	20	40	60	80	100
	Оценка вероятности неверного обнаружения задержки				
QQ_1(1.4 МГц)	0,013	0,000	0,000	0,000	0,000
QQ_2(3МГц)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
QQ_3(5МГц)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
QQ_4(10 МГц)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
QQ_5(15 МГц)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Полученные результаты отражают следующие выводы:

1. При увеличении пропускной способности базиса собственных векторов уменьшается вероятность неверного обнаружения синхронизирующего сигнала.
2. При увеличении соотношения сигнал/шум (SNR) увеличивается вероятность верного обнаружения сигнала.

Промежуточные результаты исследования показывают хорошие показатели вероятности обнаружения начала символа при использовании в задаче синхронизации собственных векторов субполосной матрицы, однако данные результаты были получены при использовании белого гауссовского шума, в дальнейшем следует провести исследования с другими видами шумов.

1. Жиликов Е.Г. Вариационные методы анализа и построения функций по эмпирическим данным : моногр. // Белгород: Изд-во БелГУ, 2007. – 160 с.
2. Эммануил С. А., Барри У. Д. Цифровая обработка сигналов: Практический подход // Москва: Вильямс, 2008. – 282 с.
3. Жиликов Е.Г., Белов С.П., Урсол Д.В. Оптимальные каналные сигналы при цифровой передаче с частотным уплотнением // Научные ведомости БелГУ Серия: Информатика – 2009 - № 7(62). С. 166-172

Ширяева Н.В., Ширяев Н.В.

Энергоэффективное управление трафиком в IP-сетях с маршрутизацией по кратчайшему пути

*Северо-Кавказский Федеральный Университет
(Россия, Ставрополь)*

doi:10.18411/spc-12-12-2017-07

idsp: 000001:spc-12-12-2017-07

Аннотация

Потребление энергии вследствие пользования интернетом становится все более значимой проблемой за счет экспоненциального роста трафика и быстрого расширения инфраструктуры коммуникаций по всему миру. В статье рассматривается проблема энергоэффективного внутретоменного управления трафиком в сетях, работающих по протоколу кратчайшей маршрутизации. Будет рассмотрена возможность выключения (введения в спящий режим) элементов сети (каналов связи и маршрутизаторов), а также возможность корректировки нагрузки каналов для уменьшения энергопотребления и предотвращения перегрузки сети.

Ключевые слова: Энергоэффективность, Управление трафиком, Маршрутизация по кратчайшему пути, Оптимизация весов

1. Введение

За последние годы в связи с экспоненциальным ростом Интернета значительно увеличилось потребление им энергии. Данные из [1] показывают, что в 2007 году Интернет составлял 5,5% от мирового потребления энергии, а годовой прирост этой цифры – примерно 20-25%. Другие источники присваивают ИКТ сектору около 156 ГВт

потребленной энергии за 2007 год, 22ГВт из которых потребляли исключительно сетевые приборы (не считая серверы в дата-центрах). Так как годовой прирост приблизительно равен 12%, в 2020 году потребление может достичь 95 ГВт.

Управление энергопотреблением в Интернете опирается на тот факт, что сети разработаны и размерены, чтобы работать на пике предполагаемого спроса на трафик. Однако, во время реальной работы сети нагрузка на трафик значительно варьируется со временем, и даже в час-пик, обычно, заметно ниже пропускной способности сети [3]. К сожалению, современные архитектуры устройств и технологии передачи данных практически не связывают спрос на трафик и энергопотребление. В большинстве случаев статичное потребление энергии (измеренное при нулевой нагрузке) равно таковому при полной нагрузке.

Естественный подход к улучшению энергоэффективности Интернета – отключать или вводить в спящий режим ненужные сетевые устройства (роутеры и каналы связи) таким образом, чтобы сопоставить потребление энергии и нагрузку на сеть, в тоже время сохраняя возможность маршрутизации трафика в оставшейся подсети. Преимущества такого подхода в сравнении с методом балансировки нагрузки обсуждается в [4]. Разумеется, координированные стратегии энергоменеджмента могут добиться лучших результатов, чем те, что предлагают работать с отдельными устройствами в сети.

Протокол маршрутизации имеет ключевое значение в управлении энергопотреблением и влияет на возможные стратегии. Мы рассматриваем самый распространенный протокол внутреннего шлюза (IGP) в IP-сетях, а именно протокол Open Shortest Path First (OSPF)

Подход, основанный на состоянии канала, используемый в OSPF для распространения информации о топологии и вычисления кратчайшего пути, действует по принципу различных значений веса для различных каналов. Это не дает стратегиям по управлению трафиком оптимизировать маршруты для каждого потока отдельно в случаях особо сложных операций с большой нагрузкой на трафик (отдельный путь должен быть четко определен для каждого запроса). Таким образом, самым популярным подходом к управлению трафиком в OSPF является оптимизация кратчайших путей посредством изменения весов каналов связи.

