

ВЛИЯНИЕ СВОЙСТВ МУЛЬТИСЕРВИСНОГО ТРАФИКА НА ВОЗМОЖНОСТЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И БАЛАНСИРОВКИ НАГРУЗКИ В СОВРЕМЕННЫХ СЕТЯХ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ

Бойко А.А., студентка; Дегтяренко И.В., доц., (Ph.D.)

(ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, Украина)

Современные телекоммуникационные сети характеризуются быстрым ростом объемов трафика. По мнению аналитической группы Тасс-Телеком на протяжении последних 5 лет объемы мирового рынка информационных технологий возрастают в ежегодно на 10%. Исследования Cisco Visual Networking Index показывают, что IP-трафик будет возрасти на 29% с 2011 по 2016 год. Последние годы всё больше наблюдается тенденция к конвергенции телекоммуникационных услуг, что создает дополнительные трудности при передаче и обработке информации. Мультисервисный трафик требует приоритизации, и каждый класс предъявляет определенные требования к качеству обслуживания. В связи с этим необходимо обеспечить систему гибкого управления нагрузкой сети путем динамического перераспределения ресурсов канала связи (пропускной способности, скорости передачи и пр.). При этом необходимо учесть некоторые особенности современного мультисервисного трафика. Традиционные алгоритмы балансировки нагрузки могут быть существенно усовершенствованы за счет применения методов прогностического управления. Для телекоммуникационных сетей тема прогнозирования ещё недостаточно раскрыта. В статье затрагивается возможность составления долгосрочных прогнозов, что в дальнейшем позволит проводить стратегическое планирование телекоммуникационной сети с точки зрения эффективного использования ее ресурсов и избежания перегрузок, которые ведут к потерям информации.

В самом общем виде балансировка нагрузки — это механизм, позволяющий распределить рабочую нагрузку по нескольким системам. Иногда такие системы именуют фермами или массивами. Распределяя нагрузку, администратор добивается максимального использования ресурсов серверов и в то же время снижает до минимума задержки отклика, а также время простоя систем. Избыточность изначально присуща массивам с балансировкой нагрузки. Если одна из систем массива дает сбой, ее нагрузка автоматически передается другой системе.

Выделим две концепции балансировки нагрузки сети мобильной связи:

1. Изменение диаграммы направленности антенны базовых станций (БС) на примере Smart antenna;
2. Динамическое перераспределение ресурсов сети (технология SON)

Smart antenna – это разновидность секторных антенн, которые используются для излучения радио сигнала базовой станции [1]. Главное отличие «умных антенн» заключается в том, что благодаря особой структуре антенной решетки они могут изменять свою диаграмму направленности вслед за перемещением абонента в пространстве, иными словами «следить» за абонентом. Smart antenna формирует несколько отдельных лучей, которые обладают игольчатой формой. Далее, в зависимости от местоположения абонента, данный луч за счет подачи различного уровня напряжения в различные части антенной решетки направляется в сторону абонента.

Благодаря этому достигается сразу несколько преимуществ:

1. Во-первых, использование умных антенн позволяет использовать то же число кодов в каждом луче, что и во всей соте без использования Smart antenna. Таким образом, многократно увеличивается емкость соты и скорость передачи данных.
2. Во-вторых, использование Smart antenna позволяет существенно уменьшить излучаемую мощность от базовой станции. Это связано с тем, что требуется гораздо

меньшая энергия на формирование и излучение одного луча, т.к. обычная секторная антенна излучает энергию в широком диапазоне и, часто, на значительное расстояние.

3. В-третьих, улучшаются характеристики QoS, т.к. базовая станция может скорректировать свои «усилия» в каждой конкретной ситуации и передавать данные к каждому отдельному абоненту индивидуально. Таким образом, где бы абонент ни находился, в его сторону будет передан сигнал с достаточной мощностью, чтобы обеспечить необходимый уровень качества.

Вместе с многочисленными преимуществами Smart antenna обладают и значительным недостатком – высокой стоимостью. Стоимость «умных» антенн может превышать стоимость обычных в несколько раз, что сводит к минимуму рентабельность их применения. Поэтому, на практике часто прибегают к менее затратным способам. Кроме того, такая антенна отличается достаточно большими габаритами.

