

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НУ «Запорізька політехніка»

Факультет комп'ютерних наук та технологій
Кафедра «Комп'ютерні системи та мережі»

КАЗАНСЬКИЙ ОЛЕКСІЙ АРКАДІЙОВИЧ

Група КНТ-513м

**ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КОМП'ЮТЕРНОЇ
СИСТЕМИ IP-ТЕЛЕФОНІЇ НА ОСНОВІ ASTERISK**

АВТОРЕФЕРАТ

магістерської роботи на здобуття
освітньо-кваліфікаційного рівня «магістр»
за спеціальністю 123 «Комп'ютерна інженерія»
освітньої програми «Комп'ютерні системи та мережі»

2024 р.

Магістерська робота є рукопис.

Робота виконана в національному університеті "Запорізька політехніка", на кафедрі комп'ютерних систем та мереж

Керівник

кандидат технічних наук, доцент
Скрупський Степан Юрійович,
Національному університеті
"Запорізька політехніка", доцент
кафедри комп'ютерних систем
та мереж

Офіційний

рецензент:

Захист відбудеться " __ " _____ 2024р.

Секретар екзаменаційної комісії, асистент кафедри комп'ютерних систем та мереж

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

Актуальність теми. Тема дослідження є актуальною, оскільки розвиток IP-телефонії є сучасною та економічно вигідною альтернативою традиційним мережам. Дослідження ефективності системи на базі Asterisk актуальне через потребу організацій у гнучких, масштабованих рішеннях для покращення зв'язку та зменшення витрат.

Мета і завдання дослідження. Метою магістерської роботи є дослідження ефективності комп'ютерної системи IP-телефонії на основі Asterisk, для забезпечення оптимальної продуктивності в умовах різної кількості одночасних дзвінків та використання різних кодеків.

Об'єкт дослідження - є комп'ютерна система телефонії на базі програмного забезпечення Asterisk та її функціонування в умовах IP-телефонії.

Предмет дослідження. Аналіз конфігурації та продуктивності системи Asterisk з точки зору впливу різних кодеків на навантаження системи при обробці одночасних дзвінків.

Методи дослідження. У цій роботі для аналізу використовувались експериментальні методи, включаючи тестування та моделювання роботи системи в різних умовах.

Наукова новизна отриманих результатів. У результаті проведеного дослідження було виявлено нові закономірності в роботі IP-телефонії на основі Asterisk при різних умовах навантаження та використанні різних кодеків.

Практичне значення отриманих результатів. Результати дослідження можуть бути використані для оптимізації IP-телефонії Asterisk, підвищуючи якість зв'язку та ефективність використання ресурсів у підприємствах.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Перший розділ присвячений ознайомленню з предметною областю, визначенню необхідного функціоналу комп'ютерної системи, а також аналізу переваг Asterisk у порівнянні з його аналогами.

IP-телефонія – це сучасна телекомунікаційна технологія, яка може використовуватися з будь-якими мережами зв'язку, включно з мобільними телефонами, локальними мережами та інтернетом. Здебільшого ця технологія використовується для організації телефонних мереж великих компаній з метою економії коштів на міжнародних і міжміських дзвінках.

Підключення до IP-телефонії, що надається телефонними операторами, зазвичай здійснюється двома способами:

- підключення до VoIP-телефону за допомогою SIP-телефону (рис. 1.1);
- підключення до VoIP-телефону за допомогою VoIP-шлюзу (рис. 1.2).

Такий спосіб підключення жодним чином не заважає замінити свій SIP-телефон і VoIP-шлюз на IP-АТС і прокласти до нас лінії зв'язку за власним бажанням. Провайдер телефонії також не визначає, що кінцевим пристроєм є телефонний сервер, а не телефон користувача.

