

УДК 621.391.8

DOI: 10.31673/2412-9070.2020.045760

В. І. КРАВЧЕНКО, канд. техн. наук;

В. В. СКРИПНІК, аспірант;

О. І. ГОЛУБЕНКО, ст. викладач,

Державний університет телекомунікацій, Київ

АНАЛІЗ ПРОДУКТИВНОСТІ БЕЗПРОВОДОВИХ МЕРЕЖ ЗА ДОВІЛЬНОЇ ДОВЖИНИ ПАКЕТІВ ДАНИХ

Запропоновано аналіз продуктивності спеціалізованих безпроводових мереж, кількість діючих станцій в яких змінюється за випадковим законом. При цьому дана кількість станцій не може з достатньою вірогідністю контролюватися в процесі передавання інформації. Щоб здобути асимптотичні характеристики тривалості передавання, пропонується використовувати інформаційно-ентропійні параметри модельних розподілів. Проведено огляд основних та додаткових параметрів ефективності з погляду їх впливу на функціонування мережі в даних розглянутих умовах. Було здійснено оцінювання взаємної кореляції ключових параметрів ефективності.

Ключові слова: самоподібний трафік; ключові параметри ефективності; інформаційно-ентропійна міра; безпроводова мережа; диференційна ентропія.

Вступ

У системах безпроводового передавання даних дедалі більшого розвитку набули спеціалізовані безпроводові мережі. Вони широко застосовуються в спеціальних підрозділах силових структур, для успішного проведення рятувальних операцій у надзвичайних ситуаціях різного роду тощо. Такі мережі мають децентралізовану систему контролю і керування. З огляду на це централізація контролю керування пов'язана зі значними витратами часу, при цьому забезпечити необхідну надійність, мобільність і безпеку роботи такого центру, особливо за умов надзвичайної ситуації, практично неможливо.

У спеціалізованих безпроводових мережах використовують найрізноманітніші архітектури, технології та стандарти, тому такі мережі є гетерогенними за визначенням. Однак основою спеціалізованих безпроводових мереж, як правило, є мережі стандартів IEEE 802.11.

Виклад принципів побудови мереж стандарту IEEE 802.11 різних модифікацій, методів апаратної реалізації й оцінювання продуктивності подано в роботі [1]. За основу аналізу тимчасових характеристик роботи мережі взято моделі рівномірного [2] або геометричного [3] розподілів імовірностей відправлення пакета кожною станцією мережі. Передбачається, що всі станції в мережі є статистично однорідними. Під цим розуміють однаковий імовірнісний розподіл довжин пакетів, які вибираються кожною станцією з черги. У разі змішаної (гетерогенної) мережі пропонується кожному пристрою надавати в трафіку приблизно рівний часовий інтервал.

У розглянутих у статті спеціалізованих безпроводових мережах такі припущення виконуються не повною мірою. Трафік мережі, як правило, є різномірним (мова, відео, дані) і самоподібним за своєю природою [4]. Його статистичні характеристики вже не можуть бути описані розподілами експоненціального сімейства. У цьому разі використовуються розподіли з так званими «важкими хвостами» (Парето, Вейбулла, гамма- та бета-розподілами).

Для вироблення оцінки характеристик продуктивності гетерогенних безпроводових мереж, в яких циркулює різномірний самоподібний трафік, необхідно застосовувати непараметричні методи. Як нижній поріг продуктивності можна брати якесь асимптотичне порівняльне оцінювання, наприклад інформаційно-ентропійних заходів розглянутих імовірнісних розподілів.

Подана стаття присвячена дослідженню даного питання.

Основна частина

Згідно з моделями, запропонованими в [2; 3] неперервний часовий інтервал, на якому відбувається передавання даних, розбивається на віртуальні слоти. У кожному слоті може взагалі не бути пакета (жодна зі станцій мережі не здійснює передавання), або один пакет (одна і тільки одна станція виконує передавання), або наявна колізія, коли передавати намагаються дві або більше станцій.

Нехай на початку кожного слота t_k j -та станція намагається відправити пакет. Імовірність спроби позначимо p_{kj} . Якщо спроба виявилася невдалою, то після деякого інтервалу $\tau_d(n_{tr})$ відстрочки вона повторюється. Загальна тривалість інтервалу відстрочки не залежить від кількості спроб передавання $n_{tr} = 0, 1, 2, \dots$ аж до настання події успішного передавання. Інтервал $\tau_d(n_{tr})$ вибирається з геометричного розподілу з параметром $\tau_d(0)$, тобто $\tau_d(n_{tr}) = 0, 1, 2, \dots$ з можливостями відповідно $\tau_d(0)$, $\tau_d(0)[1 - \tau_d(0)]$, $\tau_d(0)[1 - \tau_d(0)]^2, \dots$.

