

УДК 621.391+004.7

Система управління ресурсами в центрах обробки даних оператора мережі мобільного зв'язку

Суліма С. В., Скулчи М. А.

Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського”, м. Київ, Україна

E-mail: lilthirteen@gmail.com

Розглядається можливість віртуалізації мережі мобільного зв'язку. Представлено метод побудови системи управління ресурсами для віртуальних мережевих функцій в центрах обробки даних оператора мережі мобільного зв'язку. Запропонований метод використовує гнучку аналітичну модель для визначення оптимальної кількості ресурсів, які виділяються функціональним блокам системи, що розгортаються в центрах обробки даних, та враховує як попередньо отримані статистичні дані, так і поточні тенденції.

Ключові слова: хмарні обчислення; NFV; виділення ресурсів; прогнозування навантаження; мобільна мережа

Вступ

Якість обслуговування абонента в процесі надання послуг зв'язку залежить від організації процесу обслуговування заявок в центрі обробки даних оператора зв'язку. Два поняття знаходяться в центрі досліджень і розробок в даний момент, а саме Віртуалізація Мережевих Функцій (Network Functions Virtualization — NFV) і Програмно Конфігуровані Мережі (Software Defined Networking — SDN) [1].

Правильне управління ресурсами є складним завданням через коливання навантаження. Більшість навантажень центрів обробки даних мають пульсуючий характер і часто значно змінюються протягом дня. Тим не менш, багато навантажень по своєму характеру зазвичай є періодичними [2]. Якщо визначити ці шаблони в навантаженні, тоді можна внести зміни відповідно до них в розподіл ресурсів і, отже, підвищити точність надання ресурсів і знизити енергоспоживання.

Одним з ключових аспектів в області віртуалізації мережі є виділення фізичних ресурсів віртуальним функціям мережі. Більшість сучасних рішень пропонують статичну схему розподілу ресурсів, в якій перерозподіл ресурсів не відбувається. Існує обмежена кількість децентралізованих і динамічних рішень (як в [3], де розглядаються зміни в фізичній мережі, а не зміни в фактичному завантаженні віртуальних мереж, або як в [4], де запропоновано алгоритми для задачі реконфігурації і вбудовування запитів віртуальної мережі). Наступною задачею є способи отримання інформації про поточну

ситуацію в мережі. Існуючі рішення управління ресурсами серверів можуть бути класифіковані як прогностичні і реактивні рішення. З огляду на труднощі в прогнозуванні пікових навантажень, прикладна програма має використовувати комбінацію прогностичного і реактивного управління. У той час як прогностичні методи добре працюють для онлайн прогнозування на великих часових інтервалах від декількох хвилин до декількох годин, реактивні методи дозволяють прогнозувати навантаження на короткі часові інтервали до декількох хвилин і швидко реагувати на нестаціонарні перевантаження [5]. Існує кілька підходів, які поєднують в собі прогностичне і реактивне управління [2, 6]. Хоча ці підходи мають спільні риси з гібридним підходом, який пропонується у даній статті, вони розрізняються за кількома аспектами. Запропонований підхід спрямований на оптимізацію продуктивності, енергоспоживання і вартості виділення ресурсів одночасно. На основі гібридної системи управління ресурсами розроблено метод динамічного моніторингу для ефективного управління ресурсами мережі та зменшення кількості службової інформації — інтервали управління ресурсами мають змінну довжину, тоді як в інших підходах до управління використовуються прості фіксовані інтервали. У [2] схожим чином використовує змінну довжину інтервалів, однак на противагу цьому підходу, запропонований у статті підхід довжину інтервалів визначає динамічно в залежності від фактичної ситуації в мережі. Метод управління ресурсами на основі моделі було запропоновано в [5], дана робота

подібна до запропонованого підходу, але у ньому модель масового обслуговування у часовій області адаптована до задачі віртуалізації мережевих функцій, а також доповнена механізмом вимірювання та передбачення.

У цьому напрямку в статті пропонується підхід до моделювання і дослідження системи гібридного динамічного управління ресурсами мережевих функцій у мережі телекомунікаційного оператора, де замість виділення фіксованої кількості ресурсів для даного віртуального мережевого функціонального блоку протягом всього його життєвого циклу, ресурси віртуальним вузлам виділяються динамічно в залежності від передбачуваних потреб. З цією метою використовується гібридний підхід, який виділяє ресурси віртуальним вузлам з використанням методики прогнозування.

