

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

ПОПОВСЬКА Катерина Олегівна

УДК 621.391

**МЕТОДИ ОПТИМІЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ ФРАГМЕНТАЦІЇ
КОНТЕНТУ В ПІРИНГОВИХ ФАЙЛООБМІННИХ МЕРЕЖАХ**

05.12.02 – Телекомунікаційні системи та мережі

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня

кандидата технічних наук

Харків – 2017

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Харківському національному університеті радіоелектроніки Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент
МОСКАЛЕЦЬ Микола Вадимович,
Харківський національний університет радіоелектроніки,
доцент кафедри інфокомунікаційної інженерії.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
УРИВСЬКИЙ Леонід Олександрович,
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря
Сікорського», завідувач кафедри телекомунікаційних
систем ІТС;
кандидат технічних наук,

СОКОЛ Галина Вікторівна,
Полтавський національний технічний університет імені
Юрія Кондратюка, доцент кафедри комп'ютерної
інженерії.

Захист відбудеться «27» грудня 2017 року о 13 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.052.09 в Харківському національному університеті радіоелектроніки за адресою: 61166, м. Харків, пр. Науки, 14.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Харківського національного університету радіоелектроніки за адресою: 61166, м. Харків, пр. Науки, 14.

Автореферат розісланий « 27 » листопаду 2017 року.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради



О.Б. Ткачова

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Піринговими (Peer-to-peer: P2P) називаються однорангові оверлейні мережі, призначені для обміну файлами практично будь-яких розмірів, аж до десятків гігабайт.

До P2P належать мережеві телекомунікаційні технології, що забезпечують можливість обміну мультимедійними, обчислювальними й іншими інформаційними ресурсами між декількома рівноправними користувачами, підключеними до Інтернету.

Для вирішення зазначених завдань створюється однорангове (peer-to-peer) обчислювальне середовище, яке дозволяє окремим елементам мережі взаємодіяти без допомоги серверів. Кожен користувач вносить свій вклад у вигляді файлів, дискового простору, процесорного часу.

Принцип «peer-to-peer» дозволяє створювати суттєві обчислювальні потужності, об'єднуючи безліч звичайних персональних комп'ютерів.

З появою в 1999 році протоколу обміну музичними файлами Napster і в 2001 BitTorrent, пірингові мережі набули популярності і впевнено утримують першість за обсягом трафіку, що передається мережею Інтернет. Особливе визнання отримав обмін відеофайлами і передача потокового відео. Великого комерційного успіху набули проекти Gnutella, PPLine, PPStream, I2P, JXTA та ін.

Можна виділити два основних покоління файлообмінних мереж (file-sharing). Перше покоління – це гібридні конструкції, що поєднують сервери з P2P-маршрутизацією. Друге покоління – це децентралізовані архітектури, які отримали в цей час пріоритетний розвиток. Водночас, протягом останніх років з'явилися нові напрямки анонімізованих P2P-мереж, таких як Freenet, I2P, які можуть організуватися в третє покоління.

В основі технології лежить принцип децентралізації: всі вузли в мережі P2P рівноправні, що забезпечує такі переваги технології P2P перед клієнт-серверних підходом: відмовостійкість при втраті зв'язку з декількома вузлами мережі, збільшення швидкості отримання даних за рахунок копіювання одночасно з декількох джерел, можливість поділу ресурсів без «прив'язки» до конкретних IP-адрес, величезна потужність мережі в цілому та ін. На сьогодні в Інтернеті більше половини всього трафіку припадає на трафік файлообмінних P2P-мереж, а розміри найбільших із них подолали межу в мільйон одночасно працюючих вузлів, які розподіляють петабайти інформації. Загальна кількість зареєстрованих учасників файлообмінних мереж P2P у всьому світі складає більше 100 млн.

Наразі P2P-мережі в основному використовуються не тільки для роздачі файлів, існує ще багато інших областей, де аналізована технологія теж успішно застосовується, – це телебачення й аудіотрансляції, паралельне програмування, розподілене кешування ресурсів для розвантаження серверів, розсилка повідомлень і статей, підтримка системи доменних імен, індексування розподілених ресурсів і їх пошук, резервна реплікація і створення стійких розподілених сховищ даних, обмін повідомленнями, створення систем, стійких до атак типу «відмова в обслуговуванні», поширення програмних модулів та ін. Є значна кількість клієнтських програм для обслуговування P2P-мереж як комерційних, так і з відкритим кодом. Постійно йде робота із вдосконалення протоколів і збільшення функціональності систем. Очевидно, коли клієнтське програмне забезпечення для P2P буде інтегровано з операційними системами, зросте й додаткова якість. Так, вже зараз великі компанії виявляють інтерес до P2P. Наприклад, компанія Sun розробляє протокол для доступу до основних P2P-мереж із кишенькових комп'ютерів і смартфонів, а компанія Microsoft створила свої реалізації P2P-протоколів Scribe і Pastry. З вирішенням проблеми покращення технологій пірингових мереж, з пошуком нових прикладних рішень працюють сьогодні великі колективи і відомі вчені, серед яких слід назвати В.Столлінгса, Е.Таненбаума, Н.Чепмена і др.

Нині існує безліч програм, спрямованих як на створення нових методів організації пірингових мереж, так і модернізацію вже відомих. Поряд з цим існує велика кількість важливих завдань, що вимагають уваги, серед яких: підвищення якості та достовірності наданого контенту, захист від хакерських атак, ботів, вірусів. Особливу значимість набуває задача пошуку потрібного контенту, швидке й ефективне знаходження найбільш релевантних відгуків на запити від сид-вузлів до всієї мережі. Крім цих головних йде пошук нових рішень і для суміжних завдань. Однією з найбільш проблематичних є задача фрагментації файлів, яка впливає на затримку надання послуг і з якою пов'язані втрати окремих фрагментів.

Отже, тема дисертаційної роботи є актуальною та практично важливою.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційні дослідження проводились відповідно до наступних програм та нормативно-правових документів: Закон України “Про Основні засади розвитку інформаційного суспільства в Україні на 2007-2015 роки” від 09.01.2007 р., № 537-V, Закон України “Про телекомунікації” від 18.11.2003 р., № 1280-IV, Державна науково-технічна програма «Створення перспективних телекомунікаційних

систем і технологій», планів наукової, науково-технічної діяльності Харківського національного університету радіоелектроніки. Матеріали дисертації були використані у звіті про науково-дослідну роботу № 308 “Нитка-3” номер держреєстрації 0116U0000662. Крім того, напрям досліджень пов'язаний із планами університету та кафедри телекомунікаційних систем, де виконувалась робота, а також тематикою науково-дослідних робіт цієї кафедри.

Мета досліджень: підвищення якості та достовірності надання контенту в файлообмінних P2P-мережах.

Задачами досліджень є:

1. Аналіз динамічного стану пірінгових мереж при передачі файлів.
2. Вибір найбільш перспективних технологій управління пірінговими мережами.
3. Розробка математичних моделей пірінгових мереж в режимі формування файлів.
4. Обґрунтування методів вирішення задачі оптимізації процесу фрагментації файлів.
5. Вибір методів рішення задачі мінімізації кількості відібраних фрагментів на кожному із кроків їх формування.
6. Синтез і аналіз оптимальної процедури побудови файлу при різних методах їх фрагментації.
7. Порівняльний аналіз методів оптимізації формування файлів на основі динамічного і цілочисельного лінійного програмування.

Аналіз якості функціонування алгоритмів фрагментації при різноманітних методах планування файлів в умовах різного навантаження і при різних швидкостях передачі контенту.

Об'єкт дослідження: процес обміну файлами в децентралізованих неструктурованих оверлейних мережах.

Предмет дослідження: синтез і аналіз стану фрагментації файлообмінних пірінгових мереж і методів щодо забезпечення якості надання послуг.

Методи досліджень. Для синтезу моделі фрагментації файлів була використана динамічна рекурсивна дискретно-неперервна математична модель випадкового процесу, заданого на інтервалі скачування файлів. Для вирішення задач оптимізації було використано методи теорії розкладів, а також теорії динамічного програмування. Оптимізаційні задачі вирішено за допомогою цілочислового лінійного програмування. Для аналізу продуктивності мережі були використані інтегро-диференційні моделі. Для моделі аналізу якості роботи

пiрингової мережі застосовано методи аналізу і синтезу диференційних моделей скачування і завантаження контенту. Для аналізу якості планування контенту залучено стандартні методики P2PTV Sim3, SSSim.