Самоорганизующиеся беспроводные сети (SON – self-organizing networks) — децентрализованные беспроводные сети, не имеющие постоянной структуры. Клиентские устройства соединяются «на лету», образуя собой сеть [2]. Каждый узел сети пытается переслать данные, предназначенные другим узлам. При этом определение того, какому узлу пересылать данные, производится динамически, на основании связности сети. Это является отличием от проводных сетей и управляемых беспроводных сетей, в которых задачу управления потоками данных выполняют маршрутизаторы (в проводных сетях) или точки доступа (в управляемых беспроводных сетях).

Особенности беспроводных самоорганизующихся сетей:

- общая среда передачи данных;
- все узлы сети изначально равноправны;
- сеть является самоорганизующейся;
- каждый узел выполняет роль маршрутизатора;
- топология сети может свободно меняться;
- в сеть могут свободно входить новые и выходить старые узлы.

Основные принципы сети SON – это самоконфигурация, самовосстановление и самооптимизация. Самоконфигурация представляет собой возможность базовых станций самостоятельно создавать список соседних БС, настраивать радиопараметры, рабочую частоту, мощность излучения и угол наклона антенны. Под самооптимизацией понимают автоматическое определение параметров базовых станций для обеспечения наивысшего качества обслуживания. Самовосстановление включает автоматическую реконфигурацию в случае отказа какой-либо БС. Эти принципы значительно снижают операционные затраты операторов мобильной связи на содержание сети.

Для возможности управления нагрузкой сети необходимо более детально рассмотреть ее особенности. В пакетных мультисервисных сетях связи потоки пакетов существенно отличаются от модели пуассоновского потока, описываемого экспоненциальной функцией распределения интервала времени между моментами поступления пакетов. Здесь потоки пакетов формируются множеством источников запросов на услуги видео, данных, речи и др. Интенсивность нагрузки результирующего потока пакетов в каждый момент времени зависит от того, какими приложениями обслуживаются источники запросов и каково соотношение их численности для различных приложений. Из-за этого в итоговом трафике появляются долгосрочные зависимости в интенсивности поступления пакетов. Таким образом, трафик уже не является простой суммой множества независимых стационарных и ординарных потоков, что свойственно пуассоновским потокам телефонных сетей связи. В мультисервисных сетях с коммутацией пакетов трафик является разнородным, а передачу потоков всех приложений обеспечивает единая мультисервисная сеть с общими протоколами и законами управления. Из-за этого объединенному потоку пакетов свойственна так называемая «пачечность» трафика со случайной периодичностью и продолжительностью пиков нагрузки.

Исследования различных типов сетевого трафика за последние полтора десятка лет доказывают, что сетевой трафик является самоподобным (self-similar) или фрактальным (fractal) по своей природе. «Самоподобие» представляет собой свойство процесса сохранять свое поведение и внешние признаки при рассмотрении в разном масштабе [3]. Самоподобный процесс выглядит менее сглаженным, более неравномерным (т.е. обладает большей дисперсией), чем чисто случайный процесс.

Рассмотрим некоторые характеристики самоподобных временных рядов.

Случайный процесс $X(t)$ считается самоподобным с параметром Хэрста $H > 0$, если выполняется условие:

$$X(t) \stackrel{d}{=} a^{-H} X(at), \quad (1)$$

где статистическая характеристика процесса $X(t)$ не меняется при масштабировании по амплитуде на a^{-H} и по времени на a для всех $a > 0$.

Когда мы говорим о сетевом трафике, то под самоподобием подразумевается повторяемость распределения нагрузки во времени при различных масштабах. Таким образом, трафик ТКС выглядит почти одинаково на больших интервалах (часы, сутки), так и на малых отрезках времени (секунды, миллисекунды).

Числовой характеристикой случайного процесса, напрямую связанной с его предсказуемостью является интервал корреляции τ_k определяемый выражением:

$$\tau_k = \int_0^{+\infty} |r(\tau)| d\tau, \quad (2)$$

где $r(\tau)$ – нормированная функция корреляции случайного процесса.

