

Печурін М. К., д-р техн. наук,
Даніліна Г. В.,
²Перегудова Н. В.,
²Печурін С. М.

МАТЕМАТИЧНЕ ТА ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖ КАМПУСІВ, ОСНОВАНИХ НА БЕЗПРОВІДНИХ ТЕХНОЛОГІЯХ

¹Інститут комп'ютерних технологій Національного авіаційного університету
²Національний технічний університет України "КПІ"

Розглянуто особливості спеціального класу комп'ютерних мереж - комп'ютерних мереж кампусів (університетських містечок), основаних на безпроводних технологіях. В статті запропоновано признаки класифікації математичних та імітаційних моделей, що їх можна (і доцільно) застосовувати в якості інструментарію для моделювання комп'ютерних мереж кампусів. Наведено деякі характеристики відповідних програмних систем підтримки математичного та імітаційного моделювання, що їх пропонують різні розробники. До уваги приймалися доступні (для авторів) спеціалізовані засоби моделювання і універсальні програмні системи.

Постановка проблеми у загальному вигляді

Кардинальним питанням при створенні будь якої комп'ютерної мережі є визначення її архітектури. Архітектура мережі є основним чинником, що визначає, скажімо, витрати (капітальні і експлуатаційні) на комп'ютерну мережу. Наприклад, вартість одного порту активного мережевого устаткування в залежності від виробника, використаної технології, надійності, керованості може мінятися від десятків до десятків тисяч гривень. Єдиним способом визначення ефективної, тобто найбільш придатної для користувача, архітектури, є моделювання. Саме моделювання дозволяє, скажімо, мінімізувати вартість устаткування, призначеного для використання в комп'ютерній мережі. На практиці організації – системні інтегратори – для визначення ефективної архітектури створюваних комп'ютерних мереж використовують спеціальні програми – конфігуратори, які у той або іншій мірі використовують метод моделювання (див., для прикладу, [1]). Більш-менш повний перелік таких конфігураторів фактично збігається з переліком світових фірм – розробників програмно – технічних засобів комп'ютерних мереж. Використання «універсальних» конфігураторів для роз-

рахунку архітектури довільної мережі може привести (і часто приводить!) до того, що набір моделей, що їх використовує конфігуратор, не є адекватним (новому) об'єкту моделювання, скажімо, комп'ютерній мережі кампуса, основаній на безпроводній технології передачі даних. Тут під комп'ютерною мережею кампуса, основаною на безпроводній технології передачі даних, розуміємо комп'ютерну мережу університетського містечка, в якій застосовується безпроводний зв'язок, – далі КМК.

Проблемою у загальному вигляді в даній статті є розробка теоретичного підґрунтя для створення ефективних засобів побудови архітектур комп'ютерних мереж.

Аналіз досліджень і публікацій, в яких започатковане розв'язання даної проблеми

Проблемою розробки теоретичного підґрунтя для створення ефективних засобів побудови комп'ютерних мереж науковці обіймаються з моменту виникнення суспільної потреби в цих самих комп'ютерних мережах (мережах ЕОМ). Для підтвердження цього можна почитати роботи того часу вітчизняних вчених В. М. Глушкова, В. М. Вишневського,

В. А. Жожикашвілі, В. Г. Лазарева, К. Г. Самофалова, В. І. Скуріхіна, А. О. Стогнія і багатьох інших вітчизняних спеціалістів. Серед спеціалістів інших вітчизн того часу можна згадати Л. Клейнрока (L. Kleinrok), Д. Філіпса (Don T. Phillips), М. Шварца (M. Schwartz) та ін.

Теоретичним підґрунтям створення ефективних засобів побудови (проекування) комп'ютерних мереж тоді була наукова дисципліна, яка називалась (і називається) «Дослідження операцій» (О. С. Вентцель, Ю. М. Єрмольєв, М. М. Моїсєєв, Д. Б. Юдін та інші вітчизняні спеціалісти; із закордонних можна назвати, згідно літературних джерел, що їх видано російською мовою, – Р. Беллмана, А. Анрі-Лабордера, Д. Данціга, А. Кофмана, Р. Фора, Т. Сааті, Дж. Хедлі та ін.).