Наукова новизна отриманих результатів:

З використанням доступних інформаційних джерел, численних результатів інших дослідників і отриманих особисто автором аналітичних і експериментальних даних, для дисертаційних досліджень обрано технологію відбору і доставки фрагментів через Інтернет на базі децентралізованих неструктурованих пірингових P2P-мереж, що володіють більшою масштабованістю і надійністю щодо клієнт-серверних структур в умовах динамічних навантажень. З аналізу стану цих мереж отримані наступні результати, які представлені в дисертаційній роботі:

1. Вперше для процесів фрагментації скачуваних файлів запропонована динамічна дискретно-неперервна модель, що дозволяє враховувати суттєві відмінності в динаміці оверлею, положенні фрагментів, в умовах їх доставки, викликаних незалежним характером сид-роздавальних пірів. З використанням даної моделі вирішена задача оптимізації процедури пошуку і відбору кращих із запропонованих фрагментів.

2. Вперше на основі розробленої методики розподілу ресурсів пірингової мережі проведено аналіз продуктивності відомих алгоритмів реплікації файлів і показано, що кількість кроків пошуку потрібного ресурсу безпосередньо залежить від співвідношення загального числа вузлів і загального для мережі обсягу пам'яті для зберігання файлів. За результатами досліджень, більш якісним, порівняно з уніфікованим і пропорційним, виявився алгоритм реплікації квадратного кореня.

3. Вперше розроблено динамічну модель оцінки якості пірингової мережі і методику аналізу умов функціонування при різній стратегії завантаження пірів у вигляді нормованого співвідношення швидкостей зкачування (download) і завантаження (upload) контенту. Показано, що в стаціонарних умовах показник якості зростає пропорційно числу активних пірів. Водночас, в умовах інтенсивної динаміки, при масовому підключенні нових пірів, монотонність зростання якості мережі погіршується, що вимагає застосування обмежувальних заходів. Активним пірам рекомендується підтримувати щедрю альтруїстичну стратегію, що виражається в підтримці високого темпу пропозицій на завантаження.

4. Вперше з використанням запропонованої дискретно-неперервної моделі методом динамічного програмування поставлена і вирішена задача оптимізації процесу фрагментації скачуваних файлів по критерію мінімуму втрат, пов'язаних

з упорядкуванням фрагментів та їх затримкою та обмеженим передуванням, що забезпечило скорочення часу на формування і доставку файлів.

5. Вперше з урахуванням медіаданих щодо алгоритмів кодування і структури відеокадрів (медіаобізнаності мережі) з використанням методів теорії розкладів отримано рішення задачі фрагментації, яке зводиться до задачі цілочисельного лінійного програмування і показано, що при використанні критерію мінімуму середньозваженого часу скачування для заданих файлів вдається отримати більш якісний результат в порівнянні з загальним рішенням на основі динамічного програмування.

6. З використанням стандартних методик P2PTV SIM3 і SSSIM проведено аналіз якості відео з урахуванням особливостей планування контенту за схемою LUC / RUC (останній корисний фрагмент; випадковий корисний пір). Аналіз втрат фрагментів показав, що ці втрати зростають зі збільшенням бітрейту [Мб/с] і при менших затримках. Дослідження якості відтворення за критеріями пікового відношення сигнал/шум PSNR, середньоквадратичної похибки MSE й індексу структурної подібності SSIM дозволяють вибрати і вдосконалити відповідний режим стану мережі. Показано, що при плануванні з урахуванням особливостей відеоструктури (медіа-обізнаності мережі) якість відтворення значно поліпшується.

Практична значимість роботи полягає в тому, що:

Завдяки запропонованим методам фрагментації вдається в три рази скоротити сам процес фрагментації.

Використання запропонованих методів оптимізації формування файлів у пірингових мережах дозволяє підвищити якість послуг, що надаються шляхом упорядкування процесу завантаження фрагментів. За рахунок скорочення в 2,2 рази дисперсії часу цих формувань, скорочується кількість втрачених файлів, що підвищує оперативність доступу. Надається кількісна оцінка введеного показника якості роботи мережі в нестаціонарних умовах функціонування. Вводиться показник “егоїзму” або “альтруїзму” активного піра, який впливає на ефективність роботи мережі. Доведено, що планування файлообмінних процесів доцільно проводити з урахуванням медіаструктур, що призводить до зменшення втрат фрагментів.

Наукове значення: запропоновані в дисертації моделі та методи процесу фрагментації забезпечують підвищення якості при наданні послуг в пірингових мережах P2P при скачуванні файлів. Результати наукових досліджень можуть бути рекомендовані для вдосконалення технології передачі відеоконтенту в мережі

Інтернет. До того ж ці рекомендації можуть бути поширені й на інші децентралізовані мережі, які інтенсивно поширюються, зокрема на мережу електронних розрахунків bitcoin. Матеріали дисертаційної роботи використані в навчальному процесі на кафедрі інфокомунікаційної інженерії ХНУРЕ в курсі “Основи телебачення та радіомовлення”, а також результати представлені в навчальному посібнику “Методи наукових досліджень в телекомунікаціях”, Том 1, Харків, Компанія Сміт, 2013 р., розділ 10.7 при аналізі вибору методів планування, для мінімізації втрат фрагментів.

Особистий внесок здобувача. Усі основні наукові результати представлені в дисертаційній роботі й отримані автором самостійно. Зокрема, в роботі [7] запропоновано і проаналізовано ряд функціональних математичних моделей пірингових мереж, у статті [8] розроблено два види математичних моделей пірингових мереж. Перша модель може бути використана при плануванні мережі. Друга модель відображає динамічні властивості пірингової мережі й може бути використана для відображення і організації контролю завантаження і перерозподілу ресурсів мережі. У статті [9] проаналізовані можливі варіанти топології і математичні моделі пірингових мереж. У статті [16] запропоновано комплексний критерій оптимальності процесу фрагментації відеофайлів. У статті [17] автором розроблено та досліджено функціональну модель управління в піринговій мережі. У статті [18] запропоновано метод оптимізації фрагментації TV-контенту за допомогою динамічного програмування.

Апробація. Основні результати дисертації представлені та схвалені на: XVIII Міжнародному молодіжному форумі «Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке», 2014; Modern problems of radio engineering, telecommunications and computer science, Proceedings of the XII th International Conference TCSET' 2014, February 25 - March 1, Slavske; 10-й Міжнародній молодіжній науково-технічній конференції РТ-2014 «Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций», Севастополь, 12-17 мая 2014; 3-й Міжнародній науковій конференції «Інформація, комунікації, суспільство 2014», 21-24 травня, Славське; IV Міжнародній науково-практичній конференції “Фундаментальные и прикладные науки сегодня”, 20-21 октября 2014 г., North Charleston, USA; 2014 First International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications Science and Technology (PIC S&T'2014), october 14-17,2014, Kharkiv, Ukraine.

Публікації. Основні положення і результати дисертаційної роботи опубліковано у 21 науковій праці: 3 статті у закордонних фахових журналах [6, 7, 9], 11 статей у фахових науково-технічних журналах та збірках наукових праць [1-

11]. Апробація результатів дисертації проходила в ході 10 доповідей на міжнародних науково-технічних конференціях [12-21], з них апробації на конференціях [14-16, 18, 20, 21], які проходили під егідою IEEE та індексуються в міжнародних наукометричних базах Scopus та IEEE Xplore Digital Library.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел, що включає 111 найменувань, і двох додатків. Текст дисертації викладено на 164 сторінках, включає 41 рисунок і 7 таблиць. У додатку №1 міститься математична постановка задачі цілочисельного лінійного програмування. У додатку №2 наведено текст програми для пакета Matlab, за допомогою якого вирішена задача цілочисельного лінійного програмування.

ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету і завдання дослідження, вказано методи дослідження, наведено відомості про основні результати роботи, їх практичну цінність, впровадження та апробацію.

У **першому розділі** доведено, що на відміну від інших оверлейних мереж, що підтримують клієнт-серверну архітектуру, в пірінгових мережах лежить принцип рівноправності, тобто вимога не тільки завантажувати файли, але й обов'язково ділитися з іншими пірами. На відміну від відомих мереж доставки контенту з використанням мережевої інфраструктури CDN, технологія інтернет-пірінгу не спирається на цю архітектуру. Крім того, мережі доставки контенту CDN, OTT, IPTV забезпечують доставку статичного контенту, в той час як мережі P2P забезпечують доставку динамічного потокового відео. На рис. 1 представлені приклади розподілу контенту сучасних мультимедійних технологій. Незважаючи на широку популярність файлообмінних пірінгових мереж, в даний час залишається недослідженим цілий ряд алгоритмів, структур і технологій, що використовуються в цих мережах. До числа найбільш значущих, від яких залежить успішний обмін інформаційними файлами, є ряд завдань управління розподілом пірів та відповідного контенту управління скачуваними файлами і фрагментами.

