

УДК 004.7

Е.Н. Едемская, ст. преподаватель,  
Д.В. Бельков, к.т.н., доц.  
Донецкий национальный технический университет, г. Донецк, Украина  
belkov@telenet.dn.ua, botba@list.ru

## Исследование видео трафика методами нелинейной динамики

*Исследование видео трафика является важным, поскольку фрактальный трафик в системах передачи речи и видео ухудшает качество обслуживания. Целью настоящей работы является исследование видео трафика для выявления его характерных особенностей методами нелинейной динамики. Предполагается, что временной ряд измерений трафика является неслучайным. Он генерируется динамической системой по детерминированному алгоритму. Возникает задача оценки характеристик этой системы. Требуется найти количество переменных, необходимых для задания состояния системы и фрактальную размерность аттрактора, соответствующего наблюдаемому режиму. Это позволит создать модель процесса в виде дифференциальных уравнений или дискретных отображений. Исследования выполнены в среде Matlab с использованием OpenTStool. Для изучения выбраны реализации сжатого видео стандарта H.263. Изучаемые временные ряды представляют собой измерения объемов (байт) последовательно поступающих фреймов. В первом случае (ряд frameH16) трафик имеет постоянную скорость 16 kbit/sec, во втором (ряд frameH64) - 64 kbit/sec. Третий ряд (frameH256) – передача со скоростью 256 kbit/sec, четвертый ряд (frameVBR) – передача без установки постоянной скорости. Получены следующие результаты. Показатели Ляпунова изучаемых процессов равны нулю, т.е. динамическая система, генерирующая временные ряды, является периодической, а фазовые траектории образуют предельный цикл. Для описания временного ряда frameH16 необходима система двух дифференциальных уравнений или двумерное дискретное отображение. Для описания временных рядов frameH64, frameH256, frameVBR необходима система трех дифференциальных уравнений или трехмерное дискретное отображение.*

**Ключевые слова:** Видео трафик, фазовые траектории, аттрактор, корреляционная размерность, показатели Ляпунова

### Введение

Увеличение видов предоставляемых услуг и растущая сложность телекоммуникационных систем и сетей требует разработки адекватных методов анализа и синтеза этих систем для получения достоверных оценок их характеристик. При многообразии сетей и способов выделения сетевого ресурса для обслуживания трафика необходима разработка моделей, которые учитывают реальный характер потоков сообщений и детали обслуживания мультисервисного трафика различных приложений (речь, видео, данные). Передачу потоков разных служб обеспечивает единая сеть. Поскольку источники каждой службы могут иметь разные скорости передачи информации или изменять ее в процессе сеанса связи, то потокам пакетов свойственны пачечность и фрактальность. В реализации трафика присутствует некоторое количество больших пульсаций при относительно малом среднем уровне трафика. Пакеты поступают в узел не по отдельности, а пачкой. Это явление ухудшает характеристики (увеличивает потери, задержки, джиттер пакетов) при прохождении трафика по сети [1,2].

Исследование видео трафика является важным, поскольку фрактальный трафик в системах передачи речи и видео ухудшает качество обслуживания. Фрактальный трафик сохраняет поведение и внешние признаки при рассмотрении в разном масштабе. Поэтому методы моделирования и расчета сетевых систем, основанные на использовании Пуассоновских потоков, не дают точной картины процессов, происходящих в сети.

Учет фрактальности трафика позволит более точно описать и воспроизвести видео трафик, что, обеспечит возможность получения заданных показателей качества обслуживания [3].

Целью настоящей работы является исследование видео трафика для выявления его характерных особенностей методами нелинейной динамики. Предполагается, что временной ряд измерений трафика является неслучайным. Он генерируется динамической системой по детерминированному алгоритму. Возникает задача оценки характеристик этой системы. Требуется найти количество переменных, необходимых для задания состояния системы и фрактальную размерность аттрактора, соответствующего наблюдаемому режиму. Это

позволит создать модель процесса в виде дифференциальных уравнений или дискретных отображений.

В работе решаются следующие задачи: оценивается средняя взаимная информация изучаемых сетевых процессов, вычисляются корреляционные размерности и показатели Ляпунова, строятся фазовые траектории в трехмерном фазовом пространстве. Исследования выполнены в среде Matlab с использованием OpenTStool [4].

