

КОМП'ЮТЕРНІ ЗАСОБИ, МЕРЕЖІ ТА СИСТЕМИ

A. Gladun

MODELLING OF INTERACTION OF WEB-SERVICES AND THEIR PERFORMANCE ANALYSIS IN THE INTERACTIVE ENVIRONMENT OF THE INTERNET

In this paper the technique of the performance analysis of Web-services on the basis of models stochastic networks Petri is considered. Reception of quantitative characteristics of productivity of Internet-application allows optimizing of a configuration of the specialized servers.

Рассмотрена методика анализа производительности Web-сервисов на основе моделей стохастических сетей Петри. Получение количественных характеристик производительности Интернет-приложений позволяет оптимизировать конфигурацию специализированных серверов.

Розглянуто методику аналізу продуктивності Web-сервісів на основі моделей стохастичних мереж Петрі. Отримання кількісних характеристик продуктивності Інтернет-застосування дозволяє оптимізувати конфігурацію спеціалізованих серверів.

© А.Я. Гладун, 2008

УДК 004.75: 681.3

А.Я. ГЛАДУН

МОДЕЛЬ ВЗАЄМОДІЇ WEB-СЕРВІСІВ ТА АНАЛІЗ ЇХ ПРОДУКТИВНОСТІ В ІНТЕРАКТИВНОМУ СЕРЕДОВИЩІ ІНТЕРНЕТ

Вступ. Терміни Інтернет і Web (WWW) часто використовуються поперемінно, хоча вони глибоко пов'язані та мають свої певні нюанси. Інтернет – найбільш уживаний загальний термін і неявно включає фізичні аспекти базових мереж, а також механізмів типу електронної пошти та забезпечення з'єднання вузлів локальних мереж, які безпосередньо є незв'язаними з глобальною мережею. Термін Web, у свою чергу, пов'язаний з інформацією, що збережена та доступна через Інтернет. Що стосується цих двох понять, то останнім часом активізувались наукові дослідження Інтернет і Web [1]. Причинами таких досліджень є не стільки бажання покращити базову технологію мережі (організація мережі, стеки протоколів, мобільні та наземні інфраструктури, маршрутизація, нові технології передачі даних), скільки можливості використання Web та Інтернет-застосувань для економічної та комерційної діяльності, які потребують активізації дій у реальному масштабі часу (Web-сервіси, бізнес-процеси, агентно-орієнтовані застосування, здобуття знань в Інтернет, розподілені сервіс-орієнтовані обчислення, сервіс-орієнтовані архітектури тощо).

Основна ідея, що представлена в роботі, полягає в аналізі продуктивності Інтернет-застосувань чутливих до затримок та швидкодії каналів передачі, що часто є критичною умовою при реалізації певних Інтернет-технологій. Відомо, що оцінка продуктивності обчислювальної системи дозволяє підвищити якість використання всіх потенційних

можливостей, закладених у неї. Тому є однією з актуальних проблем, як на початкових етапах проектування, так і в процесі експлуатації таких Інтернет-систем.

Оскільки Інтернет та Web ми можемо розглядати як деякі динамічні групи зв'язаних процесорів та Web-сторінок, спеціалізованих серверів (Web-сервіси), то вони можуть бути проаналізовані різними способами й з різними рівнями деталізації – від руху пакета в мережі, поведінки користувача до структури графа Web-сторінок на Web-сервері та конфігурації спеціалізованих серверів з урахуванням їх гіперзв'язків. Крім того, тут виникають також проблеми через розподілені та слабкоструктуровані інформаційні ресурси в WWW, які є величезним потенціалом; але мають безліч проблем (інформаційне перевантаження, труднощі релевантного пошуку, невисока продуктивність розподілених застосувань тощо).