Современные роутеры могут входить и выходить из спящего режима довольно быстро, а большинство производителей стремятся улучшить эффективность режимов малого потребления в своих устройствах, а также облегчить управление ими [5].

Наиболее популярные среди провайдеров платформы управления сетью позволяют изменять и статус работы, и вес каналов, основываясь на политике энергоэффективности и ожидаемой нагрузки, а также собирать статистику о трафике с помощью инструментов мониторинга.

В этой статье мы предлагаем подход к внутредоменному энергоэффективному управлению сетью в режиме офлайн на базе оптимизации весов OSPF-каналов, учитывая временные промежутки с различным уровнем трафика (ночь, утро, день, вечер) и для которых легче всего предугадать матрицы трафика отправления-назначение, мы эффективно конфигурируем вес каналов связи, чтобы минимизировать потребление энергии и перегрузку сети, в то же время гарантируя, что все запросы будут маршрутизированы в соответствии с QoS ограничениями. Наш метод использует алгоритм IGP-WO. Коротко, IGP-WO – это алгоритм запрещенного поиска, который, при наличии матрицы трафика и IP-сети, работающей по протоколу OSPF с множеством равноценных путей (ECMP) (запросы равномерно распределяются по всем кратчайшим путям) старается многократно изменить веса, чтобы минимизировать кусочно-линейную кривую функцию стоимости, зависящую от использования пропускной способности канала (рис. 1)

Рисунок 1 – функция стоимости от использования пропускной способности канала

2. Похожие работы по энергоэффективному управлению трафиком.

Несмотря на растущую популярность области разработки «зелёных» сетей, лишь небольшое количество работ было издано именно об энергоэффективном управлении трафиком и разработке сетей.

Некоторые работы оценивают потенциал и эффективную применимость энергосберегающих процедур маршрутизации. Другие работы исследуют модели потребления энергии роутерами в целях определения стратегий разработки сетей, которые могут одновременно предоставить малое энергопотребление, хорошую производительность и устойчивость к ошибкам [2,5,6].

Алгоритм энергоменеджмента для IP-сетей под названием Energy Aware Routing (EAR), представленный в, способен выключать элементы сети, используя модифицированную версию протокола OSPF. Алгоритм EAR выбирает подгруппу роутеров – Роутеров-импортеров (IR), которые не просчитывают свое дерево кратчайших путей, а используют таковое у соседних роутеров, Роутеров-экспортеров (ER). В основном, меньшее количество активных деревьев кратчайших путей означает меньшее количество каналов связи, которые можно отключить. Между нашей работой и есть несколько важных различий. Как показано в литературе по управлению трафиком в OSPF [7], мы оставили протокол неизменным и сфокусировались на оптимизации весов каналов, в то время как в алгоритме EAR вес каждого канала считается известным, а протокол требует модификации для внедрения ER и IR роутеров. К тому же, мы намеренно рассматриваем пропускную способность каналов и сводим нагрузку на сеть к минимуму, сохраняя качество обслуживания, когда как в [7] ни нагрузка на сеть, ни ее пропускная способность не рассматриваются.

3. Энергоэффективная маршрутизация по кратчайшему пути с помощью оптимизации весов каналов связи

В данной работе мы выступаем за развитие энергоэффективности в управлении IP-сетями, работающими по протоколу OSPF, путем одной только оптимизации весов каналов. В действительности, это включает в себя уменьшение нагрузки на сеть и отключение (введение в спящий режим) элементов сети. Так как элемент сети можно отключить, когда через него не идет трафик, канал можно отключить, присвоив ему большой вес, тем самым исключив его из всех деревьев кратчайшего пути. Аналогично, роутеры можно отключить путем значительного увеличения веса каждого из его каналов. Таким образом, мы считаем, что простаивающие сетевые устройства (линейные платы или целые устройства) можно вводить с спящий режим с помощью процедур управления либо с помощью автономных механизмов, мониторящих трафик.

В данном случае мы рассматриваем сценарий использования протокола OSPF с правилом Множественности Равноценных Путей (Equal Cost Multi Paths – ECMP), при котором запросы трафика равномерно распределяются в узлах, имеющих несколько

каналов с кратчайшим путем до цели. Эта особенность является ключевой для эффективного пользования каналами и потребления энергии.

