

УДК 621.391

Варфоломеєва О. Г., к.т.н (Державний університет телекомунікацій)

МЕТОД ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ МЕРЕЖЕЮ NGN З ЗАСТОСУВАННЯМ ТЕОРІЇ ІНФОРМАЦІЇ

Варфоломеєва О. Г. Метод дослідження якості функціонування системи управління мережею NGN з застосуванням теорії інформації. Пропонується метод аналізу надійності і живучості системи управління мережею NGN, який базується на оцінці ентропії мережі при зміні її стану. Розглядається алгоритм розрахунку ентропії на прикладі фрагмента мережі із заданою топологією.

Ключові слова: мережа NGN, управління, теорія інформації, маршрутизація, імовірність, ентропія

Варфоломеєва О. Г. Метод исследования качества функционирования системы управления сетью NGN с применением теории информации. Предлагается метод анализа надежности и живучести системы управления сети NGN, который базируется на оценке энтропии сети при изменении ее состояния. Рассматривается алгоритм расчета энтропии на примере фрагмента сети с заданной топологией.

Ключевые слова: сеть NGN, управление, теория информации, маршрутизация, вероятность, энтропия

Varfolomeieva O. H. Method of research of functioning quality of the NGN management system using information theory. The method of reliability and vitality of NGN management system analysis is offered. The method is based on the estimation of entropy of network at the change of its state. The algorithm of calculation of entropy on the example of fragment of network with the set topology is examined.

Keywords: NGN network, management, information theory, routing, probability, entropy

Вступ. Постановка задачі. Розвиток інфокомунікаційних послуг вимагає рішення задач ефективного управління інформаційними ресурсами з одночасним розширенням функціональності телекомунікаційних мереж. У 90-х роках минулого сторіччя передбачалося, що ідея створення інфокомунікаційної мережі буде втілена за допомогою концепції інтелектуальної мережі. У 1993 році Міжнародний союз електрозв'язку (ITU-T) затвердив перші специфікації технології Intelligent Network (IN). Основним принципом побудови інтелектуальної мережі стало логічне розділення рівня комутації і надання послуг, завдяки чому з'явилася можливість створювати нові телекомунікаційні послуги відповідно до специфічних для кожного з них вимогами до мережі і абонентських пристроїв.

З розвитком інфокомунікаційних послуг ідея об'єднання телефонних мереж, мобільного зв'язку, Internet, знайшла свій розвиток в концепції NGN (Next Generation Network – мережа наступного покоління), в основу якої був покладений принцип відділення одну від одної функцій перенесення і комутації, функцій управління викликом і функцій управління послугами.

У контексті NGN, функціональні можливості управління означають набір функцій управління, які дозволяють здійснювати обмін інформацією для управління та її обробку з метою сприяння операторам телекомунікацій і провайдерам послуг в ефективному веденні бізнесу. Управління NGN забезпечує функції управління ресурсами і послугами NGN і визначає зв'язки між різними типами операційних систем і ресурсів NGN при обміні інформацією управління з використанням узгодженої архітектури і стандартизованих інтерфейсів, включаючи протоколи і повідомлення.

Управління NGN також надає кінцевим користувачам доступ і відображення інформації управління, а також доступ і відображення бізнес-процесів, що ініціюються цими користувачами.

Мережі наступного покоління, в основному, призначені для доставки нових послуг, доступних в будь-якому місці, у будь-який час і з використанням будь-якого пристрою за допомогою механізму доступу, обраного споживачем.

Система управління (СУ) мережами наступного покоління має такі цілі:

- мінімізацію посередницької роботи між різними мережними технологіями шляхом зближення підходів до управління і використання інтелектуальної звітності;
- мінімізацію часу реагування системи управління на події в мережі;
- мінімізацію навантаження, що створюється трафіком управління;
- географічно розосереджений контроль над аспектами експлуатування мережі;
- надання механізмів розмежування для мінімізації ризиків у сфері безпеки;
- надання механізмів розмежування для виявлення і запобігання відмова мережі;
- поліпшення допомоги в обслуговуванні і взаємодії з споживачами;
- багаторівневе представлення послуг, що дозволяє провайдеру формувати структурні блоки для послуг і групувати послуги та оцінювати його вплив на архітектуру управління;
- використання бізнес-процесів в NGN;
- підтримання застосувань, як на єдиній розподіленій обчислювальній платформі, так і застосувань, розподілених в мережі.

