

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

## Исследование UDP-трафика с помощью отображения Эно

*В работе исследуются задержки UDP-пакетов. С помощью отображения Эно получена имитационная модель временного ряда задержки. Предложено отображение Эно для построения фазового портрета динамической системы, генерирующей временной ряд задержки. Построено бифуркационное дерево отображения Эно для выбора управляющего параметра модели.*

**Трафик, задержка пакетов, отображение Эно, фазовый портрет, бифуркационное дерево**

### Введение

Исследования, выполненные в последние годы, свидетельствуют о том, что трафик современных сетей обладает свойством самоподобия (масштабной инвариантности), имеет память (последствие) и обладает высокой пульсацией [1]. По этой причине расчет параметров системы распределения информации, предназначенной для обработки сетевого трафика, по классическим формулам с использованием простейшего потока требований дает неоправданно оптимистические результаты.

Необходимость обеспечения высокого качества обслуживания при ситуации, когда периодически возникают резкие колебания задержки в передаче данных и большие потери пакетов, делает актуальной задачу построения моделей сетевого трафика для анализа его характерных особенностей. Данная работа посвящена разработке модели трафика на основе дискретного отображения Эно [2,3].

Цель работы: построение отображения Эно для моделирования временного ряда задержки UDP-пакетов. Объектом исследования является процесс задержки, который служит для получения информации о состоянии сети методом "черного ящика". Через сеть пропускается последовательность пакетов, и на основании времени их прохождения до удаленного узла делаются выводы о загрузке сети.

Задачи работы:

1. построить фазовый портрет динамической системы, порождающей временной ряд задержки;

2. сгенерировать отображение Эно для построения фазового портрета динамической системы, порождающей временной ряд задержки;
3. разработать имитационную модель ряда задержки с помощью отображения Эно;
4. построить бифуркационное дерево отображения Эно для выбора управляющего параметра модели.

### Реализация сетевого трафика

Для изучения выбрана реализация сетевого трафика UDP\_d64, полученная в университете города Наполи (Италия). Согласно лицензии данные свободно доступны для анализа. Измерения проводились каждые 10 миллисекунд, получено свыше 12 000 отсчетов для задержки UDP-пакетов объемом 64 байт. Отправитель имел ADSL-доступ (640 Kbps), на стороне получателя - 100 Mbps Ethernet, операционная система Linux на каждой из сторон, скорость передачи 100 pps [4].

Для процесса задержки на маршруте прохождения пакета можно выделить постоянную минимальную составляющую, обусловленную отсутствием очередей и переменную составляющую, возникающую из-за задержек в очередях. Задержка измеряется на стороне источника и складывается из времени обработки, времени распространения, времени коммутации, времени ожидания в очереди. Изучаемый временной ряд показан на рисунке 1. Нижний уровень задержки соответствует отсутствию очередей.

