УДК 004.7.052:004.414.2

Савченко А.С., к.т.н.

МОДЕЛЬ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ КОРПОРАТИВНОЮ МЕРЕЖЕЮ ІЗ ЗАТРИМКАМИ СИГНАЛЬНОЇ ТА УПРАВЛЯЮЧОЇ ІНФОРМАЦІЇ

Національний авіаційний університет

Складність управління корпоративною мережею полягає у тому, що інформація про стан мережі надходить на центр управління із затримкою, яка носить випадковий характер, відповідно, і сигнали управління надходять із запізненням. У роботі запропоновано враховувати випадкові затримки управляючої і сигнальної інформації за допомогою диференціальних рівнянь аргументом, що відхиляється

Вступ

Основною задачею корпоративних і телекомунікаційних мереж є надання якісних послуг з розподіленої обробки інформації. Вирішення цієї задачі визначається розвиненістю механізму управління мережею. Як правило, системи управління об'єднують ресурси мережі в єдине ціле і визначають тим самим рівень якості послуг, що надаються. Проте, не дивлячись на функціональну надмірність таких систем, вони не мають в своєму складі розвинених інтелектуальних засобів, що дозволяють якісно прогнозувати поведінку мережі і запобігати аварійним ситуаціям за допомогою своєчасного управління. Більшість існуючих систем управління насправді мережею не управляє, а всього лише здійснює її моніторинг. Після чого адміністратор, ґрунтуючись на особистому досвіді і знаннях, оцінює отриману інформацію і робить відповідні дії.

Складність управління корпоративною (телекомунікаційною) мережею полягає в тому, що мережа є складною стохастичною системою. Ніколи не немає повної інформації щодо параметрів та стану мережі, відмовах і/або перевантаженнях окремих мережних вузлів, маршрутів, сегментів. Крім того, інформація про стан мережі надходить на центр управління із затримкою, яка носить випадковий характер, відповідно і сигнали (команди) управління надходять із запізнюванням. Це призводить до втрати оптимальності управління. Іноді стан мережі в процесі управління може стати навіть гірше, ніж якби управління взагалі було відсутнє. Тому розробка системи управління корпоративною мережею із затримками сигнальної та управляючої інформації є актуальною задачею.

Постановка задачі

В роботі [1] запропоновано модель системи управління корпоративною (телекомунікаційної) мережею або її автономним сегментом (АС) основними завданнями якої є: моніторинг і прогноз стану мережі в реальному часі, вироблення оптимальних управляючих впливів, і їх реалізація з подальшим аналізом ефективності. Концептуальна модель такої системи показана на рис. 1, де використо-вуються такі позначення: S1, S2, …, Si, …, Sn – сегменти мережі; Yi – вектор стону; ξi – вектор збурень.

На початковому етапі роботи системи управління будується модель на основі результатів аналізу параметрів і структури АС. У процесі поточного функціонування виконується збір статистики, ідентифікація та прогнозування стану АС. Дані прогнозу вводяться в еталонну модель АС для поточної корекції.

Паралельно з адміністратором мережі, що має стандартну кваліфікацію та досвід роботи, ту ж інформацію обробляє експертна система (ЕС). Адміністратор дійсно управляє системою, і його дії (прийняті рішення, команди) фіксуються в базі даних (БД).

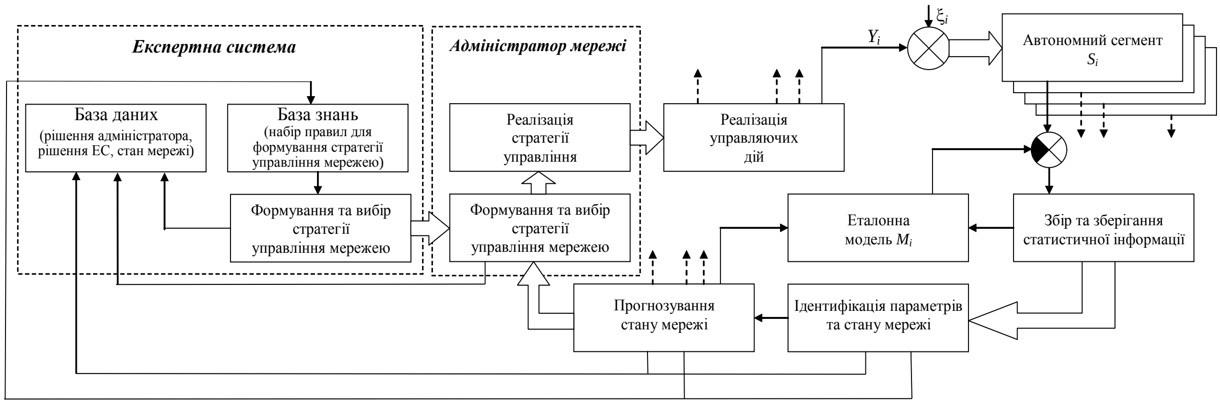

Рис. 1. Концептуальна модель системи управління автономним сегментом корпоративної мережі