Как показано на Рисунке 2 мы делим сутки на несколько промежутков, для которых характерен определенный уровень трафика (утро, обеденное время, день, вечер и ночь), и подсчитываем набор оптимальных весов для OSPF-каналов в офлайн режиме для каждого промежутка.

Вес каналов определяется с учетом прогноза трафика и ограничений на долю использования пропускной способности каналов. Заметим, что в нормальных условиях матрицы трафика можно предугадать с неплохой точностью и заранее распланировать распределение ресурсов сети с небольшим разбросом из-за неопределенности. Выбор периодов времени должен происходить с учетом ежедневной матрицы трафика. Выбрав правильное значение параметра максимального использования канала α , где $0 \leq \alpha \leq 1$, полученная сеть вероятнее всего справится с непредсказуемой нагрузкой, в то время как часть устройств будет находиться в спящем режиме.

Заметьте, что оптимизация весов каналов не влияет на другие распространенные процедуры, например, связанные с восстановлением после ошибки, так как она не меняет стандартный протокол действий.

Мы не рассматриваем онлайн оптимизацию весов каналов («налету») по трем главным причинам: 1) частые обновления вызвали бы нестабильность в сети (ввиду учащения обновлений таблиц маршрутов и увеличения расхода трафика), 2) это потребовало бы больших вычислительных мощностей и 3) почти оптимального энергосбережения можно достичь, заранее создав оптимизированные конфигурации сети для всех частей дня. Наше главное предположение, - что операторы сетей будут рассматривать ограниченное количество референсных сценариев трафика, из которых выбирают самое подходящее на основании их платформы управления сетью. Причем такой подход можно сочетать с онлайн-инструментами, которые могут отреагировать на неожиданные ситуации с трафиком в режиме реального времени и вовремя включить спящие каналы и устройства. В заключение, хотим отметить, что наш подход сохраняет возможности протокола быстро адаптироваться к колебаниям трафика и отреагировать на изменения в сети, как в традиционных методах, базирующихся на показателях фиксированной статической маршрутизации, так как наш подход основан на оптимизации весов каналов, для которых подсчитывается кратчайший путь.

Рисунок 2 – пример использования энергоэффективного управления трафиком с использованием различных весов для одних и тех же каналов в различное время – а) утро, б) день, в) ночь

4. Вывод

Мы рассмотрели актуальную на сегодняшний день проблему энергоэффективного управления трафиком в IP-сетях с маршрутизацией по кратчайшему пути. Мы предложили теоретическую методологию уменьшения потребления в сетях, основанную на оптимизации весов каналов. Так как элемент сети можно отключить, когда через него не идет трафик, канал можно отключить, присвоив ему большой вес, тем самым исключив его из всех деревьев кратчайшего пути. Аналогично, роутеры можно отключить путем значительного увеличения веса каждого из его каналов. Нами предложено использование нескольких заранее заданных систем весов в сети. Весы устанавливаются на основе прогноза загрузки сети в определенное время суток. Предложенный подход прост в понимании и реализации, так как не требует постоянного изменения весов в сети.

1. J.G. Koomey. Estimating total power consumption by servers in the US and the world, 2007.
2. W. Vereecken, L. Deboosere, D. Colle, B. Vermeulen, M. Pickavet, B. Dhoedt, and P. Demeester. Energy efficiency in telecommunication networks. 2008.
3. J. Chabarek, J. Sommers, P. Barford, C. Egan, D. Tsang, and S. Wright. Power awareness in network design and routing. In Proc. of INFOCOM 2008. The 27th Conference on Computer Communications., pages 457–465. IEEE, 2008.
4. R. Bolla, R. Bruschi, F. Davoli, and A. Ranieri. Performance constrained power consumption optimization in distributed network equipment. In 1st Workshop on Green Communications, GreenCom '09.
5. A. Cianfrani, V. Eramo, M. Listanti, M. Polverini, and A. Vasilakos. An ospf-integrated routing strategy for qos-aware energy saving in ip backbone networks. Network and Service Management, IEEE Transactions on, PP(99):1–14, 2012.
6. A. Sridharan, R. Guerin, and C. Diot. Achieving near-optimal traffic engineering solutions for current ospf/is-is networks. Networking, IEEE/ACM Transactions on, 13(2):234–247, 2005.
7. M. Pi'oro and D. Medhi. Routing, flow, and capacity design in communication and computer networks. Morgan Kaufmann Publishers, 2004.