## ЗАДЕРЖКА ПАКЕТОВ

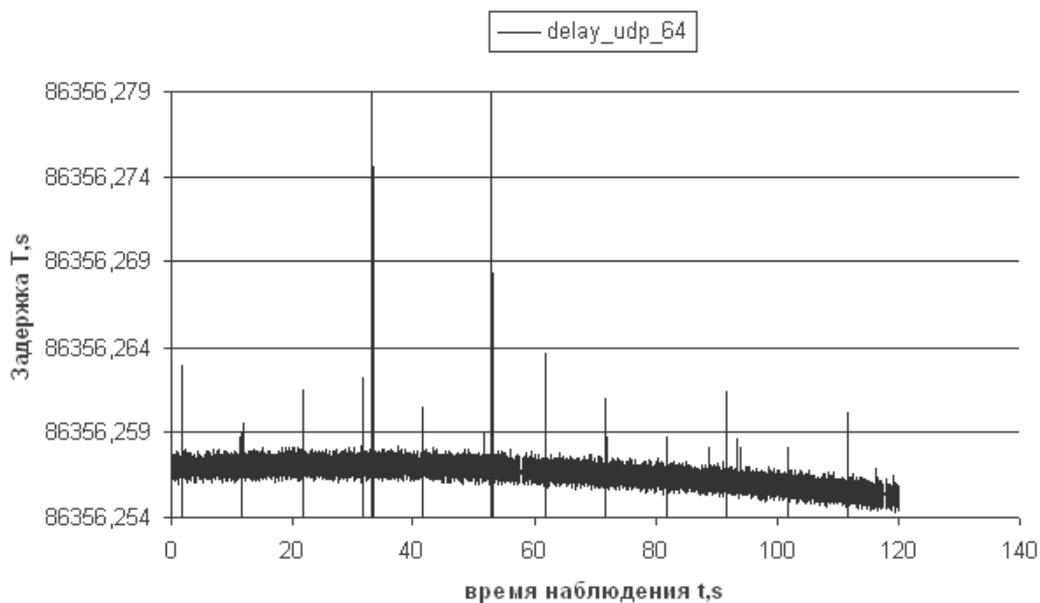


Рисунок 1 – Задержка при передаче пакетов объемом 64 байт

**Фазовый портрет системы**

В статье предполагается, что временной ряд UDP\_d64 генерируется динамической системой. Ее фазовый портрет показан на рисунке 2. Величина  $T(t+1)$  – задержка в момент  $(t+1)$ , величина  $T(t)$  – задержка в момент  $t$ . Траектория движения системы замкнута, т.е. изучаемый ряд является неслучайным и периодическим.

Для построения фазовой траектории предлагается использовать двумерное дискретное отображение Эно:  $X_{i+1} = 1 - aX_i^2 - bY_i$ ;  $Y_{i+1} = X_{i-1}$ . На рисунке 3 показан фазовый портрет такого отображения при  $a=0$ ,  $b=1$ . При  $a=1$ ,  $b=0$  фазовый портрет показан на рисунке 4.