Все определения самоподобного процесса даются в условиях гиперболически убывающей корреляционной функции :

$$r(\tau) \sim \tau^{-\beta} \text{ для } \tau \rightarrow \infty, 0 < \beta < 1, \quad (3)$$

Параметр затухания β связан с ранее определенным параметром Хэрста таким соотношением:

$$H = 1 - \beta/2, \quad (3)$$

отсюда

$$\tau_k = \int_0^{+\infty} |\tau^{-\beta}| d\tau \quad (3)$$

Решая последнее выражение в общем случае, получим, что для случайного самоподобного процесса, характеризующегося $0 < \beta < 1$ имеем бесконечно протяженный интервал корреляции:

Данный результат обеспечивает собой принципиальную возможность прогнозирования самоподобного процесса. Конечно, в реальной ситуации τ_k принимает конечное, но достаточно большое значение.

Кроме того, с понятием самоподобный сетевой трафик тесно связано такое понятие как длительная память (долгосрочная зависимость), которое отражает степень связи между последовательными отсчетами процесса. Вероятность того, что процесс на следующем шаге отклоняется от среднего в том же направлении, что и на предыдущем, настолько велика, насколько параметр Хэрста H близок к единице. Именно благодаря свойству длительной памяти становится возможным долгосрочное прогнозирование трафика.

Существует несколько наиболее известных и общепризнанных моделей прогнозирования временных рядов:

- методы прогнозирования, основанные на сглаживании, экспоненциальном сглаживании и скользящем среднем;
- «наивные» модели прогнозирования;
- средние и скользящие средние;
- методы Хольта и Брауна;
- метод Винтерса;
- регрессионные методы прогнозирования;
- методы Бокса-Дженкинса;
- нейросетевые технологии.

Большинству из них присущи такие недостатки, как небольшая точность, неспособность учесть механизмы, определяющие прогнозируемые данные, а также сезонные колебания и тенденции. Применение нейронных сетей является затруднительным в связи с необходимостью в больших вычислительных затратах. Среди вышеперечисленных следует выделить класс моделей Бокса-Дженкинса как достаточно новый и мощный класс алгоритмов прогнозирования временных рядов [4].

В это семейство входит несколько алгоритмов, самым известным и часто используемым из них является алгоритм ARIMA (p, q), а его развитие – ARFIMA (p, d, q). Существенным преимуществом данной методологии является то, что не предусматривается какой-либо определенной модели для прогнозирования данной временной серии. Задается только общий класс моделей, которые описывают временной ряд, позволяющий выразить текущее значение переменной через ее предыдущие. Затем алгоритм, подстраивая внутренние параметры, сам выбирает наиболее соответствующую модель прогнозирования.

При создании модели ARFIMA первым делом оценивается стационарность ряда. При необходимости он приводится к стационарному виду. Далее определяются параметры авторегрессионной составляющей p , скользящего среднего q по поведению нормированной автокорреляционной функции. Дробно-интегрированная составляющая d может быть рассчитана по методу Виттла.

Параметр d может принимать значения от 0 до 1. Процессы с долгосрочной памятью имеют показатель d в пределах от 0 до 0,5.

Исходя из всего вышесказанного можно сделать вывод о необходимости прогнозирования и динамической балансировки нагрузки в современных телекоммуникационных сетях, а в т.ч. и сетях мобильной связи. Наиболее рациональным является программное управление ресурсами канала связи, по которому проходит мультисервисный трафик. Учитывая особенности такого трафика можно проследить долгосрочную зависимость поступающей нагрузки, что позволит проводить эффективное стратегическое планирование телекоммуникационной сети.

Перечень ссылок

1. Smart Antenna [электронный ресурс]. Режим доступа: <http://celnet.ru/smartant.php>
2. SelfOrganizing Network White Paper [электронный ресурс] / Nokia-Siemens, Inc. – Режим доступа:
https://www2.nokiasiemensnetworks.com/SelfOrganizing_Network_SON_White_Paper.pdf
3. Костромицкий А.И. Подходы к моделированию самоподобного трафика / А.И. Костромицкий, В.С. Волоotka // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. - 2010. -№46. – с. 46-49.
4. Олійник С.П. Методи прогнозування [электронный ресурс], 2012. – Режим доступа: <http://elartu.tstu.edu.ua/handle/123456789/411>