На сьогодні немає побудованої єдиної математичної моделі розподілених інформаційних Web-систем [2]. Проте в деяких напрямках проводилися дослідження достатньо успішно. Серед цих напрямків можна виділити такі:

- дослідження та розробка засобів моделювання та системного аналізу інформаційних Web-систем, зокрема, їх мережевої та функціональної компоненти;
- дослідження та розробка засобів моделювання протоколів інформаційних систем та мереж;
- дослідження фізичних характеристик функціонування розподілених інформаційних систем найрізноманітніших архітектур;
- дослідження поведінки розподілених систем, що складаються з автономних компонентів;
- дослідження проблем обробки гіпертекстових та гіпермедійних даних;
- дослідження проблем продуктивності Інтернет-застосувань (зокрема, реакції застосування на запит користувача).

Одним з найважливіших Інтернет-застосувань сьогодні, яким присвячена значна кількість наукових публікацій є Web-сервіси [3]. Питання аналізу якості функціонування Web-сервісів та оптимізації їхніх характеристик були предметом інтенсивних досліджень із перших днів появи цих застосувань [2, 4, 5].

До числа основних параметрів, які впливають на продуктивність Web-сервісів можна віднести: пропускну здатність, часову затримку доставки пакетів, реакцію застосування, завантаженість системи. Інші показники продуктивності можна легко отримати із зазначених основних. Тому першочерговим завданням є розробка методів та засобів передбачення продуктивності різних конфігурацій Інтернет-системи як на початкових етапах проектування, так і в процесі експлуатації таких систем з можливістю їх подальшої модернізації та розвитку.

Агенти, Web-сервіси та Semantic Web. Більш ніж за 10 років свого існування Web настільки розвинувся, що став близьким до стану "переповнення". Web сьогодні успішно розвивається в багатьох напрямках, але при цьому існує безліч обмежень. Інформація в Інтернет слабко структурована та є хаотичною за своєю природою. Вона може бути неточною, непослідовною і недоступною.

Сучасні методи пошуку інформації мають низьку точність (нерелевантні результати).

Дві основні причини породжують дві основні проблеми Internet. Перша причина – ріст обсягів інформаційного наповнення, породжений популярністю та дешевизною Web-технологій, друга – формат подання інформації в Internet, який орієнтований переважно на людей і лише в деяких випадках допускає автоматичну обробку програмними агентами.

Внаслідок, по-перше, виникає проблема знаходження необхідної користувачу інформації у будь-якому вигляді – обсяги Web-простору не дозволяють оперативню обновляти бази даних інформаційно-пошукових систем (не говорячи про неможливість досягнення 100 % охоплення), по-друге в автоматизованому режимі дуже складно знайти необхідний для виконання завдання користувача найбільш релевантний Web-сервіс [6].

Тому подальший розвиток Internet вчені пов'язують із концепцією Семантичного Web (Semantic Web), який багато в чому завдячує уніфікації обміну даними та дасть можливість інтегрувати в Internet навіть об'єкти реального світу. Концепцію Семантичного Web висунув Тім Бернес-Лі, один з основоположників World Wide Web і голова WWW-консорціуму (W3C). Основна ідея цього проекту полягає в організації такого подання даних у мережі, яке дозволяє не тільки їхню візуалізацію, але й їх ефективну автоматичну обробку програмами різних виробників. Шляхом радикальних перетворень концепції традиційного Web, передбачається перетворення його в систему семантичного рівня. За задумом творців Семантичний Web має забезпечити "розуміння" інформації комп'ютерами, виділення ними найбільш підходящих за різними критеріями даних, і вже після цього – надання інформації користувачам.

При автоматичній обробці інформації у рамках Семантичного Web взаємодіючи один з одним Web-сервіси на основі аналізу контекстних зв'язків між об'єктами й поняттями, що зберігаються в Internet мають відбирати лише ту інформацію, яка буде реально корисна користувачам. Створення універсальних засобів семантичної обробки інформації шляхом інтеграції усіх наявних підходів є метою проекту Semantic Web консорціуму W3C.