### Реализации видео трафика

Для изучения выбраны реализации сжатого видео стандарта H.263. Согласно лицензии данные свободно доступны для анализа.

Первоначально видео данные были обработаны программой bttvgrab (Version 0.15.10) и представлены в виде фреймов с частотой 25 frames/sec в QCIF формате. С помощью кодера tmn (Version 2.0/3.2) был получен поток сжатого видео стандарта H.263 [5].

Изучаемые временные ряды представляют собой измерения объемов (байт) последовательно поступающих фреймов. Ряды показаны на рисунках 1-4. В первом случае (ряд frameH16) трафик имеет постоянную скорость 16 kbit/sec, во втором (ряд frameH64) - 64 kbit/sec. Третий ряд (frameH256) – передача со скоростью 256 kbit/sec, четвертый ряд (frameVBR) – передача без установки постоянной скорости.

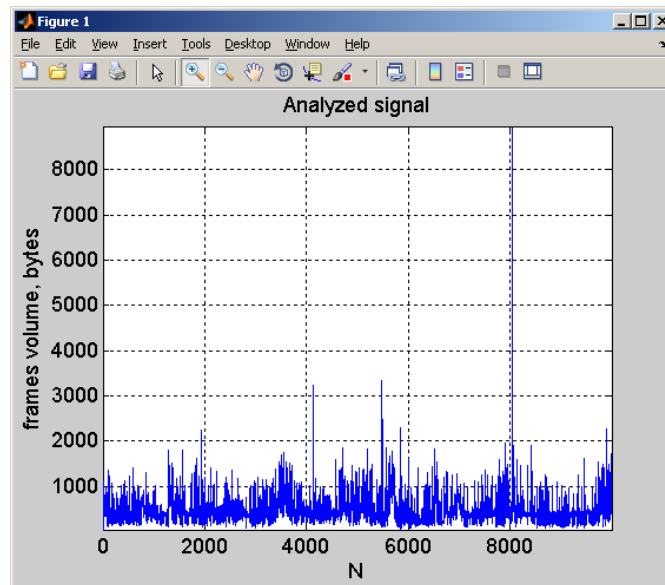


Рисунок 1 – Временной ряд frameH16

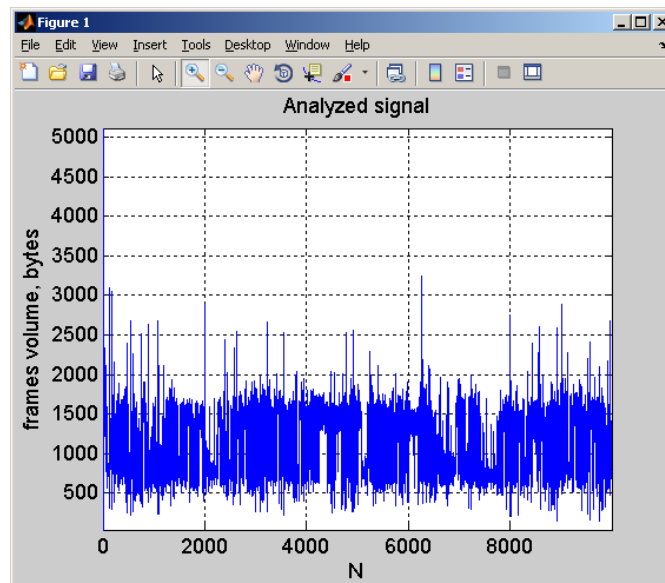


Рисунок 2 – Временной ряд frameH64

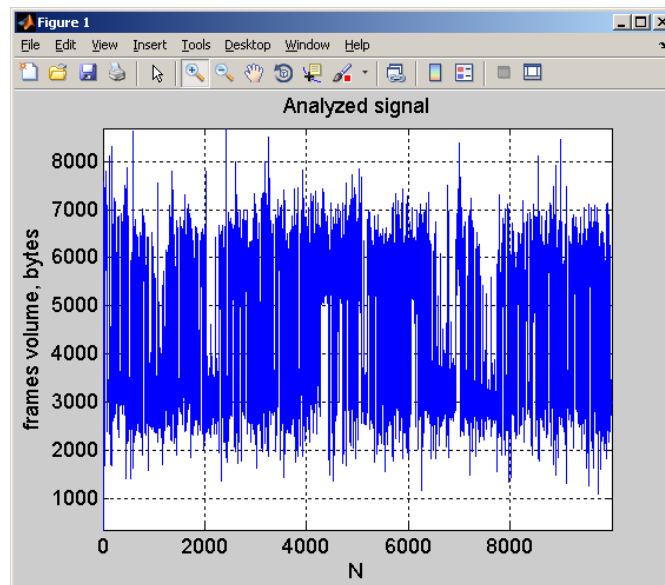


Рисунок 3 – Временной ряд frameN256

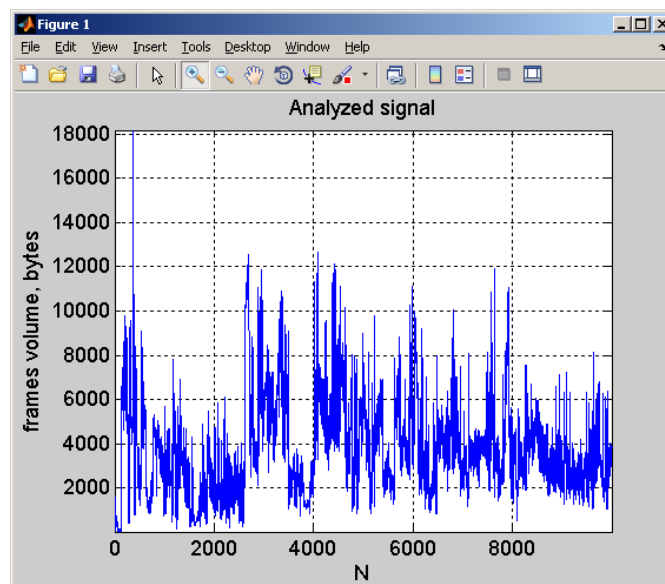


Рисунок 4 – Временной ряд frameVBR

