УДК 621.39.03
© *М. Климаш*[1], *Б. Стрихалюк*[1], *М. Кайдан*[1], *2010*

ТЕНЗОРНА МОДЕЛЬ ХАРАКТЕРИСТИК МУЛЬТИСЕРВІСНОГО ТРАФІКУ В NGN МЕРЕЖАХ

Використовуючи тензорну методику проведено дослідження мультисервісних мереж для вузлів різних типів систем масового обслуговування. Описано пошук маршрутів передачі пакету в мультисервісній мережі враховуючи час затримки у вузлі та гілках.

Using a tensor method of multiservice networks is considered, for the knots of different types of the queuing systems. The routing package is described in multiservice networks, taking into account time of delay in a knot and branches.

1. ВСТУП

В сучасних телекомунікація сформувалася ідеологія побудови мереж зв'язку наступного покоління, відома по абревіатурі NGN (Next Generation Network). Більшість фахівців вважають NGN вдалою концепцією подальшого розвитку інфокомунікаційних мереж.

Характеристики якості обслуговування трафіку вважаються одними з найважливіших наукових досліджень мереж телефонного зв'язку і обміну даними. В роботі [1] проведено дослідження характеристик якості обслуговування трафіку в NGN, але при цьому не враховано специфіку принципів функціонування пристроїв комутації в NGN, що обумовлено вибраною технологією розподілу інформації. З цієї причини необхідна розробка нових методів розрахунку ряду імовірнісно-часових характеристик NGN, адекватних тим, що відображають процеси обміну інформацією між терміналами користувачів. Крім того, слід враховувати вплив якості обслуговування трафіку в NGN на характеристики передачі інформації. Зокрема, затримки пакетів, які призводять до зниження якості телефонного зв'язку.

На етапі переходу до NGN міркування, викладені вищі, визначають актуальність завдань вибору принципів модернізації транспортної мережі. До цих завдань відносяться також аналіз і розрахунок характеристик якості обслуговування трафіку в NGN.

На даний час тензорний аналіз мереж обмежувався лише однотипним видом трафіку. Функціонування сучасних мультисервісних мереж,

[1] Національний університет «Львівська політехніка»

що інтегрують різні види трафіку, для збільшення їх функціональності потребують якісно іншого підходу. Метою статті є вирішення проблеми аналізу мультсервісних мереж за допомогою тензорної методології.

2. ТЕНЗОРНА МОДЕЛЬ ТА МЕТОД РОЗРАХУНКУ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ

Відома формула Літтла [2] описує залежність пропускної здатності Li, час зайнятості ti навантаження hi у вибраній ділянці мережі в вигляді:

$$h_i = t_i L_i. \tag{1}$$

Використаємо тензорну модель досліджень телекомунікаційних систем. Введемо (n+m) – простір, який складається з (n+m) – координат, де n – гілок, m – вузлів. Для повнозв'язаної мережі, коли n=m(m-1)/2 маємо m(m+1)/2-простір.

Враховуючи інваріантність для елементів мережі та мережі в цілому, причому незалежно від їхнього типу, приведемо матричну форму запису формули поводження мережі (1) у вигляді:

$$\mathbf{H} = \mathbf{T}\ \mathbf{L}, \tag{2}$$

де кожна матриця представляє сукупність відповідних значень параметрів для вузлів та гілок мережі.

З (1) час перебування пакету у вибраній ділянці мережі:

$$t_i = h_i L_i^{-1}. \tag{3}$$

В телекомунікаційній мережі час знаходження пакету в мережі при передачі з і вузла в j, залежить від можливого маршруту ui і з враховуючи (2) та (3) становить:

$$\mathbf{t}_{ij} = \mathbf{H}\ \mathbf{L}^{-1},$$

де L-1 – діагональна квадратна матриця розмірності (n+m)×(n+m), H –вектор розмірності (n+m), який представлений у коваріантному вигляді, tij – множина шуканого часу.

Враховуючи, що розглядуваний простір складається з двох підпросторів n–простір - гілок (г) та m–простір - вузлів (в), очевидним є, для вибраного маршруту:

$$\mathrm{T} = \mathrm{T}^{\text{в}} + \mathrm{T}^{\text{г}}. \qquad \mathbf{H} = \left(\mathbf{H}^{в} \quad \mathbf{H}^{г}\right), \qquad \mathbf{L}^{-1} = \begin{bmatrix} L^{в-1} & 0 \\ 0 & L^{г-1} \end{bmatrix},$$