1 Система управління ресурсами у віртуальній мережі мобільного зв'язку

Передбачається, що в мережі розгорнуті точки агрегації трафіку, які надсилають запити до мережі на певний ланцюг сервісів, що реалізується віртуальними мережевими функціями. Розглянемо мережу, в якій функціонує кілька мережевих функцій. Передбачається, що кожна така мережева функція вказує бажану вимогу до якості обслуговування (QoS); при цьому в даному випадку передбачаємо, що вимоги до QoS визначені в термінах цільового часу відповіді. Для простоти викладу припускаємо, що в системі наявний лише один тип ресурсу. Формально, d_i позначає цільовий час відповіді мережевої функції i і T_i — спостережуваний середній час відповіді, тоді мережеві функції потрібно виділити таку кількість ресурсів, щоб $T_i \leq d_i$. Використаємо таку постановку задачі, щоб одержати механізм динамічного виділення ресурсів, який описано далі.

Ідея системи гібридного управління навантаженнями в центрах обробки даних, що запропонована у статті, полягає в тому, що фіксуються періодичні і стійкі моделі навантаження на основі попередньо отриманих даних, які називаємо базовим навантаженням, а потім прогностично управляємо ресурсами мережі для його обслуговування. Під час виконання, різниця між фактичним і передбаченим навантаженням обробляється реактивним способом. Розроблена система також враховує витрати і ризики, пов'язані з управлінням ресурсами.

На рис. 1 показана концептуальна архітектура запропонованого рішення (де зображені залежності е схематичними і використовуються як ілюстративний приклад), що засноване на класичній архітектурі:

1. Провісник (пристрій прогнозування) базового навантаження аналізує попередньо отримані дані навантаження і визначає закономірності, які формують базове навантаження.
2. Координатор направляє запити навантаження на сервери, а також обмінюється даними з контролером для надання інформації про вхідне навантаження.
3. Контролер оцінює і виділяє відповідну кількість ресурсів необхідну для обробки базового навантаження і надлишкових запитів.

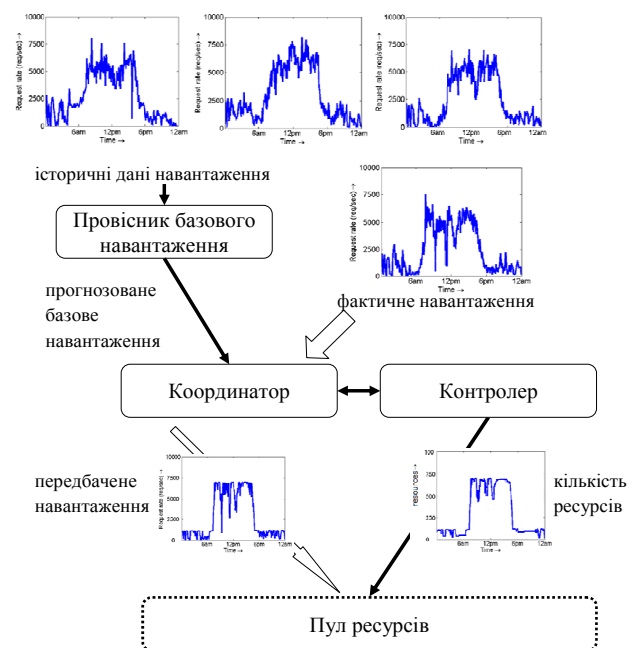


Рис. 1. Система гібридного управління ресурсами

Використовуючи традиційні методи моніторингу стану ресурсів мережі, надлишкова службова інформація значно збільшується, що може негативно впливати на ефективність роботи мережі загалом через завантаженість каналів. Тому пропонується застосовувати механізм, суть якого полягає у динамічній зміні інтенсивності здійснення управління станом мережевого елемента залежно від різниці між передбаченим значенням навантаження і фактичним. Використовуючи такий підхід, можливо підвищити гнучкість управління мережевими елементами, і, як наслідок, ефективніше використовувати ресурси пристроїв рівня управління. Крім того, володіючи актуальною службовою інформацією, можна здійснювати оптимальне управління навантаженням у мережі. Це дозволить значно зменшити витрати на електроенергію та збільшити час “життя” елементів мережі. Формула (1) описує принцип зміни частоти моніторингу:

$$W(t) = I_{base} - K \sum_{j=t-h}^{t-1} \frac{\max(0; \lambda_{obs}(j) - \lambda_{pred}(j))}{h} I_{base}, \quad (1)$$