## ФАЗОВЫЙ ПОРТРЕТ СИСТЕМЫ

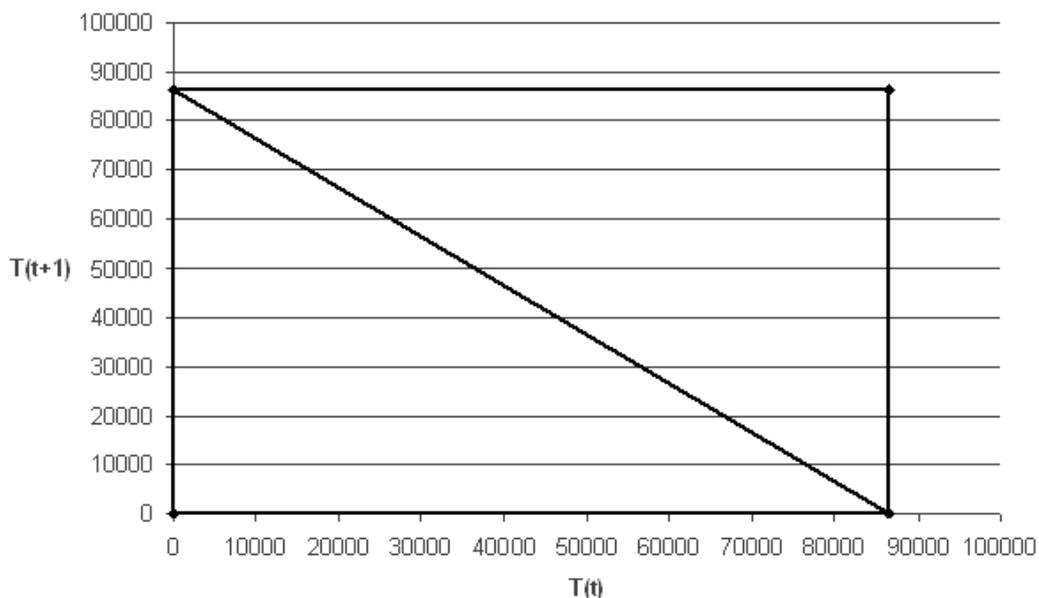
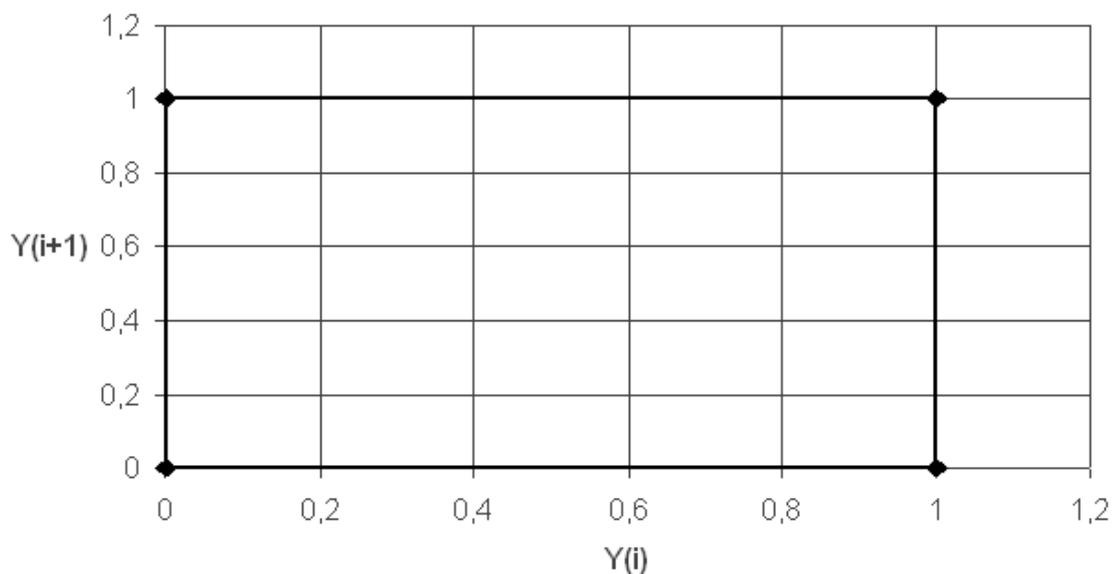
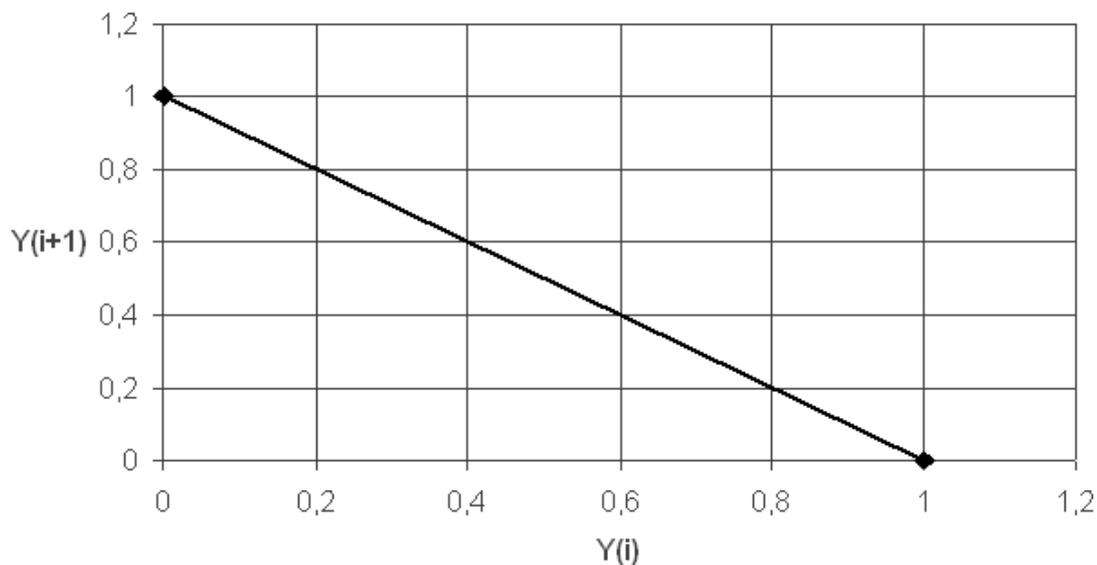


Рисунок 2 – Фазовый портрет системы

ФАЗОВЫЙ ПОРТРЕТ ОТОБРАЖЕНИЯ ЭНО,  $a=0, b=1$ Рисунок 3 – Фазовый портрет отображения Эно,  $a=0, b=1$ ФАЗОВЫЙ ПОРТРЕТ ОТОБРАЖЕНИЯ ЭНО,  $a=1, b=0$ Рисунок 4 – Фазовый портрет отображения Эно,  $a=1, b=0$ 

Для построения фазового портрета ряда UDP\_d64 с помощью дискретного отображения в статье предлагается отображение Эно, работающее по правилу: если  $i$  – нечетное, то  $a=0, b=1$ , если  $i$  – четное, то  $a=1, b=0$ . Фазовый

портрет такого отображения показан на рисунке 5. Он совпадает с портретом, показанным на рисунке 2, если  $X_{i+1} := kX_{i+1}$ ,  $Y_{i+1} := kY_{i+1}$  при  $k=86356,25$ .

