

УДК 621.391

Климаш М. М., д.т.н.; Вакула Ю. Я., асп.

(Нац. унів-т «Львівська політехніка». 050 431 98 07. mklimash@polynet.lviv.ua, yuriy.vakula@gmail.com)

ОПТИМІЗАЦІЯ ТРАФІКУ SIP ПРОТОКОЛУ НА ОСНОВІ МОДЕЛІ СТАНІВ

Климаш М. М., Вакула Ю. Я. Оптимізація трафіку SIP протоколу на основі моделі станів. Розглянуто основні функції SIP протоколу для встановлення, зміни та припинення сесій з одним чи декількома учасниками в CDMA мережах. Розроблено математичний апарат моделі станів протоколу ініціалізації сесії в середовищі програми MatLab 2010. На основі проведених досліджень запропоновано удосконалити алгоритми керування сигнальним трафіком шляхом передбачення ймовірності блокування мережі. Алгоритм забезпечує стабільну роботу для інших транзакцій, що були би втраченими при його відсутності. Запропонований простий алгоритм управління трафіком сигнального протоколу прикладного рівня дає десятикратний вигравш успішності транзакції в порівнянні з стандартною роботою протоколу.

Ключові слова: CDMA мережа, сигнальний трафік, блокування мережі, якість сервісу, 3G, SIP, протокол ініціалізації сесії, модель станів, скінченний автомат, MatLab

Климаш М.М., Вакула Ю. Я. Оптимизация трафика SIP протокола на основе модели состояний. Рассмотрены основные функции SIP протокола для установления, изменения и прекращения сессий с одним или несколькими участниками в CDMA сетях. Разработан математический аппарат модели состояний протокола инициализации сессии в среде программы MatLab 2010. На основе проведенных исследований предложено улучшить алгоритмы управления сигнальным трафиком путем предсказания вероятности блокировки сети. Алгоритм обеспечивает стабильную работу для других транзакций, которые были бы потерянными при его отсутствии. Предложен простой алгоритм управления трафиком сигнального протокола прикладного уровня дает десятикратный выигрыш успешности транзакции по сравнению со стандартной работой протокола.

Ключевые слова: CDMA СЕТЬ, сигнальный трафик, блокировки сети, качество сервиса, 3G, SIP, протокол инициализации сессии, модель состояний, конечный автомат, MatLab

Klymash M. M., Vakula Yu. Ya. SIP protocol traffic optimization on the basis of state model. The main features of the SIP protocol for establishing, modifying, and terminating sessions with one or more participants in the CDMA networks are considered. It is developed a mathematical tools technique for the Session Initiation Protocol state model in the MatLab 2010 program environment. On the basis of researches it is proposed to improve the traffic signal control algorithms by predicting the probability of network blocking. The algorithm ensures a stable operation for other transactions which would be missed without current improvement. This simple traffic control algorithm provides ten times increase of successful transaction probability in comparison with a predefined algorithm performance.

Keywords: CDMA network, signal traffic, network blocking, quality of service, 3G, SIP, session initialization protocol, state model, state machine, MatLab

Вступ. Постановка задачі

Мобільні мережі третього покоління 3G набули надзвичайно стрімкого розвитку впродовж останнього десятиліття. Новими завданнями таких мереж стало надання високоякісних мультимедійних сервісів та забезпечення гнучкості мережі в обслуговуванні великої кількості користувачів. Різноманітні додатки та сервіси відрізняються значними відмінностями у вимогах до якості сервісу (QoS). Для забезпечення необхідної якості послуг таких мереж необхідні сигнальні протоколи, що забезпечують встановлення, підтримку і розірвання мультимедійних сесій. В CDMA мережах для забезпечення цих функцій використовується SIP протокол. Об'єднання IETF (Internet Engineering Task Force) позиціонує цей протокол як основний протокол для оперування мультимедійними сесіями в мобільних мережах третього покоління. Session Initialization Protocol (SIP) – це сигнальний протокол прикладного рівня, що використовує модель запиту-відповіді на основі транзакцій. В кожній транзакції відбувається запит клієнта до потрібного серверного методу та єдина відповідь сервера. В документації RFC (Request for Comments) описано два типи транзакцій, дозволені для даного протоколу – INVITE транзакція для встановлення сесії і non-INVITE транзакції для підтримки та розірвання сесії.

