

**СТРАТЕГИЯ ПОИСКА НЕСПРАВНОСТЕЙ В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ**

В последнее время операторы связи все активнее внедряют на своих сетях современное оборудование NGN, позволяющее значительно улучшить качество обслуживания абонентов, расширить круг предоставляемых услуг и дать возможность доступа сторонних провайдеров к ресурсам сети через открытые интерфейсы. Однако все эти преимущества могут быть утрачены без полноценного автоматизированного управления на сети оператора, т.е. полноценного OSS/BSS-решения (Operation Support Systems/Business Support Systems).

Такое решение логически разделяется на частные задачи:

- выполнение функций паспортизации оборудования, учета клиентов, партнеров, сторонних операторов/провайдеров, заказов, продуктов, услуг и ресурсов;
- управление и контроль устранения проблем с услугами и продуктами оператора и сторонних провайдеров;
- автоматизированное тестирование, конфигурирование, активация ресурсов и сбор данных аварийной сигнализации с рабочих мест операторов;
- взаимодействие с клиентами, автоматизированный прием заказов, реализация и контроль заказов на предоставление услуг и продуктов оператора и сторонних провайдеров.

Все системы должны работать независимо друг от друга по стандартным совместимым протоколам, а при необходимости – совместно, образуя комплексное решение OSS.

Помимо учета оборудования и сооружений сети не менее остро стоит задача своевременной реакции на аномальные ситуации в сети (отказы, сбои, перегрузки) и разработки совершенных механизмов разрешения этих ситуаций. Система должна автоматически распознавать гипотезу аномальной ситуации, формировать комплекс решений, определять наряд сил и средств для адекватного реагирования на возникшую проблему и ее устранения в заданные сроки.

На современных сетях оператора обычно применяется оборудование различных типов, включая мультисервисный доступ и другие узлы NGN, предоставляется широкий спектр новых услуг. В связи с этим необходимо организовывать управление этим оборудованием, дистанционные измерения для устранения повреждений и текущей проверки технического состояния.

Автоматизация процессов эксплуатации сети, работы с персоналом, клиентами и абонентами должна быть направлена на решение следующих задач:

- повышение производительности труда персонала и соответствующее сокращение накладных расходов;
- повышение достоверности информации о параметрах и техническом состоянии сетевого и терминального оборудования;
- своевременность принятия текущих и стратегических решений по техническим и организационным вопросам функционирования сети.

При этом необходимо вырабатывать подходы, адаптированные к реальному состоянию отечественных телекоммуникационных сетей: линий передачи, коммутационного оборудования, систем управления и сигнализации.

Задача управления решается на основе многоуровневой модели сети NGN.

Современная телекоммуникационная сеть имеет сложную структуру с большим количеством комплектующих элементов. Несмотря на прогрессирующий рост надежности этих элементов, их количество растет еще быстрее, что определяет настоятельную необходимость периодической проверки сети и поиск неисправностей в случае их возникновения.

Одной из основных проблем в решении задачи поиска неисправности является разработка метода, позволяющего осуществить как можно более быстрое определение места возникшей неисправности (отыскание неисправности может составлять более трети времени простоя аппаратуры, а значит привести к огромным информационным и экономическим потерям при эксплуатации сети).

Минимизация временных затрат на поиск неисправности в сложных системах целесообразно проводить поэтапно: вначале определяется сетевой элемент, в котором находится неисправность, а затем ищется неисправный блок в этом элементе сети. Как на первом, так и втором этапах используется оптимальная стратегия по выбору элемента (блока), с которого начинается и продолжается поиск.

Для сети с  $N$  элементами и  $n_r$  блоками в  $r$ -м элементе введем следующие определения:

$\tau_r$  и  $\tau_{ri}$  – время проверки  $r$ -го элемента и  $i$ -го блока в  $r$ -м элементе соответственно;

$\delta_r$  и  $\delta_{ri}$  – вероятность отказа  $r$ -го элемента и неисправности  $i$ -го блока в  $r$ -м отказавшем элементе соответственно;

$\delta_r$  и  $\delta_{ri}$  – вероятности получения положительных результатов при проверке соответственно  $r$ -го элемента (положительный результат проверки означает отсутствие неисправности);

$T_0$  – время подготовки;

$$T_r = T_0 + \sum_{i=1}^{n_r} [\tau_{ri} + (1 - \delta_{ri}) R_{ri}] + \tau_r;$$

$R_{ri}$  – время, необходимое для ремонта или замены  $r_i$ -го блока и повторной проверки.