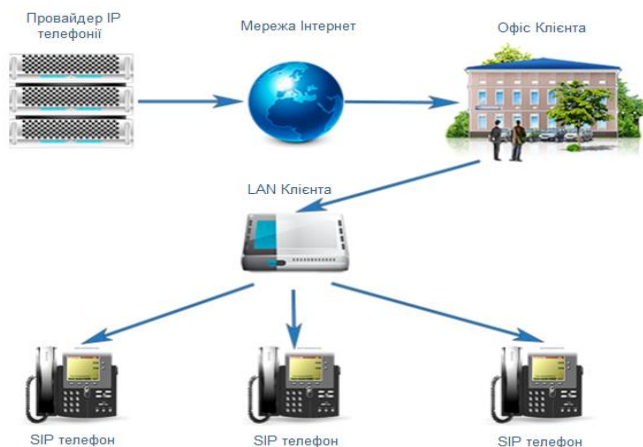


Рисунок 1– Телефонні з'єднання VoIP з використанням SIP-телефонії

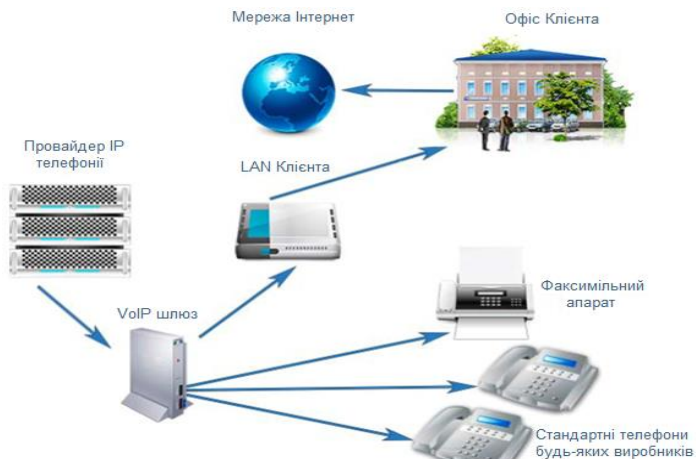


Рисунок 2 – Телефонні з'єднання VoIP з використанням шлюзів VoIP

Також аналізуються принципи пакетної передачі голосу, що замінила традиційну комутацію каналів, та переваги цієї технології — ефективніше використання пропускну здатності та зниження витрат. Розглянуто роль VoIP-шлюзів і програмних рішень, таких як Asterisk, що забезпечують гнучкість, масштабованість та інтеграцію з іншими бізнес-системами.

Розділ підкреслює важливість IP-телефонії як економічно вигідного й ефективного інструменту для корпоративного зв'язку.

У другому розділі розглядається питання встановлення та налаштування основних конфігурацій Asterisk.

Щоб створити ефективну телефонну систему на основі Asterisk, передбачено такі основні кроки:

- підготовка системи — оновлення пакунків і встановлення залежностей для сумісної роботи Asterisk із сервером;
- встановлення DAHDI та LibPRI — для підключення аналогових та цифрових телефонних ліній, а також ISDN-з'єднань;
- інсталяція Asterisk — завантаження та збирання Asterisk з вихідного коду;

- налаштування конфігурацій — створення та налаштування файлів `pjsip.conf` і `extensions.conf` для підключення користувачів і маршрутизації дзвінків;
- забезпечення безпеки — створення окремого користувача для Asterisk та застосування шаблонів для зручного управління групами користувачів;
- маршрутизація дзвінків — налаштування діалплану для управління викликами;
- тестування та оптимізація — перевірка стабільності та працездатності системи.

Ці етапи забезпечать безпечну та функціональну телефонну систему з гнучкими налаштуваннями для зручного управління.

