

004.732

АНАЛИЗ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ БЕСПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ ПРИ ПРОИЗВОЛЬНОЙ ДЛИНЕ ПАКЕТОВ ДАННЫХ**кандидат технических наук, Амирханов Э. Д., Кравченко В. И.**

Государственный университет телекоммуникаций, Украина, Киев

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 функционирования сети в данных рассмотренных условиях. Было произведено оценивание взаимной корреляции ключевых параметров эффективности.

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

PhD in Engineering sciences, Amirkhanov E. D., Kravchenko V. I. Wireless networks performance analysis with arbitrary packet length / State University of Telecommunications, Ukraine, Kiev

The performance analysis of specialized wireless networks, under condition that the number of operating stations changes randomly, is made. In this case during the information transfer any given number of stations cannot be controlled with sufficient reliability. In order to obtain asymptotic characteristics for the transmission duration it is proposed to use informational and entropy determined parameters of model distributions. An overview of the main and additional efficiency parameters is presented with the emphasis on their impact on the functioning of the network in the given conditions. An estimate of mutual correlation for efficiency key indicators has been carried out.

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

к. т. н., Амірханов Е. Д., Кравченко В. І. Аналіз продуктивності бездротових мереж при довільній довжині пакетів даних / Державний університет телекомунікацій, Україна, Київ

Проведено аналіз продуктивності спеціалізованих бездротових мереж, число діючих станцій в яких змінюється за випадковим законом. При цьому дана кількість станцій не може з достатньою достовірністю контролюватися в процесі передачі інформації. Щоб отримати асимптотичні характеристики тривалості передачі пропонується використовувати інформаційно - ентропійні параметри модельних

розподілів. Проведено огляд основних і додаткових параметрів ефективності з точки зору їх впливу на функціонування мережі в даних розглянутих умовах. Здійснено оцінювання взаємної кореляції ключових параметрів ефективності.

Ключові слова: самоподібний трафік, ключові параметри ефективності, інформаційно-ентропійна міра, бездротова мережа, диференціальна ентропія.

I. Введение

В системах беспроводной передачи данных широкое применение нашли специализированные беспроводные сети. Они широко применяются в специальных подразделениях силовых структур, для успешного проведения спасательных операций в чрезвычайных ситуациях различного рода и так далее. Такие сети имеют децентрализованную систему контроля и управления. В связи с этим централизация контроля управления связана со значительными затратами времени, при этом обеспечить требуемую надежность, мобильность и безопасность работы такого центра, особенно в условиях чрезвычайной ситуации, практически невозможно.

В специализированных беспроводных сетях используют самые разные архитектуры, технологии и стандарты, поэтому такие сети являются гетерогенными по определению. Однако основой специализированных беспроводных сетей, как правило, являются сети стандартов *IEEE 802.11*.

Изложение принципов построения сетей стандарта *IEEE 802.11* разных модификаций, методов аппаратной реализации и оценка производительности даны в работе [1]. За основу анализа временных характеристик работы сети взяты модели равномерного [2] или геометрического [3] распределений вероятностей отправки пакета каждой станцией сети. Предполагается, что все станции в сети являются статистически однородными. Под этим подразумевается одинаковое вероятностное распределение длин пакетов, выбираемых каждой станцией из очереди. В случае смешанной (гетерогенной) сети предлагается каждому устройству предоставлять в трафике примерно равный временной интервал.

В рассматриваемых здесь специализированных беспроводных сетях данные предположения выполняются не в полной мере. Трафик сети, как правило, является разнородным (речь, видео, данные) и самоподобным по своей природе [4]. Его статистические характеристики уже не могут быть описаны распределениями экспоненциального семейства. В этом случае используются распределения с так называемыми «тяжелыми хвостами» (Парето, Вейбулла, гамма- и бета-распределения).

Для произведения оценки характеристик производительности гетерогенных беспроводных сетей, в которых циркулирует разнородный самоподобный трафик, необходимо применять непараметрические методы. В качестве нижнего порога производительности можно получать некие

асимптотические сравнительные оценки, например, информационно - энтропийные меры рассматриваемых вероятностных распределений.