С тих пір різноманіття типів архітектур комп'ютерних мереж (див., напр. шеренгу рекомендацій IEEE 802.3 – 802.16) розширялось в темпі зростання потужності інструментарію дослідження операцій (див., напр. [2, 3]), який можна застосовувати для моделювання комп'ютерних мереж. Зростання потужності цих двох множин значно ускладнило вибір найбільш придатних моделей для дослідження нових і спеціальних типів комп'ютерних мереж.

Подальший матеріал присвячено технології вибору найбільш придатних моделей дослідження спеціального класу комп'ютерних мереж – КМК.

Цілі і завдання

Цілями статті є таке:

1. визначення признаку (-ків) класифікації об'єктів моделювання, тобто виділення класів об'єктів моделювання на множині, що є варіантами архітектур КМК;
2. визначення признаку (-ків) класифікації моделей, тобто виділення класів моделей на множині всіх моделей, що їх можна використати для дослідження варіантів архітектур КМК;

3. створення схеми відображення множини класів моделей на множини класів об'єктів моделювання.

Для досягнення першої мети треба перед усім окреслити межі головного об'єкту нашого інтересу в цій статті – КМК.

Для досягнення другої мети серед усього різноманіття моделей виділяємо для розгляду групу найбільш потужних моделей комп'ютерних мереж – математичні та імітаційні.

Для досягнення третьої мети використаємо елементи теорії множин і відношень.

Меркантильним аспектом даної роботи є створення передумов застосування формальних методів в проектуванні кампусівських комп'ютерних мереж, основаних на безпроводних технологіях.

Особливості КМК

КМК є спеціальним видом комп'ютерної мережі і має такі особливості:

1. Призначення КМК – забезпечення потреб в інформаційно-обчислювальних роботах особливої групи користувачів – студентів і науковців (викладачі вузів – науковці за визначенням);
2. Стабільно високе завантаження мережі у денний час у зв'язку із роботою комп'ютерних лабораторій за розкладом;
3. Регулярне (за планом) завантаження в період проведення аудиторних занять;
4. Стохастичний характер потоку запитів на виконання інформаційно-обчислювальних робіт під час організації самостійної роботи студентів;
5. Нерівномірність в завантаженні вихідних каналів у розрахунку на добу (регулярне завантаження в період проведення аудиторних занять, стохастичний характер під час організації самостійної роботи студентів);
6. Велика доля зовнішнього вхідного трафіку у зв'язку з пошуковими процедурами в Інтернеті;

7. Сталий склад користувачів комп'ютерної мережі;
8. Велика територіальна концентрація користувачів (навчально-лабораторні корпуси і студмістечко);
9. Ефективний особистий інформаційний контакт студентів, фахівців та вчених;
10. Отримання доступу до регіональних, національних та зарубіжних інформаційних ресурсів: баз даних, знань, каталогів та фондів бібліотек; застосування телекомунікаційних засобів навчання для підвищення кваліфікації та отримання нових спеціальностей;
11. Можливість доступу до унікальних програмних продуктів, у тому числі до ліцензійних програмних комплексів високої вартості;
12. Доступ до національних та світових центрів інформації з метою оперативного відслідковування тенденцій розвитку галузей науки, освіти, технологій;
13. Удосконалення технології управління науковим і освітянським комплексом;
14. Можливість оперативного отримання нових результатів наукових досліджень (електронні журнали, збірники та реферати);
15. Автоматизацію ведення та доступу до фондів звітів з наукової діяльності;
16. Рекламу нових розробок, технологій та послуг;
17. Можливість оперативного отримання інформації про нове обладнання, матеріали та послуги сторонніх організацій;
18. Розробку великих національних проектів;
19. Участь у міжнародних проектах;
20. Наявність (особливо в «периферійних» навчальних закладах) застарілого устаткування і зв'язкових протоколів;
21. Презентацію послуг розробок та ін. [4].

