

## УПРАВЛЕНИЕ КОРПОРАТИВНОЙ СЕТЬЮ ПРИ НАЛИЧИИ ЗАПАЗДЫВАНИЯ УПРАВЛЯЮЩЕЙ ИНФОРМАЦИИ

Национальный авиационный университет

*Рассмотрена задача управления корпоративными сетями при наличии случайных запаздываний при доставке сигнальной и управляющей информации, возмущений и шумов различного характера. Показано, что достоверность распознавания класса возмущения как стационарного эргодического процесса является функцией дисперсии оценки корреляционной функции. Выведены выражения для оценки допустимой задержки информации, при которой система управления работает с эффективностью не ниже заданной*

### Введение

Корпоративные сети обладают высокой сложностью в силу территориальной распределенности инфраструктуры, совмещения возможностей собственно передачи данных с возможностями телефонии и видеоконференцсвязи, наличия встраиваемых систем поддержания информационной безопасности, а также резервных и дублирующих элементов, отвечающих за обеспечение надежности и доступности корпоративной сети.

Традиционный подход к обслуживанию и управлению сетями передачи данных с ростом их сложности приводит к повышенной нагрузке на сервисные службы и высоким затратам организации. Кроме того, при традиционном обслуживании сетей все действия по устранению неисправностей или «узких мест» выполняются *post factum*, уже после того, как возникли негативные последствия.

Для решения большей части описанных проблем используются системы мониторинга и управления сетью. Этот класс решений обеспечивает инвентаризацию и расширенную диагностику компьютерных сетей; постоянный контроль функционирования используемого сетевого оборудования, прикладных систем и сетевых сервисов; сбор статистики (в реальном времени и в виде архивов) и визуализацию ключевых показателей производительности и операционных параметров сетевой инфраструктуры; оптимизацию нагрузки на сетевое оборудование и серверы; фиксацию инцидентов; анализ

влияния обнаруженных неисправностей на бизнес-процессы, и критически важные приложения; локализацию причин инцидента и его автоматическое устранение, либо уведомление ответственных за его устранение лиц.

Использование подобных систем позволяет организации осуществлять проактивный мониторинг доступности, состояния и производительности компонентов корпоративной/ведомственной сети передачи данных, анализировать и оптимизировать их загрузку, а также прогнозировать возникновение нештатных ситуаций. Это дает возможность не только серьезно сократить число критических сбоев – по данным *IDC* потери из-за недоступности информационных ресурсов снижаются примерно на 30% – и повысить эффективность работы информационной инфраструктуры – по тем же данным выигрыш составляет 26%, – но и в значительной степени снизить нагрузку на персонал организации.

В качестве систем мониторинга и управления сетью используются средства диагностики, представляющие собой анализа протоколов, контроля плана маршрутизации и т. п. в современных коммутаторах, а также программные системы типа *OSS/BSS (Operation Support Systems/Business Support Systems)*.

Сами принципы, концепции и понятия, связанные с этими системами, отнюдь не новы. Системы *OSS/BSS* представляют собой расширение известной концепции построения глобальных си-

стем управління *TMN*  
(*Telecommunications Management Network*).

Вследствие многообразия типов информационных сетей, оборудования и систем управления ими, необходимости взаимодействия сетей различных типов и назначения возникает потребность в организации совместной работы этих сетей и соответствующих систем управления (СУ). Основной функцией СУ является поддержка организационной структуры для обеспечения взаимосвязи различных типов операционных систем и аппаратуры с использованием стандартных протоколов и интерфейсов.

С системной точки зрения СУ представляет собой набор средств обмена информацией и взаимодействия распределенных приложений между собой в гетерогенной среде. Основная проблема состоит в унификации правил работы в этой сети, которые удовлетворяли бы требованиям управления. Каждый элемент в сети как управляемый объект может быть описан некоторой абстрактной информационной моделью, в которой объект рассматривается как сетевой ресурс. Имея дело с информационной моделью объекта, можно осуществлять контроль его состояния и управление им, абстрагируясь от физической сущности объекта. Возможности управления объектом зависят от предоставленной для внешнего использования информационной модели (набора атрибутов, уведомлений и действий). Рассмотрим влияние запаздывания на эффективность управления и оценим возможности прогноза параметров и состояния сети как объекта управления.