де W — інтервал, протягом якого будуть виділятися відповідні визначені ресурси, I_{base} — базове значення інтервалу, яке розраховується відповідно до описаного далі методу дискретизації навантаження, K — константа нормалізації, яка визначається відповідно оператором мережі, $\lambda_{obs}(t)$ — реальна інтенсивність надходження навантаження протягом інтервалу t , $\lambda_{pred}(t)$ — передбачена інтенсивність надходження навантаження під час інтервалу t , h — кількість минулих інтервалів, яка розглядається алгоритмом.

Далі потрібно визначити базовий інтервал. Мета полягає в тому, щоб представити добовий шаблон в навантаженні, дискретизуючи його запити у послідовні, непересічні часові інтервали з єдиним репрезентативним значенням в кожному інтервалі. Запропоновано алгоритм для знаходження невеликої кількості часових інтервалів, таких, що відхилення від фактичної вимоги зведено до мінімуму. Підтримувати невелику кількість інтервалів важливо, так як більше число інтервалів означає більш часті зміни виділення ресурсів і, таким чином, більш високі ризик і витрати. Визначимо формально дискретизацію [2]. Дискретизація навантаження: маючи часовий ряд X на області $[v, \tau]$, часовий ряд Y на тій же самій області є дискретизацією навантаження X , якщо $[v, \tau]$ може бути розділене на m послідовних непересічних часових інтервалів, $\{[v, \tau_1], [\tau_1, \tau_2], \dots, [\tau_{m-1}, \tau]\}$, так що $X(j) = r_i$, для всіх j у i -му інтервалі, $[\tau_{i-1}, \tau_i]$.

Встановлюємо $v = 0$ і нехай τ — період навантаження. Далі припускаємо період у 24 години. Ідея дискретизації має дві сторони. По-перше, потрібно точно репрезентувати навантаження. Для досягнення цієї мети, репрезентативні значення, r_i , для кожного інтервалу, $[\tau_{i-1}, \tau_i]$ мають бути якомога ближчими до фактичних значень часового ряду в інтервалі $[\tau_{i-1}, \tau_i]$. По-друге, виділення ІТ-ресурсів не відбувається безоплатно [2]. З цієї причини, потрібно уникати занадто великої кількості інтервалів і, отже, занадто великої кількості змін в системі, так як це не практично і може призвести до багатьох проблем (наприклад, втрати продуктивності, зносу серверів, нестабільності системи і т.д.). Таким чином, слід мінімізувати помилку, внесену дискретизацією, і кількість інтервалів в дискретизації. Пропонується рішення для дискретизації часових рядів таким чином, щоб зменшити обидві величини (формула (2)):

$$\sum_{i=1}^m \sum_{\tau=\tau_{i-1}}^{\tau_i} u(r_i - X(\tau)) + f(m) \rightarrow \min \quad . \quad (2)$$

Вираз (2) є цільовою функцією, яку потрібно мінімізувати, де X являє собою часовий ряд і $f(m)$ є функцією вартості кількості змін або інтервалів, m . Метою виразу (2) є одночасна мінімізація помилки репрезентації навантаження і кількості змін. У деяких випадках, можна було б віддати перевагу, мінімізації квадрату кількості змін (або будь-якій іншій функції кількості змін) [2]. Для даної роботи встановлюємо $f(m) = l \cdot m$, де l є константою нормалізації. Цільова функція виражає мету, мінімізуючи нормалізовану кількість змін і помилку репрезентації. Функція вартості репрезентативної помилки використовується для кількісної оцінки похибки подання навантаження. В найзагальнішому випадку, як кількість змін, так і репрезентативна помилка можуть бути сформульовані як функції корисності.