тоді для деякого ui можна представити у вигляді

$$\mathrm{T}^{\text{в}} = \mathbf{H}^{в}\mathbf{L}^{в^{-1}}, \qquad \mathrm{T}^{\text{г}} = \mathbf{H}^{г}\mathbf{L}^{г^{-1}}. \tag{4}$$

Час перебування на вузлах можна розділи

$$T^{в} = T^{ч} + T^{обс}, \tag{5}$$

де Тч- час перебування повідомлення у черзі на обслуговування, Тобс – час обслуговування заданого пакету. Для вибраного вузла, наприклад для і-го вузла (5) має вигляд

$$T_i^{в} = T_i^{ч} + T_i^{обс}, \tag{6}$$

Водночас враховуючи (4) та (6) знаходимо:

$$T_i^{обс} = h_i\, {L_i^{в}}^{-1}, \tag{7}$$

$$T_i^{ч} = h_i^{ч}\, {L_i^{в}}^{-1}, \tag{8}$$

де Li в - пропускна здатність розглянутого вузла, hi – навантаження, яке планується надіслати на обраний вузол. Зазначимо, що (3) та (7) є тотожними співвідношеннями.

В (8) hiч – середнє навантаження у черзі на вузлі, яке знаходимо у вигляді:

$$h_i^{ч} = N_i^{ч} l_i, \tag{9}$$

де Nіч – середня кількість пакетів у черзі, li – середня довжина пакету. Очевидним є, що Тч не залежить від навантаження hi, тоді в (4) Нв можна розкласти:

$$\mathbf{H}^{в} = \mathbf{H}^{ч} + \mathbf{H}^{обс}, \tag{10}$$

де Нч – вектор розмірності m складений з координат hiч, які можуть відноситись до різної системи масового обслуговування; Нобс=h J, h – довжина пакету, J – вектор розмірності m складений тільки з одиниць.

3. ОЦІНКА СЕРЕДНЬОЇ КІЛЬКІСТІ ПАКЕТІВ У ЧЕРЗІ ТА ВИМОГИ ДО ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ

Існує три основних способи збільшення пропускної здатності (загальної швидкості передачі даних) ресурсу зв'язку. Перший складається в збільшенні ефективної ізотропно - випромінюваної потужності (effective isotropic radiated power — EIRP) передавача або в зниженні втрат системи, що в кожному разі приведе до збільшення відношення EI/NO. Другий спосіб — це збільшення ширини смуги каналу. Третій спосіб полягає в підвищенні ефективності розподілу ресурсу зв'язку. Одна з можливих реалізацій цього способу - множинний доступ.

Водночас вимоги до пропускної здатності для різних систем до якої належить вузол відрізняються і є взаємозалежним від кількості пакетів у черзі Nіч у системи .

3.1. ОДНОКАНАЛЬНІ СИСТЕМИ МАСОВОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ

Згідно теорії масового обслуговування [2], найпростішим випадком є система M/M/1, коли система з пуассонівським вхідним потоком заявок, експонентним законом розподілу часу обслуговування й одним сервером. Вона містить буфер, що може зберігати чергу нескінченної довжини, стан якої може бути ототожнений з числом заявок, що містяться в черзі у кожен момент часу

$$N_i^{ч} = \frac{\rho}{1-\rho},$$

де ρ=λi/μi=λili/Li в - коефіцієнт завантаження, λ – інтенсивність надходження пакетів на вузол, μ=Li в/li – інтенсивність обслуговування пакетів у вузлі.

Враховуючи (4), (9) та (10) час затримки пакету в вузлі, який належить системі M/M/1 становить:

$$t_i^{в} = \left(N_i^{ч} l_i + h\right)\frac{1}{L_i^{в}} = \left(\frac{\rho}{1-\rho} l_i + h\right)\frac{1}{L_i^{в}}.$$

Враховуючи, що допустимий час затримки τi >tів, тоді

$$\tau_i > \frac{l_i}{(1-\rho)L_i^{в}}.$$

Отже, пропускна здатність каналу зв'язку повинна вибиратись з умови:

$$L_i^{в} > l_i\left(\frac{1}{\tau_i} + \lambda_i\right). \tag{12}$$

Для системи з кінцевим накопичувачем: M/M/1:N, коли в системі може перебувати фіксована кількість N пакетів, зі середньою довжиною пакету li, включаючи пакет, що знаходиться на обслуговуванні в сервер. Якщо провести аналогічні розрахунки, як для системи M/M/1, то легко бачити, що і для системи M/M/1:N, як мінімум повинна виконуватись умова (12).

При використанні одноканальної системи M/G/1 ймовірність звільнення обслуговуючого пристрою сходиться до стаціонарного типу і при ρ<1 описується в стаціонарному режимі. Даною однокальною системою добре описувати поведінку мережі в неперевантаженому режимі.

