

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ АССОЦИАТИВНОГО РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ

С.И. Сиващенко, канд. техн. наук, Д.В. Минюков, канд. техн. наук, А.В. Никитин, канд. техн. наук

Харьковский институт Военно-Воздушных Сил им. Ивана Кожедуба

Предложена модель дискретного отображения позволяющая кодировать информацию с высокой степенью скрытности и восстанавливать по фрагменту передаваемой информации связанный с ней образ.

* * *

Запропонована модель дискретного відображення, яка дозволяє кодувати інформацію з високою ступенем скритності та відновлювати по фрагменту інформації, що передається, пов'язаний з нею образ.

* * *

The model of discrete display, which is offered, allows coding the information with a high degree of reserve and to restore by a fragment of the transmitted information the image connected to it.

Постановка проблемы. В настоящее время использованию достижений нелинейной (хаотической) динамики в современных коммуникационных системах и компьютерных сетях уделяется большое внимание [1, 2]. Имеющиеся результаты показывают высокую эффективность применения динамических систем с хаосом в системах связи для обеспечения записи, хранения и конфиденциальности передачи информации.

При передаче конфиденциальной информации (изображения) по каналу связи рассмотрим одну из стратегий использования хаотических колебаний. Цифровыми методами формируется информационно-хаотический сигнал, при этом решается задача хаотического кодирования. По каналу связи передается небольшая часть (фрагмент) сообщения, достаточная для однозначного восстановления всей информации потребителем. При этом достигается повышение информационной скрытности и разгрузка канала связи, а использование хаотического кодирования, выполняет задачу обеспечения определенного уровня конфиденциальности передаваемой информации.

Анализ известных достижений. В ряде работ [3-5] были предложены и исследованы принципы записи и восстановления информации на основе

устойчивых и неустойчивых циклов одномерных и многомерных отображений. Не углубляясь в принципы записи (кодирования) и восстановления информации, предлагаемые в этих работах, отметим, что проблема заключается в конструировании отображения с M аттракторами (устойчивыми или неустойчивыми циклами), которые находятся в однозначном соответствии с M информационными блоками. Если эта задача решена, то при задании начальных условий на аттракторе можно восстановить сам аттрактор и соответствующий ему информационный блок. При произвольных начальных условиях траектория (эволюция состояния динамической системы в фазовом пространстве) сходится к одному из аттракторов, и последовательность распознается по начальным условиям.

Адаптивная модель распознавания на основе детерминированного хаоса введена в [3] и представляет собой одномерное отображение с информацией, записанной на неустойчивых циклах. Управление видом функции отображения осуществляется внешним сигналом, который изменяет наклоны информативных участков отображения. Наклоны могут быть разными и в отсутствие информационного сигнала релаксируют к начальному состоянию.

Выделение нерешенной проблемы. Отметим,

что для предложенного принципа записи и восстановления информации с использованием сложной нелинейной динамики характерна высокая чувствительность к уровню ошибок при распознавании образов. Кроме того, при наличии одинаковых фрагментов большой длины для кодирования информации требуется значительное увеличение уровней записи, что в свою очередь ведет к экспоненциальному увеличению среднего времени выхода итерированного процесса на аттрактор, соответствующий информационному блоку.

Цель данной работы – сконструировать и исследовать модели одномерных дискретных динамических систем для кодирования и распознавания образов по их фрагментам, искаженных шумом, управляя параметрами динамических систем с заданной структурой (видом отображения).

Постановка задачи. Рассмотрим одномерные дискретные динамические системы, позволяющие осуществлять кодирование информации с использованием стандартных программных и аппаратных средств с достаточно быстрым выходом итерированного процесса на аттрактор по наблюдению фрагмента изображения, искаженного слабым шумом.