© В. І. Кравченко, В. В. Скрипник, О. І. Голубенко, 2020

Шкала часу дискретна, а кожний тип слота є цілим числом коротких (елементарних) інтервалів. Оскільки станція здійснює спробу передавання на початку слота, імовірність колізії і кількість повторних спроб не залежать від тривалості пакета. Як вже зазначалося, найбільш загальною мірою для ймовірнісних розподілів, принаймні, що належать до одного типу (у даному разі — до дискретного), є ентропія. Наведемо порівняльні ентропійні характеристики модельних розподілів [6].

1. Геометричний розподіл нерозривно пов'язаний із біноміальним. Відмінність полягає в тому, що біноміальна випадкова величина визначає ймовірність успіхів у випробуваннях, а геометрична — ймовірність випробувань до першого успіху (зокрема, перший успіх).

2. Рівномірно розподілена на $[-a, a]$ випадкова величина має найвищу ентропію серед усіх випадкових величин, розподілених на $[-a, a]$.

3. Показовий розподіл із параметром λ має найбільшу ентропію серед усіх розподілів, визначених на півосі $[0, \infty]$ з математичним очікуванням λ .

4. На всій прямій $[-\infty, \infty]$, серед усіх розподілів із фіксованими математичним очікуванням та дисперсією, найбільшу ентропію має нормальний розподіл.

Отже, інформаційна ентропія геометричного розподілу набирає вигляду

$$H_G(x) = -\log_2 p - \frac{q}{p} \log_2 q,$$

а диференційну інформаційну ентропію гауссівського розподілу можна дістати з виразу

$$H_N(x) = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp\left[-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}\right] \ln \left\{ \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp\left[-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}\right] \right\} dx = \log_2(\sigma\sqrt{2\pi e}).$$

Ентропія дискретного джерела завжди позитивна. Диференційна ентропія на відміну від ентропії джерел дискретних повідомлень може набувати позитивних, негативних та нульових значень, а отже, може бути негативною [5]. Диференційна ентропія на відміну від звичайної ентропії дискретного джерела перестає бути мірою власної інформації, що міститься в ансамблі значень випадкової величини. Вона залежить від масштабу і може набувати негативних значень. Інформаційний зміст має не сама диференційна ентропія, а різниця двох диференційних ентропій, чим і пояснюється її назва.

Диференційна ентропія не змінюється зі зміною всіх можливих значень випадкової величини на постійну величину. Дійсно, масштаб при цьому не змінюється, і справедлива рівність

$$h(x+C) = - \int_{-\infty}^{\infty} w(x+C) \log w(x+C) d(x+C) = - \int_{-\infty}^{\infty} w(x) \log(x) d(x).$$

З цього випливає, що $H(x)$ не залежить від математичного очікування випадкової величини, тому, змінюючи всі значення x на C , ми тим самим змінюємо на C і її середнє, тобто математичне очікування.

Диференційна ентропія адитивна, тобто для об'єднання $x \cup y$ незалежних випадкових величин x і y виконується рівність

$$H(x \cup y) = H(x) + H(y).$$

Доказ цієї властивості аналогічний доказу щодо властивості адитивності звичайної ентропії.

Для порівняння результатів моделей [2] і [3] розглянемо інформаційні характеристики модельних розподілів.

У разі геометричного розподілу здійснюємо незалежні повторні випробування до появи «успіху». Для обчислення ентропії $H_G(x)$ складемо діаграму станів із ймовірностями «успіху» $p < 1$ і «неуспіху» $q < 1$. Вочевидь, що $p + q = 1$.

Як зображено на рис. 1, система перебуває в початковому стані s_0 . Із досягненням «успіху» вона переходить у безповоротний (поглинає) стан s_f . Таким чином, випадковий процес є нетранзитивним (тобто не переходить у попередній стан).