В межах кожної транзакції існує скінченна кількість станів, а механізм переходів між станами чітко описаний в специфікації. Це дозволяє значно спростити моделювання протоколу – абстрагуватись від технічної реалізації і перейти до станової моделі. Станова

модель полегшує симуляцію трафіку, що використовується SIP протоколом. На її основі легко передбачити перехід мережі в стан блокування, а отже, створити механізми керування сигнальним трафіком мережі CDMA.

Багаторівнева структура SIP протоколу

SIP протокол побудований на основі структури із чотирьох рівнів (Рис. 1). Розділення протоколу на рівні пов'язане із зручністю опису подібних функцій на кожному із них, і не накладає обмежень на технічну реалізацію.

На найнижчому рівні відбувається робота з синтаксисом і кодуванням повідомлень. В основі функцій цього рівня лежить BNF (Форма Бекуса-Наура) граматики і містить значну подібність до повідомлень HTTP протоколу.

Транспортний рівень відповідає за те, як клієнт надсилає запити та приймає відповіді від сервера, і як сервер надсилає відповіді та приймає запити від клієнта. Тут можуть використовуватись TCP та UDP протоколи.

Наступний рівень над транспортним, рівень транзакцій, керує повторними передачами прикладного рівня, встановлює відповідність між запитами та відповідями і встановлює таймаут прикладного рівня при встановленні та припиненні сесії. Специфікація RFC описує цей рівень як фундаментальний рівень SIP протоколу. Цей рівень оперує найбільшою кількістю функцій SIP протоколу оскільки цей протокол орієнтований на транзакції, що незалежно створюються для кожного нового завдання в межах протоколу. Рівень транзакцій містить клієнтську компоненту та серверну компоненту, кожна з яких можна описати за допомогою скінченного набору станів, що виконуються для обробки кожного конкретного запиту в межах протоколу.

Над рівнем транзакцій знаходиться рівень користувача транзакції TU (transaction user). Кожен елемент протоколу ініціалізації сесії є користувачем транзакції. Щоб надіслати будь-який запит TU створює екземпляр клієнтської транзакції і поширює запит разом із ір-адресою призначення, портом та типом транспорту. Користувач транзакції може і відмінити її. Відміна транзакції змушує сервер зупинити наступну обробку та повернутись до стану, що існував до початку транзакції (CANCEL запит).

Набір станів клієнта SIP протоколу при надсиланні INVITE запиту

Діаграма станів для INVITE запиту клієнта зображена на Рис. 2. Початковий стан "Виклик" виникає після ініціалізації клієнтом нової транзакції з INVITE запитом. Ця транзакція передає запит через транспортний рівень. При використанні ненадійного транспортного протоколу транзакція встановлює таймер **A** із значенням T_1 (за замовчуванням 500мс). Додатково в межах транзакції встановлюється таймер **B** із значенням $64 \cdot T_1$. Цей таймер встановлює максимальну тривалість транзакції. Після спрацювання таймера **A** клієнт повторно надсилає INVITE запит і встановлює значення таймера **A** в значення подвоєного попереднього інтервалу $2 \cdot T_1$. Цей механізм дозволяє надіслати 7 запитів до спрацювання таймауту з'єднання.

Якщо клієнт отримує тимчасову відповідь протягом цього часу він переходить до наступного стану – "Обробки". Він зупиняє повторну передачу INVITE повідомлення і очікує відповіді сервера. Клієнт в стані виклику чи обробки може отримати відповідь із статус-кодом 300-699. Це спричиняє перехід транзакції в стан завершення обробки і клієнт змушений згенерувати ACK запит в новій транзакції. Перехід у стан завершення обробки може спричинити спрацювання таймера **D**, тривалість якого за замовчуванням становить 32сек. (час 300-699 відповідей в межах сесії). Будь-які повторні передачі кінцевої відповіді,