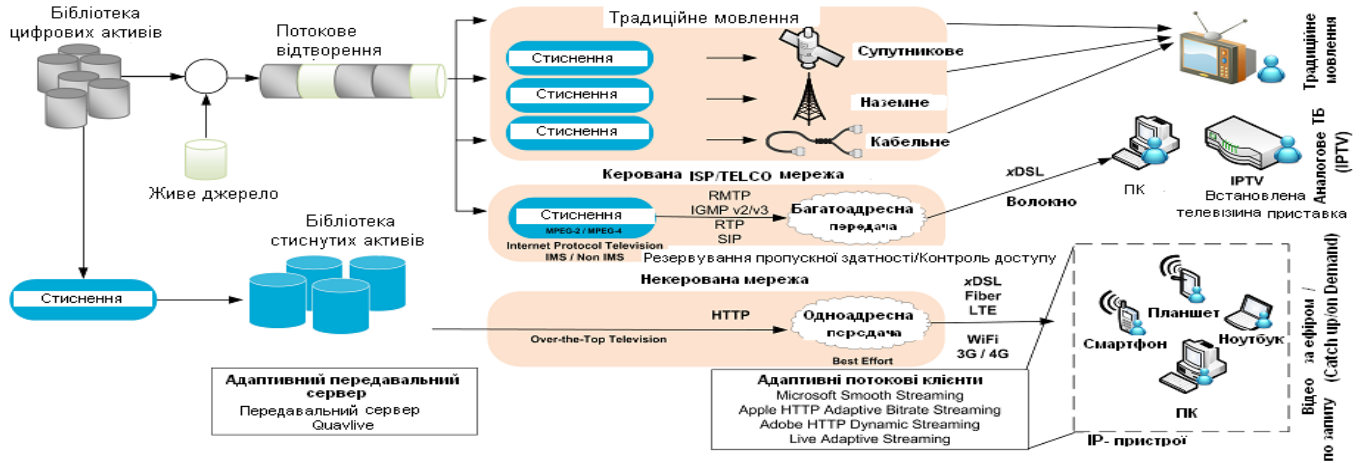


Рис. 1. Схема розподілу контенту

У другому розділі проаналізовано основні властивості P2P мережі, її типову структуру (рис. 2) та основні елементи архітектури: модуль планувальника, модуль оверлею, контрольний модуль (рис. 3).

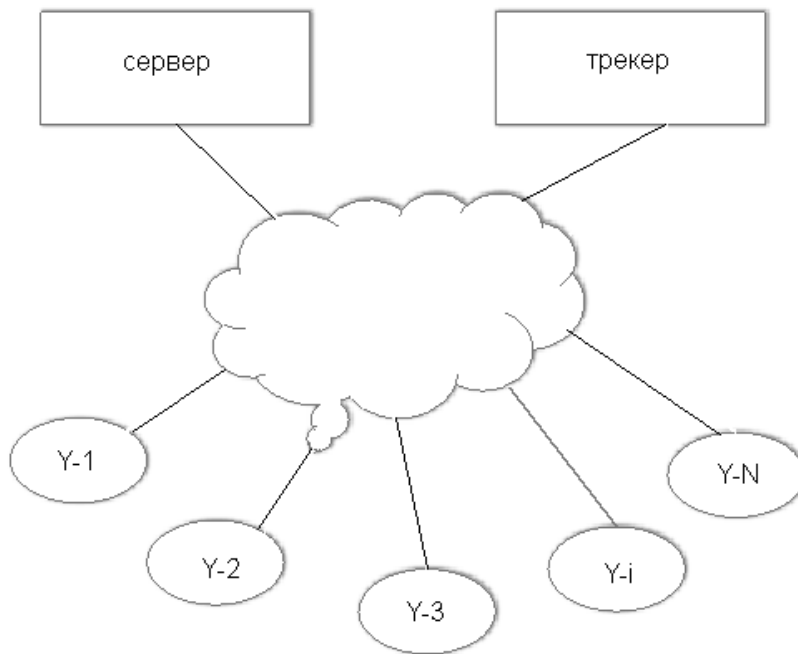


Рис. 2. Типова модель телевізійної P2P мережі

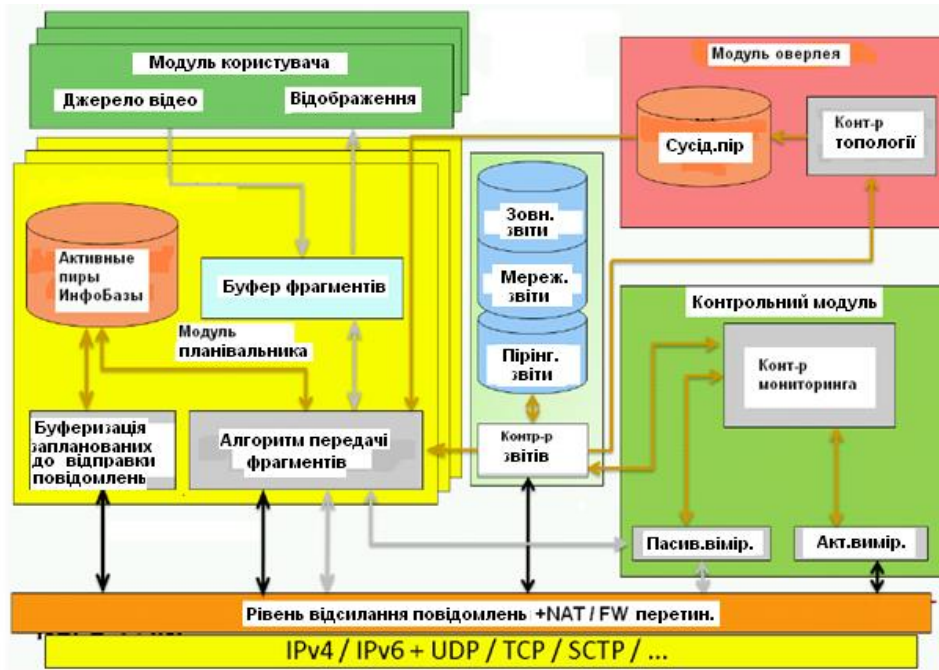


Рис. 3. Діаграма узагальненої архітектури програмного забезпечення пірів

Модуль планувальника є ядром додатка P2P. Він відповідає за прийом і відправку фрагментів з/в інші піри через мережу, і з/в місцеві "модулі користувачів". Від упорядкування моделі планувальника безпосередньо залежить якість надання послуг. Модуль користувача є основою, на якій розміщується алгоритм планування фрагмента. Він визначає, коли починати передачу фрагмента в/з іншого піру. Підставою для цього рішення є інформація про наявність фрагментів у інших учасників, яка зберігається в активній базі даних пірів. Ця інформація оновлюється за допомогою повідомлень карти буфера, яка надсилається на розсуд відповідного планувальника. Завданням модуля оверлею є виявлення нових пірів та встановлення зв'язку з ними, а також передача інформації про них іншим пірам. Контрольний модуль призначений для збору інформації. Він має два основні режими роботи: контроль пасивних вимірювань спостережуваних повідомлень, якими обмінюються два піри, наприклад, для обміну відеофрагментами або сигнальною інформацією, і режим активних вимірювань: контроль спеціально сформованих повідомлень для зондування, які відправляються іншим пірам на розсуд модуля. Рівень передачі повідомлень використовує протоколи сімейства TCP/IP і відповідних точок доступу послуги, пропонувані операційною системою, а також розширює їх функціональність. На основі аналізу визначаються напрямки дисертаційних досліджень.

Третій розділ присвячено розробці математичних моделей фрагментації пірингових мереж і аналізу їх станів. Процес формування файлу являє собою послідовність неперервних ділянок, що заповнюють простір між k і $k+1$ -сусідніми межами фрагментів (рис. 4).