За визначенням консорціуму W3C Семантичний Web – це розширення існуючої мережі Internet, в якому інформація представляється в чіткому та певному змістовному значенні, що дає можливість користувачам та комп'ютерам працювати з більш високим ступенем взаєморозуміння й погодженості. Семантичний Web передбачає об'єднання різноманітних видів інформації у єдину структуру, де кожному контекстному елементу даних буде відповідати спеціальний синтаксичний блок (тег). Теги мають складати єдину ієрархічну структуру, на основі якої і повинен функціонувати Семантичний Web. У рамках проекту "Семантичний Web" розробляються мови для надання інформації у формі, доступної для машинної обробки, на яких можна описувати як дані, так і принципи трактування цих даних. Інша галузь Семантичного Web пов'язана з напрямками, близькими до області штучного інтелекту та названа онтологічним підходом.

Онтологічний рівень формалізує накопичені знання, визначаючи й поєднуючи термінологію різних предметних областей.

У найпростішому випадку онтології можна використати для підвищення точності пошуку в Internet. Пошукова система буде видавати тільки ті сайти, де згадується в точності шукане поняття, а не довільні сторінки. Загальновідомо, що в різних предметних областях ті самі поняття можуть бути представленими різними термінами. Механізм онтологій у цих випадках дозволяє формувати осмислені ієрархічні взаємозв'язки між об'єктами, узагальнювати й спільно використовувати глобальні відомості, тобто реалізувати нечіткий пошук, здатний знаходити навіть такі необхідні користувачеві ресурси, в яких не буде жодного слова з вихідного запиту [7].

Такий підхід містить у собі засоби анотування документів, якими могли б скористатися комп'ютерні програми – Web-сервіси й агенти при обробці складних, призначених для користувача запитів. На рис. 1 показано інтегроване середовище Internet в якому функціонують сьогодні сучасні сервіс-орієнтовані обчислення та Web-сервіси.

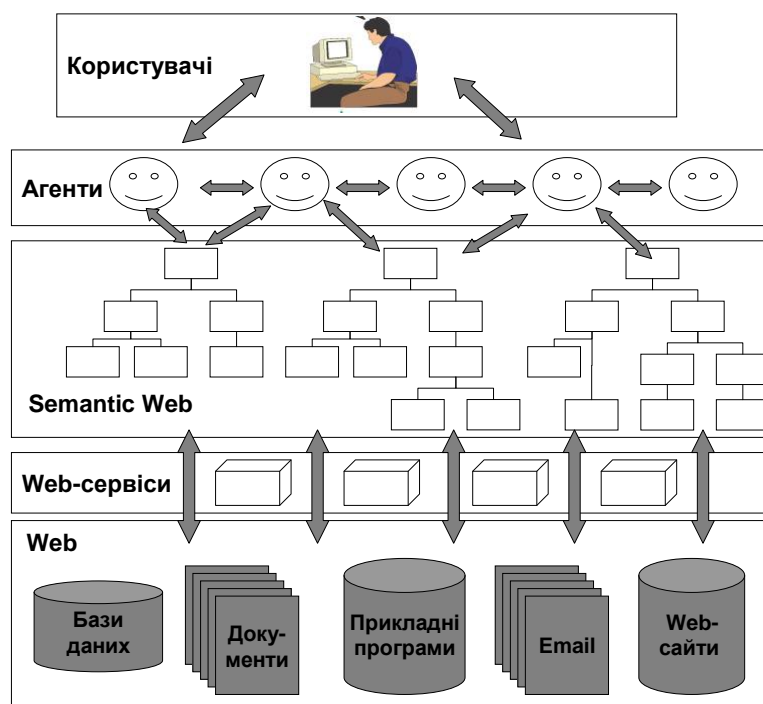


РИС. 1 . Спільна робота агентів і Web-сервісів у Semantic Web

Розробка програмних агентів (ПА) спрямована на рішення двох практичних питань в області розподіленого штучного інтелекту: зменшення складності розподілених обчислень; подолання обмежень інтерфейсу користувача.