Оптимальну величину базового інтервалу визначаємо ітераційно — задаємо різні значення кількості інтервалів, обчислюємо значення виразу (2) і обираємо найкраще, тобто мінімальне, при цьому на кожному інтервалі:

$$r_i = \max_{\tau \in (\tau_{i-1}, \tau_i)} X(\tau) \quad . \quad (3)$$

Приклади репрезентації значень часового ряду представлені на рис. 2, де помилка репрезентації для випадку інтервалів у 10 хвилин складає 7%, а для випадку 60 хвилин — вже 19%.

Також можемо ввести додаткову умову, що різниця між сусідніми репрезентативними значеннями не повинна бути меншою певного заданого порогу.

Визначення величини базового інтервалу визначається в офлайн режимі на основі статистики на довгостроковий період (дні, тижні і т.п.), тому це не має впливу на поточне функціонування системи. Відповідно до цього, кількість ітерацій для визначення оптимального значення базового значення інтервалу може бути достатньо великою і вибирається оператором в залежності від бажаної точності рішення.

Модуль розподілу ресурсів викликається періодично (кожне вікно адаптації або при досягненні порогу, тобто у випадку перевантаження) для динамічного розділення ресурсного об'єму між різними мережевими функціями, які працюють на загальних серверах в мережі. Як вже сказано, алгоритм адаптації запускається кожні W часові одиниці. Нехай q_i^0 позначає довжину черги на початку вікна адаптації. Нехай λ_i позначає оцінку інтенсивності надходження заявок і μ_i позначає оцінку інтенсивності обслуговування у наступному вікні адаптації (тобто, на наступні W часові одиниці). Тоді, припускаючи що значення λ_i і μ_i є константними, довжина черги в будь-який момент часу t всередині наступного вікна адаптації задається формулою (4):

$$q_i(t) = \max(0; q_i^0 + (\lambda_i - \mu_i)t) \quad . \quad (4)$$

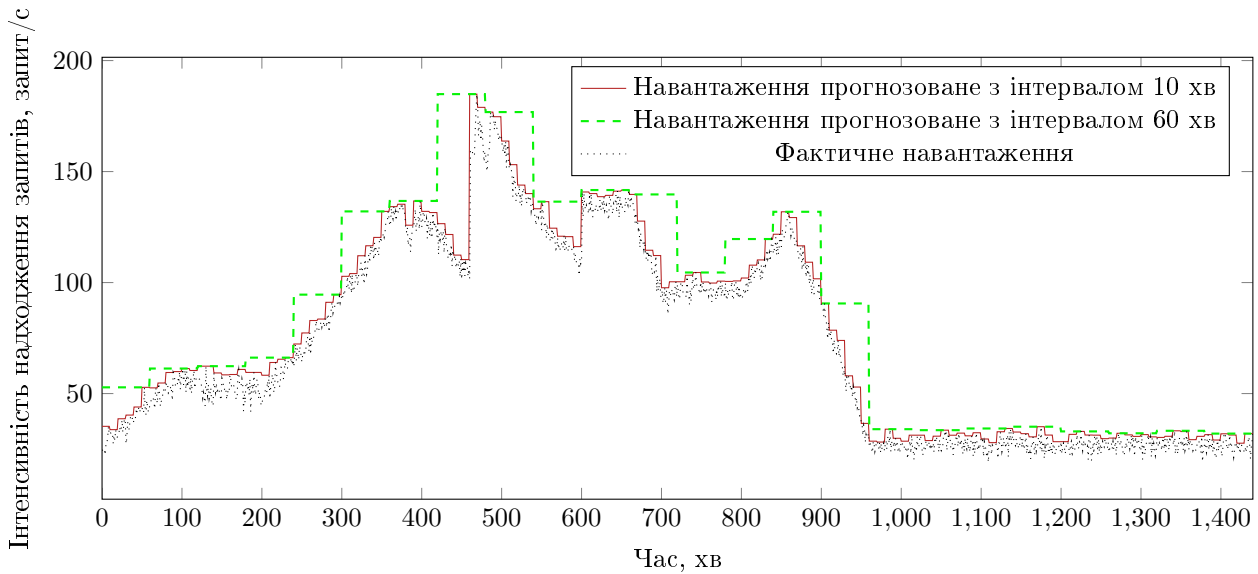


Рис. 2. Репрезентація значень навантаження в залежності від різної величини інтервалу адаптації