Однією з головних задач СУ є визначення обсягу мережних ресурсів таким чином, щоб, з *одного боку*, забезпечити користувача потрібними послугами з заданою якістю, а з *другого боку*, забезпечити ефективність функціонування оператора телекомунікацій як бізнес-суб'єкта. Передавання інформації є основною задачею будь-якої системи зв'язку, а формування і передавання команд управління – однією з основних задач СУ.

Мережу передачі управляючої інформації можна розглядати як складну інтелектуальну систему, процес функціонування якої можна представити у вигляді послідовної зміни її станів, причому кількість цих можливих станів визначається кількістю мережних елементів і кількістю станів, які може приймати кожен мережний елемент.

Таким чином, можна сказати, що мережа функціонує в умовах невизначеності, і саме тому процес функціонування мережі можна розглядати як випадковий, а математична модель його може бути отримана за допомогою логіко-ймовірнісних методів. Поведінка моделі процесу функціонування мережі може досліджуватися в характерних точках цього процесу, а саме при відмовах і відновленнях окремих складових цієї мережі.

Основним завданням даної мережі є своєчасна доставка управляючої інформації об'єктам управління із заданою достовірністю. При цьому основні вимоги стосуються надійності і (або) живучості мережі [1, 2]. Запропонований метод аналізу якості функціонування мережі управління базується на здатності системи управління змінювати в певних межах свою ентропію при дії зовнішніх дестабілізуючих чинників (як випадкових, так і навмисних) і, отже, управляти внутрішніми процесами, що забезпечують досягнення системою мети її функціонування.

Метод аналізу якості функціонування системи управління NGN на основі інформаційно-ентропійних характеристик. Мережу передачі управляючої інформації можна розглядати як систему, яка в конкретний момент часу знаходиться в певному стані. Число станів може бути дуже велике, але воно завжди кінцеве, оскільки визначається як кількістю елементів, що входять в мережу, так і кількістю станів, які може приймати кожен елемент. Відомо, що різноманітність управляючої системи має бути не меншою, ніж різноманітність керованого об'єкту. Інакше кажучи, чим більшою кількістю допустимих станів володіє система, тим більше її живучість. З іншого боку, як відомо з теорії інформації, мірою різноманітності системи є її ентропія. Об'єкт, що має мінімальну ентропію, має і мінімальну невизначеність, тобто є уразливим для гіпотетичного противника, наприклад, для несприятливих умов середовища, і, навпаки, система, що має максимальну ентропію, утрудняє вибір противника в розумінні завдання точного удару.

По відомому числу станів, в яких можуть знаходитися мережні елементи, визначається повна група подій як m^n , де m – кількість станів, яке може приймати один мережний елемент, n – кількість мережних елементів. Якщо мережний елемент може знаходитися в двох станах – "справний" або "несправний", що відповідає логічній одиниці або логічному нулю, тоді число можливих станів мережі визначається як 2^n , а всі можливі стани досліджуваного фрагмента мережі (Рис. 1) можна представити у вигляді повної групи подій вигляду [3]:

$$\left. \begin{aligned} S_1 &= A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4 \cdot A_5 \cdot A_6 \cdot A_7 \cdot A_8 \cdot A_9 \cdot A_{10}; \\ S_2 &= \bar{A}_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4 \cdot A_5 \cdot A_6 \cdot A_7 \cdot A_8 \cdot A_9 \cdot A_{10}; \\ S_3 &= A_1 \cdot \bar{A}_2 \cdot A_3 \cdot A_4 \cdot A_5 \cdot A_6 \cdot A_7 \cdot A_8 \cdot A_9 \cdot A_{10}; \\ &\dots\dots\dots; \\ &\dots\dots\dots \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

де A_n ($n = 1, \dots$) – подія, що полягає в тому, що n -й елемент знаходиться в справному стані; \bar{A}_n – подія, зворотна A_n , полягає в тому, що n -й елемент знаходиться в несправному стані.

Фрагмент мережі може бути охарактеризований як об'єкт, який має деяку ентропію. Загальна ентропія цього об'єкту в контексті теорії інформації визначається як:

$$H(S) = -\sum_{i=1}^n p(s_i) \cdot \log p(s_i),$$

де $p(s_i)$ – імовірність того, що об'єкт (мережа) знаходиться в стані s_i ; n – відповідає кількості можливих станів об'єкту.