ФАЗОВИЙ ПОРТРЕТ ПРЕДЛАГАЕМОГО ОТОБРАЖЕННЯ ЭНО

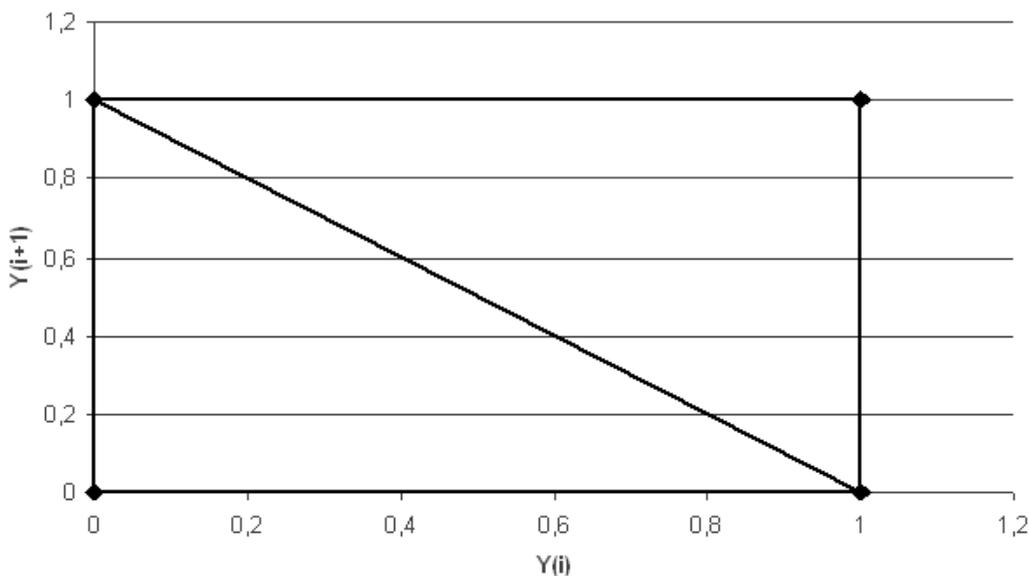


Рисунок 5 – Фазовый портрет отображения Эно

**Моделирование задержки**

В этом разделе моделируется фрагмент реализации задержек пакетов в очереди (ряд UDP\_w64). Он получен при удалении постоянной составляющей из ряда UDP\_d64. Фрагмент изучаемого ряда показан на рисунке 6. Для моделирования используется отображение Эно  $X_{i+1} = 1 + Y_i - aX_i^2$ ;  $Y_{i+1} = bX_i$ .

Как показано на рисунке 7, нужно настроить модель, назначив значения параметров  $X_0, Y_0$ ,  $a$  и  $b$  таким образом, чтобы минимизировать невязку. Результат моделирования показан на рисунке 8. Параметры

имеют следующие значения:  $X_0 = Y_0 = 0$ ,  $a=0,276$ ,  $b=0,264$ . После завершения переходного процесса ряд  $Y_i$  (W\_Henon) сходится к ряду UDP\_w64. Начальные значения  $X_0, Y_0$  выбраны таким образом, чтобы они совпадали с первоначальным значением фрагмента временного ряда UDP\_w64. Величина  $b$  задает установившееся значение этого фрагмента временного ряда. Влияние управляющего параметра  $a$  на динамику предлагаемой модели исследуется в следующем разделе.