Рішення, вироблені ЕС, просто фіксуються і надалі розглядаються як еталонні. З цим еталоном при аналізі якості роботи адміністратора і порівнюються дії останнього. Бази знань повинні містити набір оптимальних рішень оператора, які необхідно приймати в ситуації, що склалася. В БД повинні фіксуватися дії оператора і потім порівнюватимуть із оптимальними рішеннями, щоб виключати помилки оператора в подальшій роботі. Крім того, ЕС буде грати роль системи інтелектуальної підтримки оператора як особи, що приймає рішення.

На етапі формування стратегії управління для вироблення оптимальних управляючих впливів необхідно в реальному часі вирішувати багатовимірну задачу оптимального управління. Для гетерогенної мережі з частково спостережуваним станом розв‘язок такої задачі з використанням, наприклад, принципу максимуму Понтрягіна практично неможливий.

В роботі [2] запропоновано використовувати модифікований критерій узагальненої роботи О.А. Красовського для оптимального управління АС мережі. У відповідності до методу для досягнення оптимального рішення у кожний поточний момент часу необхідно мінімізувати функціонал з дискретним часом виду:

$$I = V_З\left[y[n_k], n_k\right] + \sum_{n=n_{k-1}}^{n_k-1} Q_З\left[y[n], n\right] + 0,5\sum_{n=n_{k-1}}^{n_k-1}\left[u^T[n]D^{-1}u[n] + u_{\text{opt}}^T[n]D^{-1}u_{\text{opt}}[n]\right], \quad (1)$$

де $y = Y\left(y_0, a, n, n_{k-1}\right)$ – вектор-функція оптимальних розв‘язків, що диференційована або кусково-диференційована;

a – вектор відмов, збоїв, відхилень параметрів системи управління від стандартних;

$u[n]$ – вектор поточних управлінь;

$u_{\text{opt}}[n]$ – вектор оптимальних управлінь, невідомих до початку р задачі;

$D = diag(d_1, ..., d_r)$ – задана діагональна матриця відхилень параметрів системи управління;

$y[n_{k-1}] = y_0$ – вектор початкових умов на кожному черговому етапі пошуку оптимального розв‘язку.

Враховуючи, що остання складова функціоналу узагальненої роботи (1) трактується як витрати на управління, і може являти як енергетичні так і інформаційні витрати (наприклад, витрати на розширення смуги пропускання, резервування ресурсів, передачу додаткової управляючої інформації тощо), в роботі [2] запропоновано використовувати інформаційну функцію втрат з гаусовським розподілом умовної щільності ймовірності оцінюваного параметра.

Тоді, за умови лінійності функціонала (1) відносно управлінь, вираз для оптимального управління в кожний поточний момент часу має вигляд:

$$u_{\text{opt}} = -\frac{(y[n]-y[n_k])^2}{2\sigma^2} B^T \frac{\partial^T}{\partial y}\left[V_3\left(Y\left(y,a,n_k,n\right)\right) + \sum_{n=n_{k-1}}^{n_k-1} Q_3\left(Y\left(y,a,n,n_k\right),n\right)\right], \qquad (2)$$

де V_3, Q_3, B – матриці, коефіцієнти яких визначаються параметрами мережі;

$y[n]$ – вектор оптимального (бажаного) стану системи;

$y[n_k]$ – вектор поточного стану системи;

σ2 – дисперсія апостеріорного розподілу величини $y[n_k]$;

$\frac{\partial^T}{\partial y}[*]$ – позначає транспоновану матрицю Якобі (матриця-стовпчик).

Метод урахування затримок управляючої та сигнальної інформації в корпоративних і телекомунікаційних мережах

У відповідності до загальної теорії управління [3], процеси обміну інформацією між керованими об'єктами (наприклад, АС мережі) S_i і системою управління можуть бути описані (векторними) диференційно-різницевими рівняннями або рівняннями з аргументом, що відхиляється. Це допущення цілком справедливо для дискретних систем із затримками, якими є корпоративні комп'ютерні мережі. У загальному випадку маємо:

$$y'_{\text{as}_i}(t) = f\left(t, y_{\text{as}_i}(t), \ldots, y_{\text{as}\,i}(t-\tau_i), u_{\text{opt}_i}(t-\nu_i), \xi_i(t)\right), \qquad (3)$$

де $y_{\text{as}_i}(t)$ – вектор стану об'єкта S_i (інформаційний сигнал);

$u_{\text{opt}_i}(t)$ – вектор управління (сигнал, що управляє);

$\xi_i(t)$ – вектор випадкових збурень, що діють на S_i;

τ_i и ν_i – затримки $y_{\text{as}_i}(t)$ та $u_{\text{opt}_i}(t)$ відповідно.