### **Постановка задачи**

Процесс управления сетями представляет собой циклическую многошаговую процедуру со следующими периодически повторяющимися этапами:

- оценка параметров сетевого оборудования и состояния сети в целом;
- принятие решения по результатам этой оценки;
- формирование управляющих воздействий для обеспечения необходимого качества функционирования сети.

Для достижения требуемой цели управления необходимо компенсировать возникающую временную задержку между моментами оценивания конкретного состояния сети и реакцией на это состояние (подачей управляющего воздействия). Задержки имеют место при доставке служебной информации и обработке в сетевых узлах, а также в процессе обработки статистических данных.

Важнейшим показателем качества работы контура управления является время реакции на изменение параметров и состояния сети. В процессе ее функционирования могут возникать внезапные, постепенные или плавающие отказы, перегрузки отдельных сетевых узлов или маршрутов и т.д., которые рассматриваются как некоторые возмущающие воздействия на сеть. Учет этого времени позволяет вносить соответствующие коррективы в структуру и параметры контура управления для достижения требуемых показателей работы сети.

Принимая в качестве исходной модели адаптивную модель, в которой предусмотрено распознавание состояния сети, принятия решения на формирование необходимого управляющего воздействия и перевод сети в режим штатного функционирования, определим допустимое время  $\Delta_{\text{доп}}$ , отводимое на распознавание и перевод системы в штатный режим.

При задании некоторого допустимого показателя эффективности  $W_{\text{доп}}$  рассматриваемой системы время допустимой задержки  $\Delta_{\text{доп}}$  определяется из равенства [1,2]

$$\bar{W}_{\text{доп}} = \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^M P_i(t_i, t_{i+1}) \left[ Q_j(t_i, t_i + \Delta_{\text{доп}}) W_{ij} + Q_j(t_i + \Delta_{\text{доп}}, t_{i+1}) W_{i0} \right]$$

где  $P_i(t_i, t_{i+1})$ ,  $i = 0, 1, \dots, N$  – вероятность появления возмущения класса  $B_i$  ( $i = 0$  – отсутствие возмущения) на интервале наблюдения  $t_{i+1} - t_i$ ;  $Q_j(t_i, t_i + \Delta_{\text{доп}})$  – вероятность нахождения сети в состоянии  $A_j$  при наличии возмущения класса  $B_i$  до истечения времени запаздывания  $\Delta$ ;  $Q_j(t_i + \Delta_{\text{доп}}, t_{i+1})$  – вероятность перевода сети в штатный режим работы после истечения времени запаздывания;  $W_{ij}$  – частный показатель эффективности работы сети при наличии возмущения  $B_i$  и соответствующего ему состояния  $A_j$ ;  $W_{i0}$  – частный показатель эффективности работы сети при наличии возмущения  $B_i$  и перевода системы в режим штатного функционирования.

### **Зависимость допустимого времени задержки от условий работы системы управления**

$$\sigma_K^2(\tau) = \frac{2}{T^2} \int_0^T (T - \lambda) \left[ K_s^2(\lambda) + K_s(\lambda + \tau) K_s(\lambda - \tau) \right] d\lambda$$

При определении аналитических зависимостей вероятностей распознавания и частных показателей эффективности от времени обработки  $T$  оптимальное время распознавания находится из решения

$$\frac{\partial W}{\partial T} = \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^M P_i \left[ \frac{\partial Q_j(T)}{\partial T} W_{ij}(T) + \frac{\partial W_{ij}(T)}{\partial T} Q_j(T) \right] = 0$$

При использовании для оценки состояния сети предложенного метода корреляционного анализа возмущений определим среднеквадратическую ошибку между измеренным значением этой функ-

Полученную оценку допустимого времени задержки  $\Delta_{\text{доп}}$  необходимо уточнить в соответствии с конкретными условиями работы контура управления. При использовании для распознавания статистических характеристик как признаков того или иного класса возмущений [4], одной из составляющих результирующей задержки  $\Delta$  является время осреднения реализации случайного процесса. Другие составляющие обусловлены задержками доставки служебной информации в систему управления.