### **Анализ взаимной информации**

В этом разделе выполнен анализ средней взаимной информации. Это статистическая функция двух случайных величин, описывающая количество информации, содержащееся в одной случайной величине относительно другой. Необходимо выбрать оптимальное значение минимального временного лага, которое будет использоваться при вычислении корреляционной размерности динамической системы. Оценка

проводится на основании графиков, показанных на рисунке 5. Визуальный анализ позволяет сделать следующие выводы: для временных рядов frameN16, frameN64 функция средней взаимной информации достигает первого нулевого значения при  $\tau = 6$ , для временных рядов frameN256, frameVBR - при  $\tau = 7$ . Поэтому минимальный временной лаг при исследовании трафика выбирается соответственно равным 6 или 7.

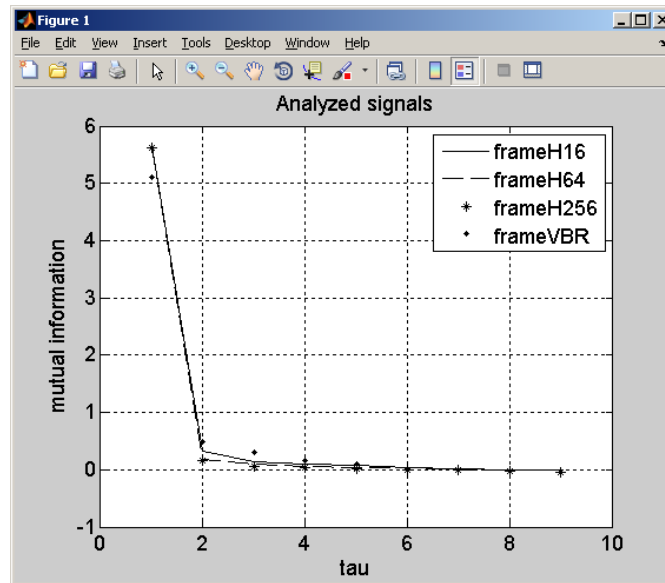


Рисунок 5 – Средняя взаимная информация для временных рядов

### Фазовое пространство

В этом разделе изучается движение динамической системы в трехмерном фазовом пространстве. Для исследуемых временных рядов получены сложные запутанные траектории движения. Они занимают лишь часть пространства, а не распределяются в фазовом

пространстве равномерно. Это свидетельствует о том, что в движении есть определенный порядок. Существует выделенная область притяжения траекторий (аттрактор) в фазовом пространстве. Фазовые траектории изучаемых временных рядов приведены на рисунках 6-9.