ЗАДЕРЖКА В ОЧЕРЕДИ (ФРАГМЕНТ)

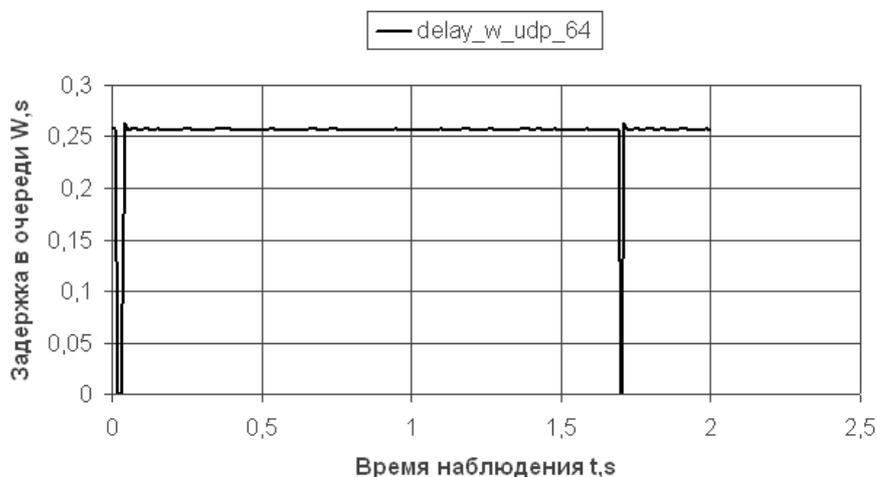


Рисунок 6 – Временной ряд UDP\_w64

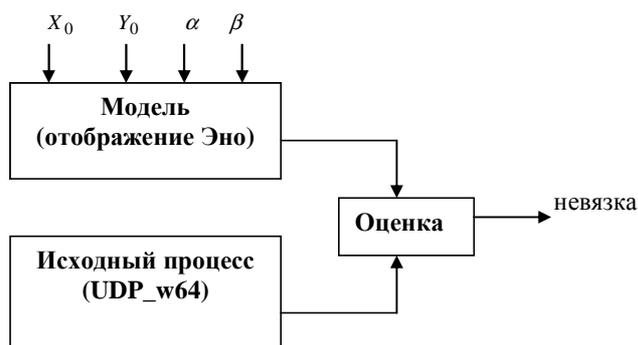


Рисунок 7 – Схема моделирования

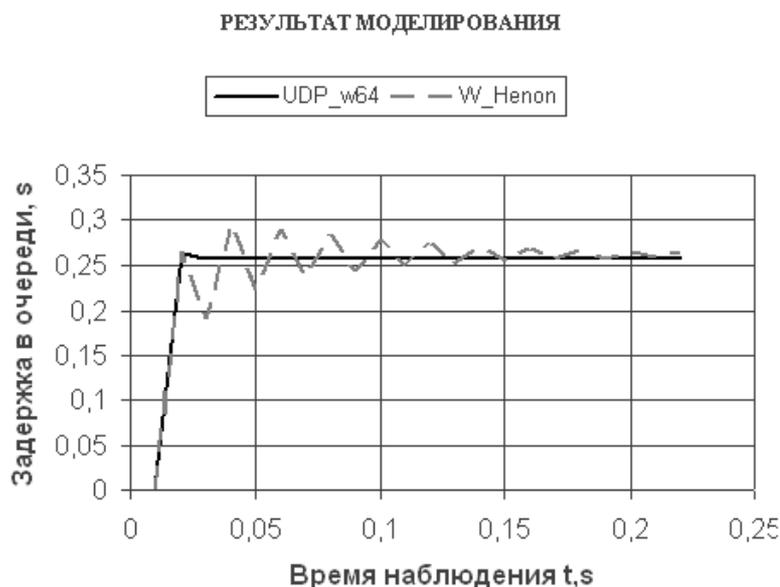


Рисунок 8 – Моделирование фрагмента временного ряда UDP\_w64

### Бифуркационная диаграмма

В этом разделе изучается динамика ряда  $Y_i$  в зависимости от параметра  $a$  при  $b=0,264$ . Такой анализ позволяет настроить модель (подобрать значение  $a$ , необходимое для моделирования исходного процесса). В диапазоне  $0,1 \leq a < 0,5$  после начального всплеска ряд устанавливается на одной устойчивой величине. Этот режим выбран в предыдущем разделе. В случае  $0,5 \leq a < 1$  ряд осциллирует между двумя величинами. Такой переход от одного к двум потенциальным решениям называется бифуркацией. При  $a=1$  ряд вновь теряет устойчивость и появляется четыре возможных решения. При дальнейшем увеличении  $a$  ряд будет вновь и вновь терять устойчивость. Критические величины  $a$  возникают все чаще и

