Московский энергетический институт остается одним из ведущих учебных вузов страны. Современные технологии обучения, выполнение научных исследований и управления такой сложной многофункциональной системой невозможны без использования информационных технологий. Первые сети в институте были построены в конце 80-х годов и заработали в 1989 году.[1]

В рамках инновационной программы развития МЭИ в 2007-2008 гг. было перестроено ядро Информационной вычислительной сети (ИВС) МЭИ на основе оборудования Cisco Systems и технологий MPLS. Это дало уникальную возможность использовать физическую структуру сети для решения множества задач, создавая на базе ИВС МЭИ выделенные логические сети различного назначения.

Сейчас в Корпоративной Вычислительной Сети (КВС)НИУ МЭИ, связывающей 12 зданий, насчитывается около 30000 пользователей. Постоянно работают в сети около 5000 компьютеров. Служба электронной почты поддерживает 10000 почтовых ящиков. Одним из достоинств ИВС МЭИ является то, что всем сотрудникам и студентам предоставляется персональный «ящик» электронной почты, с хорошим уровнем защиты от спама.

В настоящее время сотрудники МЭИ осуществляют не только эксплуатацию КВС НИУ МЭИ, но и внедряют новые сервисы и осваивает новые технологии, в частности, технологии виртуальных машин. Новый многомашинный комплекс с виртуализацией ресурсов обеспечивает работу более 300 виртуальных серверов. Внедряется технология виртуальных рабочих столов, которая нашла широкое применение в учебном процессе. Системы виртуализации накладывают высокие требования к надежности работы сети и к системам хранения данных. На современной сетевой инфраструктуре разворачиваются системы электронного документооборота, распределенные системы хранения данных, системы видеоконференц-связи.

Разработка и модернизация, обеспечивающая эффективное функционирование региональных и корпоративных сетей ЭВМ, является сложным и трудоемким процессом, так как разработчику необходимо учитывать много критериев эффективности, большое количество ограничений, широкий спектр разнообразный устройств, каждое из которых обладает индивидуальным набором технических характеристик, которые часто зависят от местоположения и взаимосвязей с другими устройствами.

Таким образом, в настоящее время актуальными являются задачи:

* поиска «узких мест» в корпоративной сети,
* разработки предложений по модернизации структуры сети,
* определение приоритетов для трафика,
* выработка рекомендаций для перестроения структуры сети с использованием протокола STP.

Решение указанных задач невозможно без проведения комплексного исследования и анализа параметров оценивающих качество функционирования КВС НИУ МЭИ.

***Концепция технологии анализа производительности КВС НИУ МЭИ***

Технические характеристики КВС НИУ "МЭИ:

* Общее количество подключений к сети (включая сети подразделений и беспроводной сегмент) – 7300 устройств.
* Подключено к сети – 3200 компьютеров.
* Общее количество телекоммуникационного оборудования (коммутаторы, маршрутизаторы) – свыше 200 единиц.
* Реализовано централизованное управление 120-ю коммутаторами и маршрутизаторами.
* Пропускная способность линий связи внутри ядра сети (между корпусами МЭИ) – 4 Гбит/сек.
* Пропускная способность основного канала связи с Интернет – 1 Гбит/сек.
* Пропускная способность резервного канала связи с Интернет – 100 Мбит/сек.
* Среднесуточный объем передаваемой/принимаемой информации – 350 Гбайт.
* Общая протяженность кабельной сети – 110 км.
* Протяженность оптических линий связи – 8000 м.

Выводы:

* Исходя из большой размерности устройств и линий связи КВС НИУ МЭИ, целесообразно производить анализ производительности функционирующей сети по частям.
* В качестве главного фрагмента КВС целесообразно в первую очередь исследовать Центральное ядро (ЦЯ), представленное на рис 1.
* В качестве инструментальных средств исследования целесообразно использовать программный комплекс оценки производительности (ПКОП) , разработанный Хорьковым С.Н.

Состав и идентификация устройств и линий связи Центрального ядра КВС НИУ МЭИ

* Коммутаторы 3-го уровня.
* Маршрутизаторы
* Оптические линии связи

Три коммутаторы 3-го уровня, имеющие *сетевые имена* Core-13, Core-14, Core-17, соединенные оптоволоконными линиями связи, образуют высокоскоростное дуплексное кольцо, которое связывает виртуальные локальные сети (VILAN) корпусов между собой и с Internet.