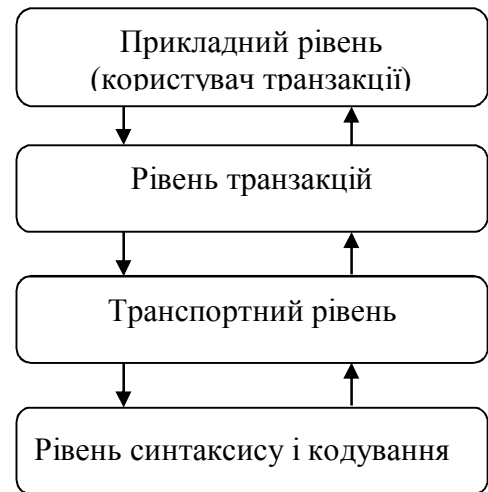


Рис. 1. Рівні SIP протоколу

здійснені в стані завершення обробки, спричиняють повторну передачу АСК повідомлення. Спрацювання таймера **D** в стані завершення обробки приводить транзакцію до стану припинення виклику.

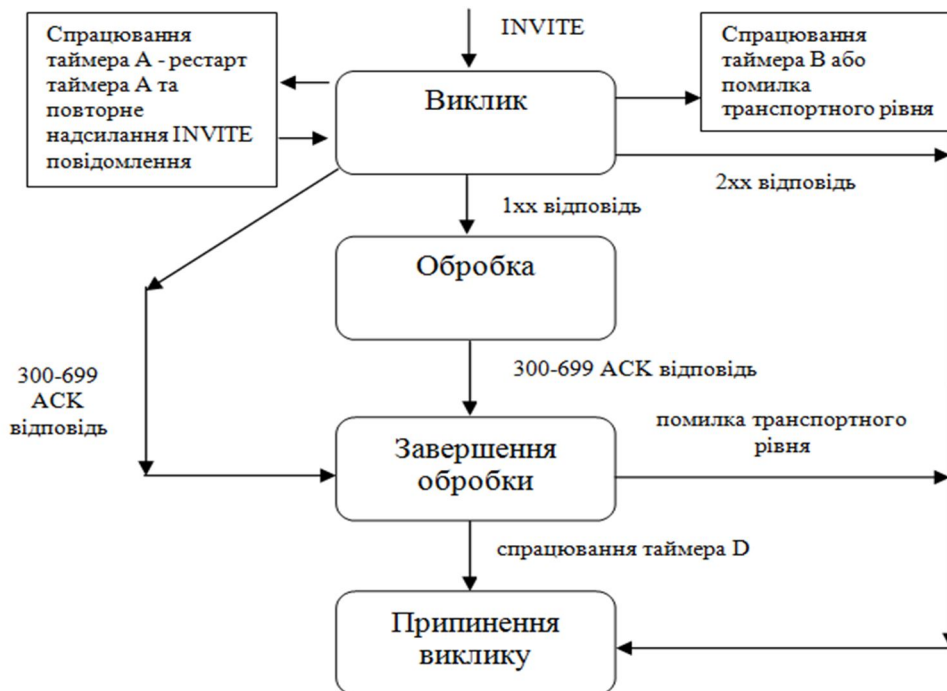


Рис.2. Діаграма станів клієнта при надсиланні INVITE запиту

Якщо ж клієнт в стані виклику чи обробки отримує 2xx відповідь, то це переміщає транзакцію в стан припинення виклику. Обробка цієї відповіді залежить від того, чи клієнт – це абонентський термінал, проксі-вузол чи вузол UAC.

Додаткові деталі організації моделі станів в протоколі можуть бути знайдені в [1].

Моделювання SIP протоколу

Технічна реалізація SIP протоколу чітко відповідає роботі логічної моделі станів. В межах транзакції кожен етап обробки повідомлень можна описати за допомогою стану та окреслити умови переходу між ними. Це дозволяє абстрагуватись від технологічної частини і змодельовати роботу SIP протоколу за допомогою певного математичного апарату. Для даних умов найкраще підходить абстракція скінченного автомату (Finite State Machine). Скінченний автомат використовується для опису зміни стану об'єкта в залежності від досягнутого стану та команд, що надходять до замкнутої моделі ззовні. Особливістю такої моделі є скінченна множина станів, в яких вона може перебувати. Окрім станів дана модель містить переходи між станами та умови, згідно яких модель може перейти з одного стану в інший.