Представленная работа посвящена исследованию данного вопроса.

II. Сетевой трафик и его информационно - энтропийные характеристики

Согласно моделям, предложенным в [2,3], непрерывный временной интервал, на котором происходит передача данных, разбивается на виртуальные слоты. В каждом слоте может вообще не быть пакета (ни одна из станций сети не ведет передачу), или один пакет (одна и только одна станция ведет передачу), или иметь место коллизия, когда передавать пытаются две или более станций.

Пусть в начале каждого слота t_k j -я станция пробует отправить пакет. Вероятность попытки обозначим P_{kj} . Если попытка оказалась неудачной, после некоторого интервала отсрочки $\tau_d(n_{tr})$ она повторяется. Общая длительность интервала отсрочки не зависит от числа попыток передачи $n_{tr} = 0, 1, 2, K$ вплоть до наступления события успешной передачи. Величина $\tau_d(n_{tr})$ выбирается из геометрического распределения с параметром $\tau_d(0)$, т.е. $\tau_d(n_{tr}) = 0, 1, 2, K$ с соответствующими вероятностями $\tau_d(0)$, $\tau_d(0)[1 - \tau_d(0)]$, $\tau_d(0)[1 - \tau_d(0)]^2$, ...

Шкала времени – дискретная, а каждый тип слота представляет собой целое число коротких (элементарных) интервалов. Поскольку станция делает попытку передачи в начале слота, вероятность коллизии и число повторных попыток не зависят от длительности пакета. Как отмечалось выше, наиболее общей мерой для вероятностных распределений, по крайней мере, принадлежащих к одному типу (в рассматриваемом случае – к дискретному типу), является энтропия. Приведем сравнительные энтропийные характеристики модельных распределений [6].

1. Геометрическое распределение неразрывно связано с биномиальным. Отличие состоит в том, что биномиальная случайная величина определяет вероятность m успехов в n испытаниях, а геометрическая - вероятность n испытаний до первого успеха (включая первый успех).

2. Равномерно распределённая на $[-a, a]$ случайная величина имеет наивысшую энтропию среди всех случайных величин, распределённых на $[-a, a]$.

3. Показательное распределение с параметром λ имеет наибольшую энтропию среди всех распределений, определённых на полуоси $[0, \infty]$ с математическим ожиданием λ .

4. На всей прямой $[-\infty, \infty]$, среди всех распределений с фиксированными математическим ожиданием и дисперсией, наибольшей энтропией обладает нормальное распределение.

Информационная энтропия геометрического распределения

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

Дифференциальная информационная энтропия гауссовского распределения

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

Энтропия дискретного источника всегда положительна. Дифференциальная энтропия $H(x)$ в отличие от энтропии источников дискретных сообщений может принимать положительные, отрицательные и нулевые значения может быть отрицательной [5]. Дифференциальная энтропия в отличие от обычной энтропии дискретного источника не является мерой собственной информации, содержащейся в ансамбле значений случайной величины. Она зависит от масштаба x и может принимать отрицательные значения. Информационный смысл имеет не сама дифференциальная энтропия, а разность двух дифференциальных энтропий, чем и объясняется ее название.

Дифференциальная энтропия не меняется при изменении всех возможных значений случайной величины x на постоянную величину. Действительно, масштаб x при этом не меняется, и справедливо равенство

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

Из этого следует, что $H(x)$ не зависит от математического ожидания случайной величины, т.к. изменяя все значения x на C , мы тем самым изменяем на C и ее среднее, то есть математическое ожидание.

Дифференциальная энтропия аддитивна, то есть для объединения $x \cup y$ независимых случайных величин x и y справедливо равенство:

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

Доказательство этого свойства аналогично доказательству свойства аддитивности обычной энтропии.

Для сравнения результатов моделей [2] и [3] рассмотрим информационные характеристики модельных распределений.