Класифікація складових об'єкту моделювання

Класифікація складових об'єкту моделювання (а також встановлення зв'язків

між ними) є необхідною умовою ефективного застосування методу моделювання для аналізу КМК. Існуючі схеми класифікації складових об'єкту моделювання, тобто фрагментів КМК, а також КМК в цілому, має еkleктичний характер. Це, з нашої точки зору, пояснюється (надмірно) великою кількістю застосованих ознак класифікації ([5–7]). Одним з способів ділення може бути ділення на складові, пов'язані з задачами:

1. Розподіл терміналів між абонентськими системами;
2. Побудова шинної конфігурації;
3. Побудова кільцевої конфігурації;
4. Вибір складу апаратних засобів мережі;
5. Розподіл максимального потоку в мережі;
6. Розподіл потоків;
7. Оптимальне розташування файлів у мережі;
8. Побудова мережі ієрархічної структури;
9. Побудова деревовидної конфігурації;
10. Визначення маршрутів між вузлами мережі;
11. Вибір пропускних здатностей і т. ін.

Це лише один з багатьох наборів об'єктів моделювання, але він є доволі типовим стосовно використання методу моделювання для дослідження КМК. На цьому прикладі можна побачити різноманітність (еклектичність) набору об'єктів моделювання. Те ж стосується і способу декомпозиції, оснований на виділенні і уособленні ознак такого поняття, як архітектура комп'ютерної мережі, як це зроблено в [8].

Найбільш поширеною в практиці системою класифікації, що її описано ще в роботі [17], є класифікація за структурно-функціональним признаком. При цьому виділяються такі складові, як абонентська, робоча, термінальна, адміністративна, комунікаційна системи, абонентський, магістральний канали, абонентський інтерфейс тощо. Одним з недоліків такої класифікації є надмірна кількість класів об'єктів моделювання.

Не є достатньо конструктивними і багато інших схем класифікації, скажімо розділення об'єкту моделювання на апаратну і програмну складові (сучасні технології виробництва не дозволяють провести більш-менш відчутну границю між цими об'єктами), а також ділення об'єкту моделювання на інформаційну, технічну, програмну складові тощо, як це зроблено в класичній роботі [18]. Окреслене робить нагальною потребу визначення признаку класифікації, який дозволить потім вибрати найбільш придатні моделі для дослідження (класифікованої) множини об'єктів моделювання.

Пропонуємо, як це зроблено, скажімо, в роботах [9, 10] для довільної комп'ютерної мережі, розглядати КМК в контексті багаторівневої (комунікаційної) архітектури згідно з Еталонною моделлю взаємодії відкритих систем (з урахуванням підрівнів MAC і LLC). При цьому приписані різним рівням набори показників якості виконання функцій доцільно розширити показником «вартість» досягнення того чи іншого показника. Маємо таким чином, множину L .

Окрім цього, необхідно враховувати ту обставину, що КМК як об'єкт моделювання може знаходитись на одному з етапів свого життєвого циклу (передпроекування, проектування, реалізація, модернізація) [21]. Ці етапи утворюють множину E .

Така класифікація породжує множину об'єктів моделювання як прямий добуток відповідних множин $L * E$. При цьому чим вище номер класу з L (нумерація із зростанням від рівня «фізичний») і нижчий номер етапу з впорядкованої E , тим більше об'єкт моделювання «віддалений» (відстоїть, абстрагований) від системи фізичних процесів, які власне і утворюють комп'ютерну мережу, таку як КМК.

Класифікація моделей

Класифікація моделей (а також встановлення зв'язків між ними) є ще однією передумовою ефективного застосу-

вання методу моделювання для аналізу КМК. Існуючі схеми класифікації моделей, подібно схемам класифікації складових об'єкту моделювання, про що було сказано вище, мають теж еkleктичний характер. Це, знову ж таки, пояснюється великою різноманітністю застосованих признаков класифікації ([11-13]). Серед усіх моделей, що їх можна застосовувати в сфері КМК, найпотужнішими є математичні та імітаційні.

Математична модель є зручним і ефективним інструментом аналізу характеристик КМК та являє собою сукупність формальних конструкцій (формул, рівнянь, нерівностей, співвідношень, логічних умов), що визначають процес змін у КМК в залежності від її (КМК) параметрів, вхідних сигналів, початкових умов і часу. На сьогодні для складання та дослідження математичних моделей КМК існує широкий спектр програмних засобів. Прикладами універсальних (неспеціалізованих) систем підтримки математичного моделювання можуть служити *MathCAD*, *Matlab*, *Maple* і таке інше [2, 16].