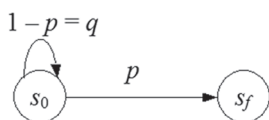


Рис. 1. Стани системи

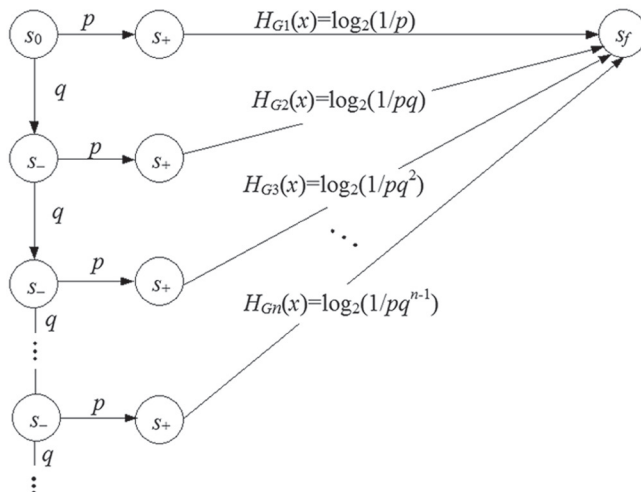


Рис. 2. Граф переходів

Граф переходів наведено на рис. 2, де s_+ — перехідний стан у разі успіху випробування; s_- — перехідний стан у разі неуспіху випробування; $H_{G_i}(x)$, $i = 1, 2, \dots, n, \dots$ — ентропія розподілу під час досягнення успіху на i -му кроці.

Отже, поточну ентропію геометричного розподілу можна обчислити за такими формулами:

$$H_G(x) = -p \log_2 p - pq \log_2(pq) - pq^2 \log_2(pq^2) - \dots - pq^{n-1} \log_2(pq^{n-1}) - \dots =$$

$$= -(1 + q + q^2 + \dots + q^{n-1} + \dots) p \log_2 p - pq(1 + 2q + 3q^2 + \dots + nq^{n-1}) \log_2 q;$$

$$1 + q + q^2 + \dots + q^{n-1} + \dots = \frac{1}{1-q};$$

$$1 + 2q + 3q^2 + \dots + nq^{n-1} + (n+1)q^n = 1 + q + q^2 + \dots + q^{n-1} + \dots + q + 2q^2 + \dots + (n-1)q^{n-1} + nq^n \dots =$$

$$= \frac{1}{1-q} + q(1 + 2q + 3q^2 + \dots + nq^{n-1}) = \dots = \frac{1}{1-q} + q \frac{1}{1-q} + q^2 \frac{1}{1-q} + \dots = \frac{1}{(1-q)^2};$$

$$H_G(x) = -\log_2 p - pq \frac{1}{(1-q)^2} \log_2 q = -\log_2 p - \frac{q}{p} \log_2 q.$$

Далі було розраховано залежність ентропії геометричного розподілу від імовірності p успішного передавання даних однією зі станцій. Як унаочнює рис. 3, із заданням більш високої ймовірності успіху ентропія розподілу знижується, а отже, ресурс для обміну даними зменшується. Однак це досягається тільки у разі зменшення ймовірності колізій у мережі. Досягти цього можна, наприклад, завдяки обмеженню такого ключового параметра ефективності, як максимальна тривалість переданих пакетів.

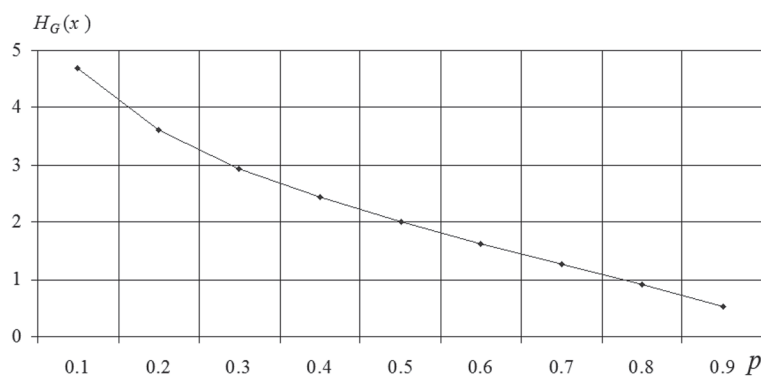


Рис. 3. Залежність ентропії геометричного розподілу від імовірності p успіху

Для порівняння було розраховано залежність диференційної ентропії від середньоквадратичного відхилення інтервалу передавання від максимально допустимого. Спостерігалось монотонне зростання ентропії, а отже, зростання потрібного ресурсу обміну даними (рис. 4).

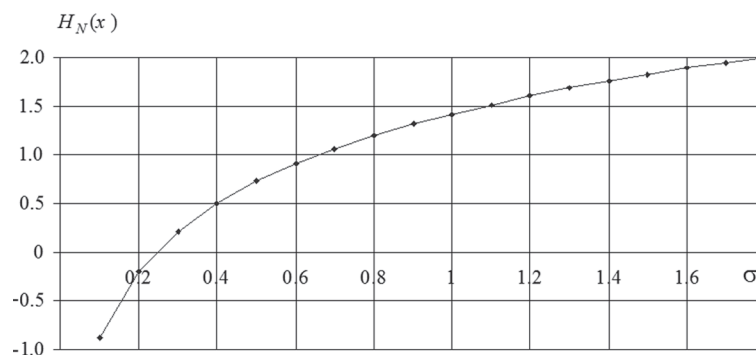


Рис. 4. Залежність ентропії гауссівського (нормального) розподілу від середньоквадратичного відхилення σ

Таким чином, у процесі розрахунку ентропійних заходів можна використовувати різні параметри модельних розподілів. При цьому порівняльне оцінювання, засноване на ентропії, буде досить універсальним і наочним.