В случае геометрического распределения проводим независимые повторные испытания до появления "успеха". Для вычисления энтропии $H_G(x)$ составим диаграмму состояний с вероятностями «успеха» $p < 1$ и «неуспеха» $q < 1$. Очевидно, $p + q = 1$.

Система находится в исходном состоянии s_0 . При достижении успеха она переходит в невозвратное (поглощающее) состояние s_f (рис. 1). Таким образом, случайный процесс является не транзитивным (не переходящим в предыдущее состояние).

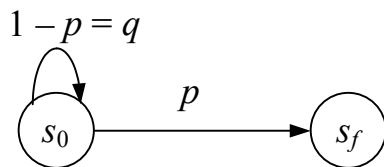


Рис. 1. Состояния системы

Граф переходов имеет следующий вид (рис. 2).

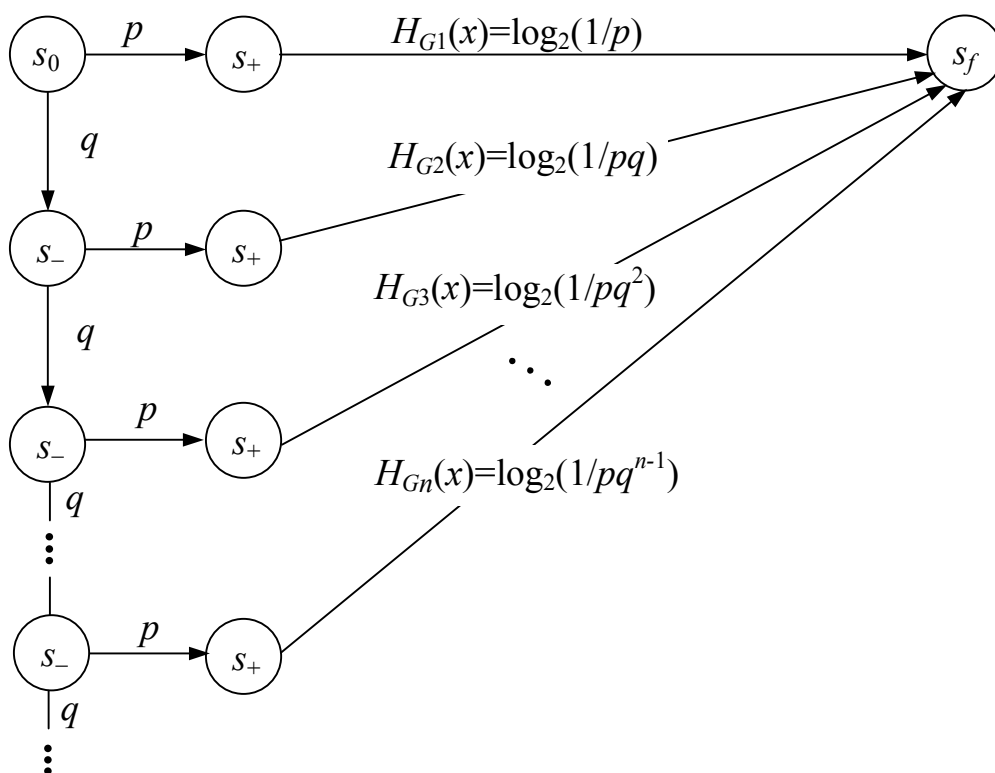


Рис. 2. Граф переходов

s_+ – переходное состояние при успехе испытания; s_- – переходное состояние при неуспехе испытания; $H_{Gi}(x)$, $i=1,2,K,n,K$ – энтропия распределения при достижении успеха на i -м шаге.

Тогда текущая энтропия геометрического распределения может быть рассчитана по следующим формулам:

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

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

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

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

$$= 1 + q + q^2 + K + q^{n-1} + K + q + 2q^2 + K + (n-1)q^{n-1} + nq^n K =$$

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

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

Была рассчитана зависимость энтропии геометрического распределения от вероятности p успешной передачи данных одной из станций. Видно, что при задании более высокой вероятности успеха энтропия распределения снижается, следовательно, потребный ресурс для обмена данными уменьшается. Однако это достигается только при уменьшении вероятности коллизий в сети. Достичь этого можно, например, ценой ограничения такого ключевого параметра эффективности, как максимальная длительность передаваемых пакетов.