Імітаційною є модель, реалізована як алгоритм функціонування досліджуваного об'єкту з відповідною комп'ютерною програмою. Для складання останньої використовуються спеціальні або універсальні мови програмування. При побудові математичних або імітаційних моделей можуть використовуватися представлення про об'єкт як статичний або динамічний. В цій статті відповідну назву дамо і моделям. Тут під статичними розуміємо моделі, що використовуються для дослідження КМК в задані моменти часу або тоді, коли атрибут часу не є суттєвим в контексті цілей моделювання. Імітаційні моделі, що їх можна застосовувати для аналізу КМК, є принципово динамічними: вони відтворюють процеси генерації потоків повідомлень, розбивки повідомлень на пакети і кадри, процес одержання доступу комп'ютера до розподіленого мережного середовища, процес обробки пакетів, що надходять, шлюзом або маршрутизатором і тому подібне.

Результатом дослідження імітаційної моделі є статистичні характеристики з переліку, що про нього була мова вище: оцінка середнього часу реакції, коефіцієнт використання каналів, оцінка ймовірності втрат пакетів, повідомлень тощо.

На сьогодні для складання імітаційних моделей КМК існує широкий спектр програмних засобів. Прикладами універсальних (неспеціалізованих) систем імітаційного моделювання можуть служити класичні НЕДИС, АЛСИМ, SIMULA, SIMDI, ДАСИМ NETCON і таке інше [2, 3]. Із сучасних багатофункціональних можна згадати про такі пакети, як COMNET III, BONE, OPNET і подібні. Наведемо коротку характеристику деяких засобів імітаційного моделювання [22-27]:

ns2 дозволяє здійснювати імітаційне моделювання мереж зв'язку, реалізує широкий набір мережевих протоколів, у тому числі протоколи бездротового зв'язку;

BONE є графічною системою моделювання загального призначення для аналізу архітектури комп'ютерних і телекомунікаційних систем, мереж і протоколів;

Optimal Perfomance має можливості швидкого оціночного і точного моделювання, допомагає оптимізувати розподілене програмне забезпечення;

Prophesy є простою системою для моделювання локальних і глобальних комп'ютерних і телекомунікаційних мереж. Наприклад дозволяє оцінити час реакції комп'ютера на запит, запас продуктивності мережі;

Родина *OPNET* є засобом проектування і моделювання локальних і глобальних комп'ютерних і телекомунікаційних систем і мереж. Містить *Modeler* (моделювання й аналіз продуктивності мереж, комп'ютерних систем тощо), *ITGuru* (оцінка продуктивності комунікаційних мереж і розподілених систем);

Родина *CANE* надає можливість проектування і реінженірингу обчислювальної системи, моделювання на різних рівнях моделі *OSI/ISO*;

Родина *COMNET* є об'єктно-орієнтованою система моделювання ло-

кальних і глобальних мереж. Дозволяє моделювати рівні: додатків, транспортний, мережний, каналний. Використовує широкий набір відомих на сьогодні технологій і протоколів. Моделювання ієрархічних мереж, багатопрокольних локальних і глобальних мереж; облік алгоритмів маршрутизації;

Netmaker дозволяє проектування топології, планування й аналіз мереж широкого класу. Складається з різних модулів для розрахунку, аналізу, проектування, візуалізації, планування й аналізу результатів;

Stressmagic - підтримує стандартні тести виміру продуктивності; імітація пікового навантаження на файл-сервер і таке інше;

GPSS World є універсальною системою, універсальним середовищем моделювання різноманітних процесів і систем, зокрема, мереж Інтернет, локальних мереж і т.п. У системі *GPSS World* забезпечено візуалізацію процесу функціонування моделі. Використовуючи моделювання при проектуванні або реінжинірингу обчислювальної системи, ми можемо оцінити пропускну здатність мережі і її компонентів; визначити вузькі місця в структурі обчислювальної системи; порівняти різні варіанти організації обчислювальної системи тощо.

Таким чином маємо велике різноманіття засобів (а значить, і моделей) для дослідження КМК.