Вход/выход VILAN осуществляется через маршрутизаторы: Core- , Core- , Core- , Core- , Core- Core- , Core- , Core- , Core- , Core- , Core- , Core- ,

Подключение к Internet осуществляется через маршрутизаторы: Core-129, Core-146.

Каждому коммутатору 3-го уровня, кроме сетевого имени, присваивается *IP адрес*. Для описания маршрута используются точки *входа*/*выхода*, которые идентифицируются *номером интерфейса*. При этом *вход* коммутатора, соединенный с выходом канала связи идентифицируют как *(****in****),*а *выход* маршрутизатора, соединенный с входом канала связи идентифицируют как *(****out****).*

Например, Core-14.69. *(****in/ out)***





Рис.1 Центральное ядро КВС НИУ МЭИ

Состав и идентификация устройств и линий связи Центрального ядра КВС НИУ МЭИ

* Маршрутизаторы (коммутаторы 3-го уровня)
* Маршрутизаторы Коммутаторы
* Оптические линии связи

Три маршрутизатора, имеющие *сетевые имена* Core-13, Core-14, Core-17, соединенные оптоволоконными линиями связи, образуют высокоскоростное дуплексное кольцо, которое связывает виртуальные локальные сети (VILAN) корпусов между собой и с Internet.

Вход/выход VILAN осуществляется через Маршрутизаторы коммутаторы: Core- , Core- , Core- , Core- , Core- Core- , Core- , Core- , Core- , Core- , Core- , Core- ,

Подключение к Internet осуществляется через Маршрутизаторы коммутаторы: Core-129, Core-146.

Каждому маршрутизатору, кроме сетевого имени, присваивается *IP адрес*. Для описания маршрута используются точки *входа*/*выхода*, которые идентифицируются *номером интерфейса*. При этом *вход* маршрутизатора, соединенный с выходом канала связи идентифицируют как *(****in****),*а *выход* маршрутизатора, соединенный с входом канала связи идентифицируют как *(****out****).*

Например, Core-14.69. *(****in/ out)***

Интерфейсы маршрутизатора:

(1)

(2)

 По оптоволоконным *линиям* связи между машрутизаторами организуются дуплексные каналы. Каждый канал определяется *выходом* одного маршрутизатора и *входом* другого (соседнего) маршрутизатора. Например, Core-14.69.***in –*** Core-13.69. ***out***

Интерфейсы линий связи

(1)

(2)



Идентификация трафика

Трафик, обрабатываемый устройствами КВС, оценивается количеством В единиц информации (битами, байтами, кадрами, MTU), передаваемым за временн*о*й интервал $τ\_{н}$ (секунды , минуты, часы), где н – номер интервала

$$τ\_{н}$$

Таким образом, величина трафика за интервал $τ\_{α}$ времени номер $α$ на входе (1) интерфейса r устройства $U\_{i}$ входной (1), поступающая с выхода (2)

записывается в виде $B\_{irα}^{(1)}$

Core13In55 Core13Out55 Core13In57 Core13Out57 Core13In89 Core13Out89 Core13In88 Core13Out88 Core13In90 Core13Out90 Core13In91 Core13Out91

14In69

Out69

In71

Out71

In82

Out82

In123

Out123

In153

Out153

17

In69

Out69

In71

Out71

In113

Out113

In121

Out121

Задачи анализа производительности

Требуется определить:

* пиковую интенсивность $λ\_{ij}^{п}$ трафика (ПИТ) на входах (1) и выходах (2) коммутирующих узлов $К\_{i}^{п1}$во всех каналах $l\_{ij}^{1}$ $l\_{ij}^{2}$ ядра КВС;
* время начала и конца интервала ПИТ для всех каналов $l\_{ij}^{1}$ $l\_{ij}^{2}$ ядра КВС;
* суммарная пиковая интенсивность $Λ\_{i}^{п1}$ трафика, поступающего на входы *(1)* коммутирующих узлов $К\_{i}^{п1}$ от всех каналов $l\_{ij}^{1}$ $l\_{ij}^{2}$ ядра КВС;
* коэффициенты загрузки $ρ\_{ij}^{п1}$ каналов $l\_{ij}^{1}$ $l\_{ij}^{2}$ ядра КВС в режиме ПИТ;
* коэффициенты загрузки $ρ\_{i}^{п1}$коммутирующих узлов $К\_{i}^{п1}$ от всех каналов $l\_{ij}^{1}$ $l\_{ij}^{2}$ ядра КВС в режиме ПИТ;
* отличия входящего в канал $l\_{ij}^{1}$ и выходящего из канала $l\_{ij}^{2}$ интенсивности $λ\_{ij}^{п}$ трафика в режиме ПИТ;
* длительность задержки MTU в очереди на передачу по каналу $l\_{ij}^{2}$ в режиме ПИТ;
* длительность задержки MTU в очереди на входах (1) коммутирующих узлов $К\_{i}^{п1}$ в режиме ПИТ;
* количество $n\_{ij}^{п1}$ MTU в очереди на передачу по каналу $l\_{ij}^{2}$ в режиме ПИТ;
* количество $N\_{i}^{п1}$ MTU в очереди на обслуживание коммутирующим узлом $К\_{i}^{п1}$ в режиме ПИТ;