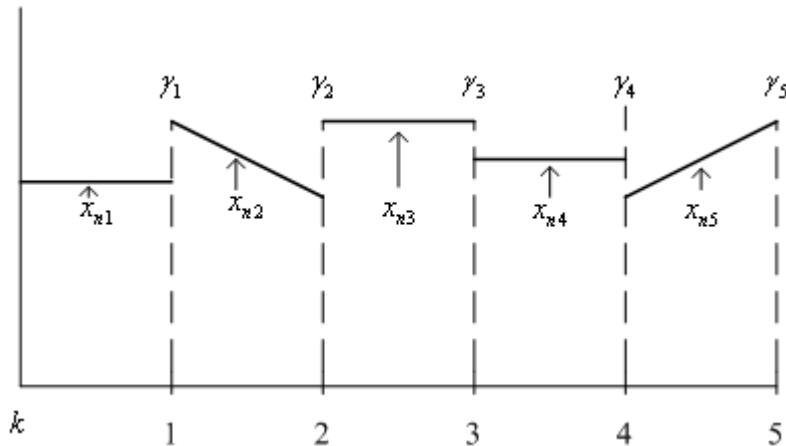


Рис. 4. Приклад реалізації дискретно-неперервного процесу, що складається з 5 фрагментів

Модель такого дискретно-неперервного процесу має вигляд управляемого різницевого рівняння стану: $x(k+1) = f(k, x(k), u(k))$, де $k \in k = 1, 2, \dots, k$ – крок фрагментації.

Управління цим процесом $x_n^o(k)$ слід розглядати у вигляді двох окремих функцій:

$u_o(k)$ – управління дискретністю фрагментів,

$u_n(t)$ – управління неперервним потоком даних самого TV-контенту.

Даний гібридний процес $x(k+1)$ є виродженим, оскільки на стику фрагментів мають місце розриви. Таким чином, управління послідовністю фрагментів представляємо у вигляді дискретного процесу, а передачу даних зображення як кусково-гладкий процес. Даний клас задач вирішується за допомогою теорії розкладів. Відоме загальне рішення, котре може бути отримане методом узагальнених множників Лагранжа. В силу громіздкості рішення використовувати недоцільно. В якості робочої моделі запропоновано використовувати модель багатоагентних мереж, кінцево-різницевий варіант якого має вигляд:

$$x_i(k+1) = x_i(k) - \varepsilon \sum_{j=1}^n \alpha_{ij} (x_j(k) - x_i(k)) + Bu(k), \quad (1)$$

де k – крок дискретизації, номер чергового скачуваного кадру або фрагмента;
 $\varepsilon > 0$ – крокова постійна різницевої схеми, що обирається планувальником і визначає швидкість збіжності процедури;

$u(k) = K(x_j(k) - x_i(k))$ – управляючий вплив, лінійно залежний від стану j -го піру, з урахуванням затримки, пропускнуої спроможності та ін.

З використанням даної моделі вирішено завдання відбору найбільш придатних фрагментів з m - запропонованих. Математично це виражається тим, що в якості моделі спостереження прийнято випадковий процес авторегресії зі стрибкоподібно змінюваними параметрами, які вибирають в кожен момент часу одне з m відомих значень $\varphi_0^k, \dots, \varphi_n^k, b^k$, де $k = 1, \dots, n$. Процес зміни параметрів авторегресії відповідний змінам станів джерела кривих управляється однорідним марківським процесом h_t , який має m станів і які безпосередньо не спостерігаються, з матрицею перехідних ймовірностей $P = \{p_{l,k}\}; l, k = 1, \dots, m$. Видима структурна крива має таким чином наступний вигляд:

$$x_t = \varphi_0(h_t) + \sum_{i=1}^m \varphi_i(h_t) x_{t-i} + b(h_t) \xi_t, \quad (2)$$

де ξ_t – вибірка з гаусового білого шуму, $b(h_t)$ – рівень шуму,

$H_{iN} = h_1, h_2, \dots, h_N$ – стани послідовностей, запропонованих для скачування відповідних фрагментів.

$p(h_t / h_{t-1}) = q(h_{t-1}, h_t)$ – умовна ймовірність переходу зі стану h_{t-1} в стан h_t , елементи матриці переходів $Q = \{q(h_{t-1}, h_t)\}$.

В результаті оптимізації, знаходиться оцінка станів для матриці фрагментів $\hat{H}_{iN} = \hat{h}_1, \hat{h}_2, \dots, \hat{h}_N$. Завдання полягає у виборі вектора \hat{h}_i на кожному з i – кроків, і відборі найбільш доцільних за якістю запропонованих m – фрагментів. З

урахуванням критерію $Y(H_0^N) = d_0(h_0) + \sum_{t=1}^n [\alpha_t(h_t) + \alpha_t(h_{t-1}, h_t)]$ і в припущенні

гаусового розподілу коефіцієнтів авторегресії знаходиться рішення процедури оптимальної фрагментації з виділенням m - кращих фрагментів. Очевидно, зі збільшенням кількості m запропонованих фрагментів зростає можливість відбору кращого фрагмента, одночасно з цим посилюється навантаження на мережу в m разів. У зв'язку з цим доцільно мінімізувати їх кількість і здійснювати вибір не з m - запропонованих фрагментів, а з двох, що дозволить скоротити навантаження на мережу і забезпечить вигреш на 17-20 дБ порівняно з одиничним вибором.

Далі проводиться аналіз динаміки пірингової мережі. Очевидно, що об'єм пам'яті на поточний момент складає суму r_i активних пірів, у яких є запрошені фрагменти $R = \sum_{i=1}^m r_i$, де m – кількість запропонованих файлів. Середня кількість спроб при пошуку потрібних файлів визначається стандартною формулою :

$$N = \sum_{i=1}^m P_i N_i = n \sum_{i=1}^m \frac{P_i}{r_i}. \quad (3)$$

Визначено середній розмір пошуку, який залежить від алгоритму реплікації. На рис. 5 представлено графіки уніфікованого і пропорційного алгоритмів (1-1) і алгоритм квадратного кореня (2-2).

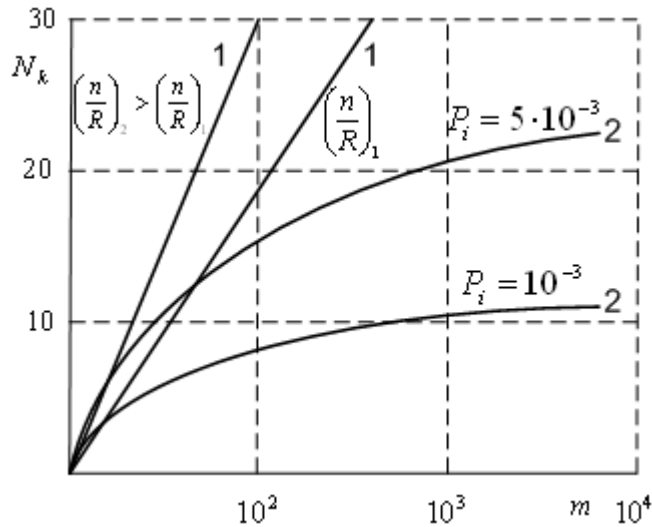


Рис. 5. Графік середнього розміру пошуку залежно від числа заявлених файлів. 1-1 Уніфікований і пропорційний алгоритми, 2-2 алгоритм квадратного кореня

Аналіз показника якості мережі в умовах середнього стаціонарного і лавинного навантаження. Якість роботи пірингової мережі визначається показником:

$$Q(t) = \frac{1}{N(t)} \int_0^{N(t)} S_i(t) t_1 v dv, \quad \text{де } S(t) = V_u(t) / V_d(t) \text{ – співвідношення швидкостей}$$

завантаження і скачування файлів. У результаті диференціювання показника якості одержано вираз:

$$\frac{dQ(t)}{dt} = -\frac{N'(t)}{N(t)} Q(t) + \frac{1}{N(t)} \int_0^{N(t)} \frac{\partial S(t, v)}{\partial t} dv + \frac{N'(t)}{N(t)} S(t, N(t)). \quad (4)$$

При дослідженні на максимум побудовано графік, де верхня крива відповідає випадку стаціонарного режиму. В цьому режимі якість мережі росте з ростом кількості активних пірів. З урахуванням росту навантаження: $Q(t) = \frac{Q(t_0)N(t_0)}{N(t)}$

побудовані графіки (рис.6). При лавинному рості навантаження, що буває в періоди початку масових заходів, спортивних демонстрацій та ін. крива Q різко знижується (рис. 6).

Це зниження надалі в міру набуття контенту для завантаження вирівнюється і якість відтворюється. На практиці при перевантаженнях провайдери вдаються до обмеження різкого зростання запитів.