Мета функціонування системи управління – досягти максимальної ефективності управління шляхом підвищення ефективності обміну даними між сторонами. Однак результат докладених зусиль стане відомий лише в момент часу T. На інтервалі спостереження $0 \le t \le T$ можна виробляти найкращі управляючі дії $u_{\text{opt}_i}(t)$ та прогнозувати кінцевий результат, лише спираючись на дані про поточний стан $y_{\text{as}_i}(t)$.

Наявність запізнювань τ_i та ν_i призводить до якісних змін в постановці завдання і в методах пошуку рішень. Як по чаткову умову (набір початкових умов) слід зазначати не тільки значення функцій $y_{\text{as}_i}(t_0)$, $u_{\text{opt}_i}(t_0)$, але і всі значення шуканих функцій на відрізках $t_0 - \tau_i \le t \le t_0$, $t_0 - \nu_i \le t \le t_0$ відповідно. Крім того, запізнювання в рівняннях (3) може істотно впливати на стійкість рішення (навіть якщо початкова система без запізнювання стійка) і призводити до появи періодичних рішень, до злипання рішень тощо. Для розв‘язку рівнянь вигляду (3) зазвичай застосовують метод послідовної інтеграції (метод кроків) [4]. Проте аналіз рішень на стійкість є складним завданням, загальний розв‘язок якого в усій області існування, як правило, отримати не вдається.

Для спрощення завдання і отримання асимптотичних оцінок припустимо, що система управління може бути описана з прийнятною для даного випадку точністю лінійними диференційними рівняннями з коефіцієнтами b_i, постійними на інтервалі спостереження:

$$y'_{\mathrm{as}_i}(t)=b_i y_{\mathrm{as}_i}(t-\tau_i)+u_{\mathrm{opt}\,i}(t-\nu_i)+\xi_i(t). \quad (4)$$

Основними методами розв‘язку рівнянь типу (4) є: 1) розкладання в ряд за основними розв‘язками; 2) застосування інтегральних перетворень, для яких відомі обернення; 3) використання різницевих схем. Проаналізуємо ці методи.

Перший метод, розкладання в ряд за основними розв'язами дає однорідне рівняння, що випливає з (4):

$$y'_{\mathrm{as}_i}(t)=b_i y_{\mathrm{as}_i}(t-\tau_i). \quad (5)$$

Часткові рішення (5) слід шукати у вигляді:

$$y_{\mathrm{as}_i}(t)=\exp(\alpha t). \quad (6)$$

Підставляючи (6) в (5) і скорочуючи на $\exp(\alpha t)$, отримаємо для визначення αі так зване характеристичне рівняння:

$$b_i\alpha_i \exp(-\alpha_i\tau_i)=0 \quad (7)$$

з характеристичним квазіполіномом вигляду:

$$\Phi(\alpha_i)=b_i\alpha\exp(-\alpha\tau_i).$$

Використання цього методу для отримання узагальнених асимптотичних оцінок пов'язано зі значними математичними труднощами, оскільки рівняння (7) має нескінченну множину коренів і рішення в замкнутій формі отримати не вдається.

Другий метод, застосування інтегральних перетворень, для яких відомі обернення. Запишемо зображення рівняння (4) по Лапласу:

$$pY_{\mathrm{as}_i}(p)=b_iY_{\mathrm{as}_i}(p)\exp(-p\tau_i)+U_i(p)\exp(-p\nu_i)+\Xi(p). \quad (8)$$

Якщо відсутні збурення, то рівняння (8) матиме вигляд:

$$pY_{\mathrm{as}_i}(p)=b_iY_{\mathrm{as}_i}(p)\exp(-p\tau_i)+U_i(p)\exp(-p\nu_i), \quad (9)$$

а його передаточна функція:

$$H(p)=\frac{\exp(-p\nu_i)}{1-b_i\exp(-p\tau_i)}. \quad (10)$$

Таким чином, при використанні другого методу одержати асимптотичні оцінки поведінки системи при змінах відхилень або коефіцієнтів також неможливо, оскільки рівняння (10) є трансцендентним і для пошуку особливих точок доводиться застосовувати чисельні методи.

Вважається [5], що для рівнянь з аргументом, що відхиляється, третій метод, тобто апроксимація диференціальних рівнянь різницевими рівняннями, є особливо ефективним.