Оскільки ресурс моделюється як обслуговуючий пристрій, інтенсивність обслуговування запиту мережевої функції дорівнює $\mu_i = \frac{C_i}{s_i}$, де C_i — це кількість ресурсів мережевої функції і s_i — це середній час обслуговування запиту однією одиницею ресурсу. Середня довжина черги під час вікна адаптації визначається за формулою (5):

$$q_i = \frac{1}{W} \int_0^W q_i(t) dt \quad (5)$$

Середній час відповіді T_i у той самий інтервал часу оцінюється за формулою (6):

$$T_i = \frac{q_i + 1}{\mu_i} \quad (6)$$

Параметри такої моделі залежать від її поточних характеристик, відповідно, ця модель застосовна в онлайн сценарії реагування на динамічні зміни в навантаженні.

Мережеві функції потрібно виділити кількість ресурсів, так що $T_i \leq d_i$, тоді кількість ресурсів, виділена мережеві функції C_i повинна задовольняти умову формули (7):

$$C_i \geq s_i \frac{q_i + 1}{d_i} \quad (7)$$

Припустимо, що $\lambda_{basepred}(t)$ — базова передбачена інтенсивність надходження під час певного інтервалу t отримана з аналізу попередньо отриманих даних за минулі дні. Далі, нехай $\lambda_{obs}(t)$ — реальна інтенсивність надходження протягом цього інтервалу. Прогнозоване значення протягом наступного інтервалу коригується з використанням помилки, що спостерігається, відповідно до формули (8):

$$\lambda_{pred}(t) = \lambda_{basepred}(t) + \sum_{j=t-h}^{t-1} \frac{\lambda_{obs}(j) - \lambda_{pred}(j)}{h} \quad (8)$$

Розглянемо задачу в системі Mathcad. Розглянемо роботу одного блоку протягом одного дня (1440 хвилин) і будемо вважати заданою базову компоненту прогнозованої інтенсивності надходження заявок протягом кожної хвилини $\lambda_{basepred}$, а також нехай відомо середнє значення часу обслуговування заявки однією одиницею ресурсу s_i і воно не змінюється, також припускаємо наявність ресурсу одного типу. Результати моделювання показали (рис. ??), що помилка у прогнозованому значенні у порівнянні з реальним може складати 16%, при цьому “додатна” помилка складає 9% від реальної інтенсивності надходження заявок. Якщо не застосовувати систему динамічного регулювання величини вікна адаптації та систему врахування попередньо отриманих даних при передбаченні, то помилка складатиме 26%, “додатна” помилка — 15%, з чого можна зробити ще і той висновок, що ресурси будуть застосовуватись вкрай неефективно.

Таким чином, загальний алгоритм можна представити як описано далі.

Провісник базового навантаження спочатку виконує аналіз навантаження, щоб виявити закономірності. Виходячи з цього, можна вивести періоди найвиразніших шаблонів. Провісник базового навантаження запускається періодично (наприклад, один раз на день). Він ділить попередньо отримані дані на денні вимоги і прогнозує вимогу на наступний день. Для прогнозу навантаження, можемо взяти середнє значення попередньо отриманого денного навантаження. Можуть використовуватися складні методи передбачення, але це виходить за рамки даної статті. У результаті роботи блоку на виході отримуємо прогноз навантаження на період.

Контролер відповідає за обробку навантаження. Він отримує прогнозований шаблон базового навантаження від провісника базового навантаження, а потім оцінює і розподіляє належну кількість ресур-