При условии, что в системе возникает только одна неисправность в соответствии с [1, 2] оптимальные маршруты, минимизирующие время поиска неисправности в сети и внутри ее элемента определяется соответственно в следующей последовательности:

– поиск начинается с элемента, для которого величина

$$A_r = \frac{\tau_r + (1 - \delta_r) T_r}{q_r} = \min \quad (1)$$

с дальнейшей проверкой по мере возрастания  $A_r$ ;

– оптимальный порядок проверки блока на втором этапе начинается с  $r_i$ -го блока, для которого величина

$$A_{ri} = \frac{\tau_{ri} + (1 - \delta_{ri}) T_{ri}}{q_{ri}} \quad (2)$$

также минимальна. Проверка продолжается по мере увеличения значения  $A_{ri}$ .

Определим подходы к расчету (оценке) параметров, входящих в выражения (1) и (2) программы поиска неисправности.

Вероятность отказа  $r$ -го блока в  $r$ -м элементе с достаточной степенью достоверности можно описать известным законом надежности  $\hat{q}_{ri} = 1 - \exp(-\lambda_{ri} T_{ri})$ , где  $\lambda_{ri}$  – интенсивность отказов  $i$ -го блока  $r$ -го элемента в заданных условиях работы;  $T_{ri}$  – время работы  $r_i$ -го блока до его отказа.

При  $\lambda_{ri} T_{ri} \leq 0,1$  можно принять  $\hat{q}_{ri} \approx \lambda_{ri} T_{ri}$ .

С учетом того, что поиск неисправности начинается только после появления признака отказа, а значит, все вероятности отказов следует считать условными относительно самого события появления отказа, то это даст

$$q_{ri} \approx \frac{\lambda_{ri} T_{ri}}{1 - \prod_{i=1}^{n_r} (1 - \hat{q}_{ri})} = \frac{\lambda_{ri} T_{ri}}{1 - \exp(-\sum_{i=1}^{n_r} \lambda_{ri} T_{ri})} \quad (3)$$

Для малых значений  $\lambda_{ri} T_{ri} < 0,1$  выражение (3) упрощается:  $q_{ri} \approx \frac{\lambda_{ri} T_{ri}}{\sum_{i=1}^{n_r} \lambda_{ri} T_{ri}}$ .

Так как момент отказа неизвестен, можно считать значения  $T_{ri}$  случайными равномерно распределенными величинами с одинаковыми математическими ожиданиями, следовательно,

$$q_{ri} \approx \frac{\lambda_{ri}}{\sum_{i=1}^{n_r} \lambda_{ri}}.$$

Вероятность того, что отказавший блок находится в данном сетевом элементе

$$q_{ri} \approx \frac{\sum_{i=1}^{n_r} \lambda_{ri}}{\sum_{r=1}^N \sum_{i=1}^{n_r} \lambda_{ri}}.$$

Время проверок  $\tau_r$  и  $\tau_{ri}$  определяется используемым методом оценки состояния элементов и блоков, а также временем, затрачиваемым на подготовку аппаратуры контроля и обработку результатов измерений.

Если состояние (неисправность) сетевых элементов и входящих в них блоков определяется по статическим характеристикам наблюдаемого гауссовского случайного процесса, то для случая использования корреляционной функции дисперсия ее оценки определяется

состоянием  $\delta^2 = \frac{2}{T} \int_0^T (1 - \frac{\theta}{T}) [R^2(0) + R(\theta + \tau)R(\theta - r)] d\theta$ , где  $T = T_0 - \tau$ ;  $T_0$  – длительность

исследуемой реализации  $x(t)$ ;  $R(r) = \frac{1}{T} \int_0^T x_0(t)x_0(t+\tau)dt$ ;  $x(t) = x(t) - m_x$  [3].

Для нормированной корреляционной функции вида

$$R_H(\tau) = e^{-\alpha|\tau|} \cos \beta\tau. \quad (4)$$

Связь между дисперсией оценки  $\delta^2$ , параметрами корреляционной функции и временем наблюдения  $T$  за процессом  $x(t)$  дается соотношениями

$$\delta^2 = \frac{4}{T} \cdot \frac{2e^{-2\alpha T} \cos \beta T (\mu \sin \beta T - \cos \beta T) - \mu^2 e^{-2\alpha T} + 2 + \mu^2}{4\alpha(\mu^2 + 1)}. \quad (5)$$

Для  $\beta = 0$

$$\delta^2 = \frac{4}{T} \cdot \frac{1 - e^{-2\alpha T}}{2\alpha}. \quad (6)$$

Соотношениями (5) и (6) определяется длительность наблюдаемой реализации случайного процесса для получения необходимого значения оценки дисперсии корреляционной функции, что в свою очередь позволяет рассчитать вероятность правильного распознавания исправного состояния контролирующего объекта.