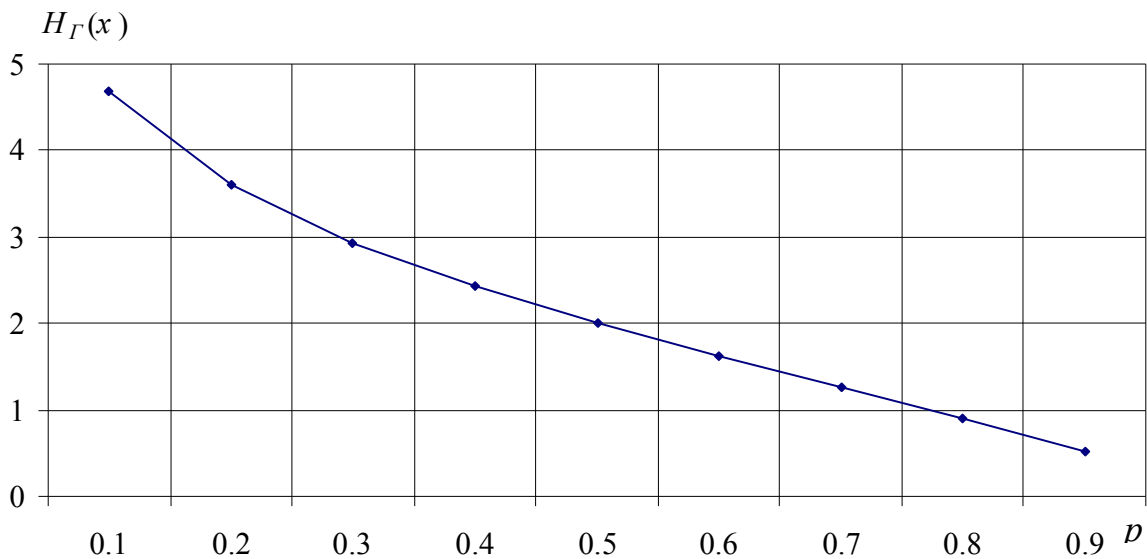


Рис. 3. Зависимость энтропии геометрического распределения от вероятности успеха p

Для сравнения рассчитана зависимость дифференциальной энтропии от среднеквадратического отклонения интервала передачи от максимально допустимого. Наблюдается монотонный рост энтропии, следовательно, рост потребного ресурса обмена данными.