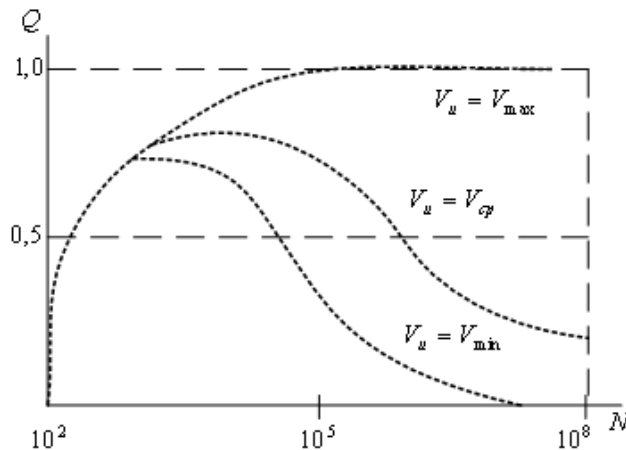


Рис. 6. Графік залежності показника якості в умовах дефіциту динаміки завантаження і при лавинному попиті на контент

Четвертий розділ присвячений вирішенню задачі оптимізації процедури фрагментації файлів.

Процес доставки послідовності фрагментів споживачеві розглядається як компонент загального процесу. Він лежить в основі функціонування мережі P2P-TV і являє собою дискретну модель управління, стан якої визначено на кожному з k - кроків.

Процес оптимізації значно спрощується, якщо розглядати суто дискретну модель управління. Управління $U_d(t)$ - забезпечує процес фрагментації: вибір довжини фрагментів, відповідне їх упорядкування та коректне «зшивання», що дозволяє споживачеві спостерігати неперервне гладке зображення. Таким чином, потік фрагментів слід розглядати як незалежний у сукупності потік. Сам потік

являє собою управляючий випадковий потік обслуговування, а не суто випадковий, що виключає можливість використання теорії масового обслуговування. Управління фрагментами знаходиться у вигляді функції від усіх моментів надходження i - їх фрагментів. В якості критерію оптимальності використано функціонал:

$$\Phi(U) = \sum_{i=1}^n (m\{\delta_i^0(\varphi_i, U)\} + cm\{\delta_i^{\Pi}(\varphi_i, U)\}), \quad (5)$$

де $\delta_i^0(\varphi_i, U)$ – втрати, пов'язані з тим, що i - й фрагмент надійшов раніше, ніж завершилося зчитування j - го фрагмента;

$\delta_i^{\Pi}(\varphi_i, U)$ – втрати при затримці надходження i - го фрагмента, якщо зчитувач простояє.

У результаті знайдено функцію розподілу часу обслуговування i - го фрагмента:

$$\Phi_k(t) = P(\theta_k < 1), \quad (6)$$

Знаходиться функція розподілу кінця обслуговування i - го фрагмента:

$$F_k(t) = \int_{-\infty}^{\infty} F_k^H(t - \tau) d\Phi_k(t). \quad (7)$$

За допомогою мінімізації сумарного часу втрат обслуговування на i - му кроці знаходиться функція втрат:

$$f_k(t_k, F_{k-1}(t)) = m\{t_{k-1}\} - t_k + c \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^t F_{k-1}(\tau) d\tau F_k^0(t). \quad (8)$$

Ця функція втрат на кожному k - му кроці дозволяє використовувати метод динамічного програмування.

Розглянуто приклади розв'язання задач динамічного програмування при спрощенні рівняння (8) в вид (9).

$$f_n(s) = \min[c_{sj} + f_{n-1}(j)], \quad n = \overline{1, k}, \quad (9)$$

де k – кількість етапів на шляху з початкової вершини в кінцеву;

c_{sj} – вартість по дузі (S, j) ;

$f_n(s)$ – функція, яка підлягає мінімізації, що відповідає стратегії мінімальних витрат на шляху з пункту S , якщо до кінцевого пункту залишилося n етапів;

$j_n(s)$ – рішення, що дозволяє досягти $f_n(s)$;

f – значення цільової функції;

S – значення залежить від стану системи, індекс n вказує, скільки етапів залишається до кінця шляху.

У припущенні про чисельні значення розмірів фрагментів, що визначаються матрицею тривалостей, отримуємо оптимальну послідовність скачування файлів для 3-х фрагментів у вигляді діаграми Гантта (рис. 7).

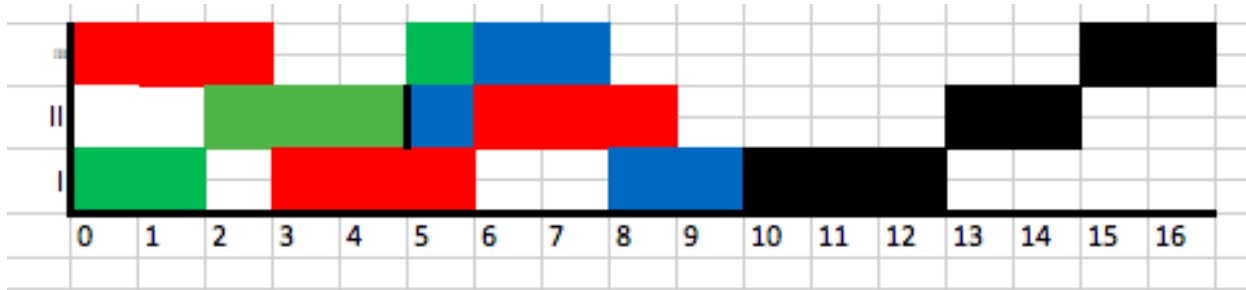


Рис. 7. Оптимальна послідовність скачуваних фрагментів 4 файлів, отриманих методом динамічного програмування

Таким чином, процедура динамічного програмування дозволяє впорядковувати послідовність зчитування фрагментів, що забезпечує гладкість програвання.

П'ятий розділ присвячений вирішенню задачі оптимізації послідовності зчитування і планування фрагментів, представлених конкретним файлом. Дану задачу вдалося звести до задачі цілочисельного лінійного програмування.

Важливим обмеженням, що зустрічається в процесі функціонування пірингових мереж, є наявність переривань, викликаних технологічними причинами при обслуговуванні в умовах великого навантаження, або за рахунок впливів більш пріоритетних обслуговувань.

Розглянуто приклад оптимізації середнього зваженого часу початку обслуговування: в мережі P2P знаходиться m пірів і один користувач, який запитує n фрагментів для скачування з даних пірів. Тривалість обслуговування мережею кожного фрагмента відома. Необхідно забезпечити порядок скачування файлів з мінімізацією середньозваженого часу обслуговування.

Задача цілочисельного лінійного програмування включає формулювання цільової функції.

Мінімізувати цільову функцію:

$$F(X) = W^T \cdot X \rightarrow \min \quad (10)$$

при наступних обмеженнях:

$$(M + t_{jk}) \cdot Y_{ijk} + (t_{ik} - t_{jk}) \geq t_{jk}, \quad (11)$$

$$(M + t_{ik}) \cdot (1 - Y_{ijk}) + (t_{jk} - t_{ik}) \geq t_{ik}, \quad (12)$$

$$\sum_k r_{ijk} (t_{ik} + t_{jk}) \leq \sum_k r_i (j+1) k_{-ik}^t. \quad (13)$$

З використанням пакета MatLAB для задачі скачування 4-х фрагментів отримано оптимальне рішення, представлене на рис. 8 діаграмою Гантта у вигляді послідовності фрагментів, об'єднаних у файл. З діаграми випливає, що сформований файл являє собою щільну множину, де перестановки визначені наявністю явища передування.

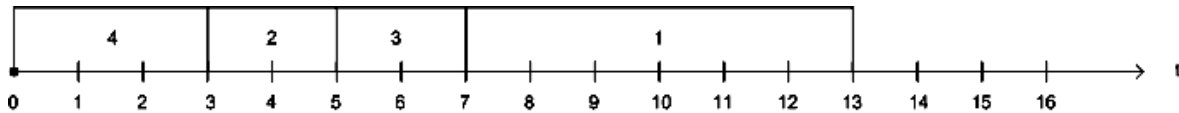


Рис. 8. Оптимальна послідовність зчитування фрагментів

Розглянуто також задачу при $m = 3$ і $n = 4$.

Матриця $\{r_{ijk}\}$ розподілу програм по пірах представлена у вигляді табл. 1. В якості тривалості виконання зчитування виберемо випадкові числа від 1 до 10. Матриця тривалостей $\{t_{ik}\}$ представлена в табл. 2.

Таблиця 1

Матриця розподілу програм по пірах

i \ j	1			2			3		
k	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	1	0	0	0	1	0	0	0	1
2	0	0	1	1	0	0	0	1	0
3	0	1	0	0	0	1	1	0	0
4	1	0	0	0	1	0	0	0	1

Таблиця 2

Матриця тривалостей

i \ k	1	2	3
1	2	3	1
2	3	3	3
3	2	1	2
4	3	2	2

З використанням пакета MatLAB отримано оптимальне рішення, яке представлено за допомогою діаграми Гантта на рис. 9.

