

01;09

Хаотические маркеры и асинхронная передача данных

© Ю.В. Андреев, А.С. Дмитриев, С.В. Емец, Л.В. Кузьмин
А.И. Панас, Д.Ю. Пузиков, С.О. Старков

Институт радиотехники и электроники РАН, Москва

Поступило в Редакцию 7 марта 2000 г.

Предложен способ идентификации объектов, основанный на использовании в качестве системы маркеров совокупности неустойчивых периодических орбит, образующих скелет хаотического аттрактора. Идея способа применена к задаче асинхронной пакетной передачи данных от нескольких пользователей через общий для всех канал связи и экспериментально апробирована при передаче двух музыкальных сигналов.

1. Одним из нетривиальных свойств хаотического аттрактора динамической системы является наличие у него внутренней "тонкой" структуры, включающей в себя два типа неустойчивых траекторий: счетное множество периодических траекторий (циклов) и множество траекторий, по которым происходит "блуждание" между этими периодическими орбитами [1–3]. Каждый хаотический аттрактор обладает уникальной структурой неустойчивых циклов, которая однозначно определяется уравнениями динамической системы и ее параметрами. Справедливо и обратное утверждение: множество неустойчивых периодических орбит однозначно определяет хаотический аттрактор, а через него и саму динамическую систему. Таким образом, если наблюдателю с данной конкретной динамической системой предъявляется некоторая периодическая траектория (или набор траекторий), порождаемая некоторой другой динамической системой, то он в состоянии установить, является ли породившая траекторию система копией его системы или нет. Поэтому неустойчивые циклы динамических систем могут быть использованы в качестве "хаотических маркеров", наличие которых у объекта идентифицирует принадлежность объекта.

Необходимость маркировки тех или иных объектов возникает в достаточно широком классе задач: конверты маркируются почтовыми марками, официальные бумаги — всевозможными штампами и печатя-

ми, товары — штрих-кодами. Маркерами являются также электронные подписи. IP-адреса в электронной корреспонденции и т.д. Основная задача любой маркировки заключается в том, чтобы придать объекту ряд признаков, совокупность которых позволяла бы однозначно идентифицировать объект или группу объектов. Маркеры могут выполнять разные функции. Часть из них устроена так, что информация, закладываемая в маркировку, прозрачна для любого наблюдателя и может быть сделана им самим (например, почтовые индексы, номера телефонов). В других случаях информация о маркировке должна быть понятна любому пользователю, но сама маркировка может производиться лишь в специальных условиях (печати, штампы, металлические и бумажные денежные знаки, кредитные карточки и др.). Наконец, в ряде случаев маркировка такова, что ее структура не может быть легко интерпретирована посторонним наблюдателем, и в силу этого несанкционированное использование такой маркировки (подделка) затруднено. Неотъемлемым свойством эффективной системы маркировки является возможность ее компактной и наглядной интерпретации законным пользователем.

В работе идея использования системы неустойчивых периодических орбит в качестве маркеров применяется к задаче пакетной асинхронной передачи данных от нескольких пользователей через единственный общий для всех канал связи.

2. Множество неустойчивых периодических орбит хаотического аттрактора состоит из циклов с различными периодами. Число орбит данного периода растет экспоненциально с увеличением длины периода. Например, для хаотических аттракторов отображения Лози [4,5]

$$\begin{aligned}x_{n+1} &= \alpha - 1 - \alpha|x_n| + y_n, \\y_{n+1} &= \beta x_n\end{aligned}\quad (1)$$

число орбит периода 7 составляет 6–10 при различных значениях параметров (α, β) , а количество орбит периода 15 колеблется уже в пределах от нескольких сотен до тысячи (рис. 1, а). Все эти орбиты различимы между собой. В связи с этим в работах [6–9] было предложено использовать неустойчивые периодические орбиты в качестве кодов для передачи информации, в том числе для организации многопользовательского доступа [7–9].