Для типу M/G/1, яка є одноканальною системою з чеканням і довільним законом тривалості обслуговування в порядку надходження пакетів, коли вхідні потоки залишаються марковськими, кількість пакетів у черзі становить.

$$N_i^{ч} = \frac{\lambda^2 \overline{\tau_{обс}^2}}{2(1-\rho)}, \tag{13}$$

де $\overline{\tau_{обс}^2}$ - другий початок моменту часу обслуговування. У випадку коли тривалість обслуговування всіх заявок є однакова, матимемо систему типу M/D/1 з детермінованим законом тривалості обслуговування, для якого $\overline{\tau_{обс}^2}$ =1/μ2, тоді (13) прийме вигляд:

$$N_i^{ч} = \frac{\rho^2}{2(1-\rho)},$$

Розв’язуючи квадратне рівняння τі >tiв, тоді пропускна здатність каналу зв’язку повинна обиратись з умови:

$$L_i^{в} > \frac{l_i}{2}\left\{\frac{1}{\tau} + \lambda_i + \sqrt{\left(\frac{1}{\tau} + \lambda_i\right)^2 + \frac{2\lambda_i}{\tau}}\right\}. \tag{14}$$

Оскільки система типу G/G/1 описує мережі в гранично навантаженому режимі, в нашому випадку дана система не розглядається.

3.2. БАГАТОКАНАЛЬНІ СИСТЕМИ МАСОВОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ

Очевидно, що в порівнянні з одноканальною системою продуктивність багатоканальної є вища. Для системи M/M/m середнє число пакетів, що очікують черги на обслуговування

$$N_i^{ч} = C(m, A)\frac{A}{1-A},$$

де m – кількість обслуговуючих каналів; A=mρ - загальне вхідне навантаження; C(m, A) - ймовірність знаходження у системі пакету виявиться в черзі і визначається згідно С-формули Ерланга:

$$C(m, A) = \frac{\left(\frac{(A)^m}{m!}\right)\left(\frac{1}{1-A/m}\right)}{\left[\sum_{k=0}^{m-1}\frac{(A)^k}{k!} + \left(\frac{(A)^m}{m!}\right)\left(\frac{1}{1-A/m}\right)\right]},$$

Припустивши, що пакет обов'язково виявить в черзі, тобто C(m, A)=1, тоді пропускна здатність каналу зв'язку повинна вибиратись з умови:

$$L_i^{\text{в}} > l_i \left(\frac{1}{\tau_i} + m\lambda_i \right). \tag{15}$$

Враховуючи, що середня кількість пакетів у системі залежить від ймовірності знаходження k-го пакету Pk, у вигляді:

$$N_i^{\text{ч}} = \sum_{k=0}^{\infty} kP_k , \tag{16}$$

тоді представимо Pk для деяких систем.

Розглянемо система M/M/m:Loss без утворення черги для пакетів, що надійшли в момент, коли всі m серверів були зайняті. Такі заявки будуть просто губитися. У телефонії це типовий випадок комутуваня на кінцевому комутаційному полі. За допомогою B - формули Ерланга знаходять

$$P_k = \frac{\rho^k \frac{1}{k!}}{\left[\sum_{k=0}^{m} \rho^k \frac{1}{k!} \right]} \quad .$$

Для системи обслуговування M/M/m:K/M кінцевого числа джерел навантаження, m серверів і кінцевий накопичувач, де з M джерел пуасонівського потоку з постійним параметром λ одержують відмову ті вимоги, які надходять у систему тоді, коли в ній уже є K пакетів

$$P_k = p_o \prod_{i=1}^{k-1} \frac{\lambda(M-i)}{(i+1)\mu} = C_m^k p_o \rho^k , \ 0 \le k \le m-1 , \qquad C_m^n = \frac{m!}{(m-n)!\,n!} ,$$

$$P_k = C_M^k p_o \rho^k \frac{k!}{m!} m^{m-k} , \ m \le k \le K .$$

Для систем типу M/M/m:m, що має однакове число вхідних ліній і обслуговуючих серверів, тобто блокування в такій системі неможливе, шукають через розподіл Бернулі

$$P_k = \frac{C_m^k \rho^k}{(1+\rho)^m} = C_m^k a^k (1-a)^{m-k} , \qquad a = \frac{\lambda}{\lambda + \mu} = \frac{\rho}{1+\rho} ,$$

де a - визначає ймовірність зайнятості сервера, (1-a) – імовірність його простою.