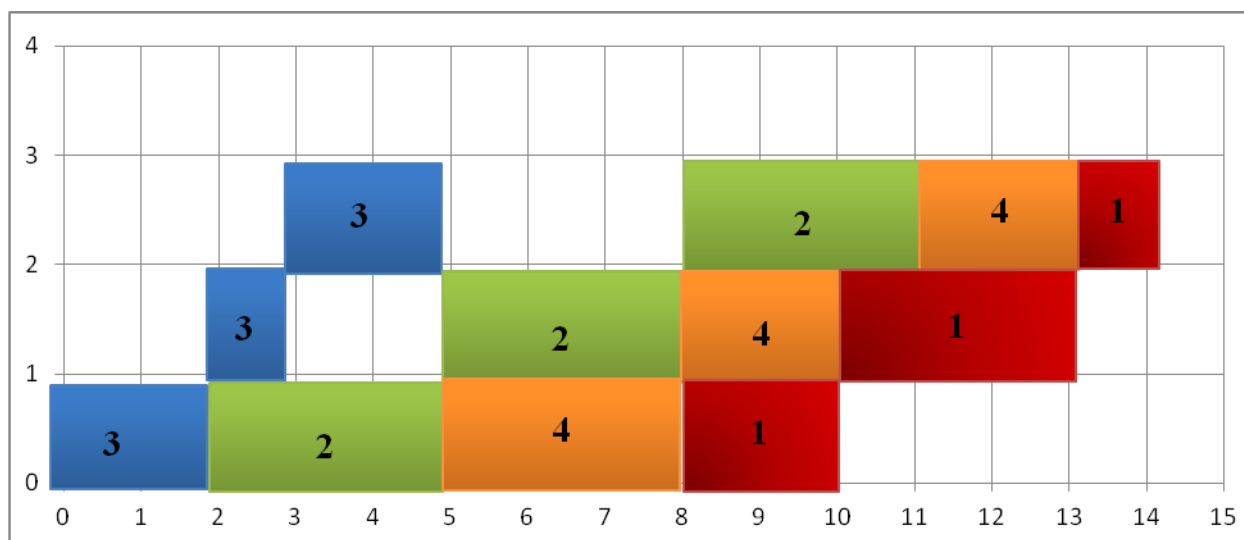


Рис. 9. Оптимальна послідовність зчитування фрагментів 4-х файлів отриманих методом ЦЛП

Як показав аналіз результатів рішення задачі двома методами, представленими в 4, 5 розділах, загальний час скачування чотирьох файлів із трьох пірів відрізняється несуттєво (два часові інтервали). Слід зауважити, що рішення задачі методом цілочисельного лінійного програмування відрізняється більшою складністю на підготовчому етапі, крім того, при більшій кількості змінних, рішення даним методом є більш трудомістким. При використанні методу динамічного програмування складність представляє безпосередньо програмна реалізація, тому вибір методу є неоднозначним і визначається для кожного конкретного завдання. Для оцінки ефективності запропонованої моделі оптимізації процесу фрагментації був проведений машинний експеримент і одержана вибірка об'ємом $N = 1000$ незалежних розрахунків часу зчитування (рис. 10). Для порівняння, на рис. 11 даються відповідні дані без оптимізації. Порівняння дає підстави стверджувати, що при оптимізації забезпечується скорочення часу зчитування в 3 рази, дисперсія при цьому скорочується в 2,2 рази. Це дозволяє підвищити оперативність Р2Р мережі й скоротити кількість втрачених файлів.

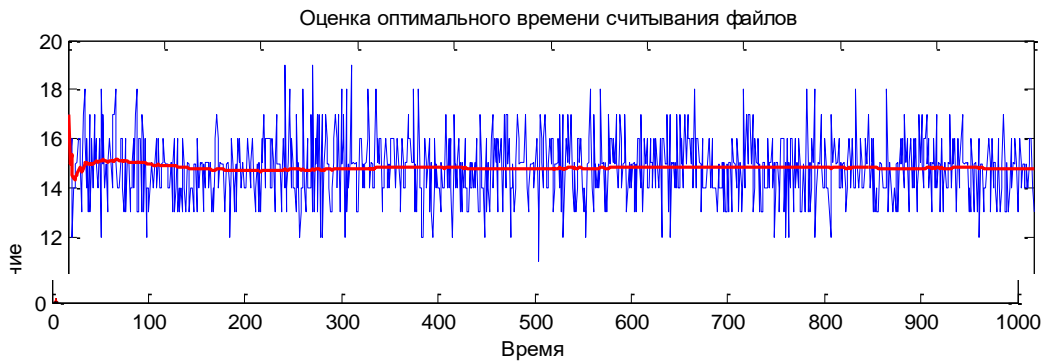


Рис. 10. Оцінка оптимального часу зчитування файлів

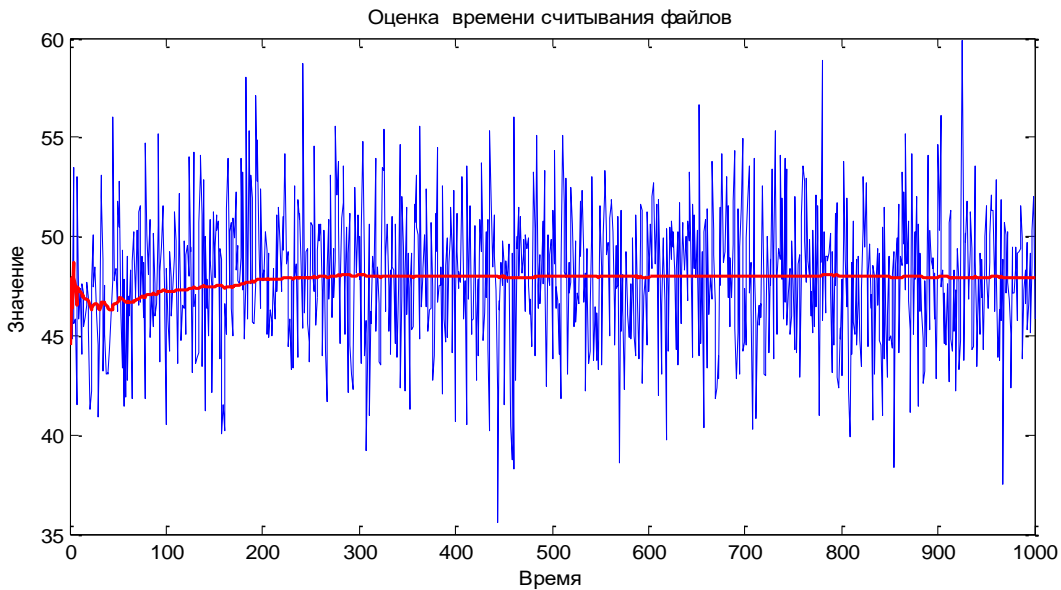


Рис. 11. Оцінка часу зчитування файлів без оптимізації

Шостий розділ присвячено задачі аналізу якості відтворення контенту при різних обмеженнях.

У проаналізованих неструктурованих мережах P2P продуктивність залежить від алгоритму вибору піру, визначеного для завантаження обраного файлу, що класифікуються як Pull і Push залежно від того відправник чи одержувач робить вибір про відправку файлу. Якість відтворення залежить також від числа втрачених фрагментів і затримок відтворення. На рис. 12 показані результати аналізу втрати фрагментів як функція бітрейта і затримки відтворення. Використовується методика SSSim. На рис. 13 показані значення піковий сигнал / шум від швидкості передачі.