Достоверность распознавания класса возмущения как стационарного эргодического процесса является функцией дисперсии оценки корреляционной функции. Данная дисперсия при нормальном законе распределения определяется как

$$K_s(\tau) = \frac{1}{T} \int_0^T [s_0(t) s_0(t + \tau)] dt$$

где

$$s_0(t) = s(t) - m_s;$$

$m_s$  – математическое ожидание процесса  $s(t)$ .

уравнения (в предположении, что вероятность перехода системы в состояние  $A_j$  равна вероятности распознавания).

ции  $K_s^*(\tau)$  и ее истинным значением  $K_s(\tau)$ . Для стационарного эргодического случайного процесса с нормальным распределением и нулевым математиче-

ским ожиданием эта ошибка в соответствии с [2] определяется выражением где

$$\sigma_k^2(\tau) = \frac{2}{T^2} \int_0^T (T - \lambda) [K_s^2(\lambda) + K_s(\lambda + \tau)K_s(\lambda - \tau)] d\lambda$$

Таким образом, точность измерения корреляционной функции зависит от характера оцениваемого возмущения  $s(t)$ , времени осреднения  $T$  и величины вре-

$T$  – время осреднения случайного процесса.

менного сдвига  $\tau$ . Для случайного процесса с нормированной корреляционной функцией вида  $\rho(\tau)$  ошибка определяется выражением [3]

$$\sigma_p^2(\alpha, \beta) = \frac{2\beta - 1 + 2 \exp(-2\beta) + [(2\alpha + 1)(2\beta - 1) - 2\alpha^2] \exp(-2\alpha)}{2\beta^2}$$

где

$\alpha = \tau/\tau_k = \pi \Delta F_\phi \tau_k$ ;  
 $\beta = T/\tau_k = \pi \Delta F_\phi T$ ;  $\Delta F_\phi$  – ширина полосы фильтра на уровне 0,7, используемого при определении параметров  $\alpha$  и  $\beta$ .

Для повышения точности оценивания корреляционной функции, а, значит, и распознавания состояния сети, целесообразно увеличивать время осреднения путем увеличения интервала наблюдения случайного процесса. Однако такое увеличение приводит к старению текущей служебной информации из-за роста запаздывания в системе управления. Если указанная задержка соизмерима с временем изменения параметров и состояния сети, необходимо вводить соответствующие

коррективы в структуру схемы управления. Одним из таких путей является оценка не текущего, а прогнозируемого значения исследуемого случайного процесса  $s(x)$  на величину  $\Delta = f(T)$ .

Передаточная функция оптимального прогнозирующего ( $\Delta > 0$ ) физически реализуемого фильтра, минимизирующей среднеквадратическую ошибку  $\epsilon^2 = \langle |y(t) - s(t + \Delta)|^2 \rangle$ , для случая дробно-рациональной спектральной плотности  $S_x(\omega)$  входного сигнала  $x(t) = s(t) + n(t)$  имеет вид [4].

$$K_0(j\omega) = \frac{1}{2\pi F(j\omega)} \int_0^\infty e^{-j\omega\tau} d\tau \int_{-\infty}^\infty \frac{S_{sx}(\Omega)}{F^*(j\Omega)} e^{j\Omega(\tau+\Delta)} d\Omega \quad (1)$$

где  $F(j\omega)F^*(j\omega) = |F(j\omega)|^2 = S_x(\omega)$ ;  $S_x(\omega) = \int_{-\infty}^\infty K_x(\tau)e^{-j\omega\tau} d\tau$ ;

$$S_{sx}(\omega) = \int_{-\infty}^\infty K_{sx}(\tau)e^{-j\omega\tau} d\tau$$

Определим передаточную функцию прогнозирующего фильтра для двух статистически независимых стационарных процессов с энергетическими спектрами и корреляционными функциям

$$x(t) = s(t) + n(t) \quad (2)$$

с энергетическими спектрами и корреляционными функциями

$$S_s(\omega) = \frac{\sigma_s^2}{\beta^2 + \omega^2}, \quad -\infty < \omega < \infty; \quad K_s(\tau) = \frac{\sigma_s^2}{2\beta} e^{-\beta|\tau|};$$

$$S_n(\omega) = \frac{N_0}{2}, \quad -\infty \leq \omega \leq \infty; \quad K_n(\tau) = \delta(\tau)$$