Определим  $\delta_r$  для корреляционной функции (3), принимая в качестве признака распознавания параметр  $\alpha$ . Величина  $\delta_{ri}$  определяется по той же формуле.

В качестве решающего правила возьмем критерий Байеса [4], обеспечивающий минимум ошибочных решений, при следующих исходных данных:

1. Априорные вероятности состояний: исправно –  $P(\Omega_1)$ , неисправно –  $P(\Omega_2)$
2. Условные плотности распределения вероятностей значений признака  $\alpha$   $f_1(\alpha)$  и  $f_2(\alpha)$  для состояний (классов)  $\Omega_1$  и  $\Omega_2$ .

3. Стоимости ошибок первого и второго рода  $C_1$  и  $C_2$  соответственно.

В соответствии с критерием Байеса объект находится в неисправном состоянии (объект относится по состоянию к классу  $\Omega_1$ ), если

$$\frac{f_2(\alpha_4)}{f_1(\alpha_4)} > \frac{C_1 P(\Omega_1)}{C_2 P(\Omega_2)} = \lambda_0,$$

где  $\lambda_0$  – пороговое значение коэффициента правдоподобия;  $\alpha_4$  – измеренное значение параметра  $\alpha$ .

Определяя из соотношения (7) граничное значение  $\alpha_0$ , находим вероятность положительного результата проверки  $r$ -го  $r_i$ -го неисправного элемента (блока)

$$\delta_r = 1 - Q_r = 1 - \int_{\alpha_0}^{\infty} f_1(\alpha) d\alpha; \quad \delta_{r_i} = 1 - Q_{r_i} = 1 - \int_{\alpha_0}^{\infty} f_1(\alpha) d\alpha,$$

где  $Q_r$  и  $Q_{r_i}$  – ошибки первого рода при проверке  $r$ -го элемента и  $r_i$ -го блока соответственно.

Для случая нормального закона распределения  $\alpha$  с параметрами  $m_{\alpha 1}$ ,  $\delta_{\alpha 1}$  для состояния  $\Omega_1$  и параметрами  $m_{\alpha 2}$ ,  $\delta_{\alpha 2}$  для состояния  $\Omega_2$  значение  $\alpha_0$  определяется в соответствии с (7)

$$\alpha^2 \left( \frac{1}{2\delta_{\alpha 1}^2} - \frac{1}{2\delta_{\alpha 2}^2} \right) + \alpha \left( \frac{m_{\alpha 2}}{\delta_{\alpha 2}^2} - \frac{m_{\alpha 1}}{\delta_{\alpha 1}^2} \right) + \frac{m_{\alpha 1}^2}{2\delta_{\alpha 1}^2} - \frac{m_{\alpha 2}^2}{2\delta_{\alpha 2}^2} - \ln \lambda_0 \frac{\delta_{\alpha 2}}{\delta_{\alpha 1}} = 0,$$

$$\alpha \delta_r = 1 - Q_r = 1 - \frac{1}{\sqrt{2\pi}\delta_{\alpha 1}} \int_{\alpha_0}^{\infty} e^{-\frac{(\alpha - m_{\alpha 1})^2}{2\delta_{\alpha 1}^2}} d\alpha.$$

Величины  $T_r$  и  $R_{r_i}$  определяются конкретной структурой как самой системы управления, так и телекоммуникационной сети и требуют специального исследования.

Таким образом, для гауссовской модели распределения параметров сети и протекающих в ней процессов функционирования и обслуживания удастся получить выражения для оценки времени поиска неисправностей в замкнутой форме. Соображения о справедливости принятия гипотезы о гауссовской модели базируются на центральной предельной теореме: чем сложнее система и чем больше она содержит элементов, тем ближе к гауссовским распределения протекающих в ней процессов. В этом смысле полученные выражения являются предельными, а погрешности при их применении асимптотически стремятся к нулю.

**Список литературы:** 1. *Мозгалецкий А. В., Гаскаров Д. В., Глазунов Л. П., Ерастов В. Д.* Автоматический поиск неисправностей. Ленинград: Машиностроение, 1967. 264 с. 2. *Оптимальные задачи надежности.* Сб. статей под ред. И.А. Ушакова. М.: Комитет стандартов, мер и измерительных приборов при СМ СССР, 1968. 292 с. 3. *Романенко А. Ф., Сергеев Г. А.* Вопросы прикладного анализа случайных процессов. М.: Сов. радио, 1968. 256 с. 4. *Горелик А. Л., Скрипкин В. А.* Методы распознавания. М.: Высш. шк., 1989.

*Харьковский национальный университет радиоэлектроники*

*Поступила в редколлегию 17.11.200*