

1. Уайлі Дж. Новітні безпроводні мережі. 4G технології. Уайлі: 2007. – 851 с.
2. Гольдштейн А.Б., Гольдштейн Б.С. Softswitch. BHV: 2006-368 с.
3. Бакланов И.Г. NGN: принципы построения и организации. М.: Эко-Трендз, 2008. – 399 с.
4. Климаш М.М., Пелішок В.О., Михайленіч П.М. Технології мобільного зв'язку. Л.: Видавництво НУЛП: 2008. – 615 с.

Поступила 2.02.2009р.

УДК 621.3

О.В. Тимченко¹⁾²⁾, д.т.н., професор
М.В.Заярнюк²⁾, аспірант, Хазем Аль Сайдех²⁾, аспірант

ОЦІНКА СТАТИСТИЧНИХ І ФРАКТАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК МОВНОГО ТРАФІКУ

Вступ

На ринку телекомунікаційних послуг мовні сервіси займають одне з лідируючих місць, і з кожним роком число користувачів подібних послуг зростає. Останнім часом спостерігається стрімкий розвиток телекомунікаційних систем (ТС) з пакетною комутацією, а також інтеграція мовних сервісів в IP-мережі. Особливості пакетної комутації диктують необхідність перегляду традиційних підходів до аналізу і синтезу ТС з використанням традиційної теорії телетрафіку і теорії масового обслуговування. При розгляді систем пакетної передачі мови виявляються нові особливості і характеристики якості обслуговування, яких позбавлена традиційна телефонія.

З'являються нові можливості, пов'язані, наприклад, з придушенням пауз (VAD – Voice Activity Detection) в мові і використанням мережевого ресурсу, що звільнився. Механізми VAD, реалізовані в більшості вироблюваного на сьогоднішній день телекомунікаційного устаткування для пакетних мереж з інтеграцією мовних сервісів, ще більше ускладнюють динаміку потоків мовного трафіку в ТС. Все це спричиняє за собою появу нових методик розрахунку, проектування і моделювання ТС з пакетною передачею мови.

Останні дослідження різних типів мережевого трафіку переконливо доводять, що мережевий трафік є самоподібним (*self-similar*) або

¹ Akademia Humanistyczno - Ekonomiczna, Zakład Metod Przetwarzania Informacji, Łódź, Poland

² Національний університет „Львівська політехніка”, Інститут телекомунікацій, радіоелектроніки та електронної техніки, каф. Телекомунікацій, вул.С.Бандери, 12, 79013, Львів, Україна

фрактальним (*fractal*) за своєю природою, тобто в нім присутні так звані спалахи або пачки (*burst*) пакетів, що спостерігаються в різних часових інтервалах (від мілісекунд до хвилин або навіть годин), а також кореляція між пакетами. З цього виходить, що широко використовувані в даний час методи моделювання і розрахунку мережевих систем, засновані на традиційних припущеннях, не дають адекватної картини, що відбувається в мережі. Тобто робочі параметри мережевих систем з самоподібним трафіком відрізняються по своїх значеннях від систем з простим (Пуасонівським) потоком на вході.

Особливе значення в практиці проєктування мовних сервісів мають адекватні моделі мовного трафіку як окремого джерела, так і мультиплексованих потоків.

Відомо досить багато експериментальних і теоретичних досліджень в цій області, проте дуже невелике число робіт присвячене дослідженню фрактальної природи трафіку мовних сервісів та, зокрема, мовного трафіку.

На сьогоднішній день відсутні систематизовані дослідження впливу самоподібних властивостей мовного трафіку на якість обслуговування абонентів. Дослідження даної проблеми є важливим, оскільки за наявності самоподібного трафіку в системах передачі мови якість обслуговування (QoS – Quality of Service), як правило, погіршується. Врахування самоподібних (фрактальних) властивостей трафіку дозволить точніше описати і відтворити мовний трафік, що, у свою чергу, забезпечить можливість отримання показників QoS, відповідних реально спостережуваним.

Мета роботи – проведення експериментальних досліджень та оцінка самоподібності фрагментів послідовності відліків мовного сигналу з метою визначення статистичних і фрактальних характеристик мовного трафіку. Зауважимо, що явище самоподібності в системах пакетної передачі мови виникає внаслідок агрегації сегментованих на активні і пасивні ділянки мовних потоків, що відкриває можливості використання даної методики для сегментації мови до рівня фону.