З огляду на те, що для всіх розглянутих систем в даному пункті, за виключенням M/M/m, середню кількість пакетів можна визначити за допомогою суми ряду (16), отже пропускна здатність має складний характер, і можна з певним наближенням стверджувати, що умова (15) повинна виконуватись і для всіх розглянутих багатоканальних систем.

2.3. Безпріоритетні та пріоритетні дисципліни обслуговування

Для безпріоритетної системи обслуговування пакетів здійснюється в порядку їх надходження. Середня навантаження у черзі на вузлі:

$$h_i^{ч} = \frac{\sum_{j=1}^{v} \lambda_j l_j}{2\left(1-\sum_{j=1}^{v} \rho_j\right)} \sum_{j=1}^{v} \frac{\lambda_j}{\mu_j^{2}},$$

де v – кількість пріоритетів, пакети, яких надходять на систему з інтенсивностями λ1, λ2, …λv і обслуговуються у вузлі з інтенсивностями μ1, μ2, …μv, lj – середня довжина пакет j типу.

Нехай розміри пакетів li та інтенсивності λi всіх типів однакові, тоді розв’язуючи квадратне рівняння τi >tiв пропускна здатність каналу зв’язку для пакетів найвищого пріоритету повинна обиратись з умови:

$$L_i^{в} > \frac{l_i}{2\tau}\left\{\lambda_i \tau + 1 + \sqrt{(\lambda_i \tau + 1)^2 + v\lambda_i \tau}\right\}.$$

При обслуговувані різнорідних повідомлень з відносним пріоритетом, вищому пріоритетові відповідає менше значення індексу при λ. Пакет з пріоритетом j, який щойно надійшов, стає в чергу пакету в цього ж пріоритету. Середня навантаження у черзі на вузлі для пакету з пріоритетом α:

$$h_i^{ч} = \frac{\sum_{j=1}^{\alpha} \frac{\lambda_j}{\mu_j^{2}}}{2\left(1-\sum_{j=1}^{\alpha-1} \rho_j\right)\left(1-\sum_{j=1}^{\alpha} \rho_j\right)} \sum_{j=1}^{\alpha} \lambda_j l_j .$$

Для дисципліни обслуговування повідомлень з абсолютним пріоритетом, як і для попередньої дисципліни, для кожного пріоритету організовується власна черга, але у даному випадку враховується, ще можливе очікування виконання пакетів з вищим пріоритетом, які надійшли під час очікування в черзі даного пакету. У такому випадку середня навантаження у черзі на вузлі для пакету з пріоритетом α:

$$h_i^ч = \left(\frac{\sum\limits_{j=1}^{\alpha} \frac{\lambda_j}{{\mu_j}^2}}{2\left(1-\sum\limits_{j=1}^{\alpha-1}\rho_j\right)\left(1-\sum\limits_{j=1}^{\alpha}\rho_j\right)} + \frac{1}{\mu_\alpha}\frac{\sum\limits_{j=1}^{\alpha-1}\rho_j}{1-\sum\limits_{j=1}^{\alpha-1}\rho_j} \right)\sum_{j=1}^{\alpha}\lambda_j l_j \ .$$

Аналогічно, як для безпріоритетного випадку припустимо, що розміри пакетів li та інтенсивності λi всіх типів однакові, тоді пропускна здатність каналу зв'язку для пакетів найвищого пріоритету повинна обиратись з умови (14) [3].

Для СМО з m серверами, з явними втратами та неповнодоступним включенням використовуючи (16) можна записати через ймовірності

$$p_k = \frac{\frac{(\lambda/\mu)^k}{k!}\prod\limits_{i=0}^{k-1}\varphi_i}{\sum\limits_{j=0}^{m}\frac{(\lambda/\mu)^j}{j!}\prod\limits_{i=0}^{j-1}\varphi_i} \ .$$

де φk - функція стану k, значення якої дорівнює ймовірності обслуговування заявки, що надійшла в СМО в цьому стані.

Зазначимо, що кожен вузол має різне значення середньої кількості пакетів у черзі, оскільки вони можуть належати різним системам масового обслуговування.

Приймемо, що в межах похибки, навантаження гілки наближається до навантаження вузла в максимальному режимі і пропускна здатність гілки наближається до максимальної пропускної здатності вузла.

3. Незвідні представлення алгоритмів маршрутизації.

