

ОБЩЕСИСТЕМНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ

УДК 621.372

В. В. ПОПОВСКИЙ, д-р техн. наук, В. Ф. ОЛЕЙНИК, д-р техн. наук, Г. В. ЗВЯГОЛЬСКАЯ

УПРАВЛЕНИЕ В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЯХ И ПРАВИЛА СИСТЕМНОЙ ПОЛИТИКИ

Введение

Развитие сетей нового поколения NGN и систем (NGS) происходит как в направлении создания новых инженерно-технических решений (сетевых элементов, линий и систем передачи, средств распределения информации), так и в направлении наиболее рационального выбора структурного их построения и алгоритмов функционирования и поиска эффективных технологий. Динамизм нагрузки, определяемый спросом на услуги связи, требует или большой избыточности сетевого ресурса с тем, чтобы непрерывно, в том числе в ЧНН, обеспечивать выполнение принятых требований и соглашений об уровне услуг (SLA) или соответствующего динамического управления по перераспределению имеющегося сетевого ресурса с целью его оптимального использования [1]. Очевидно, второй подход, являющийся адаптивным, более рационален и реализуется с помощью тех или иных методов автоматического управления сетевыми ресурсами [2].

Многообразие подходов к решению той или иной задачи и необозримое количество возможных задач и складывающихся ситуаций, с одной стороны, и необходимость реагирования на все это «необозримое многообразие» привело специалистов комитета IETF к выводу о целесообразности применения правил системной политики (ПСП) в задачах управления сетями (PBNM – Policy – Based Network Management), сводящейся к трем иерархиям: реконфигурации сети на основе ПСП, конфигурирования правил принятия ПСП и конфигурирования самой политики на основе ПСП.

Создания удобной, достаточно универсальной и надежной системы управления сетевыми ресурсами представляет на сегодняшний день основную проблему в NGS. Важной составной частью этой проблемы является адаптация системы управления к реально имеющей место нестационарности самого трафика [2,3].

Особенности использования инструментария управления в ТКС.

Существующая до недавнего времени практика управления с помощью лица, принимающего решение (ЛПР), уже не устраивает пользователей современных телекоммуникационных и информационных систем. **Автоматизированные** системы управления заменяются **автоматическими**.

Автоматические процедуры управления предполагают наличие системы мониторинга и соответствующих алгоритмов анализа, принятия решений, исполнения этих решений и контроля их качества, то есть опять же – анализа. Именно этот замкнутый контур и воплощает саму процедуру управления [3,5].

В том или ином варианте управления, обязательным является получение информации о состоянии сетевых элементов, самой сети и системы в целом. Иными словами: необходимы измерения соответствующих параметров $x_i(t)$ получения выборочной статистики, оценка статистических параметров \hat{x}_i . Все это в теории управления интерпретируется как **наблюдаемость**. Система называется наблюдаемой, если каждый из компонентов вектора ее параметров $x_i(t)$ доступен для наблюдений, получения статистики и ее оценки.

Управление системой может быть реализовано если эта система наблюдаема и управляема. Управляемость обеспечивается тем, что на каждый из компонентов вектора параметров системы $x_i(t)$ может воздействовать соответствующее управление. Само управление для линейных систем находится в виде

$$u_i(t) = A(t)\hat{x}_i(t), \quad (1)$$

где $A(t)$ – матрица управлений.

Для нелинейных систем управление находится с использованием более сложных процедур и предполагает обязательную проверку на устойчивость.

Рекомендованные для использования в современных ТКС системы TMN, TINA и др. относятся к числу систем, использующих принципы автоматического управления и их реализация основывается на применении различных процедур, основными среди которых являются [3, 5]:

- **программное управление**, при котором система $S(\bar{x})$ изменяет свое состояние $\bar{x}(t)$ по заранее заданной программе и алгоритму; когда выбраны критерии, заданы пороговые уровни, объекты мониторинга и требуемые объемы выборки, задан закон изменения режима элементов сети и ее структура.