Соотношения для расчета характеристик

***Суточные графики трафика в каналах связи ЦЯ***

На суточных графиках нагрузки по оси абсцисс откладываем количество байт (октетов) переданных/принятых за интервал времени 10 минут. По оси абсцисс откладываем границы интервалов времени (чч.мм.сс).

Интервалы времени выбраны из условий удобства зрительного анализа исследователя, хотя разработанный программный комплекс оценки производительности (ПКОП) позволяет использовать интервалы микросекундные интервалы времени.

Выводы:

* Трафик во всех каналов ЦЯ неравномерный, несмотря на его «сглаживание» из-за довольно большого интервала времени.
* Начало интенсивного трафика, как правило, совпадает с началом рабочего дня, но окончание

Таблица пиковых нагрузок и рассчитанных параметров для каналов связи

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Устройство | Пиковый трафик | Интервал измерений | Коэффициент загрузки(%) | Примечание |
| интерфейс | Соседний узел | За 10 мин  | За 1 сек | начало | конец | Длительность |  |  |
| **Core13** | Байты , x109 | MTU(/1,5КВ) |  бит х106 | MTU | чч:мм :сс  | чч:мм :сс  | (сек) |  |  |
| In55 | Core 14-69 | 2 741 304 530 | 1 827 536 353 | 57110536 550 727 | 30458942 | 10:20:01 | 10:30:01 | 600 |  |  |
| Out55 | Core 14-69 | 1 158 406 953 | 772271302 | 241335 | 1287118 | 14:40:01 | 14:50:01 | 600 |  |  |
| In57 | Core 17-69 | 4 115 660 303 | 2743773535 | 685944 | 4572955 | 17:00:01 | 17:10:01 | 600 |  |  |
| Out57 | Core 17-69 | 3 384 376 691 | 2256251127 | 705078 | 3760418 | 16:40:01 | 16:50:01 | 600 |  |  |
| In89 | Корп Е | 544 619 754 | 363079836 | 113462 | 605133 | 16:30:01 | 16:40:01 | 600 |  |  |
| Out89 | Корп Е | 1 455 352 755 | 970235170 | 303198 | 1617059 | 15:40:01 | 15:30:01 | 600 |  |  |
| In88 | Корп С | 149237765 | 99491843 | 31091 | 16581203 | 7:50:01 | 8:00:01 | 600 |  |  |
| Out88 | Корп С | 467009708 | 311339805 | 97294 | 518900 | 13:30:01 | 13:40:01 | 600 |  |  |
| In90 | Корп М | 1 588 949 094 | 1059299396 | 331031 | 176500 | 19:10:01 | 19:20:01 | 600 |  |  |
| Out90 | КорпМ | 4 025 006 192 | 2683337461 | 838543 | 4472229 | 9:40:01 | 9:50:02 | 600 |  |  |
| In91 | библ | 110 802 | 73868 | 23 | 123 | 14:30:01 | 14:40:01 | 600 |  |  |
| Out91 | библ | 496 966 | 198786 | 103 | 331 | 3:10:01 | 3:20:01 | 600 |  |  |
| **Core14** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| In69 | Core 13-69 | 1 155 519 726 | 770346484 | 1283911 | 770346484 | 14:50:01 | 15:00:01 | 600 |  |  |
| Out69 | Core 13-69 | 2 892 356 409 | 1928237606 | 602574 | 32137294 | 13:10:01 | 13:20:01 | 600 |  |  |
| In71 | Core 17-71 | 1 106 446 410 | 737630940 | 230510 | 1229385 | 16:00:01 | 16:10:01 | 600 |  |  |
| Out71 | Core 17-71 | 3 486 079 479 | 2324052986 | 726267 | 3873422 | 13:50:01 | 14:00:01 | 600 |  |  |
| In82 | машзал | 1 492 649 202 | 995099468 | 310969 | 16585001 | 16:00:01 | 16:10:01 | 600 |  |  |
| Out82 | машзал | 3 656 084 506 | 2437389671 | 761684 | 4062316 | 18:10:01 | 18:20:01 | 600 |  |  |
| In123 | Корп 14 | 2 742 829 619 | 1828553079 | 571423 | 3047588 | 3:30:01 | 3:40:01 | 600 |  |  |
| Out123 | Корп17 | 1 497 449 114 | 998299409 | 311969 | 16638324 | 17:40:01 | 17:50:01 | 600 |  |  |
| In153 | Core 129 | 4 152 686 478 | 2768457652 | 86514355 369 153 | 4614096 | 14:10:01 | 14:20:01 | 600 |  |  |
| Out153 | Core 129 | 2 874 700 045 | 1916466697 | 598896 | 3194111 | 3:20:01 | 3:30:01 | 600 |  |  |
| **Core17** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| In69 | Core 13-69 | 1 928 060 431 | 1285373621 | 401679 | 2142289 | 19:40:01 | 19:50:01 | 600 |  |  |
| Out69 | Core 13-69 | 3 617 575 813 | 2411717209 | 753662 | 4019529 | 15:10:01 | 15:20:01 | 600 |  |  |
| In71 | Core 14-71 | 3 780 405 094 | 2520270063 | 787584 | 4200450 | 13:30:01 | 13:40:01 | 600 |  |  |
| Out71 | Core 14-71 | 1 656 922 904 | 1104615269 | 345192 | 1841025 | 15:50:01 | 16:00:01 | 600 |  |  |
| In113 | Корп17 | 1 681 791 727 | 1121194485 | 350373 | 1868657 | 14:20:01 | 14:30:01 | 600 |  |  |
| Out113 | Корп17 | 3 572 093 594 | 2381395729 | 744186 | 3968992 | 14:10:01 | 14:20:01 | 600 |  |  |
| In121 | Core 146 | 3 609 299 867 | 2406199911 | 751937 | 4010333 | 11:30:01 | 11:40:01 | 600 |  |  |
| Out121 | Core 146 | 2 138 420 007 | 1425613338 | 445504 | 2376022 | 11:30:01 | 11:40:01 | 600 |  |  |