ПА – це програмна сутність, що може функціонувати тривалий час автономно в конкретному оточенні, часто разом у співпраці з іншими агентами, та при наявності мети здатна самостійно виконувати необхідні операції, а також вести діалог з користувачем. Головна якість агента – здатність виконувати деяку делеговану йому роботу в чітких інтересах. Щоб описувати і прогнозувати поведінку ПА, застосовують такі інтенціональні відношення: переконання, знання, бажання, наміри тощо.

Основою сервіс-орієнтованого Web є Web-сервіс – набір логічно зв'язаних функцій, які можуть бути програмно викликаними через Internet. Web-сервіси – технологія інтеграції Web-застосувань, що приходить на зміну традиційним Web-застосуванням.

Постановка задачі. Для аналізу продуктивності розподілених систем створюють інструментальні програмні засоби, що дозволяють на основі моделі системи (сервісів) обчислити ("передбачити") очікувані кількісні характеристики, визначити переваги певних архітектурних рішень перед іншими, обґрунтувати реалізації бізнес-систем, а також дати обґрунтування розвитку або модернізації інфраструктури існуючих систем, коли будь-які параметри вже не задовольняють користувача і потрібно покращити (оптимізувати) роботу системи в інтерактивному середовищі Інтернет.

Традиційні системи організації черг використовувалися для прикладного стохастичного моделювання мереж і розподілених обчислень. Їхня сила – це ефективне аналітичне рішення широкого класу моделей [8]. Однак, одним з недоліків систем організації черг вважають недостатність дескриптивної потужності для адекватного відображення таких явищ, як асинхронність та паралелізм процесів. Для опису цих та інших особливостей розподілених систем найбільш придатними є стохастичні мережі Петрі (СМП), оскільки модель СМП є найбільш адекватною до реально функціонуючої системи [9]. Внаслідок, ми можемо отримати більш точні прогнозовані характеристики, що особливо актуальним є для сучасних високошвидкісних розподілених застосувань, які функціонують у реальному масштабі часу. До недоліків СМП можна віднести прогресуючий ріст розміру моделі, складність верифікації моделі, відсутність формалізованого апарата побудови СМП тощо.

У роботах [5, 8, 9] модель функціонування мережі, представлена у вигляді СМП. Завдяки ізоморфізму між простором досяжних маркувань СМП і простором станів однорідних ланцюгів Маркова з безперервним часом, використані відомі з теорії масового обслуговування методи аналізу. Затримки переходів станів прийняті з випадковим експонентним (пуасонівським) розподілом. Проблема вибухового росту кількості станів у моделі СМП вирішується шляхом укрупнення – відсіканням несуттєвих переходів і станів графа (наприклад, мит-

тєві переходи). Фундаментальною властивістю СМП є здатність представити синхронізацію й паралельність процесів у модельованій системі природнім шляхом. Це вигідно відрізняє СМП також від моделей на базі мереж масового обслуговування (MeMO). Крім того, наочність і дескриптивна потужність графічного подання СМП є також очевидною. Однак, слід зазначити, що розробка моделей на базі СМП вимагає значних зусиль (ї є скоріше мистецтвом, ніж наукою) та вимагає значних обчислювальних ресурсів.

Тому основною задачею цієї роботи є побудова моделі СМП щодо функціонування Web-сервісу з відсіканням певних обмежень, які не впливають на кількісні характеристики продуктивності.

Використовуючи теорію графів, Інтернет можна представити у вигляді графа різними способами. Наприклад, одним з таких графів могло б бути подання мережі Internet на фізичному рівні, де використана топологія мережі – вузлам (станам) графа відповідають апаратні компоненти мережі з урахуванням свого місцеположення (комп'ютери, маршрутизатори тощо) і ребрам відповідають прямі фізичні з'єднання між цими компонентами. Однак, такий граф є обмеженим. Він не враховує швидкого росту інформаційної (ресурсної) складової Інтернет (WWW), асоційованою з інформацією, доступною через Інтернет. Тому ми зосередимося на графічних поданнях – Web-графах, де вузли (стани) представляють сторінки Інтернет (або Web-сервіси), а ребра відповідають гіперзв'язкам, які вибирають інформацію, яка знаходиться на різних розподілених серверах.