Програмне середовище MatLab містить окрему складову для проведення такого моделювання – Stateflow. Використання компоненти Stateflow в середовищі MatLab надає ряд переваг. Скінченний автомат для SIP протоколу легко об'єднати із цілим комплексом готових і відлагоджених функцій та моделей. Розроблена компонента може легко нарощуватись та поєднуватись із іншими розробленими моделями. Ще одним ключовим аспектом використання компоненти є можливість відслідковувати роботу системи в реальному часі. Графічний інтерфейс динамічно відображає поточний стан автомату та значення параметрів, що використовуються на цьому етапі. При необхідності значення можуть подаватись на реальне обладнання, оскільки дана компонента підтримує можливість виведення сигналів на зовні за допомогою лінійного порту персонального комп'ютера [2].

Основною ціллю моделювання є створення скінченного автомату надсилання INVITE повідомлення клієнтом в мережі з високим рівнем завантаження. В завантаженій мережі

повідомлення SIP протоколу створюють додатковий трафік. А отже, вони споживають додаткові ресурси із перевантаженого радіоканалу. При високому завантаженні встановлення нових з'єднань робиться неможливим. Проте надлишковий трафік від INVITE повідомлень спричиняє збільшення значення бітової помилки та ймовірність додаткових відмов в обслуговуванні для існуючих з'єднань. Ці умови найбільш цікаві в плані моделювання та дослідження. Тому параметри моделі максимально наближені до цих вимог.

В ході даного моделювання здійснено ряд спрощень. В межах транзакцій використовуються лише INVITE повідомлення між клієнтом та сервером. Тривалість переходу між станами становить 500 мсек., а опрацювання помилок транспортного рівня – 100 мсек. Для моделювання використовуються моделі 5-ти мобільних станції, що надсилають запити із змінною періодичністю. Середній час між повідомленнями становить 3 сек. Доступна пропускна здатність найвузчої ланка мережі становить 1Мбайт/сек., а середній розмір повідомлення в межах транзакції – 200Кбайт. Тривалість проведеного моделювання становить 1000 сек. [4].

Змодельований автомат містить два батьківські стани – очікування та встановлення з'єднання за допомогою INVITE запиту. По завершенні встановлення з'єднання модель переходить в стан очікування та знаходиться в ньому до наступного запиту. В даному стані система перестає споживати пропускну здатність та інші ресурси мережі.

В стані встановлення з'єднання модель може перебувати у восьми дочірніх станах. Три дочірні стани відповідають бажаній послідовності встановлення з'єднання. Інші п'ять станів забезпечують стабільність роботи системи при виникненні проблем транспортного рівня чи відсутності відповіді сервера протягом значного періоду часу. Ці стани забезпечують звільнення ресурсів мережі, але оперують даними лише в межах транзакції. Недоліком такої системи є неможливість передбачити наявність вільних ресурсів для мережі в цілому [3].

Остаточний вигляд модульованого автомату зображено на Рис.3.