Різницеве (3) рівняння з різницями першого порядку для початкового рівняння (4) без адитивного шуму в спостереженнях має вигляд:

$$\frac{y_{\mathrm{as}_i}(t)-y_{\mathrm{as}_i}(t-\Delta t)}{\Delta t}\approx b_i y_{\mathrm{as}_i}(t-k\Delta t)+u_{\mathrm{opt}\,i}(t-m\Delta t), \quad (11)$$

де Δt – елементарний інтервал;

$k\Delta t=\tau_i$ – затримка інформації про стан об'єкту;

$m\Delta t=\nu_i$ – затримка сигналу, що управляє.

Елементарний інтервал Δt у цій задачі логічно обирати рівним періоду надходження пакетів T_p на вхід системи управління. Пакети, що надходять, містять інформацію про параметри і стан мережі. Затримка сигналів, що управляють, в загальному випадку не дорівнює затримці інформаційних сигналів.

Без втрати загальності результатів можна розглянути задачу для нормованого елементарного інтервалу $\frac{\Delta t}{T_p}=1$. Тоді рівняння (11) має вигляд:

$$y_{as_i}(n) \approx y_{as_i}(n-1) + b_i y_{as_i}(n-k) + u_{opt_i}(n-m), \quad n = 0,1,2,3,\dots \qquad (12)$$

де $y_{as}(n)$ – функція стану об'єкту;

$u_{opt}(n-m)$ – сигнал, що управляє;

b_i – коефіцієнт зворотного зв'язку;

k та m є затримками сигналів стану системи і управління відповідно. У загальному випадку $n \neq m$.

Після z-перетворення (12), отримаємо вираз для системної функції:

$$H(z) = \frac{z^{-m}}{1 - z^{-1} - b_i z^{-k}}. \qquad (13)$$

Як відомо [3], умовою стійкості функції $H(z)$, що описується виразом (13), є розташування полюсів всередині одиничного кола z-площини. Аналіз динаміки переміщення полюсів $H(z)$ при змінах ступенів змінної z і коефіцієнтів b_i, тобто аналіз стійкості системи, не викликає труднощів.

Таким чином, даний підхід дозволяє легко дослідити систему на стійкість, що особливо важливо для систем управління корпоративною або телекомунікаційною мережею.

В подальшому планується провести аналіз асимптотичної стійкості системи управління корпоративною мережею, математична модель якої описується диференційним рівнянням з аргументом, що відхиляється, за наявності затримок сигнальної та управляючої інформації.

Висновки

Здатність сучасних корпоративних (телекомунікаційних) мереж надавати якісні послуги користувачам в значній мірі визначається розвиненістю механізму управління мережею.

Функції ефективної системи управління не обмежуються моніторингом та прогнозом стану мережі. Необхідно в реальному часі генерувати управляючі впливи. Для спрощення задачі знаходження оптимального управління в кожний поточний момент часу, запропоновано використовувати модифікований функціонал узагальненої роботи.

Складність управління обчислювальною мережею великого масштабу полягає в тому, що ніколи немає повної інформації про параметри і стан мережі, про відмови і/або перевантаженнях окремих мережних вузлів, маршрутів, сегментів мережі. Інформація про стан мережі надходить на центр управління з затримкою, яка носить випадковий характер, відповідно і сигнали (команди) управління надходять із запізненням.

У роботі запропоновано метод урахування випадкових затримок управляючої та сигнальної інформації за допомогою диференційних рівнянь з аргументом, що відхиляється. Цей метод дозволяє легко отримувати асимптотичні оцінки стійкості системи при різних значеннях затримки сигналів і коефіцієнтів зворотного зв'язку.

Список літератури

1. Савченко А.С. Концептуальная модель системы управления крупной корпоративной сетью / А.С. Савченко // Проблеми інформатизації та управління: зб. наук. праць. – К.: НАУ, 2010. – Вип. 2(34). – С. 120-128.

2. Савченко А.С. Модификация критерия обобщенной работы для оптимального управления вычислительной сетью / А.С. Савченко // Вісник Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій. – 2011. – №4. – Т.9. – С. 366-370.

3. Бесекерский В.А. Теория систем автоматического регулирования / В.А. Бесекерский, Е.П. Попов. – М.: Наука, 1975. – 768 с.

4. Эльсгольц Л.Э. Введение в теорию дифференциальных уравнений с отклоняющимся аргументом / Л.Э. Эльсгольц, С.Б. Норкин. – М.: Наука, 1971. – 296 с.

5. Беллман Р. Дифференциально-разностные уравнения / Р. Беллман, К. Кук. – М.: Мир, 1967. – 548 с.