Web-сервіс – набір логічно пов'язаних функцій, що можуть бути програмно викликані через Інтернет. Web-сервіс надає деякі функції від імені його постачальника (користувача або організації-провайдера) за допомогою відповідного агента. Запитуюча сторона теж може використовувати свого агента. Агенти ведуть переговори через обмін повідомленнями. Сучасні Web-сервіси базуються на трьох основних Web-стандартах (рис. 2): SOAP (Simple Object Access Protocol) – протокол для передачі повідомлень по протоколу HTTP та інших Інтернет-протоколах [10]; WSDL (Web Services Description Language) – мова опису програмних інтерфейсів Web-сервісів [11]; UDDI (Universal Description, Discovery and Integration) – стандарт для індексації Web-сервісів [12].

SOAP – стандарт передачі повідомлень через мережу Інтернет, розроблений Microsoft для віддаленого виклику процедур (RPC, Remote Procedure Call) за протоколом HTTP.

WSDL – базований на XML стандарт, що був запропонований консорціумом W3C для опису того, як користуватися сервісом. WSDL-опис Web-сервісу містить технічні деталі, необхідні для інтеграції Web-сервісу до застосування (формат повідомлень, операції, простір імен тощо) і не залежить від мови програмування.

Стандарт UDDI [10] надає механізм пошуку та публікації Web-сервісів. Він утворює бізнес-реєстр (UDDI Business Registry), в якому провайдери Web-

сервісів можуть реєструвати свої сервіси, а розроблювачі – шукати необхідні їм сервіси.