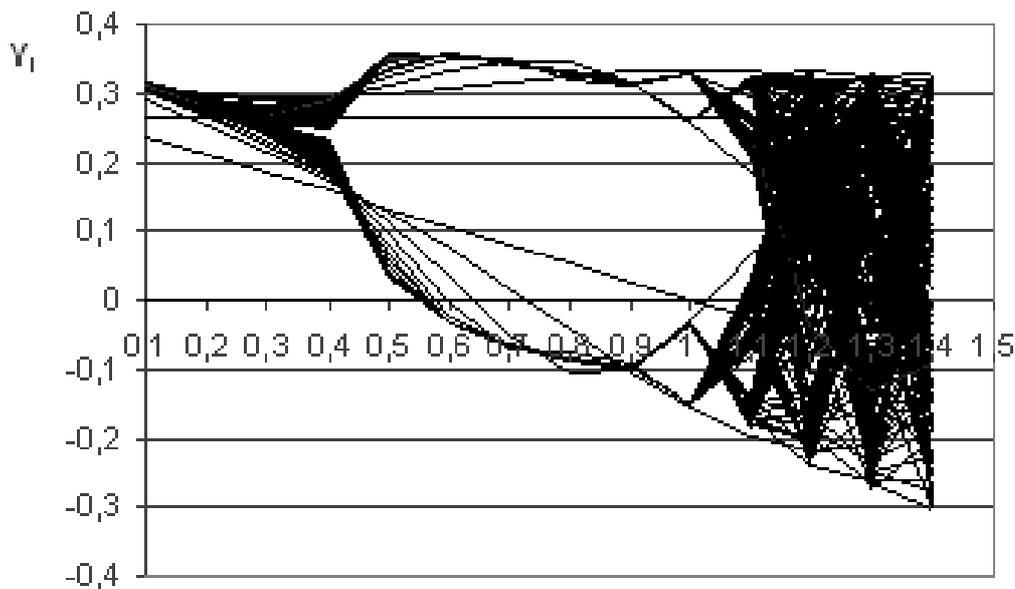
чаще и располагаются все ближе друг к другу. При  $a=1,1$  имеется восемь решений, при  $a=1,2$  – шестнадцать, при  $a=1,3$  – тридцать два, при  $a=1,4$  – шестьдесят четыре решения. При  $a=1,5$  ряд полностью теряет устойчивость. Число решений бесконечно. На рисунке 9 представлена бифуркационная диаграмма изучаемого процесса. На график нанесены величины  $Y_i$ , соответствующие различным значениям  $a$ . Из графика видно, что, несмотря на хаотичность отображения Эно, имеет место определенная упорядоченность в его возможных решениях. При малых значениях  $a$  существуют равновесные решения.

На рисунке 10 показана бифуркационная диаграмма в диапазоне  $0,9 \leq a < 1,4$  на графике с более высоким разрешением. На этом уровне детализации можно видеть, что хаотическая

область не сплошь покрыта точками. Существуют области, где точки сгущаются (хаос увеличивается). Имеются белые "окна", в которых порядка больше, чем хаоса. Эти "окна" иллюстрируют фрактальную природу изучаемой системы. При увеличении степени детализации становятся заметны все меньшие и меньшие участки, подобные целому. Такого рода самоподобие образует фрактал.