Усредненный по интервалу измерений коэффициент загрузки $ρ\_{ijα}^{п}$самого загруженного канала Core14 In153 – Core128 out равен 0,0276845765 ($μ\_{ijα}^{п}$= 2 Гбит/с), следовательно все каналы могут качественно обслуживать поступающий трафик.

Средняя длина $n\_{ijα}^{п}$ очереди самого загруженного канала Core14 In153 – Core128 out , усредненная по интервалу измерений равна 0,078825 MTU. Это свидетельствует о том, передаваемые блоки данных больших размеров, использующих максимальную пропускную способность канала передаются редко и появляющиеся очереди быстро «рассасывются».

$n\_{ijα}^{п}=\frac{ρ\_{ijα}^{п}}{(1-ρ\_{ijα }^{п})}- ρ\_{ijα}^{п}$ = $\frac{ρ^{2}}{\left(1-ρ\_{ij}^{п}\right)}$

$n\_{ijα}^{п}$ = $\frac{ρ^{2}}{\left(1-ρ\_{ij}^{п}\right)}$

($1-ρ\_{ijα}^{п}$) = 0,9723154235

Интервал измерений $τ$=600с является достаточно большим и существенно сглаживает трафик нагрузки, поэтому его следует использовать для определения областей пиковых нагрузок. Для выявленных областей следует производить измерения, используя укороченный интервал измерений.

Анализ полученных графиков нагрузки позволил установить, что в области пиковых нагрузок трафик на входе (***in***) в канал отличается от трафика на выходе (***out***) из канала. Указанные отличия можно объяснить кратковременным сглаживанием – загрузкой и разгрузкой буферных накопителей.