За замовчуванням пакет Asterisk не доступний у стандартному репозиторії Ubuntu 20.04. Тому необхідно завантажити та зібрати його з вихідного коду. Для цього його завантажують з GitHub за допомогою такої команди (рис. 3):

```
root@king-VirtualBox:/opt# git clone -b 18 https://gerrit.asterisk.org/asterisk asterisk-18
Cloning into 'asterisk-18'...
remote: Counting objects: 351165, done
remote: Finding sources: 100% (351165/351165)
remote: Total 351165 (delta 266900), reused 347277 (delta 266900)
Receiving objects: 100% (351165/351165), 179.89 MiB | 746.00 KiB/s, done.
Resolving deltas: 100% (266900/266900), done.
```

Рисунок 3 – Клонування Asterisk

На рисунку 4 показано встановлення необхідних залежностей. Далі встановлення Asterisk показано на рисунку 5:

```
root@king-VirtualBox:/opt/asterisk-18# contrib/scripts/get_mp3_source.sh
A   addons/mp3
A   addons/mp3/MPGLIB_README
A   addons/mp3/common.c
A   addons/mp3/huffman.h
A   addons/mp3/tabinit.c
A   addons/mp3/Makefile
A   addons/mp3/README
A   addons/mp3/decode_i386.c
A   addons/mp3/dct64_i386.c
A   addons/mp3/MPGLIB_TODO
A   addons/mp3/mpg123.h
A   addons/mp3/layer3.c
A   addons/mp3/mpglib.h
A   addons/mp3/decode_ntom.c
A   addons/mp3/interface.c
Exported revision 202.
```

Рисунок 4 – Встановлення залежностей для Asterisk

```

Setting up libcfg-dev:amd64 (3.0.3-2ubuntu2.1) ...
Setting up libspandsp-dev:amd64 (0.0.6+dfsg-2) ...
Setting up freetds-dev (1.1.6-1.1) ...
Setting up po-debconf (1.0.21) ...
Setting up libjack-jackd2-dev:amd64 (1.9.12~dfsg-2ubuntu2) ...
Setting up libical-dev:amd64 (3.0.8-1) ...
Setting up portaudio19-dev:amd64 (19.6.0-1build1) ...
Setting up libcpv-dev:amd64 (3.0.3-2ubuntu2.1) ...
Setting up libnewt-dev:amd64 (0.52.21-4ubuntu2) ...
Setting up libneon27-dev (0.30.2-4) ...
Setting up dh-autoreconf (19) ...
Setting up odbcinstdebconf:amd64 (2.3.6-0.1build1) ...
Setting up unixodbc-dev:amd64 (2.3.6-0.1build1) ...
Setting up odbcinst (2.3.6-0.1build1) ...
Setting up debhelper (12.10ubuntu1) ...
Setting up vpb-driver-source (4.2.61-1build1) ...
Processing triggers for libglib2.0-0:amd64 (2.64.6-1~ubuntu20.04.4) ...
Processing triggers for libc-bin (2.31-0ubuntu9.2) ...
Processing triggers for man-db (2.9.1-1) ...
Processing triggers for install-info (6.7.0.dfsg.2-5) ...
Setting up libgmime-2.6-dev (2.6.23+dfsg1-4) ...
Setting up libgmime-3.0-dev:amd64 (3.2.7-1) ...

#####
## install completed successfully
#####

```

Рисунок 5 – Успішне встановлення Asterisk

Налаштування Asterisk здійснювалося шляхом редагування конфігураційних файлів, розташованих у директорії `/etc/asterisk/`. Основні файли для початкового налаштування включали:

- `pjsip.conf` — файл налаштувань мультимедійної бібліотеки PJSIP, що містив налаштування реєстрації, транків та користувачів;
- `extensions.conf` — файл для налаштування діалплану, який визначав параметри обробки дзвінків, переадресації, мелодій на утриманні, автосекретаря та інші функції;
- `asterisk.conf` — основний конфігураційний файл, що містив шляхи до папок, параметри запуску Asterisk тощо;
- `sip.conf` — файл для налаштувань застарілої бібліотеки `'chan_sip'`, який не використовували;
- `cdr.conf` — налаштування звітування про дзвінки (Call Detail Record);
- `rtp.conf` — файл для налаштувань протоколу RTP (порти, підтримка ICE тощо);
- `features.conf` — файл для налаштувань перехоплення і паркування викликів, часу набору, DTMF кодів абонентських функцій;

- modules.conf — містив інформацію про модулі, які слід завантажувати при старті або вимикати;
- musiconhold.conf — файл для налаштувань музики на утриманні;
- iax.conf — використовували для налаштування з'єднань за протоколом IAX, зазвичай для об'єднання кількох АТС;
- voicemail.conf — детальне налаштування параметрів голосової пошти;
- logger.conf— файл для налаштувань журналювання роботи Asterisk.