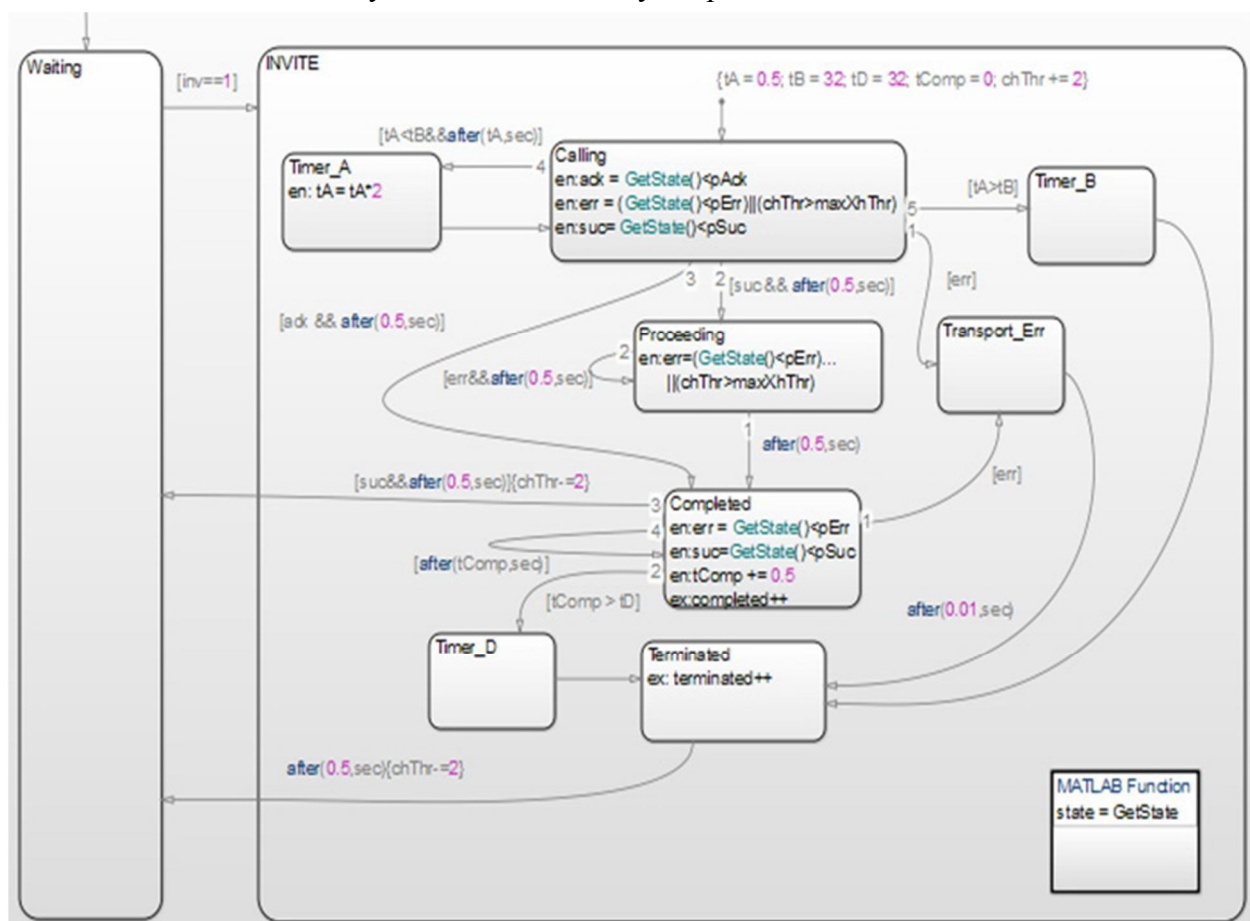


Рис. 3. Скінченний автомат INVITE запиту SIP протоколу

При здійсненні моделювання із заданими параметрами система працює належним чином. Наявної пропускної здатності мережі достатньо для паралельного опрацювання усіх 5 відкритих транзакцій. Середня ймовірність відмови встановлення з'єднання для модульованого автомату становить 5 відсотків. Залежності кількості успішних та припинених запитів відносно тривалості моделювання зображено на Рис. 4.

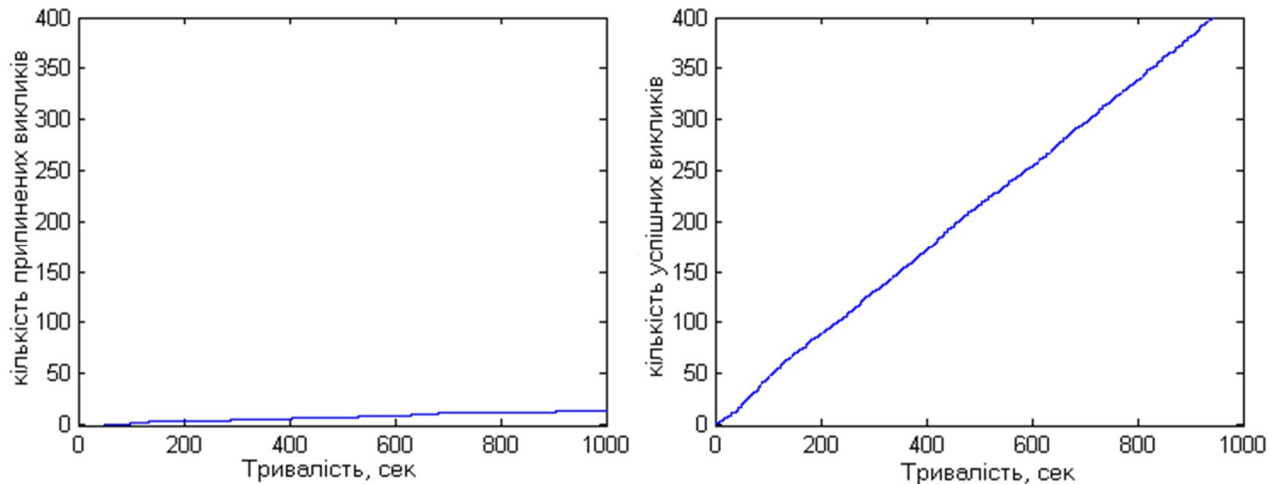


Рис. 4. Залежності кількості успішних та припинених запитів в залежності від тривалості моделювання при достатній пропускній здатності мережі