Однако на практике все перечисленные исходные данные заранее задать достаточно сложно. Поэтому программные методы находят применение в основном для построения простых процедур: управления усилением, мощностью передатчика, управление буфером, выбором того или иного ресурса. В более сложных ситуациях, особенно при управлении группой сетевых элементов программное управление работает неустойчиво;

- **адаптивное управление**, при котором реализуется самоорганизующийся или (и) самообучающийся алгоритм, когда на основании классификации текущей ситуации о состоянии в сети происходит принятие соответствующих решений о ее реструктуризации и (или) происходит выбор варианта управления функциональными свойствами отдельных сетевых элементов, их групп или всей телекоммуникационной системой в целом.

Остается неисследованным до конца вопрос о том, какие из свойств и параметров систем: структурных, функциональных или обоих одновременно, должны быть использованы в качестве управляющих. Иными словами: по какому из принципов должна быть обеспечена устойчивость телекоммуникационной системы – энтропийному, гомеостатическому или морфогенетическому, и если по смешанному. А также то в какой пропорции и на каком уровне использовать тот или иной принцип. Эти исследования предстоит еще провести.

В рамках существующих технологий в соответствии с концепциями TMN, TINA управление в ТКС строится по иерархическому принципу с логикой соподчиненности от верхнего 5-го уровня к самому нижнему:

1-й уровень обеспечивает управление в сетевых элементах (NE), выбор их режимов, включение и выключение.

2-й уровень – управление элементами (EML), их доступом, резервом, методами технического обслуживания.

3-й уровень – управление сетью (NML), трафиком, коммутацией, маршрутизацией.

4-й уровень – управление уровнем услуг (SLM).

5-й уровень – управление бизнесом (BML).

Реализация управления как большой подсистемы на каждом из этих уровней и вместе взятого управления предполагает, кроме уже упомянутой процедуры организации мониторинга и построения контура управления, обязательное наличие показателя качества этого управления, а также общего критерия в соответствии с которым будет функционировать эта подсистема [3].

Критерии качества управления в ТКС

В задачах управления критерии выбираются для оценки качества этих управлений. Очевидно сопоставление различных систем или их управлений возможно лишь в рамках одних и тех же критериев. Из теории управления известно [3, 4], что любой критерий или показатель эффективности системы можно представить в виде минимума или максимума функции качества:

$$\min_x \Phi(S(\bar{x}, t)) = -\max_x \Phi(S(\bar{x}, t)). \quad (2)$$

Поскольку ТКС является сложной системой, осуществляющей обработку случайного трафика в условиях воздействий множества случайных факторов, то и оценка ее эффективности

должна носить вероятностный характер. Поэтому естественным является использование средних значений для оценки эффективности (критерия качества). В связи с этим, критерий

$$\min_x M[(\Phi(S(\bar{x}, t)))] = -\max_x M[(\Phi(S(x, t)))] \quad (3)$$

где $M[\cdot]$ – знак математического ожидания.

Оценка качества управления

Определение средних показателей применяется во многих случаях, однако такой подход является недостаточно информативным, поскольку не учитывает возможный разброс статистики. Пусть для 9 пользователей время отклика составляет 0,1 с, а для 10-го 90 с. Среднее $t_{откл} = 9,1$ с. Очевидно, по этому значению задачу управления выполнить достаточно сложно, а для первых девяти пользователей она вообще не нужна.

Определение усеченных средних показателей, при которых отбрасываются отдельные (например: максимальное и минимальное значение) экстремальные значения. При большом объеме выборки $x_i, i = 1 \dots n, n \rightarrow \infty$ отбрасывание единичных значений может оказаться полезным, ибо они могут быть связаны с грубыми ошибками измерений. Однако при ограниченных, в несколько единиц или десятков, значениях x_i может возникнуть серьезная опасность пропуска начала разладки.

В этих задачах важно также заботиться о формировании самой выборки x_i . Так, если средние показатели планируется определять как выборочное арифметическое среднее

$$\hat{x}_{cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (4)$$

то необходимо стремиться использовать значения x_i – некоррелированными, ибо при значительной их коррелированности и при короткой выборке $i \in (1 \dots n)$, сформированной на коротком интервале, меньше интервала корреляции, полученная оценка \hat{x}_{cp} может оказаться сильно смещенной.