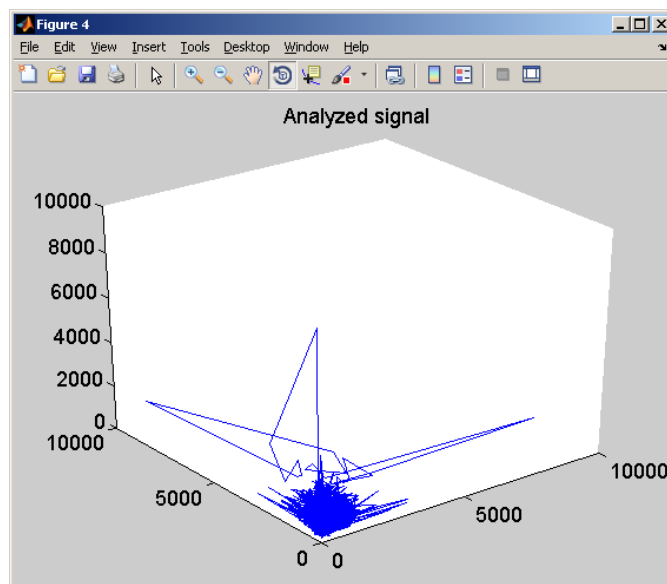


Рисунок 6 – Аттрактор временного ряда frameH16

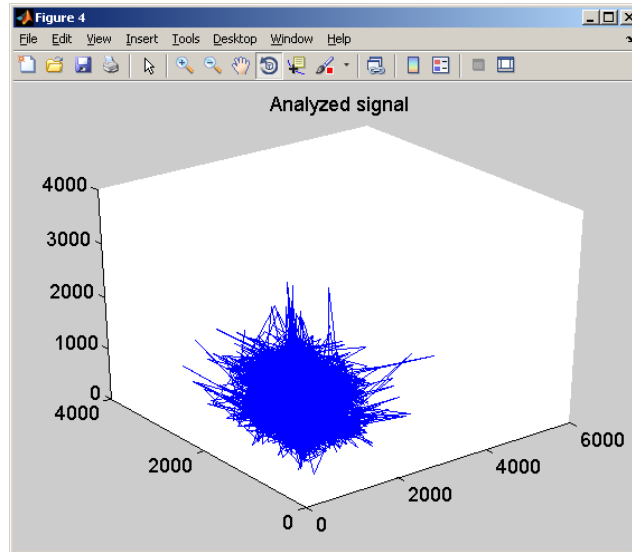


Рисунок 7 – Аттрактор временного ряда frameH64

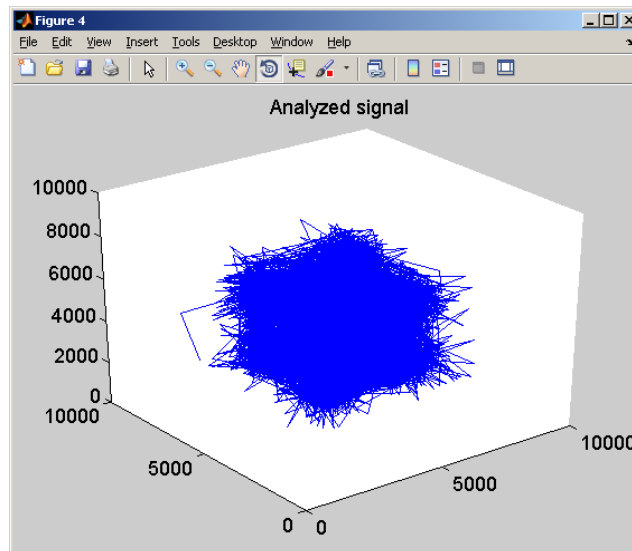


Рисунок 8 – Аттрактор временного ряд frameH256

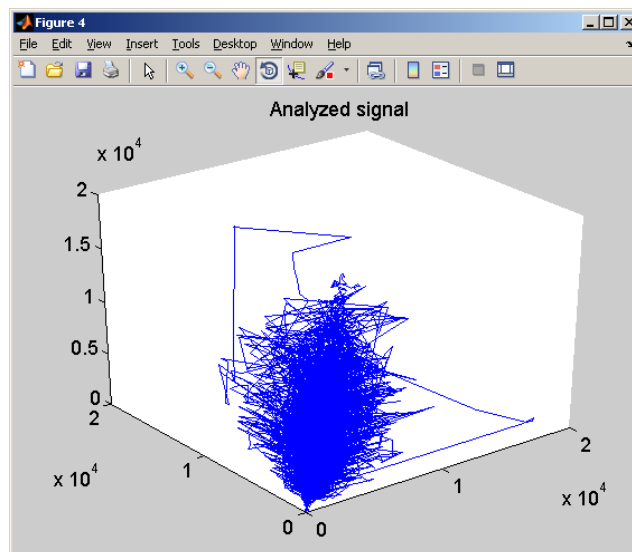


Рисунок 9 – Аттрактор временного ряда frameVBR

### Корреляционная размерность

В этом разделе выполнен расчет корреляционных размерностей аттракторов исследуемых временных рядов. Одним из основных инструментов, используемых для изучения фазового пространства системы, служит корреляционный интеграл, который позволяет оценить корреляционную размерность  $D_c$  аттрактора, погруженного в пространство размерности  $m$ . Вычисление размерности аттрактора по временному ряду позволяет оценить минимальное количество уравнений, необходимых для описания наблюдаемого процесса. В данной работе для расчета корреляционного интеграла используется алгоритм Грассбергера-Прокаччия. Он основан на соотношении:

$$C(\varepsilon, m) = \frac{\text{число\_пар} \|z_i - z_j\| < \varepsilon}{\text{общее\_число\_пар } z_i, z_j}. \text{ Здесь}$$

$z_i, z_j$  - векторы координат точек в фазовом пространстве размерности  $m$ . Корреляционный интеграл есть вероятность того, что две точки, выбранные случайно, удалены друг от друга