Для наступного моделювання переведемо мережу в стан пікового навантаження. В даному стані мобільні станції намагаються споживати 110 відсотків пропускної здатності мережі. В даному випадку ймовірність відмови в становленні з'єднання значно зростає. Залежності кількості успішних та припинених запитів відносно тривалості моделювання у даному випадку зображено на Рис. 5.

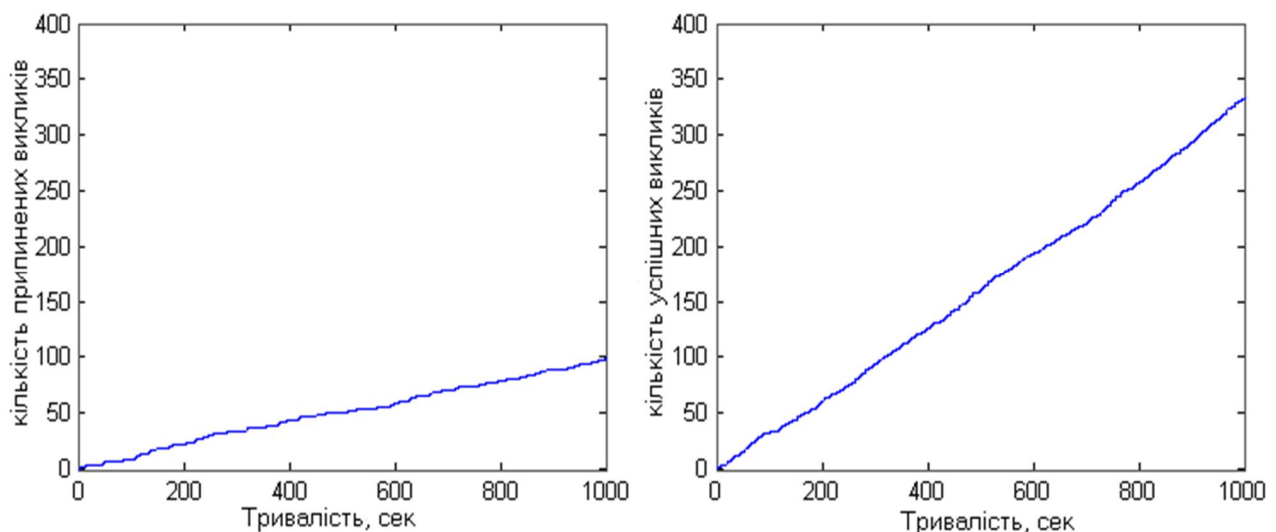


Рис. 5. Залежності кількості успішних та припинених запитів в залежності від тривалості моделювання пікової завантаженості мережі

У випадку подальшого збільшення перенавантаження мережі ймовірність припинення обробки INVITE повідомлення зростає по експоненті. На Рис.6. зображені результати моделювання при необхідній пропускній здатності мережі, що становить 250 відсотків

наявної пропускної здатності мережі. В даному випадку ймовірність відмови в становленні з'єднання перевищує ймовірність успішної транзакції більш ніж в п'ять разів, що робить практично неможливим всі подальші встановлення з'єднань.