Цей розділ підкреслив ключові етапи встановлення та налаштування Asterisk для створення ефективної телефонної системи, наголошуючи на важливості ретельної конфігурації для забезпечення безпеки та функціональності.

У третьому розділі визначається працездатності системи та порівнюються отримані результати.

Загальну кількість комп'ютерів можна визначити на основі оціненого максимального навантаження на сервер SIP. Оскільки в даному випадку SIP-сервер — це ПК з чотирьохядерним процесором, загальна кількість одночасних викликів не перевищить 2000. Кожен комп'ютер із такою апаратною конфігурацією може генерувати близько 400 викликів. Тому кількість клієнтів має становити не менше чотирьох. У нашому випадку для проведення тесту достатньо чотирьох. Сервери здатні витримувати подвоєне навантаження, тому їх буде всього два. Апаратна та програмна конфігурація зазначені у таблиці 1.

Таблиця 1 – Апаратна та програмна конфігурація

Конфігурація	Процесор	Оперативна пам'ять	Операційна система	Програмне забезпечення
UAC	Core 2 Duo E7200	4 ГБ DDR	Ubuntu 20.04 x64	—
UAS	Core 2 Duo E7200	2 ГБ DDR	Ubuntu 20.04 x64	—
B2BUA	Core 2 Quad Q6600	4 ГБ DDR3	Ubuntu 20.04 x64	Asterisk версії 18

Процес тестування продуктивності вимагав автоматизації для управління кількома комп'ютерами, що генерували SIP-трафік. Головний UAC через SSH керував іншими пристроями за допомогою bash-сценаріїв. На першому етапі він розраховував кількість викликів, які кожен комп'ютер повинен генерувати щосекунди, після чого наказував UAS зареєструватися та активувати порт UDP 5060. Потім SIPr на всіх UAC запускався для створення трафіку. Через 2,5 хвилини викликався sar для збору статистики про навантаження на ЦП, пам'ять і мережу. Дані зберігалися у файлі data_callrate.sar у двійковому форматі.

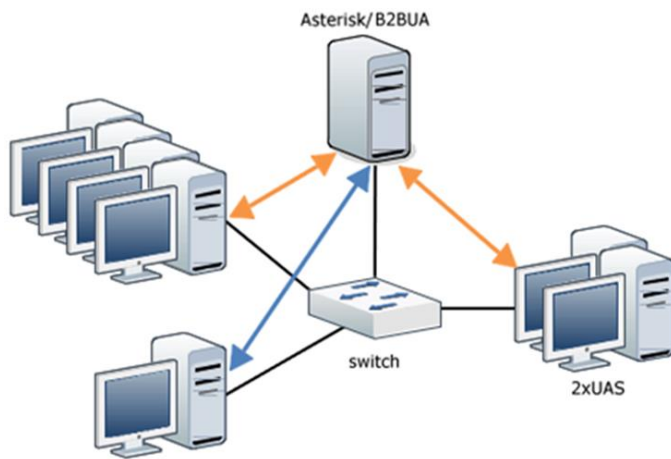


Рисунок 6 – Топологія тестової системи

Для кожної категорії представлено дві діаграми. Перша (синя) показувала залежність між кількістю одночасних викликів через B2BUA та використанням ЦП без трансляції кодеків. Пік на рівні 600 дзвінків, ймовірно, спричинений коефіцієнтом питомого поглинання, що періодично вимірював дані рисунок 7.