меньше, чем на расстояние  $\varepsilon$ . Соотношение  $C(\varepsilon, m) \sim \varepsilon^{D_c}$  позволяет оценить размерность  $D_c$  по наклону линейного участка графика  $\log(c(\varepsilon, m)) \cong -D_c \cdot \log(\varepsilon) + \text{const}$ . Отсутствие линейного участка графика свидетельствует о недопустимо малой длине временного ряда или о том, что радиус  $\varepsilon$  окрестности сопоставим с размером аттрактора.

Корреляционные интегралы временных рядов представлены на рисунке 10. Полученные значения  $D_c$ , показаны в таблице 1.

Таблица 1 – Корреляционная размерность

Временной ряд	Корреляционная размерность $D_c$
frameH16	1,5714
frameH64	2,1757
frameH256	2,7837
frameVBR	2,6152

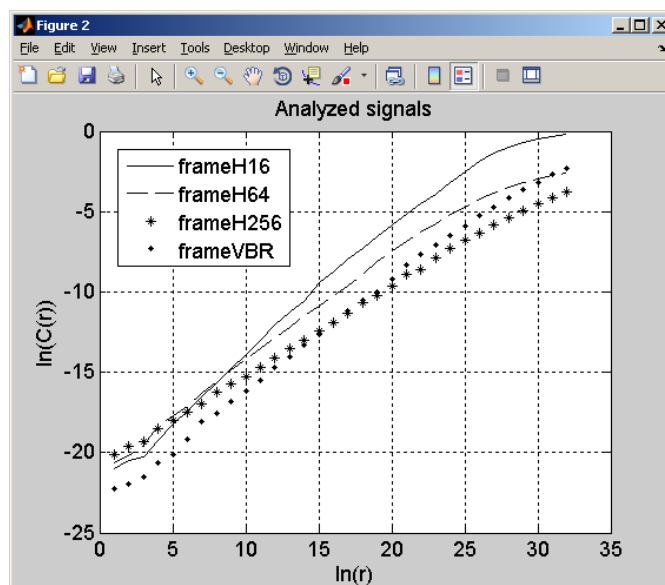


Рисунок 10 – Корреляционные интегралы временных рядов

### Показатели Ляпунова

Степень зависимости системы от начальных условий может быть измерена с помощью показателей Ляпунова. Они являются мерой того, насколько быстро близкие траектории расходятся в фазовом пространстве. Существует по одному показателю Ляпунова для каждой размерности фазового пространства. Положительный показатель Ляпунова измеряет