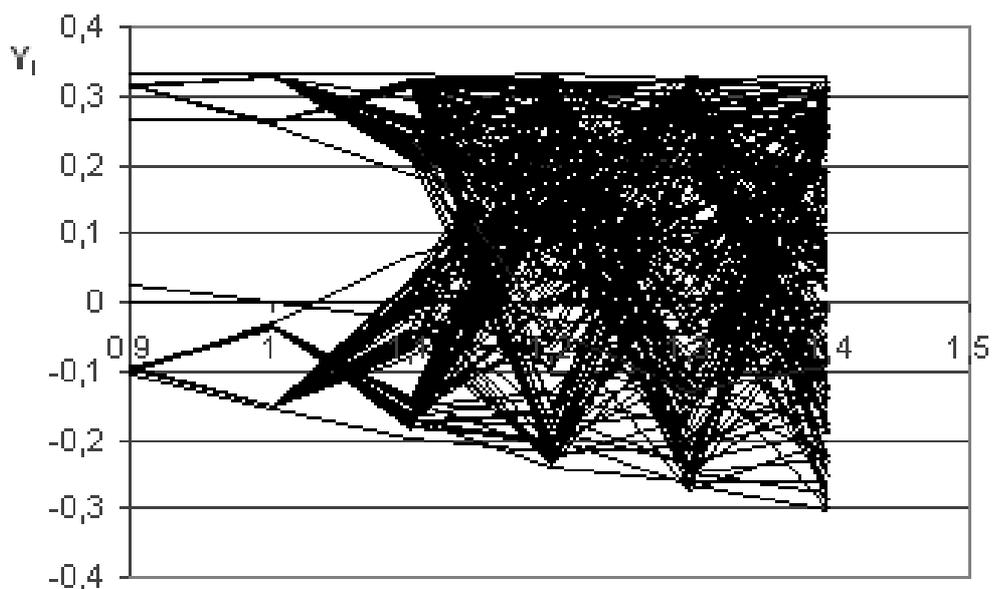
Бифуркационная диаграмма представляет множество возможных решений разностного

дифференциального уравнения. Все точки в хаотической области статистически не равновероятны. Темные полосы и устойчивые в широком диапазоне решения указывают на изменчивость вероятностей при возрастании  $a$ . При каждом  $a$  в хаотической области имеется бесконечное количество решений, заключенных в конечном пространстве.



а

Рисунок 9 – Бифуркационная диаграмма отображения Эно,  $b=0,264$



а

Рисунок 10 – Бифуркационная диаграмма в диапазоне  $0,9 \leq a < 1,4$

**Выводы**

Для процессов передачи данных пакетным трафиком, характерно обнаруженное на практике свойство масштабной инвариантности статистических характеристик, связанное с особым классом физических процессов – фрактальными процессами. В связи с этой особенностью компьютерных сетей особую актуальность приобретает разработка конструктивных методов исследования фрактальности и учет ее при передаче пакетного трафика. Для повышения эффективности работы современных телекоммуникационных систем требуется создание математических моделей, наиболее полно отражающих фрактальные свойства сетевых процессов.

В данной работе методами нелинейной динамики выполнено исследование реализации [4] процесса задержки UDP-пакетов объемом 64 байт. Предложено отображение Эно для построения фазового портрета динамической системы, генерирующей временной ряд задержки. С помощью отображения Эно получена имитационная модель временного ряда задержки пакетов в очереди. Построена бифуркационная диаграмма отображения Эно для выбора управляющего параметра модели.

Перспективным направлением дальнейших исследований является анализ процессов в беспроводных сетях методами нелинейной динамики.

**Список литературы**

1. Park K. Self-Similar Network Traffic: An Overview. [Электронный ресурс], 2003. – Режим доступа: <http://pi.314159.ru/park1.pdf>
2. Шустер Г. Детерминированный хаос. Москва: Мир, 1988. – 250 с.
3. Кузнецов С.П. Динамический хаос. Москва: ДМК, 1995. – 294 с.
4. Network tools and traffic traces. [Электронный ресурс], 2007. – Режим доступа: <http://www.grid.unina.it/Traffic/Traces/ttraces.php>

Надійшла до редколегії 30.03.2012

**Д.В. БСЛЬКОВ, Є.М. ЄДЕМСЬКА**

Донецький національний технічний університет

**Дослідження UDP-трафіка за допомогою відображення Ено.**

В роботі досліджуються затримки UDP-пакетів. За допомогою відображення Ено отримана імітаційна модель фрагмента ряду RTT-затримки. Запропоновано відображення Ено для побудови фазового портрета динамічної системи, що генерує часовий ряд затримки. Побудовано бифуркаційне дерево відображення Ено для вибору управляючого параметра моделі.

**Трафік, затримка пакетів, відображення Ено, фазовий портрет, бифуркаційне дерево.**

**D.V. BELKOV, E.N. EDEMSKAYA**

Donetsk National Technical University

**UDP-traffic research by the Henon map.**

UDP-packet delays are explored in the work. A simulation model of RTT-delay for the traffic fragment is got by the Henon map. The Henon map for the phase portrait construction of the dynamic system, generating delay time series is offered. A bifurcation tree of the Henon map is built for the choice of the model handling parameter.

**Traffic, packet delay, Henon map, phase portrait, bifurcation tree**