В данной работе неустойчивые орбиты применяются не для кодирования всей передаваемой информации, а лишь для обозначения ее принадлежности к той или иной группе пользователей, т. е. выполняют функцию хаотических маркеров.

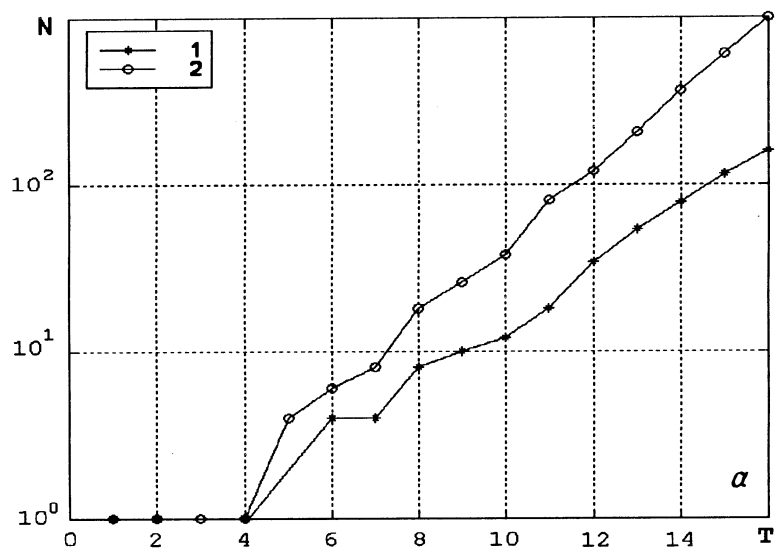


Рис. 1. *a* — зависимость количества неустойчивых периодических орбит N отображения Лозы (1) от периода T , 1 — $(\alpha, \beta) = (1.7, 0.5)$; 2 — $(\alpha, \beta) = (1.7, 0.5)$. *b* — структура асинхронного пакетного потока для случая двух сообщений: 1 — сообщение 1; 2 — сообщение 2; 3 — головные и хвостовые маркеры. *c* — схема нелинейного фильтра, осуществляющего селекцию асинхронного пакетного потока I: II — хаотическая динамическая система; 1 — пороговое устройство; 2 — идентификатор маркирующей неустойчивой орбиты; 3 — устройство, распределяющее содержимое информационных пакетов; III — получатель 1; IV — получатель 2.

3. Пусть имеются передатчик и приемник, обслуживающие соответственно N отправителей и N получателей информации. Пропускная способность канала между передатчиком и приемником достаточна, чтобы передавать всю информацию от отправителей к получателям. Требуется обеспечить режим работы, который позволял бы каждой паре потребителей передавать свою информацию без существенной задержки. При этом скорости передачи для разных пар пользователей могут сильно различаться.