Висновки

Для оцінювання продуктивності безпроводових мереж інформаційно-ентропійні заходи, які пропонуються застосовувати, є досить універсальними і дають наочне уявлення про ключові параметри

ефективності функціонування мереж. Розрахувавши звичайну або диференційну ентропію для модельних розподілів інтенсивності різномірного мережного трафіку, можна здобути узагальнені порівняльні характеристики ефективності функціонування мереж у широкому діапазоні статистичних параметрів.

Відшукування функціонального або статистичного зв'язку між параметрами трафіку і характеристиками мережі є необхідною умовою для вироблення оцінки продуктивності мережі. Це завдання буде предметом подальших досліджень.

Список використаної літератури

1. Широкополосные беспроводные сети передачи информации / В. М. Вишневецкий, А. И. Ляхов, С. Л. Портной, И. В. Шахнович. Москва: Техносфера, 2005. 592 с.
2. Вишневецкий В. М., Ляхов А. И., Якимов М. Ю. Оптимізація роботи високошвидкісної бездротової мережі в умовах перешкод // Електрозв'язок. 2007. № 8. С. 16–19.
3. Ляхов А. И., Пупырев П. Е. Оцінка продуктивності ширококомовних технологій з протоколом IEEE 802.11 // Distributed Computer and Communication Networks. 2005. С. 84–94.
4. Стеклов В. К., Беркман Л. Н., Карпенко Н. Ф. Многокритериальная оптимизация системы управления телекоммуникационными сетями // Зв'язок. 1999. № 6. С. 13–16.
5. Дослідження надійності функціонування системи зв'язку / В. В. Григорович, О. Л. Недашківський, С. І. Мешков [та ін.] // Сучасні інформаційно-комунікаційні технології COMINFO'2012, 01–05 жовтня. Livadia, 2012. С. 88.

В. И. Кравченко, В. В. Скрипник, О. И. Голубенко

АНАЛИЗ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ БЕСПРОВОДНОЙ СЕТИ ПРИ ПРОИЗВОЛЬНОЙ ДЛИНЕ ПАКЕТА ДАННЫХ

Проведен анализ производительности специализированных беспроводных сетей, число действующих станций в которых изменяется по случайному закону. При этом данное количество станций не может с достаточной достоверностью контролироваться в процессе передачи информации. Чтобы получить асимптотические характеристики длительности передачи, предлагается использовать информационно-энтропийные параметры модельных распределений. Проведен обзор основных и дополнительных параметров эффективности с точки зрения их влияния на функционирование сети в данных рассмотренных условиях. Было выполнено оценивание взаимной корреляции ключевых параметров эффективности.

Ключевые слова: самоподобный трафик; ключевые параметры эффективности; информационно-энтропийная мера; беспроводная сеть; дифференциальная энтропия.

V. I. Kravchenko, V. V. Skrypnik, O. I. Holubenko

ANALYSIS OF THE PRODUCTIVITY OF WIRELESS NETWORKS WITH AN ENTIRE LENGTH OF DATA PACKAGES

He analysis of productivity of specialized wireless networks in which the number of operating stations changes by the random law is carried out. In this case, this number of stations can not be reliably controlled in the process of transmitting information. To obtain asymptotic characteristics of the transmission duration, it is proposed to use the information entropy parameters of the model distributions. The review of the basic and additional parameters of efficiency from the point of view of their influence on functioning of a network in the given considered conditions is carried out. An assessment of the cross-correlation of key performance parameters was performed. Dedicated wireless networks use a variety of architectures, technologies and standards, so such networks are heterogeneous by definition. However, the basis of specialized wireless networks are usually IEEE 802 standards networks. Such networks have a decentralized control and management system. In this regard, the centralization of control control is associated with significant time, while ensuring the necessary reliability, mobility and security of such a center, especially in an emergency, it is almost impossible. Heterogeneous self-similar traffic circulates, it is necessary to apply nonparametric methods. As the lower threshold of productivity it is possible to receive any asymptotic comparative estimations, for example, information-entropic measures of the considered probability distributions.

Keywords: self similar traffic; key performance indicators; information and entropy measure; wireless network; differential entropy..