Статистична самоподібність

Практично статистична самоподібність має на увазі, що виконуються наступні умови [1]:

- середнє $E[X(t)] = \frac{E[aX(t)]}{a^H}$ (1)

- дисперсія $Var[X(t)] = \frac{Var[aX(t)]}{a^{2H}}$ (2)

- функція автокореляції $R(t, \tau) = \frac{R(at, a\tau)}{a^{2H}}$. (3)

H - параметр Херста (Hurst), показує “ступінь” самоподібності. Значення $H = 0.5$ показує відсутність самоподібності, а великі значення H (близькі до

1) показують великий ступінь самоподібності або тривалу залежність (*long-range dependent*, LRD) в процесі. Це означає, що якщо LRD процес має тенденцію до збільшення (або зменшення) у минулому, то з великою вірогідністю він матиме тенденцію до збільшення (або зменшення) в майбутньому.

Тобто при $0.5 < H < 1$ говорять про *персистентну* (що підтримується) поведінку процесу або про те, що процес володіє *тривалою пам'яттю*. Іншими словами, якщо протягом деякого часу у минулому спостерігалися позитивні прирости процесу, тобто відбувалося збільшення, то і надалі в середньому відбуватиметься збільшення. Інакше кажучи, вірогідність того, що процес на $i+1$ кроці відхиляється від середнього в тому ж напрямі, що і на кроці i настільки велика, наскільки параметр H близький до 1. Тобто персистентні стохастичні процеси виявляють чітко виражені тенденції зміни при відносно малому шумі.

У випадку $0 < H < 0.5$ говорять про *антиперсистентність* процесу. Тут високі значення процесу слідує за низькими, і навпаки. Іншими словами, вірогідність того, що на $i+1$ кроці процес відхиляється від середнього в протилежному напрямі (по відношенню до відхилення на i кроці) настільки велика, наскільки параметр H близький до 0.

При $H=0.5$ відхилення процесу від середнього є дійсно випадковими і не залежать від попередніх значень, що відповідає випадку броунівського руху.

Розглянемо часовий процес $X = \{X_n, n \in Z^+\}$ і визначимо інший часовий процес (*m-aggregated*) $X^{(m)} = \{X_n^{(m)}, n \in Z^+\}$ шляхом усереднення оригінального часового процесу по непересічних сусідніх блоках довжиною m :

$$X_n^{(m)} = \frac{1}{m} \sum_{i=nm-(m-1)}^{nm} X_i \quad (4)$$

$X^{(1)}$ представляє в цьому випадку найбільшу, можливу для процесу, роздільну здатність. Подальші еволюції процесу $X^{(m)}$ можуть бути отримані шляхом m -усереднення процесу X_n , наприклад:

$$X_n^{(4)} = \frac{1}{4} \sum_{i=4n-3}^{4n} X_i = \frac{X_{4n-3} + X_{4n-2} + X_{4n-1} + X_{4n}}{4} \quad (5)$$

Процес $X^{(m)}$ є менш деталізованою копією процесу $X^{(1)}$. У випадку, якщо статистичні властивості (середнє, дисперсія) зберігаються при усередненні, то процес є самоподібним.

Існує два класи самоподібних процесів, так звані точно самоподібні і асимптотично самоподібні процеси.

Процес X називається точно самоподібним з параметром β ($0 < \beta < 1$), якщо для $m \in Z^+$ виконуються наступні умови:

- дисперсія $Var[X^{(m)}] = \frac{Var[X]}{m^\beta}$ (6)

- функція автокореляції $R(k, X^{(m)}) = R(k, X)$ (7)

Параметр β пов'язаний з параметром Херста H наступним співвідношенням:

$$\beta = 2(1-H) \quad (8)$$

Існує інший клас самоподібних процесів – так званих асимптотично самоподібних. Процес X називається асимптотически самоподібним, якщо для великих k :

- дисперсія $Var[X^{(m)}] = \frac{Var[X]}{m^\beta}$ (9)

- функція автокореляції $R(k, X^{(m)}) \rightarrow R(k, X)$ при $m \rightarrow \infty$. (10)

Існують спостереження, що для обох класів самоподібних процесів дисперсія $Var[X^{(m)}]$ зменшується набагато повільніше ніж $\frac{1}{m}$ при $m \rightarrow \infty$ в порівнянні із стохастичними процесами, де дисперсія зменшується пропорційно $\frac{1}{m}$ і наближається до 0 при $m \rightarrow \infty$.