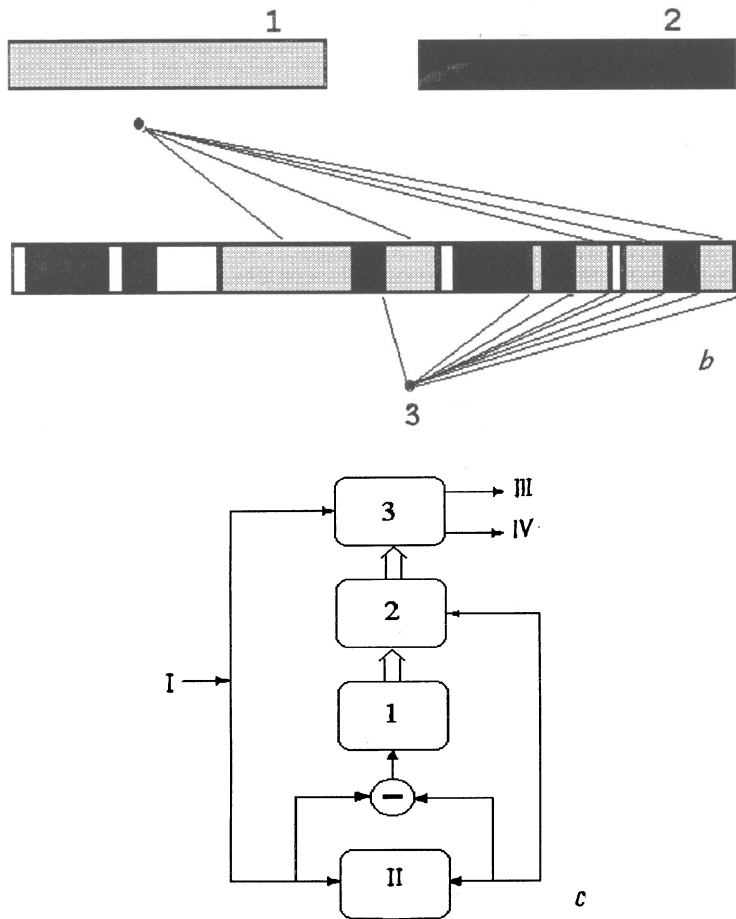


Рис. 1 (продолжение).

Для обеспечения указанных требований в передатчике разобьем сообщение каждого абонента-отправителя на фрагменты (информационные пакеты), длина которых зависит от запрашиваемой этим абонентом скорости передачи и требований к ней со стороны других абонентов.

Из совокупности фрагментов разных отправителей в передатчике формируется общий поток данных, который и передается через канал на вход приемника. Чтобы в приемнике отсортировать пакеты, относящиеся к разным пользователям, и восстановить передаваемые им исходные сообщения, каждой паре абонентов выделяется пара неустойчивых периодических траекторий — "хаотических" маркеров. Такой парой маркеров снабжается каждый фрагмент сообщения, относящегося к данной паре абонентов, причем один маркер используется в качестве "головы" информационного пакета, а второй — в качестве "хвоста". Маркеры данной пары абонентов известны как отправителю, так и получателю и генерируются путем итерирования одинаковых хаотических динамических систем (ХДС) в передатчике и приемнике.

Таким образом, в канал связи поступает асинхронная последовательность информационных пакетов, обрамленных индивидуальными маркерами. Пакеты, содержащие информацию различных отправителей могут следовать друг за другом в произвольном порядке, случайно перемешиваясь в общем потоке. Между ними могут быть паузы произвольной длительности, соответствующие, например, отсутствию информации на входе передатчика. Типичная структура асинхронного потока данных для двух пар пользователей показана на рис. 1, *b*.

В приемнике маркеры используются для идентификации начала и конца каждого информационного пакета и определения его принадлежности конкретному получателю. Эти задачи решаются в два этапа. На первом этапе весь информационный поток пропускается через специальный нелинейный фильтр, содержащий в качестве основного элемента хаотическую динамическую систему (ХДС). Фильтр (рис. 1, *c*) выявляет участки потока данных, соответствующие маркерам, идентифицирует информационные пакеты, сортирует их и направляет конкретным получателям. На втором этапе получатели восстанавливают сообщения из поступивших к ним информационных пакетов.

4. Для апробации описанной схемы асинхронной передачи данных была разработана экспериментальная установка и проведены эксперименты с двумя парами абонентов, в которых по одному каналу одновременно передавались два музыкальных сигнала. Схема установки приведена на рис. 2.