В то же время, оценка \hat{x} может осуществляться также и рекурсивно, например с использованием метода стохастической аппроксимации [3, 4]:

$$\hat{x}_k = \hat{x}_{k-1} + k(y_k - \hat{x}_{k-1}), \quad (5)$$

или методом Калмана-Бьюси [3,4]:

$$\hat{x}_k = F\hat{x}_{k-1} + K_k(y_k - H\hat{x}_{k-1}). \quad (6)$$

Для данных рекурсивных процедур необходимо, чтобы между соседними отсчетными значениями x_k и x_{k-1} была высокая и устойчивая статистическая связь, желательно не слабее, чем та, что имеет место на отрезке 0,1 интервала корреляции [4].

Таким образом, одно из возможных решений задачи управления сводится к выбору функции $\Phi(S(\bar{x}, t)) = \hat{x} = \hat{x}_{cp}$ и выбору критерия минимума среднего значения (МСЗ):

$$\min_x \hat{x}_{cp} \quad (7)$$

Вместе с тем, на практике чаще используют более общий критерий: минимум среднего квадрата отклонения \hat{x}_k от требуемого значения x_{mp} :

$$MCKO = \min_x (\hat{x}_k - \bar{x}_{mp})^2 \quad (8)$$

Критерий $MCKO$ удобен в использовании, особенно в случае гауссового характера вероятности x_k . Кроме того, $MCKO$ более физичен, поскольку обеспечивает большие «штрафы» за большие отклонения, в то время как при МСЗ – «штрафы» пропорциональны значениям самих отклонений.

Существуют задачи, у которых показатель эффективности носит пороговый характер: до определенного значения порога $d(\bar{x})$ система считается в норме, за пределами рамок порога – не в норме. То есть принцип «все или ничего».

Часто возникает необходимость установки нескольких порогов: верхнего и нижнего или двух односторонних. Так, весьма конструктивным является установка таких двух порогов:

- **приемлемого**, при котором для пользователя соответствующие потери, например задержки, еще не заметны и не вызывают раздражения пользователя,

- **критического**, при котором пользователь фактически лишается сервиса и не в состоянии работать должным образом. За такие задержки, в соответствии с методологией SLA, накладываются штрафные санкции.

В промежутке между приемлемыми задержками и наступлением критического порога качества воспринимаются как «подтормаживание».

Пороговые значения устанавливаются обычно, с учетом требования пользователей, а сами эти значения зависят от метода сетевого доступа, от типов приложений, от структуры сети и технологии информационного обмена.

Важным системным параметром является **надежность**. Надежность характеризуется процентом времени, в течение которого выполняются требования по всем другим критериям и показателям качества. В аналоговой телекоммуникационной системе надежность определялась пороговой характеристикой

$$N \geq 99,9 \%$$

Требования к современным телекоммуникационным системам значительно более высокие:

$$N \geq 99,999 \%$$

в ряде случаев требования по числу девяток возрастает на 1, 2 или даже 3 цифры.

Варианты решения задач мониторинга

При простейшем варианте мониторинга обеспечивается контроль доступности ресурсов сети. Управление, построенное на основе такого мониторинга, сводится исключительно к перераспределению ресурсов (реструктуризация, подключение резервов), чем во многих случаях и ограничиваются.

В то же время, когда кроме доступности ресурсов возникает необходимость еще и анализа рабочих характеристик оборудования, мониторинга качества реальной практики работы пользователя, то задачи управления значительно расширяются. Появляется возможность оптимального выбора не только структуры, но и функции отдельных сетевых элементов и сети в целом.

В практике мониторинга осуществляется измерение основных целевых параметров на уровне сетевых элементов, сети и уровне сервиса. В этот перечень входят энергетические, информационные, частотные, временные параметры и данные о состоянии тех или иных сетевых элементов. Так, среди временных параметров на уровне сервиса контролируются следующие показатели:

- $t_{отк}$ – время отклика для конечного пользователя, определяемое на основе измерения времени транзакций,

- $t_{серв}$ – время реакции сервера; при оценке этого времени необходимо учитывать наложения, связанные с кэшированием информации,

- $t_{сети}$ – время задержки сигнала в сети.