Найбільш точною властивістю самоподібних процесів є те, що функція автокореляції не вироджується при $m \rightarrow \infty$, на відміну від стохастичних процесів, де $R(k, X) \rightarrow 0$ при $m \rightarrow \infty$.

Таким чином, випадковий процес $X(t)$ ($t \in \mathfrak{R}$) вважається самоподібним з масштабуючим параметром самоподібності або параметром Херста $0.5 < H < 1$, якщо статистичні характеристики процесу $X(t)$ не змінюються при масштабуванні за амплітудою на a^{-H} і за часом на a для всіх $a > 0$ [2].

Оскільки відомо, що мовний сигнал на ділянках малої тривалості є стаціонарним процесом [2], то для окремих його фрагментів теж можна визначити параметр Херста. Логічно виникає запитання - чи можна певним чином використати даний параметр для сегментації мовного сигналу на фонемі, чи склади, що відкриває нові можливості для створення фонемного вокодера.

Опис алгоритму

Використана методика визначення параметру Херста заснована на аналізі характеристики R/S , а саме на визначенні кута нахилу її інтерполяції в логарифмічному масштабі.

Для часової серії даних $X = \{X_i\}$ з частковою сумою $X^{(m)} = \sum_{i=1}^m X_i$ та

вибірковою дисперсією $S^2(m) = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m X_i^2 - \frac{(X^{(m)})^2}{m^2}$ діапазон у зміненому масштабі шкали за інтервал часу визначається як відношення R/S [3]:

$$\frac{R}{S}(m) = \frac{1}{S(m)} \left[\max_{0 \leq t \leq m} \left(X(t) - \frac{t}{m} X^{(m)} \right) - \min_{0 \leq t \leq m} \left(X(t) - \frac{t}{m} X^{(m)} \right) \right]. \quad (11)$$

Для самоподібного процесу з параметром H це відношення при $m \rightarrow \infty$ має наступну властивість:

$$R/S \sim C_H m^H, \quad (12)$$

де C_H - невід'ємна кінцева константа, що залежить від n .

Якщо побудувати графік залежності відношення R/S від n у логарифмічному масштабі, то отримаємо пряму лінію із нахилом, що дорівнює H .

На практиці найбільш корисною властивістю даного методу є його відносна стійкість до змін безумовного розподілу. Ця властивість дозволяє розділити дослідження властивості самоподібності часової серії від визначення характеристик розподілу.

Результати дослідження

При проведенні експериментів було використано декілька мовних фрагментів в форматі PCM (частота дискретизації 8 кГц, розрядність квантування 16 біт).

Приклад одного з досліджуваних фрагментів наведено на рис.1.

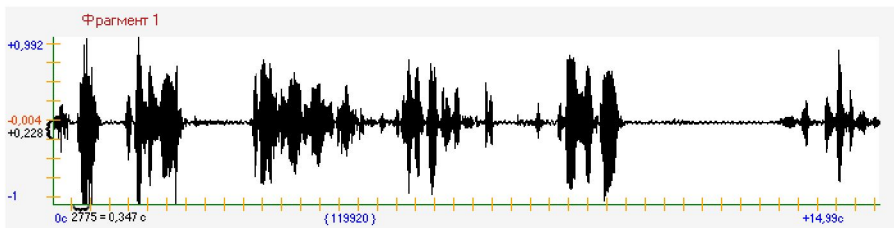
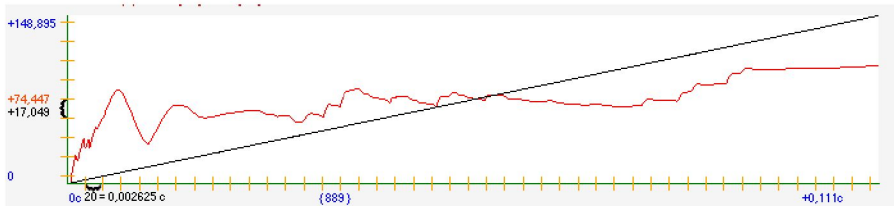
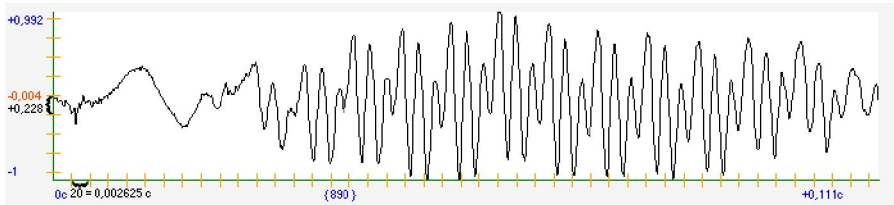