Розглядаючи довільну K – шляхову маршрутизацію необхідно зазначити, про існування обмеження [4]

$$\sum_{l=1}^{m}\nu_{kl}^{(j)} \le \text{K}, \qquad \nu_{kl}^{(j)} = \begin{cases} 1, & \textit{якщо} \quad \sum\limits_{i=1}^{m}\chi_{kl}^{(i,j)} > 0; \\ 0, & \textit{якщо} \quad \sum\limits_{i=1}^{m}\chi_{kl}^{(i,j)} = 0. \end{cases}$$

Тут χkl(i,j) – доля потоку γij, яка проходить між вузлами k та l, 0≤χkl(i,j)≤1; γij – середнє значення трафіку, що виникає у вузлі і та адресований вузлу j.

В подальшому, використовуючи правило Ейнштейна, знак суми будемо опускати. Представимо формулу Літтла для середньої затримки повідомлень в мережі у вигляді [4]:

$$T=\frac{1}{\gamma}\lambda_{kl}t_{kl},$$

де tkl – середній час перебування пакету в гілці (kl); γ - повний зовнішній трафік; λkl - потік в гілці (kl), який обумовлений потоком γij [4]:

$$\lambda kl=\gamma_{ij}\cdot\chi_{kl}^{(i,j)}.$$

Як відомо з тензорного аналізу, завжди існує розкладання тензора на незвідні представлення [5]. В [6] проводився аналіз трафіка, розглядаючи по аналогії симетричного тензора напруги, який розкладається на кульову (скалярну) та девіаторну представлення. Згідно [5] в загальному випадку тензор другого рангу можна розкласти на симетричний та антисиметричні тензори. Антисиметричний тензор представляється у вигляді векторного представлення, а отже тензор другого рангу розкладається на скалярну, девіаторну (симетрична) та вектору (антисиметрична) складові.

В даній статті розглядаються параметри γij, λkl та tkl, які відносяться до тензора другого роду. Вони, окрім λkl, не є симетричними, оскільки трафік та час затримки з вузла-джерела у вузол-адресата у порівняння з протилежним напрямком є різними. Водночас потік, а отже і зайнятість гілки не є важливою в якому напрямку передається навантаження з (kl) чи (lk). Приведемо деякі співвідношення:

eij=bij+wij,   bij=1/5 (eij+eji),   wij=1/5(eij-eji),

Симетричний тензор bij характеризує на скільки досліджувані параметри є незалежними від напрямку між вузлами (ij):

bij =I(b)δij+Dij(b),   I(b)=1/3bii,   Dij(b)=bii-I(b).   (17)

де δij – символ Кронекера. З (17) бачимо, що коли скаляр I(b)=0 в мережі відсутні цикл між вузлами. Девіатор Dij(b) подібний за своєю суттю до тензора bij, але вже без можливих петель в мережі.

Антисиметричний тензор wij і псевдовектор Vk характеризують на скільки досліджувані параметри відрізняються від напрямку гілки (ij) та (ji): wij=εijkVk, де εijk – псевдотензор Леві –Чівіта.

4. ВИСНОВКИ

На основі тензорної моделі запропоновано якісно новий підхід до дослідження мультисервісних мереж. Для кожного типу вузла на основі теорії масового обслуговування проведено оцінку середньої кількості пакетів у черзі та розглянуто нижню границю пропускної здатності даних вузлів.

Детально представлено пошук можливого маршруту передачі пакету в телекомунікаційній мережі враховуючи час затримки у вузлі та гілках. Значна увага приділена часу можливого очікування для різних систем масового обслуговування до яких можуть відноситись різні вузли.

Запропоновано використання незвідних представлень для пошуку оптимального маршруту в телекомунікаційній мережі з використанням багатомірної цільової функції

1. Соколов Н.А. Використання ступінчастих функцій для аналізу однолінійних систем масового обслуговування з очікуванням. // Міжнародний семінар з теорії телетрафіку і комп'ютерного моделювання, Болгарія, Софія, 1988. С.76 – 87. 2. Клейнрок Л. Вычислительные системы с очередями: Пер. с англ. / Под ред. Б.С. Цыбакова. -М.:Мир, 1979. 600 с. 3. Алиев Р.Т. Методы управления трафиком в мультисервисных сетях // Научно-технический вестник СПбГИТМО (ТУ) - 2002.,Вып. 6.С.10–13. 4. Березко М.П., Вишневський В.М., Левнер Е.В. Математические модели исследования алгоритмов маршрутизации в сетях передачи данных// Передачи информации в компьютерных сетях -2001. Т. 1, №2, С.103-125. 5. Схоутен Я. А. Тензорный анализ для физиков: Пер. с англ. - М., 1965. 456 с. 6. Мінаєв Ю. М.,Філімонова О. Ю. Моделювання трафіка комп'ютерних мереж в базисі тензорних отогональних інваріантів// Проблеми інформатизації та управління, -2005.-Т.12 – С. 120-125.