Параметр $t_{сети}$ – объект постоянного внимания. По времени подтверждения приема можно оценить качество сервиса, полученного от сетевого провайдера. $t_{сети}$ используется также при оптимизации, реструктуризации и планировании работы сети. Задержку сигнала в сети формируют следующие факторы: сериализация (преобразование в последовательную форму, нахождение в очередях, задержки в среде распространения, задержки при обработке данных, задержки протокола).

Адаптивный мониторинг предполагает получение большого объема информации. Реализуется адаптивный мониторинг на основе многоуровневых статистических данных. По ним формируется выборка $x^T = (x_1, x_2 \dots x_n)$ и строятся гистограммы распределений вероятностей качества функционирования, характеризующее эффективность приложений и всей сети на соответствующих уровнях (верхний – общий, средний – по группам и нижний – по конкретным приложениям). По результатам мониторинга осуществляется:

- ранее обнаружение назревающих проблем по выбранным показателям и установленным порогам превышений (приемлемый и критический),
- оперативное решение назревающей проблемы путем смены режима, перераспределения ресурса, реструктуризации сети,
- подбора других вариантов разрешения проблемы в том случае, если выбранный вариант не оказался эффективным.

Основные методы измерения:

- пассивный – по результатам обслуживания реально работающих пользователей. По нему осуществляется управление уровнем сервиса SLM для конкретных клиентов.
- активный – по результатам специальных тестовых сигналов, например. Пакетов ICMP (ICMP ping) осуществляется оценка и диагностика сети в целом или отдельных ее фрагментов, независимо от имеющегося трафика.

Разрешения конфликтов между желаниями пользователя и возможностями оператора осуществляется с помощью устанавливаемой системы соглашений SLA (A-agreement). На основе выбранных ключевых параметров в системе SLA начисляются те или иные штрафные санкции, учитывающие меру ответственности на выполнение соглашения.

Варианты решения задач управления:

- управление, как реакция на нарушения режима и качества сервиса (реагирующее управление). Основывается на $u(t) = A(t)\hat{x}(t)$,
- превентивное управление – направленное на предвидение и предупреждение возможных ухудшений рабочих характеристик сетевого оборудования и инфраструктуры. Основывается на анализе рабочих характеристик, установке порогов превышения показателей и детальном анализе угрожающей ситуации с установлением адаптивной политики мониторинга. В конечном счете управление сводится к $u(t) = A(t)\hat{x}(t)$.

Заключение

Рассмотренные методологические особенности решения задач управления в телекоммуникационных системах основываются на трех основных направлениях:

- на использовании современных телекоммуникационных технологий, включая технологии управления и сигнализации;
- активном привлечении результатов теории систем и проецировании на них правил системной политики PBNM;
- статистических методах теории оценок и управления, обеспечивающих оптимальность выполнения соответствующих процедур.

Объединение этих трех основных направлений позволит, по нашему мнению, создать современную науку: теорию телекоммуникационных систем.

Список литературы: 1. Поповский В. В., Олейник В. Ф. Накануне создания теории телекоммуникационных систем // Радиотехника: Всеукр. межвед. научн.-техн. сб. 2004. Вып. 138. С.8-11. 2. Поповский В. В. Модель управления реструктуризацией телекоммуникационной сети // Радиотехника: Всеукр. межвед. научн.-техн. сб. 2004. Вып. 138. С.25-32. 3. Олейник В. Ф. Основи теорії систем зв'язку. К.: Техніка, 2000. 152 с. 4. Тихонов В. И., Харисов В. Н. Статистический анализ и синтез радиотехнических устройств и систем. М.: Радио и связь, 191. 468 с. 5. Дорф Р. К., Бишон Р. Х. Современные системы управления. М.: ЛБЗ, 2004. 832 с. 6. Стеклов В. К. Проективання систем автоматичного керування. К.: Вища шк., 1995. 692 с.

Харьковский национальный
университет радиоэлектроники

Поступила в редколлегию 01.02.2006