З метою класифікації множини моделей, що їх можна застосувати для дослідження КМК виконаємо таку послідовність дій:

1. Маємо множину M моделей (математичних та імітаційних) аналізу КМК. Розіб'ємо множину M на класи шляхом введення бінарного відношення R «подібний до». Критеріями (ознаками), на основі яких це відношення встановлюється, є: нормативна модель або дескриптивна; фактор часу є суттєвим або ні; змінні моделі є неперервними або дискретними, складність аналізу моделі однакова або ні; склад і структура моделей подібні тощо.

Можна бачити, що R є відношенням еквівалентності, бо одночасно має властивості:

- а). рефлексивності, тобто $\forall m \in M: mRm$;
- б). симетричності, тобто $\forall m, n \in M: (m, n) \in R \Rightarrow (n, m) \in R$;
- в). транзитивності, тобто $\forall m, n, k \in M: (mRn, nRk) \Rightarrow (m, k) \in R$.

2. Отриману в результаті першого етапу множину класів (еквівалентності) S впорядковуємо бінарним відношенням «більш складною моделлю, ніж» [14].

Тут для розв'язку задачі формування множини S можна скористатись одним з методів розпізнавання образів (див., на пр. [19]).

Як результат маємо множину S класів моделей:

- теорії множин;
- функціональні і матричні;
- теорії відношень;
- алгебраїчні;
- теорії ймовірностей;
- теорії нечітких множин;
- теорії нечітких відношень;
- теорії (детермінованих) графів;
- дерев;
- мережеві;
- типу алгебраїчних рівнянь;
- типу диференційних рівнянь;
- стохастичних графів;
- лінійного програмування;
- лінійного цілочисельного програмування;
- квадратичного програмування;
- нелінійного програмування;
- геометричного програмування;
- динамічного програмування;
- стохастичного програмування;
- теорії ігор;
- теорії черг (масового обслуговування);
- імітаційні дискретні;
- імітаційні неперервні.

Визначення відношення множини класів моделей і множини класів об'єктів моделювання

Поява нових виробників засобів аналізу КМК (математичних і імітаційних

пакетів прикладних програм) приведе до ще більшого ускладнення проблеми вибору інструментарію для дослідження КМК. Для (часткового) розв'язання даної проблеми пропонується наступне.

На множинах S і L^*E встановлюємо бінарне відношення «доцільно використовувати для моделювання об'єкту».

Для розв'язання цієї задачі пропонується використати модель розмитої (нечіткої) задачі про призначення [16, 20].

Іншим шляхом розв'язання задачі визначення найбільш придатної моделі опису КМК може бути використання інструментарію теорії ідентифікації [16].

Висновки і нерозв'язані задачі

1. Пропонується для цілей моделювання декомпонувати КМК згідно з концепцією Еталонної моделі взаємодії відкритих систем (сім рівнів з урахуванням підрівнів *MAC* і *LLC*) і етапів життєвого циклу КМК.

2. Приписані різним рівням моделі ВОС\МОС набори показників якості виконання функцій доцільно розширити показником «вартість» досягнення того чи іншого показника.

3. Множину класів моделей, що їх можна застосовувати для моделювання КМК, з огляду на зручність вибору класу для конкретного об'єкту, доцільно впорядковувати за признаком складності.

4. Постановка задачі визначення найбільш придатної моделі для опису конкретного елемента множини класів об'єкту моделювання є одним із аспектів постановки задачі ідентифікації. Можливе використання досягнень теорії ідентифікації для розв'язання задачі визначення найбільш придатної моделі опису КМК.

Невирішеною на сьогодні є задача призначення елементів множини класів моделей і об'єктів моделювання (маємо недостатню статистичну надійність результату). Планується зібрати достатньо надійну статистику для того, щоб отримати надійні результати розв'язку згаданої задачі.