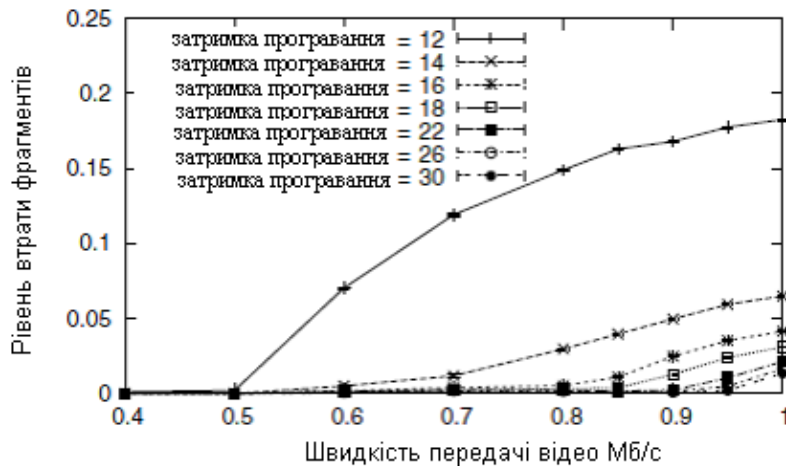


Рис. 12. Рівень втрати фрагментів як функція бітрейта відео і затримки відтворення

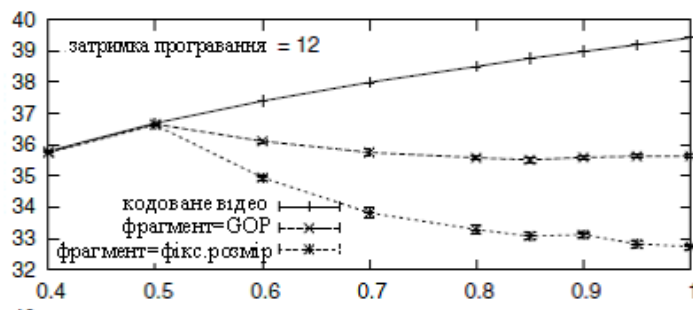


Рис. 13. PSNR [дБ] при фрагментації з урахуванням медіаструктури і без як функція швидкості кодування відео при різних затримках відтворення

На рис. 13 показано PSNR при заданій цільовій затримці відтворення, залежно від бітрейту медіаданих і застосованої схеми фрагментації. Всі графіки показують якість (PSNR) без втрати фрагмента (якість кодованого потоку в джерелі, яке є функцією датчика і служить тільки для довідки); якість, досягнуту за наявності фрагментів з GOP розміром (фрагментація з урахуванням структури медіа); і якість, досягнуту без урахування структури медіа. Це дозволяє зрозуміти вплив співвідношення втрат на якість відео.

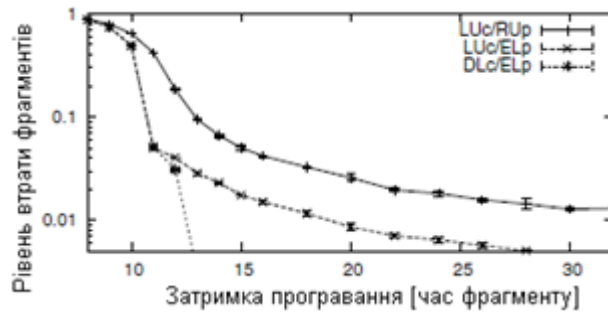


Рис. 14. Рівень втрати фрагментів із різними планувальниками і фрагментами з GOP розмірами як функція затримки відтворення

На рис. 14 представлені результати планування фрагментів і пірів, що позначається на якості відео. Показана швидкість втрати фрагментів, отриманих із різних планувальників (а саме LUC / RUP, LUC / ELP і DLC / ELP6).

У додатку № 1 розглядається математична постановка задачі лінійного цілочисельного програмування.

У додатку № 2 наводиться текст програми для пакета Matlab, за допомогою якого вирішена задача лінійного цілочисельного програмування.

ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

1. Пірингові файлообмінні мережі є оверлейними мережами з передачею контенту через Інтернет. Область застосування мереж: паралельне програмування, кешування даних, резервне копіювання даних. Завдяки високій живучості, відмовостійкості, масштабованості пірингові мережі є перспективним напрямком розвитку, і знаходять застосування в системах управління виробництвом, надання послуг споживачам, зокрема при передачі відеоконтенту, в системах Bitcoin.

2. Якість надання послуг по доставці заявлених файлів залежить від великої кількості чинників, що супроводжують цей процес. Серед множини задач, які необхідно вирішувати при наданні послуг по доставці заявлених файлів, центральною є задача фрагментації, що в загальному вигляді представляє собою процедуру упорядкування розкладу фрагментів з інтервальною тривалістю обслуговування. В якості математичної моделі процесу фрагментації використано дискретно-неперервну модель з управлінням на кожному кроці і з обмеженням передування.

3. Проведено аналіз якості функціонування пірингової мережі при різній її динаміці. Показано, що якість пірингової мережі зростає зі збільшенням числа

активних її учасників. Водночас при різкому збільшенні кількості учасників може спостерігатися зниження якості, що пов'язано з відсутністю контенту для завантаження у щойно підключених пірів.

4. Розроблено методику аналізу стану контенту на вузлах P2P мережі. Доведено, що успішне отримання заданої послуги залежить від того, наскільки швидко і якісно вдається виявити необхідний контент, що знаходиться в пам'яті пірів даної мережі. Реплікація контенту визначається наявністю достатньої кількості копій у мережі й пам'яті для зберігання контенту. Отримано залежність середнього числа заявок від числа заявлених файлів. Середнє число успішно виконаних заявок пропорційне числу заявлених файлів. Водночас при використанні алгоритму реплікації квадратного кореня ця залежність нелінійна, що робить її більш привабливою в умовах значних навантажень.

5. Розглянуто методи оптимізації процесу завантаження файлів, де оптимізації підлягає відбір кращого фрагмента серед наданих на кожному кроці дискретизації і вирішено задачу оптимізації процесів упорядкування фрагментів самого файлу для запису його в буфер з метою гладкого відтворення без затримки. Сформульовано рекомендації щодо вибору на кожному кроці двох з m - представлених фрагментів, що на 17-20 дБ покращує якість рішення в порівнянні з одиничним вибором.

6. З використанням методу динамічного програмування вирішено задачу оптимальної фрагментації скачуваного файла з використанням дискретно-неперервної моделі при відповідному управлінні дискретністю процесу, що забезпечує впорядковане відтворення фрагментів при узгодженні черговості їх надходження. В ході аналізу встановлено, що при оптимізації в 3 рази скорочується час скачування, а вибіркова дисперсія при цьому зменшується в 2,2 рази. Це забезпечує більшу оперативність надання послуг і мінімізацію втрат фрагментів.

7. З урахуванням медіаструктури відеоконтенту на основі цілочисельного лінійного програмування одержано рішення задачі фрагментації для різних відрізків часу обслуговування. Аналіз результатів показав, що за даних умов вдається дещо скоротити час на формування файлу на 10-15%.

8. Проведено аналіз якості надання послуг відео з урахуванням особливостей планування контенту. Представлені результати дозволяють зробити висновок, що фрагментація з урахуванням медіа-структури забезпечує значно вищу якість (PSNR і SSIM), ніж фрагментація без такого урахування. Аналіз кількості втрат фрагментів збільшується з бітрейтом, а одночасно з цим система розподілу не

може завжди впоратися зі збільшенням обсягу трафіку, одночасно підтримуючи обмеження затримки відтворення.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Теплицкая С.Н. Анализ качества оценки случайных величин / С.Н. Теплицкая, Е.О. Поповская, Я.Т. Хусейн // Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.- техн. сб. – 2010. – Вып. 163. – С. 204-208.
2. Saburova S.A. Prospects for service platform pre – IMS / S.A. Saburova, E.V. Bondar, E.O. Popovskaya // Радиотехника: Всеукр. межвед. науч. - техн. сб. – 2010.– Вып. 163. – С.13 -19.
3. Мельникова Л.И. Управление перегрузкой сетевых ресурсов с использованием процедуры Калмана-Бьюси / Л.И. Мельникова, С.Н. Горяева, Е.О. Поповская // Радиотехника: Всеукр. межвед. науч. - техн. сб. – 2009. – Вып. 159. – С. 35-41.
4. Поповская Е.О. Анализ качества двумерного рекурсивного фильтра / Е.О. Поповская, Б.С. Тур, Я.Т. Хуссейн // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – Том 1. – № 9(55). – С. 26-28.
5. Saburova S.A. Development of services in the IP multimedia subsystem / S.A. Saburova, E.O. Popovska, Y.T. Hussein // Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2009. – Вып. 159. — С. 229 - 233.
6. Москалец Н.В. Модели одноранговых пиринговых сетей для передачи потоков IPTV/ Н.В. Москалец, Е.О. Поповская // "Международный научно-исследовательский журнал". – 2014. – Ч. 2. – № 4(23).– г. Екатеринбург. – С. 46-50.
7. Ощепков М.Ю. Разработка математических моделей одноранговых сетей с передачей IPTV потоков / М.Ю. Ощепков, Е.О.Поповская // Труды Северо-Кавказского филиала Московского технического университета связи и информатики. – Ростов-на-Дону: ПЦ "Университет" СКФ МТУСИ'2014.– Ч.1. – С. 304 - 307.
8. Ощепков М.Ю. Математическое моделирование пиринговых сетей / М.Ю. Ощепков, Е.О.Поповская // «Science and world» International scientific journal. – 2014. – № 3(7). –Vol.1. – С. 195 – 197.
9. Москалец Н.В. Оптимизация суммарного взвешенного времени обслуживания в пиринговой сети / Н.В. Москалец, Е.О.Поповская, К.А. Тарасов // Международный научно-исследовательский журнал. – 2016. – № 6-2(20). – С. 110-116.