Друга діаграма (з трьома кольорами) демонструвала нормовані значення для випадків із трансляцією кодеків. Трансляція G711u на G711A споживала на 24% більше потужності ЦП, ніж G711u без перекодування. Найбільше навантаження спричиняв G726-32bit, тоді як GSM виявився найекономічнішим. При 120 дзвінках різниця в споживанні ЦП між GSM і G726 була найбільшою, але зростання навантаження швидко зменшувало цю різницю рисунок 8.

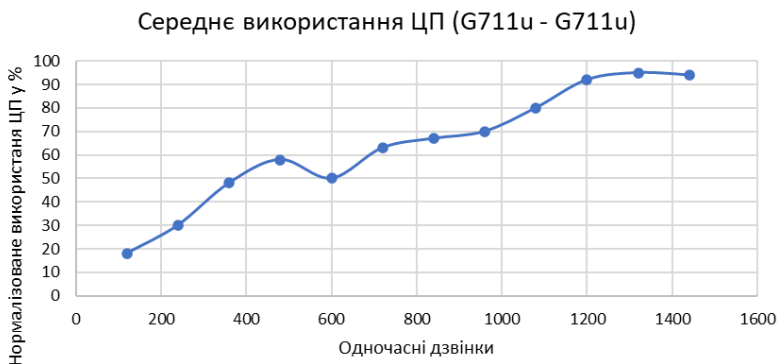


Рисунок 7 – Середнє використання ЦП без перекодування

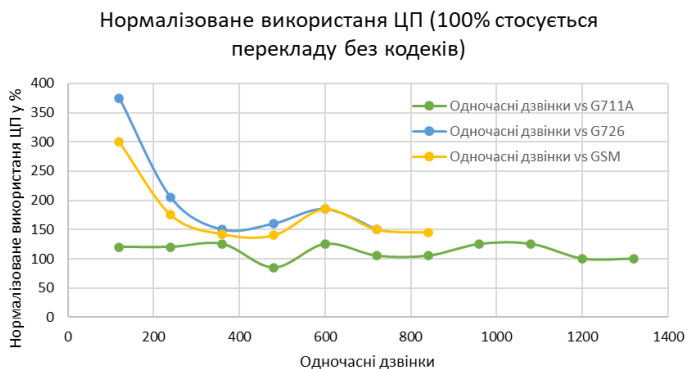


Рисунок 8 – Середнє використання ЦП та відповідні нормовані значення

Діаграми (рис.10) показують, що дзвінки встановлювалися швидше при трансляції кодеків за навантаження до 240 викликів. Зі збільшенням використання ЦП затримки значно зростали. Значення G711a залишалися низькими через різке зростання затримок для G711u при 1200-1320 викликах .

Нормовані значення джиттера та максимальної затримки підтвердили, що при низькому навантаженні результати схожі з випадком без трансляції. Різке зниження для G711A пояснюється збільшенням затримок у базовому сценарії та великою кількістю невдалих викликів. На рис.9 показано середній джиттер і максимальну затримку RTP-пакетів.