Частина цих станів характеризує знаходження досліджуваного фрагмента мережі в працездатному стані, інша частина є характеристикою непрацездатного стану, тобто можна сказати, що:

$$H(S) = H_p(S) + H_n(S) = -\left[\sum_l p(s_l) \cdot \log p(s_l) + \sum_k p(s_k) \cdot \log p(s_k) \right], \quad (2)$$

де $H_p(S)$ – ентропія системи, що знаходиться в працездатному стані; $H_n(S)$ – ентропія системи, що знаходиться в непрацездатному стані;

область станів l відповідає працездатним станам;
 область станів k відповідає непрацездатним станам.

Невизначеність, що припадає на частку групи подій $S' \in s_j$, визначається імовірністю можливих переходів із стану S_i в стани s_j і виражається як часткова умовна ентропія $H(S'/s_i)$:

$$H(S'/s_i) = -\sum_j p(s_j/s_i) \cdot \log p(s_j/s_i). \quad (3)$$

Для визначення повної умовної ентропії групи $S' \in s_j$ необхідно врахувати апіорну імовірність переходу системи в i -й стан:

$$H(S'/S_i) = -p(s_i) \cdot \sum_j p(s_j/s_i) \cdot \log p(s_j/s_i)$$

Досліджуваний фрагмент мережі можна представити графом станів і виділити декілька груп цих станів, які відповідають одній, двом, трьом і так далі помилкам. Якщо досліджуваний об'єкт є стаціонарною системою, то матриця умовних імовірностей переходу із стану в стан має вигляд:

$$\|p_{ij}\| = \begin{pmatrix} p_{11} & p_{12} & p_{13} & \dots & p_{1j} & \dots & p_{1n} \\ p_{21} & p_{22} & p_{23} & \dots & p_{2j} & \dots & p_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ p_{i1} & p_{i2} & p_{i3} & \dots & p_{ij} & \dots & p_{in} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ p_{n1} & p_{n2} & p_{n3} & \dots & p_{nj} & \dots & p_{nn} \end{pmatrix}$$

Матриця умовної імовірності може визначатися в результаті проведення аналізу статистичних даних за результатами експлуатації мереж. При цьому умовну імовірність $p(b_j/a_i)$ можна визначити як межа відносних частот при проведенні складеного експерименту:

$$p(b_j/a_i) = \lim_{N_i \rightarrow \infty} \frac{N_{ij}}{N_i},$$

де N_i – кількість випробувань з серії випробувань N , в яких спостерігався результат a_i ;

N_{ij} – кількість випробувань з групи випробувань N_i , в яких на наступному етапі складеного експерименту спостерігався результат b_j .

Ці вихідні дані дозволяють нам визначити кінцеву ймовірність знаходження системи в кожному з можливих станів таким чином. Врахуємо, що для марківських ланцюгів сума потоків імовірностей, що переводять систему в деякий стан, завжди дорівнює сумі потоків імовірностей, що виводять її з цього стану [3], тобто виконується балансова умова:

$$p_j \sum_{i=1}^n p_{ji} = \sum_{i=1}^n p_i \cdot p_{ij},$$

де $p_j \sum_{i=1}^n p_{ji}$ – потік імовірностей, що характеризує вихід із стану S_j ;

$\sum_{i=1}^n p_i \cdot p_{ij}$ – потік імовірностей, що характеризує перехід в стан S_j .

Тоді загальна ентропія системи визначається як:

$$H(S) = H(S_1) + H(S_2) + \dots + H(S_n) = - \sum_{i=1}^n p(s_i) \cdot \log p(s_i), \quad (4)$$

де $p(s_i)$ – кінцева імовірність, що призводить систему у i -й стан;

n – кількість можливих станів системи [4].

Граф станів враховує як можливість переходу в деякий стан, так і можливість повернення в нього, тобто він є двонаправленим. Якщо розглядати граф з точки зору зміни стану в один бік, наприклад, від працездатних станів до непрацездатних, то він може бути представлений у вигляді ієрархічної структури послідовних переходів системи із стану в стан. Тоді при визначенні ентропії системи може бути застосований принцип ієрархічної аддитивності [4], що дозволяє повну ентропію системи представити у вигляді:

$$H(S) = H(L_1, L_2, L_3, \dots, L_m) = H(L_1) + H(L_2 / L_1) + H(L_3 / L_2 L_1) + \dots + H(L_m / L_{m-1} \dots L_2 L_1),$$

де L_i – i -й рівень подій (станів) графа станів.