Список літератури

1. *NETCON - An Integrated Tool for Planning and Configuration of Packet Switching Networks* / Juchter H., Lehnet R. // Proc. 8th Int. Conf. Comput. Commun.: New Commun. Services: Challenge Comput. Technol., Munich, Oct., 1986. – P. 741-746.
2. *Дьяконов В.П. MATLAB 6.5 SP1/7 + Simulink 5/6 в математике и моделировании*. Серия «Библиотека профессионала». – М.: СОЛОН-Пресс, 2005. – 576 с.
3. *Боев В.Д. Моделирование систем. Инструментальные средства GPSS Word: Учеб. пособие*. – С.Пб.: БХВ-Петербург, 2004. – 368 с.
4. *Створення інтегрованого комплексу програмного забезпечення та розробка керівних матеріалів по впровадженню Internet в освітніх закладах України (звіт про НДР) \ Тимошин Ю.О. та ін. УкрІНТЕІ, Київ, 1998.*
5. *Живучість и реконфигурация вычислительных систем* / А.Г.Додонов, М.Г.Кузнецова, Е.С.Горбачик. – К.: Знання, 1991. – 24 с.
6. *Зайченко Ю.П., Зайченко Е.Ю. Нахождение максимального потока и анализ показателей живучести сети при отказах // Автоматика и телемеханика, 1996. – №6. – С. 102-113.*
7. *Мартынов В.И. Распределение потоков с нечетко заданными интенсивностями в сетях коммутации каналов // Известия РАН. Теория и системы управления, 1999. – №4. – С. 101-106.*
8. *Кулаков Ю.А., Луцкий Г.М. Компьютерные сети*. – К.: Юниор, 1998. – 384 с.
9. *Зайцев С.С., Кравцунов М.И., Ротанов С.В. Сервис открытых информационно-вычислительных сетей*. – М.: Радио и связь, 1990. – 240 с.
10. *Ирвин Дж., Харль Д. Передача данных в сетях: инженерный подход: Пер. с англ.* – С.Пб.: БХВ-Петербург, 2003. – 448 с.
11. *Вишневецкий В.М., Терещенко Б.М. Моделирование беспроводных сетей с децентрализованным управлением // Автоматика и телемеханика, 1999. – №6. – С. 88-99.*
12. *Yen T.-Y., Wolf W. Performance estimation for real-time distributed embedded systems // IEEE Trans. Parallel and distributed systems, 1998. – V.9, N11. – P.1125-1136.*
13. *Будя О.П., Кондратова Л.П., Печурин С.М. Модель системної динаміки розвитку комп'ютерного інформаційного центру університетської бібліотеки // Адаптивні системи автоматичного управління, 1998. – Вип.1. – С.123-127.*
14. *Андерсон Д.А. Дискретная математика и комбинаторика: Пер. с англ.- М.: Вильямс, 2003. – 960 с.*
15. *Ларичев О.И. Теория и методы принятия решений. Изд.второе, перераб. и доп.* – М.: Логос, 2002. – 392 с.
16. *Бочарников В.П. Fuzzy-технология: Математические основы. Практика моделирования в экономике.* – С.Пб.: Наука РАН, 2001. – 328 с.
17. *Архитектура, протоколы и тестирование открытых информационных сетей. Толковый словарь. Под ред. Э.А.Якубайтиса.* – М.: Финансы и статистика, 1989. – 192 с.
18. *Введение в АСУ. Глушков В.М.* – К.: Техника, 1972. – 312 с.
19. *Зайченко Ю.П. Основы проектирования интеллектуальных систем. Навчальний посібник.* – К.: Слово, 2004. – 352 с.
20. *Зайченко Ю.П., Печурин М.К., Томашевський В.М. Узагальнена задача вибору та алгоритм її розв'язування // Автоматика. – 1975. – №2. – С.18-24.*
21. *Печурин М.К., Кондратова Л.П., Бандуренко В.О. Автоматизоване проектування надійного тех-нічного комплексу під час життєвого циклу мережі ЕОМ. // Тез. доп. конф. «Методи синтезу і планування розвитку структури крупномасштабних систем».* – Саратов, 1985.
22. *Prophesy - Specifications* <http://www.abstraction.com/ufeat.htm>
23. *OPNET Products.* <http://www.mil3.com/products/opnet-products.html>
24. *CACI Products (Compuware)* www.caciasl.com, www.compuware.com
25. *NetMagic Systems* www.netmagicinc.com
26. *ImageNet* www.imagenet-cane.com
27. *Optimal Networks (Compuware)* www.optimal.com