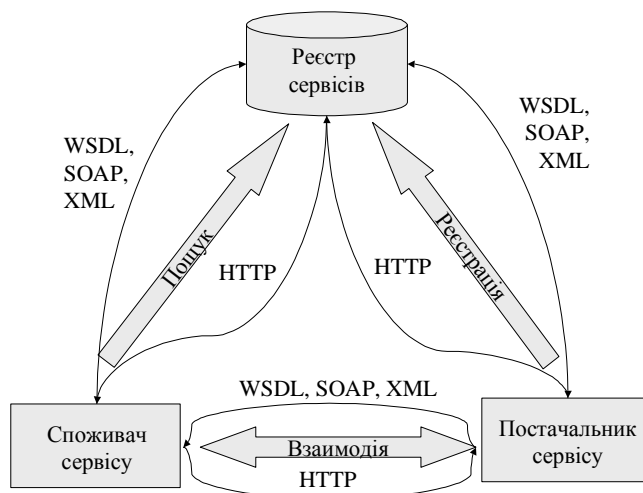


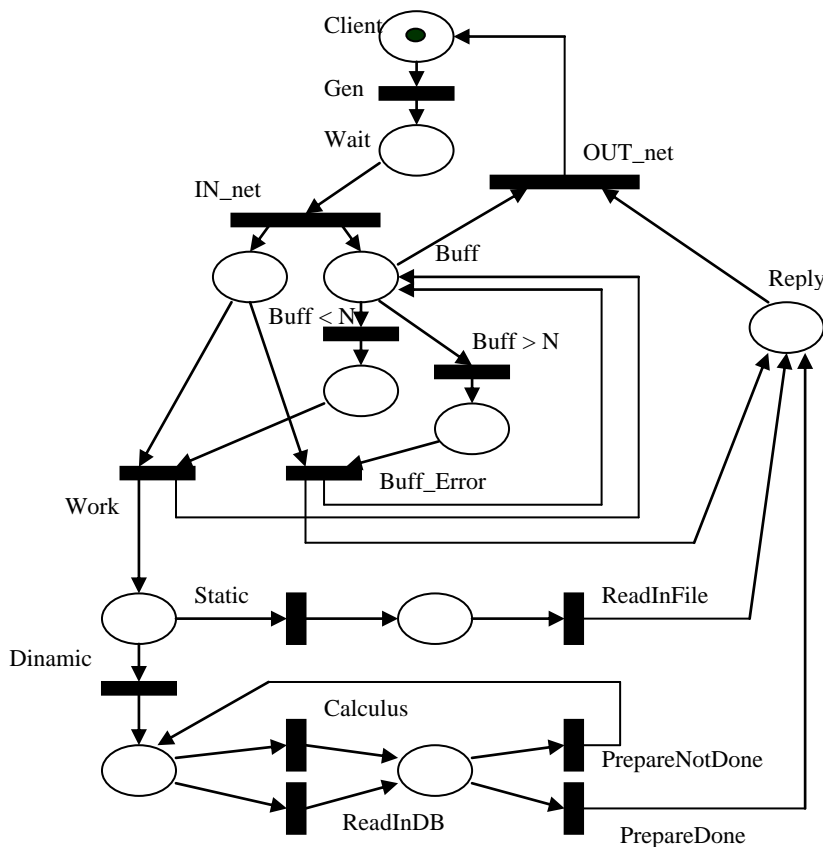
РИС. 2. Стек технологій архітектури Web-сервісів

Взаємини учасників включають такі основні аспекти: публікацію сервісу, його пошук, підключення і використання. Перехід до інтелектуальних Web-сервісів (які також називають Семантичними Web-сервісами, SW-сервісами) спрощує та розширює використання Web-сервісів. Необхідно супроводжувати Web-сервіси такими описами, щоб можна було автоматично розпізнати їхню семантику.

Модель Web-сервісу. На графі зв'язків (Web-графі), прийняті наступні додаткові фактори, які необхідно розглянути при побудові моделі СМП: ребра (дуги) будемо розглядати як спрямовані від початкової (вихідної) сторінки/сервісу до цільової (наміченої) сторінки/сервісу і як ненаправлені, у деяких застосуваннях ці розходження виявляються не головними; сам граф підлягає постійним динамічним змінам, тому що зміст існуючих вузлів – сторінки Web (застосування) піддаються змінам, але ці зміни не можуть змінити основну структуру графа, доти, поки не будуть створені нові зв'язки. Теоретично наслідком цих динамічних аспектів є те, що фактично неможливо довідатися точно, скільки всіх вузлів і з'єднань графа існують у певний час t . Оскільки точний розмір графа є не реальним, ми використаємо граф з однозначно строгою певною кількістю позицій і переходів; існують сторінки/сервіси й гіперзв'язки, які створені динамічно „на льоту”, наприклад, після введення запиту в пошукову машину. Вони мають типово коротку тривалість життя – тому виключені з аналізу.

На рис. 3 показано спрощений граф СМП, що описує модель надання Web-сервісів для клієнтів з урахуванням різних фаз роботи цього сервера. В таблиці подана інтерпретація СМП моделі. Кількісні характеристики продуктивності на

основі представленої моделі СМП розраховані на основі алгоритмів описаних у [9] з використанням авторського інструментально-програмного пакета PetriNet.



РІС. 3. Граф СМП взаємодії клієнтів з Web-сервером з урахуванням різних фаз роботи сервера

Ми провели також кілька емпіричних дослідів з метою вивчення властивостей СМП Web-графа (за трьома періодами функціонування системи: початковий, піковий і стаціонарний). Вони ґрунтувалися на випадкових вибіркових методах при використанні підграфів різних розмірів. Досліди показали несуперечливі результати в першому наближенні (збіг розрахункових і дослідних результатів).