Виходячи з цього ентропія k -го рівня станів буде визначатися як:

$$H_k = - \sum_{i \in k} p(s_i) \sum_{j \in k} p(s_j / s_i) \cdot \log p(s_j / s_i) \quad (5)$$

Такий підхід дозволяє проаналізувати яким чином змінюється ентропія при поетапному переході системи від повністю працездатного стану до наявності одній, двох і так далі аварій.

Проте, працездатність або непрацездатність системи в даний момент часу визначається логічним критерієм працездатності, тому не завжди кількість аварій визначає міру працездатності. Важливо, які саме це були аварії, тобто важливо знати, яка саме послідовність подій привела до даного стану. Розглянемо "найгірший" варіант поведінки системи виходячи з припущення навмисного пошкодження мережі. Це визначає умови, при яких відмови поступатимуть з набагато більшою інтенсивністю в порівнянні з можливістю відновлення системи. Можна передбачити відсутність відновлення протягом певного інтервалу часу. Для аналізу цієї ситуації будується ієрархічне дерево однонаправлених переходів системи з працездатного стану в непрацездатний (або просто дерево станів).

Кожна "гілка" такого дерева відображує певний "маршрут" послідовної зміни станів, який можна проаналізувати і оцінити з імовірнісно-ентропійної точки зору. Це дозволяє отримати значення часткової умовної ентропії переходу в даний стан для кожного з таких

"маршрутів", на підставі чого може бути прийняте рішення про необхідність тих або інших дій (наприклад, рішення про необхідність введення в дію резервного каналу).

Часткова умовна ентропія покрокового переходу в k -й стан може визначатися як:

$$H_k = -p(i) \cdot p(k/i) \cdot \log_2 p(k/i) - p(i) \cdot p(k/i) \cdot [p(l/k) \cdot \log_2 p(l/k) + p(m/k) \cdot \log_2 p(m/k)],$$

або

$$H_k = -[p(i) \cdot p(k/i) \cdot p(l/k) \cdot \log_2 p(i) \cdot p(k/i) \cdot p(l/k) + p(i) \cdot p(k/i) \cdot p(m/k) \cdot \log_2 p(i) \cdot p(k/i) \cdot p(m/k)],$$

де $p(i)$ – безумовна імовірність того, що система перебуває в i -му стані;

$p(k/i)$ – умовна імовірність того, що система перейде з i -го стану в k -й;

$p(l/k)$ і $p(m/k)$ – умовні імовірності того, що система перейде з k -го стану в l -й або m -й.

Порівнюючи значення ентропії для різних маршрутів зміни станів, можна визначити найбільш сприятливі варіанти з точки зору розвитку подій, які відповідають мінімальному значенню ентропії маршруту.

Висновки. На основі проведеного аналізу можна виробити рекомендації щодо побудови оптимальної топологічної структури мережі, яка відповідає заданому критерію працездатності.

Запропонований метод дозволяє оцінити характер зміни станів системи з точки зору їх навмисності. Якщо події розвиваються по гіршому для мережі сценарію, то з досить великою частиною вірогідності можна передбачити навмисний вплив на мережу. Також цей метод може використовуватись при аналізі атак на ресурси мережі Інтернет.

Аналіз імовірності і ентропії дерева станів показав, що чим менше ентропія "маршруту" зміни станів, тим меншій руйнівній дії піддається система (у нашому випадку мережа передачі управляючої інформації) і тим менше в цілому змінюється загальна ентропія мережі.

Література

1. Гнеденко Б. В. Математические вопросы теории надежности / Б. В. Гнеденко, Ю. К. Беляев, И. Н. Коваленко. – М.: Наука, 1965. – 524 с.
2. Варфоломеева О. Г. О некоторых вопросах анализа и синтеза системы управления телекоммуникациями / О. Г. Варфоломеева, И. О. Лисковский // Вісник Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій. – 2012. – Т.10, №1. – С.64-68.
3. Вентцель Е. С. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения / Е. С. Вентцель, Л. А. Овчаров. – М.: Наука, 1991. – 383 с.
4. Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетике / К. Шеннон. – М.: Иностранная литература, 1963. – 830 с.