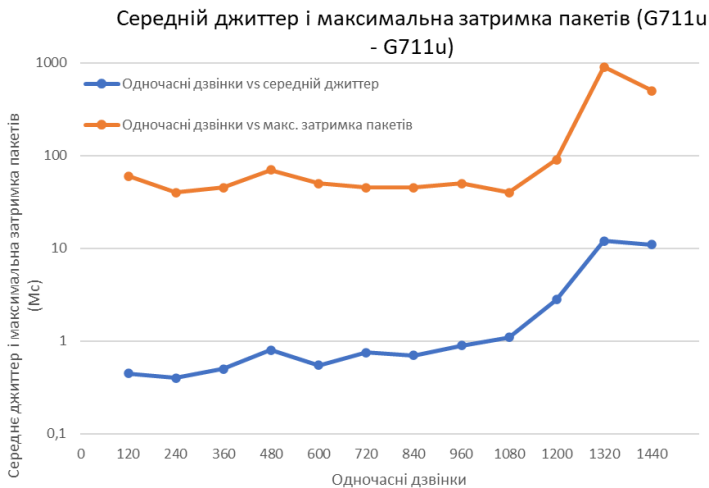


Рисунок 9 – Середній джиттер і максимальна затримка пакетів RTP

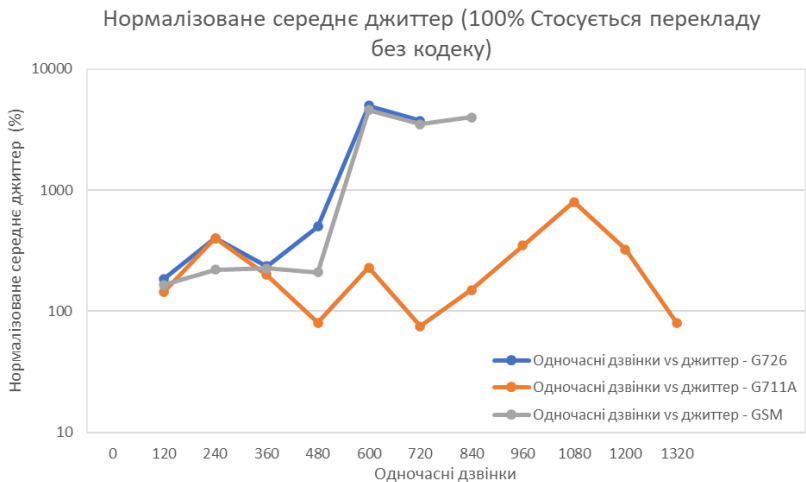


Рисунок 10 – Середній джиттер та відповідні нормовані значення

Використання інструменту SIPp для моделювання одночасних дзвінків дало цінні дані про продуктивність залежно від різних кодеків. Результати показали, що трансляція кодеків збільшувала навантаження на

процесор і впливала на затримки. Дослідження визначило максимальне навантаження системи та продемонструвало динаміку змін характеристик, що є важливим для оптимізації VoIP-інфраструктури.

ВИСНОВКИ

У магістерській роботі було розроблено, налаштовано та протестовано комп'ютерну систему телефонії на базі Asterisk, що дозволило отримати розгорнутий огляд ключових аспектів IP-телефонії та можливостей сучасних систем VoIP. У рамках дослідження було проведено ознайомлення з основними поняттями й термінологією, розглянуто переваги й недоліки Asterisk у порівнянні з іншими альтернативами, що дало можливість обрати цю платформу як основну для реалізації системи телефонії.

Особлива увага була приділена аналізу конфігураційних файлів Asterisk, які дозволяють гнучко налаштовувати параметри системи для забезпечення оптимальної продуктивності й надійності зв'язку. Проведене тестування працездатності системи з використанням різних аудіокодеків, таких як G711u-law, G711A-law, G726-32 та GSM, дало можливість оцінити вплив кодеків на навантаження системи. Зокрема, було виявлено, що перекодування з G711u на G711A збільшує навантаження на процесор на 24% у порівнянні з використанням G711u без перекодування. Найбільш ресурсомістким виявився кодек G726-32, тоді як GSM створює найменше навантаження на процесор.

При моделюванні сценарію з 120 одночасними дзвінками було зафіксовано значну різницю в навантаженні між кодеками GSM і G726, що дозволяє зробити висновок про суттєвий вплив вибору кодека на продуктивність системи. Це підтверджує, що Asterisk здатний забезпечити заявлену функціональність і стабільну роботу навіть при високих навантаженнях, а також дозволяє ефективно адаптувати систему до вимог продуктивності завдяки вибору відповідних кодеків. Таким чином, результати дослідження в рамках магістерської роботи можуть бути використані як практичні рекомендації для оптимізації VoIP-системи Asterisk та її подальшого застосування в різних середовищах телефонії.