Передатчик и приемник установки были реализованы на базе сигнальных процессоров AD2181. На два входа передатчика одновременно подавались сигналы от двух аналоговых источников звука —

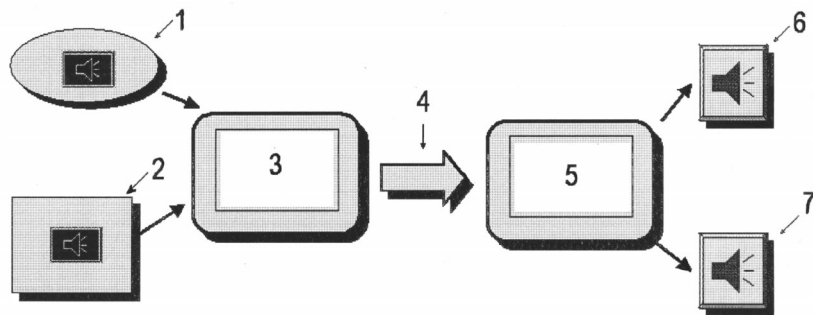


Рис. 2. Схема экспериментальной установки для одновременной асинхронной пакетной передачи двух музыкальных сигналов по общей проводной линии; 1 и 2 — источники музыкальных сигналов; 3 — передатчик, реализованный на сигнальном процессоре AD2189; 4 — канал связи в виде общей проводной линии; 5 — приемник, реализованный на сигнальном процессоре AD2189; 6 и 7 — воспроизводящие акустические системы.

кассетного магнитофона и проигрывателя компакт-дисков. Аналоговые аудиосигналы оцифровывались 16-битными АЦП с частотой 6 кГц. Далее цифровые сигналы разбивались передатчиком на фрагменты, в начало и конец которых устанавливались соответствующие хаотические маркеры. Из фрагментов формировался общий поток данных (рис. 1, *b*). Длина каждого фрагмента задавалась генератором случайных чисел и варьировалась в пределах от 30 до 300 16-битных отсчетов. В качестве маркеров использовались неустойчивые траектории периода 5, принадлежащие хаотическому аттрактору отображения Лози (1) при значениях параметров $\alpha = 1.1$; $\beta = 0.85$.

Для передачи через канал, функцию которого выполняла проводная линия, каждый 16-битный отсчет маркера или оцифрованного аудиосигнала преобразовывался в последовательность шестнадцати бинарных импульсов.

Приемник системы решал следующие задачи:

- производил синхронизацию поступающих бинарных импульсов;
- осуществлял преобразование потока двоичных данных в 16-битные отсчеты и осуществлял самосинхронизацию по хаотическим отсчетам маркеров;

— последовательно выявлял все головные и хвостовые маркеры пакетов, фиксировал их длину и положение в потоке данных;

— распределял в соответствии с маркерами пакеты между двумя абонентами, формировал из них исходные сообщения, преобразовывал их в аналоговую форму и воспроизводил с помощью акустических систем.

5. Эксперименты продемонстрировали высокое качество передачи данных и применимость хаотических маркеров для идентификации информации в многопользовательских системах связи.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 99-02-18315).

Список литературы

- [1] Шарковский А.Н. // Украинский математический журнал. 1964. № 1. С. 61–71.
- [2] Aurebach D., Cvitanovic P., Eckmann J.-P., Gunarathe G.H., Procaccia I. // Phys. Rev. Lett. 1987. V. 58. P. 2387–2398.
- [3] Cvitanovic P. // Phys. Rev. Lett. 1988. V. 61. P. 2729–2732.
- [4] Lozi R. // J. Phys. (Paris). 1978. V. 39. (coll. C5). P. 9–10.
- [5] Дмитриев А.С., Старков С.О., Широков М.Е. // Радиотехника и электроника. 1994. Т. 39. В. 9. С. 1392–1408.
- [6] Abarbanel H.D., Lindsay P. // IEEE Trans. On Circuits and Systems-II. 1993. V. 40. N 10. P. 643–645.
- [7] Дмитриев А.С., Панас А.И., Старков С.О. // Зарубежная радиоэлектроника. Успехи современной радиоэлектроники. 1997. № 10. С. 4–26.
- [8] Andreev Y., Dmitriev A., Kuminov D., Starkov S. // Proc. of NDES'97. 1997. Moscow. P. 185–190.
- [9] Dmitriev A., Starkov S. // Proc. of NDES'99. 1999. Bornholm, Denmark. P. 161–164.