Багатьма дослідниками була висловлена думка, що модель єдиного гіпертекстового простору може являти собою спрямований граф, у якому, вузлами є документи html, а дуги – посилання на інші html документи. Однак, необхідно зазначити кілька властивостей даної моделі. 1. З огляду на динаміку розвитку

Web (поява нових і видалення або редагування старих html документів), число вершин і дуг, у даній моделі змінюється з часом. 2. У інших, досліджених різних ділянках моделі Web-графа, отриманих експериментальним шляхом показує, що розподіл ймовірності кількості дуг для вузлів Web-графа підлягає степеневому (power-law) закону.

ТАБЛИЦЯ. Інтерпретація СМП моделі

Елементи СМП	РІП*	Інтерпретація
Client		Клієнти Web-сервера
Gen	λ_{gen}	Формування запиту від клієнта до Web-сервера
Wait		Формування запиту перед відправленням на сервер
IN_net, OUT_net	λ_{net}	Посилка запиту, одержання відповіді
Reply		Відповіді перед відправленням клієнтові
Buff		Буфер запитів сервера
Buff_Error		Перевищення буфера запитів на сервері
Work		Запит надійшов на обробку сервером
Static		Запит статичного Web-сервісу
Dinamic		Запит динамічного Web-сервісу
ReadInFile	$\lambda_{read_in_file}$	Завантаження статичного Web-сервісу з файла
Calculus	$\lambda_{calculus}$	Формування динамічного Web-сервісу з файла
ReadInDB	$\lambda_{read_in_D}$ B	Читання даних із зовнішньої бази даних
PrepareNotDone, PrepareDone		Динамічний Web-сервіс (не)підготовлений

Примітка: РІП – розподіл імовірностей переходів у моделі СМП

Числові результати. Всі моделювання виконані з використанням програмно-інструментального пакета PetriNet. Пакет забезпечує отримання числових результатів з 99 % довірчим інтервалом і максимальною відносною похибкою 1 %. Ми застосували наступні параметри моделі для опису взаємодії клієнта з Web-сервісом: кількість задіяних Web-сервісів $N = 10$; швидкість передачі інформації $B = 512$ Кбіт/с; всі інші значення обчислюються на основі даних, що подані в таблиці та алгоритму знаходження ймовірностей переходів моделі графа. Оскільки фактичний трафік може бути реально будь-яким, то отримані результати мають інтерпретуватися як тенденції, а не як абсолютно точні.

Рис. 4 показує пропускну здатність (реакцію застосування) при заданому навантаженні. Числові значення середнього часу затримки в порівнянні з пропускну здатністю на рис. 4 не наведені.

Незважаючи на досягнутий деякий прогрес у теорії проектування комп'ютерних мереж, ця перспективна область залишає простір для розробки нових математичних методів та подолання недоліків відомих. Подальшим напрямком робіт буде вдосконалення існуючого інструментального програмно-техноло-

гічного комплексу для автоматизації задач аналізу продуктивності мереж і систем та використання неекспоненційних функцій, що описують розподілення ймовірності переходів у моделях СМП. Неекспоненційні функції дозволяють побудувати більш адекватну модель, що, в свою чергу, дозволить отримати більш точні результати, які необхідні для аналізу продуктивності мереж з мультимедіа за стосунками.