растяжение фазового пространства, т.е. то, насколько быстро расходятся близлежащие траектории. Отрицательный показатель Ляпунова измеряет сжатие - то, как долго система восстанавливается после испытанного возмущения. Показатели Ляпунова позволяют классифицировать аттракторы. Трехмерный точечный аттрактор характеризуется тремя отрицательными показателями Ляпунова (-,-,-). Все три размерности сжимаются в фиксированную точку. Трехмерные предельные

циклы имеют два отрицательных показателя и один равный нулю (0,-,-). Предельные циклы имеют две размерности, которые стягиваются в точку, и одну размерность, в которой не происходит изменений в относительных положениях точек. Это порождает замкнутые орбиты.

Трехмерные странные аттракторы имеют один положительный показатель, один отрицательный и один равный нулю (+,0,-). Положительный показатель Ляпунова указывает на чувствительную зависимость от начальных условий и хаотическое поведение системы. Существует тенденция при малых изменениях начальных условий сильно изменять будущее поведение. Отрицательный показатель заставляет расходящиеся траектории оставаться в области аттрактора [6].

В данной работе старшие показатели Ляпунова вычислены с помощью процедуры, реализующей алгоритм Розенштейна [7]. Для всех изучаемых временных рядов они равны нулю. Это свидетельствует о том, что сложные фазовые траектории, показанные на рисунках 6-9, являются замкнутыми.

Цикличность фазовых траекторий приводит к периодичности динамической системы, что может быть использовано для предсказания ее поведения.

## Выводы

В данной работе для реализаций [3] трафика сжатого видео стандарта H.263, выполнен анализ средней взаимной информации, корреляционных размерностей и показателей Ляпунова. Построены фазовые траектории изучаемых процессов в трехмерном фазовом пространстве. Получены следующие результаты:

1. Показатели Ляпунова изучаемых процессов равны нулю, т.е. динамическая система, генерирующая временные ряды, является периодической, а фазовые траектории образуют предельный цикл.
2. Для описания временного ряда frameH16 необходима система двух дифференциальных уравнений или двумерное дискретное отображение.
3. Для описания временных рядов frameH64, frameH256, frameVBR необходима система трех дифференциальных уравнений или трехмерное дискретное отображение.

Перспективным направлением дальнейших исследований может быть составление дискретных отображений для моделирования временных рядов и прогнозирование поведения трафика.

## Список литературы

1. Park K. Self-Similar Network Traffic: An Overview. [Электронный ресурс], 2003. – Режим доступа: <http://pi.314159.ru/park1.pdf>
2. Willinger W., Taqqu M.S., Errimilli A. A bibliographical guide to self-similar traffic and performance modeling for modern high-speed networks. [Электронный ресурс], 2001. – Режим доступа: <http://linkage.rockefeller.edu/wli/reading/taqqu96.pdf>
3. Урьев Г.А. Исследование фрактальных свойств потоков трафика реального времени и оценка их влияния на характеристики обслуживания телекоммуникационных сетей. Автореферат диссертации. Москва. – 2007. – 21 с.
4. TSTOOL Home Page. [Электронный ресурс], 2012. – Режим доступа: <http://www.physik3.gwdg.de/tstool/index.html>
5. MPEG-4 and H.263 Video Traces for Network Performance Evaluation. [Электронный ресурс], 2008. – Режим доступа: <http://www-tnk.ee.tu-berlin.de/research/trace/trace.html>
6. Кузнецов С.П. Динамический хаос. Москва: ДМК, 1995. – 294 с.
7. LYAPROSEN: MATLAB function to calculate Lyapunov exponent. [Электронный ресурс], 2012. – Режим доступа: <http://ideas.repec.org/c/boc/bocode/t741502.html>

Надійшла до редколегії 10.04.2013

**Є.М. ЄДЕМСЬКА, Д.В. БЄЛЬКОВ**

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»