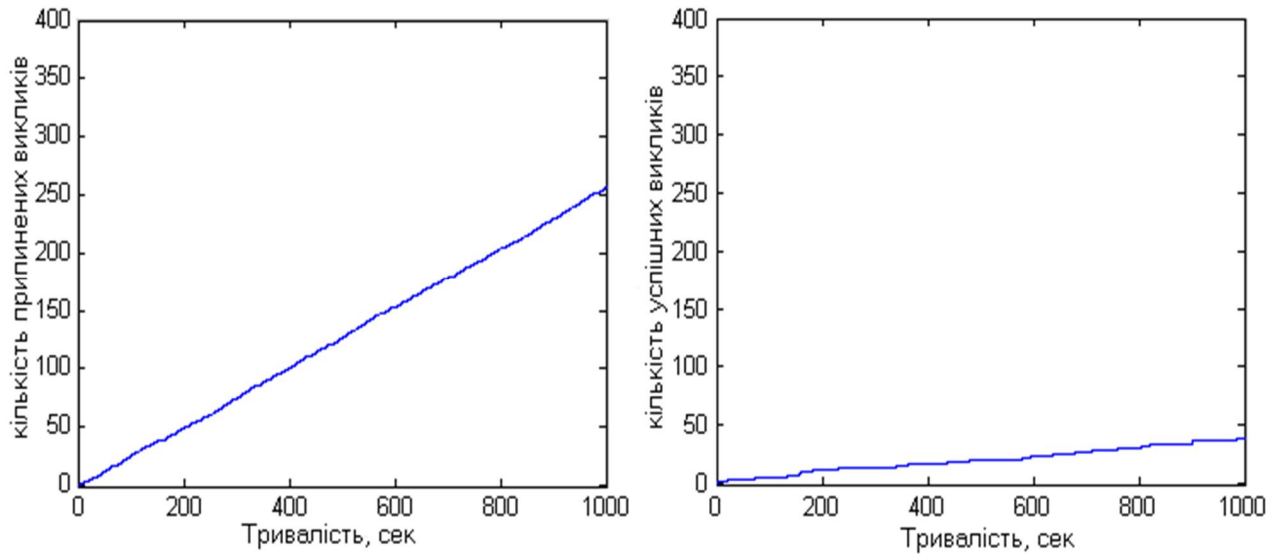


Рис. 6. Залежності кількості успішних та припинених запитів в залежності від тривалості моделювання при значному перенавантаженні мережі

В даному випадку працездатність мережі може повернути лише вдосконалений алгоритм управління трафіком SIP повідомлень в межах усієї мережі. Математичну модель цього алгоритму можна отримати модифікуючи скінченний автомат, отриманий внаслідок попередніх досліджень. Для відновлення успішної роботи мережі необхідно інтегрувати додатковий алгоритм, що блокує усі вхідні повідомлення SIP протоколу при перевищенні певного порогу відношення відмови в обслуговуванні до встановлення з'єднання. Покращення роботи SIP протоколу за допомогою цього алгоритму зображено на Рис. 7. Для цієї моделі використано алгоритм із зворотнім зв'язком, що починає блокувати частину транзакцій в залежності до відношення припинених викликів до успішних [5, 6, 7]. Алгоритм вступає в дію при перевищенні відношенням ста відсотків. Як помітно із залежностей звільнення від зайвого трафіку в перевантаженій мережі сприяє значному покращенню роботи мережі.