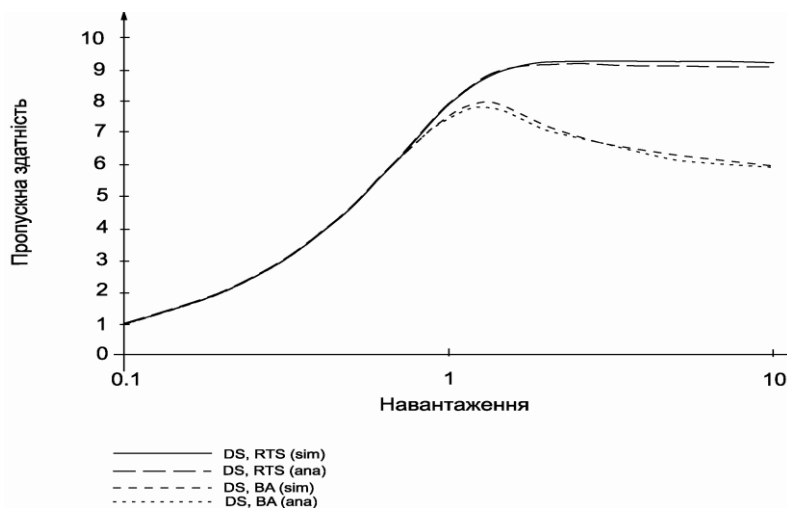


РИС. 4. Пропускна здатність спеціалізованого сервера (Web-сервіси) у залежності від заданого навантаження

Висновки та перспективи подальших досліджень. Розроблений підхід до аналізу продуктивності Інтернет-застосувань вимагає подальшого дослідження питань завадостійкості та надійності. Допомогає розробляти більш ефективні алгоритми пошуку Web-сервісів у розподіленому середовищі Інтернет, покращення сервіс-орієнтованих обчислень тощо. Розвиток високошвидкісних мереж та інтелектуальних Web-сервісів в Інтернет вимагає розробки методів та засобів для створення моделей їх функціонування, які, в свою чергу, дозволяють отримати кількісні показники продуктивності. Крім того, важливим питанням, яке сьогодні все більше хвилює розроблювачів спеціалізованих баз даних WWW є структура навігаційних графів Web-сторінок, можливість їхнього коректування та їх життєвий цикл.

Семантичний Web не скасовує корисності Web-сервісів, а доповнює їх. Однак, водночас, як завдання більшості сучасних Web-сервісів – забезпечити комунікацію між застосуваннями (прикладними програмами), Семантичний Web вирішує більш складну проблему – підвищення цінності інформації, яку можна знайти в Інтернет. Зробити це можна, побудувавши мережу, що логічно складається не з розрізнених документів, а з описів реальних об'єктів та їхніх взаємин з іншими об'єктами.

1. W3C The Semantic Web Home Page. – <http://www.w3.org/2001/sw/>
2. Вишневский В.М. Теоретические основы проектирования компьютерных сетей. – М.: Техносфера, 2003. – 512 с.
3. Шелякин П. Архитектуры, ориентированные на сервисы. – <http://xmlhack.ru/texts/COAvsWebservices/COAvsWebservices.html>
4. Шварц М. Сети связи: протоколы, моделирование и анализ. – М.: Наука, 1992. – 292 с.
5. Molloy M.K. Performance Analysis Using Stochastic Petri Nets // IEEE Trans. of Comput., 1981. – **31**, N 9. – P. 913–921.
6. Гладун А.Я., Рогущина Ю.В. Онтологический подход к поиску веб-сервисов в распределенной среде Интернет // Информатика. – Минск: ОИПИ НАН Беларуси, 2007. – № 4(12). – С. 116–127.
7. Gritsenko V., Gladun A., Rogushina J. Agent-oriented programming as a tool of the intellectual distributed applications development // Тр. 1 Междунар. конф. „Разработка систем программного обеспечения”, Киев, 2005. – С. 86–89.
8. German Reinhard. Performance Analysis of Communication Systems with Non-Markovian Stochastic Petri Nets. – John Wiley, New York, 2000. – 420 p.
9. Гриценко В.И., Гладун А.Я. Про застосування часових і стохастичних мереж Петрі в задачах оцінки продуктивності високошвидкісних мереж зв'язку // Кібернетика і обчислювальна техніка. Складні системи керування. – 1994. – Вип. 103. – С. 88–101.
10. SOAP. – [w3c.org/soap/soap.htm](http://www.w3.org/soap/soap.htm).
11. Язык WSDL. – http://allxml.h1.ru/articles/SOAP_rpc_wsdl_2.html.
12. UDDI (Universal Description, Discovery and Integration). – (<http://www.uddi.org/>).

Отримано 23.10.2008