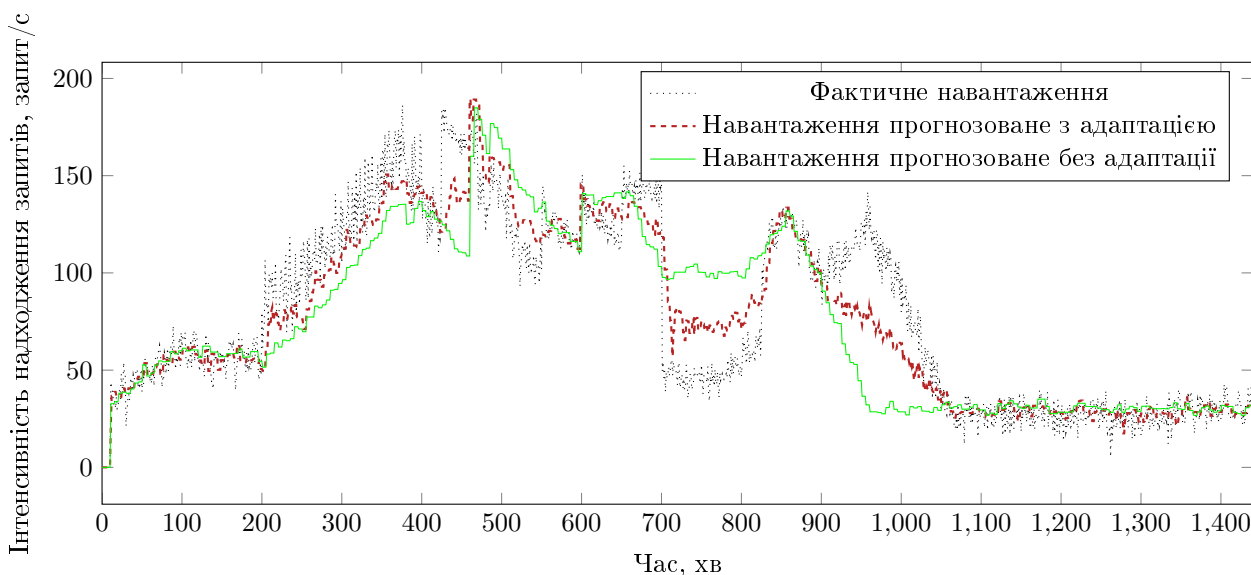


Рис. 3. Результати моделювання системи з динамічною адаптацією величини інтервала управління і прогнозом навантаження та системи без них

сів, необхідну для обробки навантаження. Зокрема, контролер використовує модель масового обслуговування продуктивності описану вище, щоб визначити, скільки ресурсів буде виділено для забезпечення дотримання вимог SLA для прогнозованої кількості запитів, не споживаючи надмірної потужності. Вираз (7) оцінює обсяг ресурсів, необхідних для забезпечення того, що цільовий середній час відповіді задовольняється. Контролер запускається кожне вікно адаптації або у разі, коли реальне навантаження перевищує прогнозоване навантаження, для того щоб надати додаткові ресурси для надлишкового навантаження. Оскільки контролер не запускається коли реальне навантаження нижче ніж прогнозоване, вплив надмірного виділення ресурсів зводиться до мінімуму, якщо прогностичне виділення ресурсів добре відображає базові вимоги.

Координатор надсилає вхідні запити на сервер, виділений для обслуговування навантаження, а також обмінюється даними з контролером для надання інформації про вхідне навантаження.

Слід зазначити, що система моніторингу відслідковує трафік і підраховує кількість запитів. В системі моніторингу встановлюється порогове значення для числа запитів і до контролера посилається повідомлення, якщо система моніторингу виявляє перевантаження. Коли контролер приймає повідомлення, що стосується перевантаження, з системи моніторингу, контролер обчислює необхідну кількість ресурсів для обробки заявок належним чином і динамічно розподіляє розрахунковий об'єм. Потім координатор перенаправляє заявки і перевантаження усувається.

Висновки

Динамічне управління ресурсами у мобільних мережах наступних поколінь підіймає нові проблеми, не вирішені у попередніх дослідженнях систем надання ресурсів. Запропоновано систему динамічного управління ресурсами системи центрів обробки даних мобільного оператора, який використовує гнучку аналітичну модель для визначення оптимальної кількості ресурсів, які виділяються функціональним блокам системи, що розгортаються в центрах обробки даних. Результати моделювання системи показали, що помилка у прогнозованому значенні у порівнянні з реальним може скласти 16%, при цьому “додатна” помилка складає 9% від реальної інтенсивності надходження заявок, якщо не застосовувати систему динамічного регулювання величини вікна адаптації та систему врахування попередньо отриманих даних при передбаченні, то помилка складатиме 26%, “додатна” помилка — 15%, з чого можна зробити ще і той висновок, що ресурси будуть застосовуватись вкрай неефективно. Метод може застосовуватись при управлінні розгортанням віртуальних мережевих функцій на фізичній інфраструктурі для мінімізації витрат оператора зв'язку та покращення якості обслуговування абонентів. В подальших дослідженнях, запропонований метод може бути розширений для урахування складних моделей аналізу часових рядів для прогнозування.