Рис. 1. Приклад досліджуваного мовного сигналу

Далі наведено ряд експериментальних даних, отриманих після аналізу наведеного вище фрагменту. На рис.2 представлено послідовність мовних сегментів, характеристика R/S та її інтерполяція (пряма лінія). Тут H – параметр Херста, δ – похибка (відношення MSE до потужності сигналу).



а) Перший фрейм мовного сигналу та його характеристика R/S

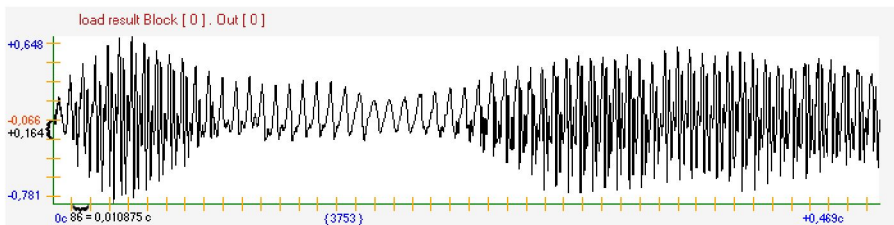


Рис. 2. б) Другий фрейм мовного сигналу та його характеристика R/S

Результати оцінки параметру Херста для сегментів тестового сигналу (рис.1) подано в табл. 1.

Оцінюючи експериментальні дані, слід зазначити, що для мовних фрагментів (тобто для фреймів, де присутня тільки мовна інформація) чітко прослідковується самоподібність процесу навіть на ділянках порівняно великої тривалості від 0,05 с до 0,5 с. Проте трапляються і різкі коливання характеристики R/S , які виникають під впливом незначних спотворень вхідного сигналу, що в свою чергу в більшості випадків приводить до різких коливань середньоквадратичного відхилення від 5% до 20% і вище.

Таблиця 1

Сегмент №	Параметр Херста, H	СКВ
1.	0.737	15.505%
2.	0.736	0.36%
3.	0.758	3.314%
4.	0.768	0.459%
5.	0.724	0.958%
6.	0.858	5.819%
7.	0.737	0.361%
8.	0.737	0.361%
9.	0.751	3.512%
10.	0.673	1.336%
11.	0.769	2.551%
12.	0.785	0.394%
13.	0.713	0.407%
14.	0.685	1.17%
15.	0.679	4.808%
16.	0.736	0.36%
17.	0.674	4.43%
18.	0.814	4.982%
19.	0.807	2.03%
20.	0.709	4.295%
21.	0.673	0.651%

Висновки

Можна з впевненістю сказати, що для активної частини мовного сигналу (де присутня мовна активність) ефект самоподібності проявляється досить чітко навіть для порівняно довгих ділянок часу. Можливість використання даної методики для детальної сегментації мовних фрагментів на окремі фонемі чи склади дуже сумнівна, оскільки ефект самоподібності часто проявляється на фрагментах значної тривалості, в той час як зменшення досліджуваних фрагментів приводить до значних флуктуацій характеристики R/S .

Проте, з іншого боку, дана властивість дозволяє з великим ступенем вірогідності прогнозувати короткочасну і довготривалу поведінку мовного трафіку в ТС, а значить забезпечити задану якість сервісу мовних додатків.

1. *Stalling W.*, High-Speed Networks TCP/IP and ATM Design Principles, Prentice-Hall Inc., 1998.
2. *Тимченко О.В.* Методи різницевого кодування форми сигналів в системах передачі мовної інформації. – Львів: Вид-во УАД, 2006. – 320 с.

3. *Taqqu M.S., Teverovsky V., Willinger W.* Estimators for long-range dependence: an empirical study. // IEEE/ACM Transactions on Networking, October 1995.

Поступила 9.02.2009р.