соответственно. При  $S_{sx}(\omega) = S_s(\omega)$  смеси (2) определяется выражением спектральная плотность аддитивной

$$S_x(\omega) = S_s(\omega) + S_n(\omega) = \frac{N_0(\beta^2 + \omega^2) + 2\sigma_s^2}{2(\beta^2 + \omega^2)}$$

В соответствии с (1) имеем:

$$K_0(j\omega) = \frac{2\sigma_s^2}{N_0} \frac{e^{-\beta\Delta}}{(\beta + \gamma)(\gamma + j\omega)},$$

$\gamma = \sqrt{\frac{2\sigma_s^2 + N_0\beta^2}{N_0}}$ . Обозначая  $\gamma = \frac{1}{T_0}$ , получаем окончательное выражение для передаточной функции прогнозирующего фильтра:

$$K_0(j\omega) = \frac{2\sigma_s^2 T_0^2}{N_0(\beta T_0 + 1)} e^{-\beta\Delta} \frac{1}{1 + j\omega T_0}$$

Таким образом, искомым прогнозирующий фильтр состоит из последовательно соединенных усилителя с коэффициентом усиления

$$K_0 = \frac{2\sigma_s^2 T_0^2}{N_0(\beta T_0 + 1)} e^{-\beta\Delta},$$

уменьшающимся в зависимости от длительности интервала прогноза  $\Delta$  и интегрирующего звена с постоянной времени

$$T_0 = \sqrt{\frac{N_0}{2\sigma_s^2 + N_0\beta^2}}$$

Точность прогнозирования существенно зависит от сходимости интеграла.

$$\int_{-\infty}^{\infty} \frac{\ln S_c(\omega)}{1 + \omega^2} d\omega \leq \infty \quad (3)$$

Если интеграл (3) расходится (т.е.  $\rightarrow \infty$ ), то ошибка прогнозирования теоретически обращается в нуль при любом  $\Delta$ . Если он сходится, прогнозирование возможно лишь с ошибкой, зависящей от  $\Delta$  и от вида  $S_s(\omega)$ . Физический смысл выражения (3) заключается в том, что при расходимости интеграла спектральная

плотность  $S_s(\omega)$  не только является неограниченной по частоте, но, кроме того, имеет бесконечную энергию. Другими словами, не выполняется условие физической реализуемости прогнозирующего фильтра с частотной характеристикой  $S_s^*(\omega)$ , согласованного с процессом  $s(t)$ .

С учетом данного замечания можно утверждать, что реальная ошибка прогноза всегда будет больше нуля.

### Выводы

Для возмущений, помех и шумов с нормальными распределениями и рациональными спектральными плотностями, присутствующих в контуре управления корпоративной компьютерной сетью, выведены выражения для оценок точности прогноза параметров сетевых узлов и состояния сети в целом. Показано, что вследствие наличия аддитивного белого шума как неотъемлемого компонента электронных схем сингулярность решения задачи прогноза исключается.

### Список литературы

1. Бендат Дж., Пирсол А. Применение корреляционного и спектрального анализа: Пер. с англ. – М.: Мир, 1983. – 312 с.
2. Клейнрок Л. Коммуникационные сети (стохастические потоки и задержки сообщений): Пер. с англ. – М.: Наука, 1970. – 256 с.
3. Крамер Н.Ш. Теория вероятностей и математическая статистика. – М.: Юнити-Дана, – 2004. – 384 с.

4. Вопросы статистической теории распознавания. / Барабаш Ю.Л., Варский Б.В., Зиновьев В.Т., Кириченко В.С., Сапегин В.Ф. – М.: Советское радио, 1967. – 400 с.

5. Гихман И.И., Скороход А.В. Введение в теорию случайных процессов. – М.: Наука, 1977. – 568 с.

Подано до редакції 25.10.2010