10. Москалец Н.В. Функциональная модель управления в сетях пиринговой связи / Н.В. Москалец, Е.О.Поповская // Радиоэлектроника и информатика. – ХНУРЕ. – 2017. – №1. – С. 48-52.

11. Москалец Н.В. Фрагментация TV-контента в P2P-сетях с помощью процедуры динамического программирования / Н.В. Москалец, Е.О.Поповская // Зв'язок. – 2017. – №2(126). – С.14-17.

12. Поповская Е.О. Анализ модели трафика реального времени и данных / Сб. науч. тр. 4-го Международного радиоэлектронного форума "Прикладная радиоэлектроника" МРФ-2011– Х.: АНПРЭ, Украина, Харьков. – 2011. – С. 130–131.

13. Поповская Е.О. Математические модели одноранговых сетей // Материалы XVIII Международного молодежного форума «Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке». – 2014. – Том 4. – С. 79 – 80.

14. Oshchepkov M. Ways for organization of IPTV services over peer-to-peer networks / M. Oshchepkov, K.Popovskaya // Modern problems of radio engineering, telecommunications and computer science, Proceedings of the XII-th International Conference TCSET' 2014, February 25- March 1, Slavske. – P. 568.

15. Способы организации услуги IPTV поверх пиринговых сетей / М.Ю. Ощепков, Е.О.Поповская // 10-я Международная молодежная научно-техническая конференция РТ-2014 «Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций». – Севастополь. –12-17 мая 2014. – С. 95.

16. Moskalets N. Mathematical scheduling models of IPTV peer to peer networks / N. Moskalets, E.Popovskaya // Матеріали 3-ї Міжнародної наукової конференції «Інформація, комунікації, суспільство». – Славське. – 21-24 травня. – 2014. – С. 20-21.

17. Linnik E.V. Optimization of the total weighted holding time in a p2p network / E.V. Linnik, K.O. Popovskaya // Материалы IV международной научно-практической конференции «Фундаментальные и прикладные науки сегодня». – 20-21 октября 2014 г. – North Charleston, USA, Том 3. – С. 160 -163.

18. Popovsky V.V. Mathematical model of P2PTV-network dynamics / V.V. Popovsky, K.O. Popovska // 2014 First International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications Science and Technology (PIC S&T'2014), october 14-17, 2014. – Kharkiv, Ukraine. – С. 23 - 25.

19. Москалец Н.В. Методы управления потоком фрагментов в пиринговых сетях / Н.В. Москалец, Е.О. Поповская // Збірник матеріалів Міжнародної науково-

технічної конференції «Проблеми телекомунікацій». – Київ: НДІ телекомунікацій ІТС КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – С.1-3.

20. Kuzminich I. Minimization process of the total weighted holding time in a P2P network / I. Kuzminich, K. Popovska // 2016 Third International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications Science and Technology (PIC S&T'2016), October 4-6, 2016. – Kharkiv, Ukraine. – С. 154 – 155.

21. Popovsky V. Searching optimization method for requested media data in peer-to-peer network / V. Popovsky, K. Popovska // 2017 Fourth International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications Science and Technology (PIC S&T'2017), October 10-13, 2017. – Kharkiv, Ukraine. –Р.1-4.

АНОТАЦІЯ

Поповська К. О. Методи оптимізації процесу фрагментації контенту в пірінгових файлообмінних мережах. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі. Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків 2017.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню актуальної наукової задачі, що полягає в оптимізації процесу фрагментації запрошених файлів децентралізованої пірінгової мережі P2P і аналізу якості процесу формування файлів при різному режимі їх реплікації і в умовах стаціонарності і нестаціонарності роботи мережі. Оптимізація забезпечує покращення якості надання послуг при передачі медіаконтенту. Для вирішення задачі розроблена дискретно-неперервна математична модель фрагментації. З використанням мультиагентної моделі вирішено задачу оптимізації відбору кращого з m - запропонованих фрагментів, задачу оптимізації процесу фрагментації з використанням динамічного програмування, і в дещо скороченій формі з використанням задачі лінійного програмування. Представлено приклади розв'язання даних оптимізаційних задач, проведена порівняльна характеристика методів при одних і тих самих умовах. Показано, що для конкретизації файлів метод лінійного програмування дає кращий результат при паралельному скачуванні декількох фрагментів. Отримана статистика процесу скачування фрагментів для оптимізованої ситуації і без неї. Зроблено висновок, що час скачування в оптимізованих умовах майже в три рази скорочується. Одночасно з цим зменшується дисперсія часу скачування, що дозволяє мінімізувати втрати фрагментів при їх реплікації. Проведено аналіз

різних методів планування фрагментів і показано, що втрати фрагментів ростуть пропорційно бітрейту трафіку. Разом із тим, ці втрати можуть бути мінімізовані з урахуванням медіаобізнаності мережі при обліку структури відеоконтенту. Запропоновані рішення щодо оптимізації процесу завантаження забезпечують мінімізацію часу скачування і втрату фрагментів в умовах великих навантажень.

Ключові слова: пірінгові, фрагментація, скачування, реплікація, контент, файлообмінні мережі.

АННОТАЦІЯ

Поповская Е. О. Методы оптимизации процесса фрагментации контента в пиринговых файлообменных сетях. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.02 – телекоммуникационные системы и сети. Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков, 2017.

Диссертационная работа посвящена решению актуальной научной задачи, заключающейся в разработке дискретно-непрерывной математической модели процесса фрагментации скачиваемых файлов децентрализованной пиринговой сети P2P и анализу качества процесса формирования файлов при различном режиме их репликации и в условиях стационарности и нестационарности работы сети. С использованием мультиагентной модели решены задачи оптимизации отбора лучшего из m – предложенных фрагментов, решена задача оптимизации процесса фрагментации с использованием динамического программирования, и в несколько редуцированной форме с использованием задачи линейного программирования. Представлены примеры решения данных оптимизационных задач, произведена сравнительная характеристика методов при одних и тех же условиях. Показано, что при конкретизации файлов метод линейного программирования дает лучший результат при параллельном скачивании нескольких фрагментов. Получена статистика процесса скачивания фрагментов для оптимизированной ситуации и без таковой. Показано, что время скачивания в оптимизированных условиях почти в три раза сокращается. Одновременно с этим уменьшается дисперсия времени скачивания, что позволяет минимизировать потери фрагментов при их репликации. Проведен анализ различных методов планирования фрагментов и показано, что потери фрагментов растут пропорционально битрейту трафика. Вместе с тем эти потери могут быть минимизированы с учетом медиа осведомленности сети при учете структуры

видеоконтента. Предложенные решения по оптимизации процесса скачивания обеспечивают минимизацию времени скачивания и потерю фрагментов в условиях больших нагрузок.

Ключевые слова: пиринговые, фрагментация, скачивание, репликация, контент, файлообменник.

ABSTRACT

Popovska Kateryna. Optimization methods of content fragmentation process in peer-to-peer file-sharing networks. – The manuscript.

Dissertation for the degree of a candidate of technical sciences in specialty 05.12.02 – telecommunication systems and networks, – Kharkov National University of Radio Electronics, – 2017.

The dissertation is devoted to the solution of the actual scientific problem, which consists in the development of a discrete-continuous mathematical model for the process of fragmentation of downloadable files in the decentralized P2P peer-to-peer network and analysis of the quality of the process of file generation under different mode of replication both under stationary conditions and non-stationary network operation. Using the multiagent model, the problems of optimizing the selection of the best of the proposed fragments are solved, the task of optimizing the fragmentation process using dynamic programming is solved, and in a somewhat reduced form using the linear programming problem. Examples of the solution of these optimization problems are presented, the comparative characteristics of the methods under the same conditions are made. It is shown that with the concretization of files, the linear programming method gives the best result when several fragments are downloaded in parallel. The statistics of the process of downloading fragments for an optimized situation and without it has been obtained. It is shown that the download time in optimized conditions is almost three times reduced. At the same time, the dispersion of the download time is reduced, which allows to minimize the loss of fragments during their replication. The analysis of various methods of fragment planning has been carried out and it is shown that the loss of fragments grows in proportion to the bit rate of traffic. However, these losses can be minimized taking into account the media awareness of the network when taking into account the structure of video content. The proposed solutions for optimizing the download process ensure the minimization of the download time and the loss of fragments under conditions of high loads.

Key words: peer-to-peer, fragmentation, downloading, replication, content.