**ДОСЛІДЖЕННЯ ВІДЕО ТРАФІКА МЕТОДАМИ НЕЛІНІЙНОЇ ДИНАМІКИ**

Дослідження відео трафіка є важливим, оскільки фрактальний трафік в системах передачі мови і відео погіршує якість обслуговування. Метою даної роботи є дослідження відео трафіка для виявлення його характерних особливостей методами нелінійної динаміки. Передбачається, що часовий ряд вимірювань трафіка є не випадковим. Він генерується динамічною системою по детермінованому алгоритму. Виникає задача оцінки характеристик цієї системи. Потрібно знайти кількість змінних, необхідних для завдання стану системи, і фрактальну розмірність аттрактора, відповідного спостережуваному режиму. Це дозволить створити модель процесу у вигляді диференціальних рівнянь або дискретних відображень. Дослідження виконані в середовищі Matlab з використанням OpenTStool. Для вивчення вибрані реалізації стислого відео стандарту H.263. Досліджується потік фреймів фільму «Парк Юрського періоду». Тимчасові ряди, що вивчаються, є вимірюваннями об'ємів (байт) фреймів, які поступають послідовно. В першому випадку (ряд parkH16) трафік має постійну швидкість 16 kbit/sec, у другому (ряд parkH64) - 64 kbit/sec. Третій ряд (parkH256) – передача із швидкістю 256 kbit/sec, четвертий ряд (parkVBR) – передача без установки постійної швидкості. Отримані наступні результати. Показники Ляпунова процесів, що вивчаються, рівні нулю, тобто динамічна система, яка генерує тимчасові ряди, є періодичною, а фазові траєкторії утворюють граничний цикл. Для опису тимчасового ряду parkH16 необхідна система двох диференціальних рівнянь або двовимірне дискретне відображення. Для опису тимчасових рядів parkH64, parkH256, parkVBR необхідна система трьох диференціальних рівнянь або тривимірне дискретне відображення.

**Ключові слова:** відео трафік, фазові траєкторії, аттрактор, кореляційна розмірність, показники Ляпунова.

**Ye.N. YEDEMSKA, D.V. BELKOV**

Donetsk National Technical University

**VIDEO TRAFFIC RESEARCH BY NONLINEAR DYNAMICS METHODS**

Recent studies of real traffic data in modern computer networks have shown that traffic exhibits self-similar (or fractal) properties over a wide range of time scales. The properties of self-similar traffic are very different from the traditional models of traffic based on Poisson, Markov-modulated Poisson, and related processes. The use of traditional models in networks characterized by self-similar processes can lead to incorrect conclusions about the performance of analyzed networks. These include serious over-estimations of the performance of computer networks, insufficient allocation of communication and data processing resources, and difficulties in ensuring the quality of service expected by network users. The self-similar network traffic can have a detrimental impact on network performance, including amplified queuing delay, retransmission rate and packet loss rate. Modern network traffic consists of more bursts than Poisson models predict over many time scales. This difference has implications for congestion control mechanisms and performance. The video traffic research is important because self-similar nature of network traffic leads to a number of undesirable effects like high buffer overflow rates, large delays and persistent periods of congestion and the severity of these conditions is directly proportional to the degree of self-similarity. On the other hand, the long memory property of self-similar traffic is able to help to forecast traffic for the purpose of quality of service (QoS) provision. Another interesting area in the network traffic studies is using the methods of nonlinear analysis (chaos theory) for its parameter modeling and prediction. The article contains H.263 encoded video traffic research. H.263 encoded video is expected to account for large portions of the traffic in future wireline and wireless networks. To date the analysis of H.263 encoded video has been provided in few publications. The experiment was executed in the Matlab environment and OpenTStool.

The flow of frames of the Jurassic Park film was explored. The video flows have 16 kbit/sec (parkH16), 64 kbit/sec (parkH64), 256 kbit/sec (parkH256) and variable bit rate (parkVBR). Each video flow of YUV information was grabbed with bttvgrab (Version 0.15.10) and stored on disk. The YUV information was grabbed at a frame rate of 25 frames/sec in the QCIF format. The YUV frame sequences were used as input for the H.263 encoder. The following results have been obtained: Lyapunov exponents for studied processes are equal to zero, the dynamic system is periodic, and the phase trajectories form the cycle. For parkH16 description two differential equations or a two discrete maps system are necessary. For parkH64, parkH256, parkVBR description three differential equations or a three discrete maps system are necessary.

**Keywords:** video traffic, quality of service, phase trajectories, attractor, correlations dimension, Lyapunov exponents.