Усредненное по интервалу измерений время задержки в канале

 $t\_{ijα}^{п}=\frac{1}{μ\_{ijα}^{п}(1-ρ\_{ijα }^{п})}$ = с = 0,514 х10-9 с

($1-ρ\_{ijα}^{п}$) = 0,9723154235

 $μ\_{ijα}^{п}(1-ρ\_{ijα }^{п}$ 1 944 630 847 бит/с

Таблица пиковых нагрузок и рассчитанных параметров для маршрутизаторов

Пример определения контуров в ИВС МЭИ их параметров.

1. Определяем, кто создает нагрузку на сеть.

Например, выходной маршрутизатор ИВС МЭИ показывает нам, что у него есть следующие потоки: необходимо согласовать обозначения с предшествующим текстом

SrcIf SrcIPaddress DstIf DstIPaddress Pr SrcP DstP Bytes

Gi0/0 193.233.67.41 Gi1/0\* 178.216.8.22 11 C4FD E1D3 484M

Gi0/1 193.233.71.20 Gi1/0\* 107.182.230.198 06 F2FD 0BB9 390M

Gi1/0 87.240.163.78 Gi0/0 193.233.69.12 06 01BB DF9C 190M

Gi0/0 193.233.67.41 Gi1/0\* 95.86.236.147 1 C4FD 5305 157M

В этой таблице вызывает вопрос третья строка.( 190M ?)

1. Смотрим, где в нашей сети находится сервер 193.233.69.12

|  |
| --- |
| **Информация о коммутаторе** |
| **Параметр** | **Значение** |
| Дата | 2016-10-08 |
| Время | 16:25:01 |
| Имя коммутатора | Morozoff switch |
| IP адрес коммутатора | 10.12.14.98 |
| Тип коммутатора | cisco |
| Описание | Cisco IOS Software, Catalyst 4500 L3 Switch Software (cat4500e-IPBASE-M), Version 15.0(2)SG2, RELEASE SOFTWARE (fc3) Technical Support: http://www.cisco.com/techsupport Copyright (c) 1986-2011 by Cisco Systems, Inc. Compiled Wed 07-Dec-11 20:14 by prod |
| Время работы | 123:7:01:54.83 |
| VLAN Id | 200 |
| VLAN Name | real-14 |
| Interface index | 45 |
| Interface | GigabitEthernet1/43 |
| Interface type | ethernetCsmacd |
| Interface speed | 100 000 000 |
| Interface admin status | up |
| Interface oper status | up |
| Последнее изменение интерфейса | 28:8:46:30.77 |
| Interswitch link status | NO |
| MAC адресов на интерфейсе | 1 |

1. Строим контур от выходного маршрутизатора до порта GigabitEthernet1/43 коммутатора 10.12.14.98

Получим примерно следующее:

Core-17 (Gi3/13) – Core-17 (Po2) – Core-14(Po2) – Core-14(Gi4/21) – sw-oplf(gi1/0/1) – sw-oplf(gi1/0/2) – i-pmr(gi1/48) – i-pmr(gi1/43)

1. Определяем нагрузку на входящие в контур коммутаторы (например для sw-oplf это 6% за последние 5 сек) и для линий связи (для sw-oplf(gi1/0/2) это:

 5 minute input rate 157000 bits/sec, 161 packets/sec

 5 minute output rate 3629000 bits/sec, 381 packets/sec

1. В результате мы видим весь контур в нашей части сети, который связывает сервер 87.240.163.78 с клиентом 193.233.69.12 и делаем вывод, что сейчас на автосервисе МЭИ слушают музыку из ВКонтакте.

Весь этот процесс должен делаться автоматически, по команде администратора. В данном контуре самым нагруженным коммутатором является sw-oplf, самым нагруженным каналом (относительно) интерфейс Gi3/13 коммутатора Core-17.

Построив контура для всех 4-х строк, увидим что интерфейс Gi3/13 коммутатора Core-17 является самым нагруженным ( => его надо апгрейдить) а наибольший вклад в его нагрузку сейчас внес сервер 193.233.67.41, который подключен к порту GigabitEthernet1/0/23 коммутатора server switch 1 в машзале ИВЦ. Данные по потоку показывают, что это группа сопровождения пользователей ИВС МЭИ записывает новые обновления.

Выводы и рекомендации

Литература

1. Хорьков С.Н.**ИНФОРМАЦИОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ НИУ «МЭИ»**

**(20-ЛЕТ СПУСТЯ) ВC/NW 2015 № 2 (27):10.2**