References

- [1] Skulysh M. A. and Sulima S. V. (2015) Method of resource management in datacenters of mobile network operator, *Radioelektronika i informatika*, No 3, pp. 13-17.
- [2] Gandhi A., Chen Y., Gmach D., Arlitt M. and Marwah M. (2011) Minimizing Data Center SLA Violations and Power

Consumption via Hybrid Resource Provisioning, *Green Computing*, pp. 1-8. DOI: 10.1109/IGCC.2011.6008611

- [3] Cai Z., Liu F., Xiao N., Liu Q. and Wang Z. (2010) Virtual network embedding for evolving networks, *Global Telecommunications conference*, pp. 1-5. DOI: 10.1109/GLOCOM.2010.5683160
- [4] Sun G., Yu H., Anand V. and Li L. (2013) A cost efficient framework and algorithm for embedding dynamic virtual network requests, *Future Generation Computer Systems*, Vol. 29, No. 5, pp. 1265-1277. DOI: 10.1016/j.future.2012.08.002
- [5] Chandra A., Gong W. and Shenoy P. (2003) Dynamic resource allocation for shared data centers using online measurements, *11th International Workshop on Quality of service*, pp. 381-398. DOI: 10.1007/3-540-44884-5_21
- [6] Urgaonkar B., Shenoy P., Chandra A., Goyal P. and Wood T. (2008) Agile dynamic provisioning of multi-tier Internet applications, *ACM Transactions on Autonomous and Adaptive Systems (TAAS)*, Vol. 3, No. 1, pp. 1-39. DOI: 10.1145/1342171.1342172

Система управления ресурсами в центрах обработки данных оператора сети мобильной связи

Сулима С. В., Скулыш М. А.

Рассматривается возможность виртуализации сети мобильной связи. Представлен метод построения системы управления ресурсами для виртуальных сетевых функций в центрах обработки данных оператора мобильной связи. Предложенный метод использует гибкую аналитическую модель для определения оптимального количества ресурсов, которые выделяются функциональным блокам системы, разворачиваемых в центрах, обработки данных и учитывает как ранее полученные статистические данные, так и текущие тенденции.

Ключевые слова: облачные вычисления; NFV; видение ресурсов; прогнозирование нагрузки; мобильная сеть

Resource provisioning system for mobile operator network's datacenters

Sulima, S. V., Skulysh, M. A.

The problem of growth of the mobile data traffic and the number of services becomes global, moreover, volume and frequency of control traffic transmitted through the network are increasing, and therefore there is a need for its effective management to ensure the quality of service required by users and optimal use of mobile network resources. In such circumstances, the load on the server that is created in the process of establishing the connection and its serving has its considerations. Dynamic resource provisioning is a useful technique for handling the variations seen in communication systems workloads. Virtualization technology allows to implement this approach. An analytic model of a system would be attractive as it would be able to evaluate system characteristics under a wide range of conditions, and to be computed comparatively easily. It is also can incorporate numerical optimization techniques for system design. In the paper the problem of provisioning system design for virtualized network functions is solved. This paper presents a novel approach to correctly allocate resources in data centers, such that SLA violations and energy consumption are minimized. Proposed approach first analyzes historical workload traces to identify long-term patterns that establish a "base" workload. It then employs two techniques to dynamically allocate capacity: predictive provisioning and reactive provisioning. The combination of predictive and reactive provisioning achieves a significant improvement in meeting SLAs, conserving energy, and reducing provisioning costs. A method for adapting the size of network function's resource allocation control interval is proposed that provides dynamic configuration of the system, reducing excessive service data transmitted in the network, and decrease the load of network nodes. The workload service system model is built which outlines a method of workload forecasting, which takes into account long-term accumulated statistics and recent trends observed in a network that allows a rational level of management costs and final values of quality of service. Experiments on the study of the proposed methods in the system of Mathcad are conducted.

Key words: cloud computing; NFV; resource allocation; workload prediction; mobile network