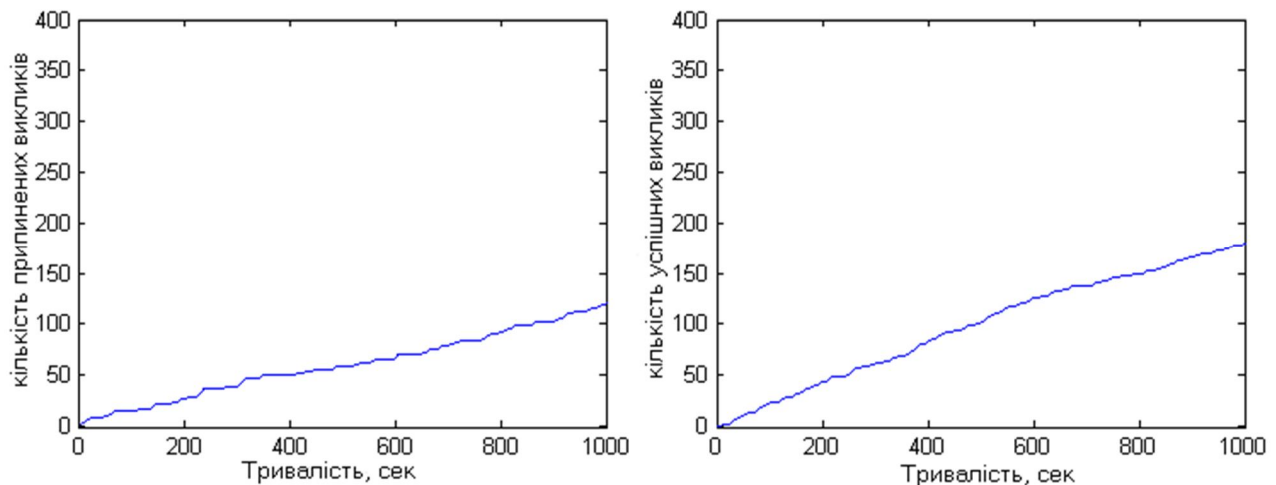


Рис. 7. Залежності кількості успішних та припинених запитів в залежності від тривалості моделювання при використанні базового алгоритму керування трафіком

Висновки

SIP протокол знаходиться у стеці найбільш важливих протоколів для забезпечення необхідної якості сервісу QoS в мережах стандарту CDMA. Він вносить ряд переваг по забезпеченню користувачів найсучаснішими мультимедійними послугами. Основна група функцій протоколу виконується на рівні транзакцій і потребує додаткового трафіку для процедур встановлення, підтримки та припинення з'єднань із бажаною якістю сервісу для тих чи інших додатків. Незважаючи на незначні розміри повідомлень даного протоколу не варто недооцінювати його вплив на пропускну здатність мережі. Механізми, що залучені в роботі протоколу, забезпечують багатократну передачу повідомлень протоколу для забезпечення достатньої надійності. Крім того повідомлення передаються через значне число вузлів, що беруть участь в роботі SIP протоколу. Внаслідок невідповідності якості сервісу до внутрішньої політики віддалених вузлів чи виникнення транспортних помилок відбуваються численні повторні передачі.

Додатковий трафік, спричинений SIP протоколом, критично впливає на роботу перенавантаженої мережі. Для такої мережі ймовірність встановлення нових SIP з'єднань близька для нуля. Але незважаючи на це SIP протокол все ще генерує значну кількість повідомлень, що спричиняють збільшення бітової помилки на ймовірності відмови в обслуговуванні для вже встановлених з'єднань. Покращення роботи мережі можна за допомогою створення алгоритму управління трафіком SIP протоколу.

Алгоритм управління трафіком дозволяє блокувати частину SIP транзакцій в залежності від відношення припинених викликів до успішних. На основі зворотного зв'язку відбувається блокування частини транзакцій. Цей алгоритм забезпечує стабільну роботу для інших транзакцій, що б були втраченими при його відсутності. Запропонований простий алгоритм управління трафіком SIP протоколу дає десятикратний вииграш успішності транзакцій в порівнянні з стандартною роботою протоколу.

Література

1. J. Rosenberg, et al., "SIP: Session Initiation Protocol" Technical Report RFC 3261, Internet Engineering Task Force (IETF), June 2002., pp. 81-130.
2. "Stateflow and Stateflow Coder" User's Guide, Copyright 1997 - 2003 by The MathWorks, Inc., pp.35-58.
3. Сердюков П. Н. Помехоустойчивое кодирование в каналах аудиоконтроля / П. Н. Сердюков, А. Е. Дронов, С. В. Аверин // Перспективные направления развития цифровых систем передачи информации: сборник статей. – 2001. – М.: ГУ НПО «Специальная техника и связь» МВД России – С. 18-26.
4. Sabina Baraković, Dragan Jevtić, and Jasmina Baraković Husić "Modeling of Session Initiation Protocol Invite Transaction using Colored Petri Nets", World Academy of Science, Engineering and Technology 61. – 2012., pp. 386-393.
5. G. De Marco, G.Iacovoni "A Technique to Analyze Session Initiation Protocol Traffic", IT Department of Information and Communication Engineering (Fukuoka Institute of Technology – FIT). 2005., pp. 595 - 599 Vol. 2
6. J. Wu and P. Wang, "The performance analysis of sip-t signaling system in carrier class VoIP network," in *Proc. IEEE AINA '03*, vol. 2, mar 2003, pp. 39–44.
7. N. Banerjee, K. Basu, and S. K. Das, "Hand-off delay analysis in sip-based mobility management in wireless networks" in *Proc. IEEE PDS'03*, apr 2003. pp. 698-706.