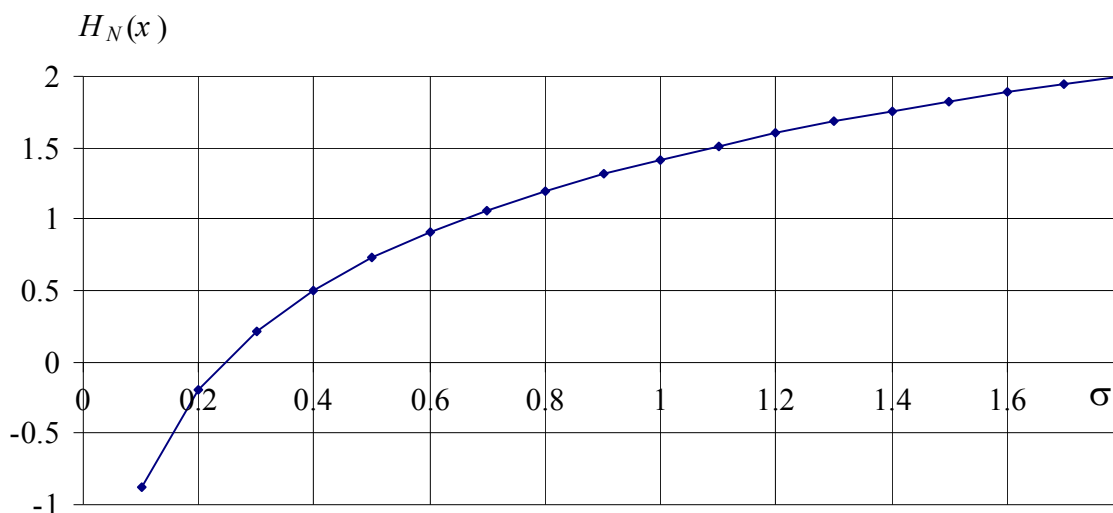


Рис. 4. Зависимость энтропии гауссовского (нормального) распределения от среднеквадратического отклонения σ

Отметим, что при расчете энтропийных мер можно использовать разные параметры модельных распределений. При этом сравнительные оценки, основанные на энтропии, будут достаточно универсальными и наглядными.

III. Выводы

Для оценивания производительности беспроводных сетей, информационно - энтропийные меры, которые предлагается применять, являются достаточно универсальными и дают наглядное представление о ключевых параметрах эффективности функционирования сетей. Рассчитывая обычную или дифференциальную энтропию для модельных распределений интенсивности разнородного сетевого трафика, можно получать обобщенные сравнительные характеристики эффективности функционирования сетей в широком диапазоне статистических параметров.

Нахождение функциональной или статистической связи между параметрами трафика и характеристиками сети, является необходимым условием для произведения оценки производительности сети. Данная задача представляем предмет дальнейших исследований.

Литература:

1. Вишневский В. М., Ляхов А. И., Портной С. Л., Шахнович И. В. *Широкополосные беспроводные сети передачи информации*. – М.: Техносфера. – 2005. – 592 с.
2. Bianchi G. *Performance analysis of the IEEE 802.11 distributed coordination function // IEEE Journal on Selected Areas in Communications*. – Nr. 18(3), March, 2000. – PP. 535 – 547.

3. Cali F., Conti M., Gregory E. *Tuning of the IEEE 802.11 protocol to achieve a theoretical throughput limit // IEEE/ACM Transactions on Networking.* – Nr. 8(6), December, 2000. – PP. 785 – 799.
4. Столлингс В. *Современные компьютерные сети. 2-е издание.* – СПб.: Питер, 2003. – 783с.
5. *Теория электрической связи: учебное пособие / К. К. Васильев, В. А. Глушков, А. В. Дормидонтов, А. Г. Нестеренко; под общ. ред. К. К. Васильева.* – Ульяновск: УлГТУ, 2008. – 452 с.
6. Дмитриев В. И. *Прикладная теория информации.* – М.: Высшая школа. – 1989. – 320 с.

References:

1. Vishnevskiy V. M., Lyakhov A. I., Portnoy S. L., Shakhnovich I. V. *Shirokopolosnye besprovodnye seti peredachi informatsii.* – М.: Tekhnosfera. – 2005. – 592 s.
2. Bianchi G. *Performance analysis of the IEEE 802.11 distributed coordination function // IEEE Journal on Selected Areas in Communications.* – Nr. 18(3), March, 2000. – PP. 535 – 547.
3. Cali F., Conti M., Gregory E. *Tuning of the IEEE 802.11 protocol to achieve a theoretical throughput limit // IEEE/ACM Transactions on Networking.* – Nr. 8(6), December, 2000. – PP. 785 – 799.
4. Stollings V. *Sovremennye kompyuternye seti. 2-e izdanie.* – SPb.: Piter, 2003. – 783s.
5. *Teoriya elektricheskoy svyazi: uchebnoe posobie / K. K. Vasilev, V.A. Glushkov, A. V. Dormidontov, A. G. Nesterenko; pod obshch. red. K. K. Vasileva.* – Ulyanovsk: UlGTU, 2008. – 452 s.
6. Dmitriev V. I. *Prikladnaya teoriya informatsii.* – М.: Vysshaya shkola. – 1989. – 320 s.