Основной материал. Для решения этой задачи воспользуемся композицией логистических отображений, описывающих поведение дискретных динамических систем

$$x_{n+K} = \prod_{i=0}^{K-1} x_{n+i} (1 - x_{n+i}) \lambda_{n+K} \quad (1)$$

с заданным вектором начальных значений $\vec{x}_0 = (x_0, \dots, x_{K-1})$, содержащим K компонент. Параметры отображения $\lambda_{n+K} = \Delta \lambda_{n+K} + \lambda_K$ изменяются в соответствии с оцифрованным изображением (распознаваемым образом), заданным матрицей $\|a_{i,j}\|$ размером $M \times N$ ($i = 1, \dots, M$; $j = 1, \dots, N$). Преобразуем матрицу в одномерную последовательность $\{a_n\}$ - вектор длины $M \times N$. Компоненты параметров $\{\lambda_{n+K}\}$ задаются выражениями

$$\lambda_K = \frac{1}{K} \sum_{i=0}^{K-1} \frac{x_{n+i+1}}{x_{n+i} (1 - x_{n+i})}, \quad (2)$$

$$\Delta \lambda_{n+K} = \sqrt[K]{\frac{x_{n+K}}{\prod_{i=1}^{K-1} x_{n+i} (1 - x_{n+i})}} - \lambda_K, \quad (3)$$

где $x_n = a_n / p + b$. В выражении для x_n величин p и b выбираются из условия обеспечения последовательностью $\{\lambda_n\}$ хаотического поведения динамической системы.

Начальные значения \vec{x}_0 отображения (1) определяются цепочкой элементов, соответствующих фрагменту исходного изображения. Восстановление изображения по его фрагменту предполагает вычисление последовательности управляющих параметров на основе выражения

$$\lambda_{n+K} = \sqrt[K]{\frac{x_{n+K}}{\prod_{i=1}^{K-1} x_{n+i} (1 - x_{n+i})}} + \delta, \quad (4)$$

где $\delta = \lambda_K - \lambda_{\delta K}$, $\lambda_{\delta K} = \frac{1}{K} \sum_{i=0}^{K-1} \frac{y_{n+i+1}}{y_{n+i} (1 - y_{n+i})}$, а

y_{n+i+1} - наблюдаемое значение фрагмента изображения.

Возмущение элементов вектора \vec{x}_0 или его замена на фрагмент другого изображения $\vec{y}_0 = (y_0, \dots, y_{K-1})$, приводит к ошибке формирования множества параметров λ_{n+K} , вследствие выполнения неравенства $\lambda_K \neq \lambda_{\delta K}$. В результате восстановить исходное изображение не представляется возможным.

Однако рассмотренная модель отображения обладает рядом недостатков. Во-первых, оказывается чувствительной к области задания параметров λ_{n+K} и их возмущенных значений $\lambda_{n+K} + \delta$. Это связано с наличием в этой области "окон", в которых рассмотренное отображение не способно формировать хаотические последовательности. Выбо-

ром p и b можно добиться попадания параметров $(\lambda_{n+K} + \delta)$ в область, обеспечивающую хаотический режим отображения. Во-вторых, p и b должны определяться отдельно для каждого изображения. Кроме того, в результате моделирования было выяснено, что при определенных значениях параметра λ_K наблюдается снижение чувствительности алгоритма к ошибкам в начальных значениях отображения, в этом случае последовательности сходятся к одному и тому же устойчивому состоянию – аттрактору независимо от предьявляемого фрагмента изображения. Поэтому задача надежного ассоциативного распознавания образов не всегда решается. Рассмотрим отображение, свободное от указанных недостатков.

Как показало математическое моделирование, хорошие результаты при решении задачи ассоциативного распознавания были получены с использованием композиции треугольных отображений:

$$x_{n+K} = \frac{1}{K^2} \left[\sum_{i=0}^{K-1} \left(1 - r \left| \frac{1}{2} - x_{n+i} \right| \right) \right] (\lambda_{n+K} + \delta \lambda_n)^2. \quad (5)$$

Инвариантная мера треугольного отображения имеет равномерное распределение на интервале $(0, 1)$, а обратное к нему отображение является всюду сжимающим в отличие от логистического. Кроме этого в области значений управляющего параметра r (который в режиме развитого хаоса выбирается равным двум), обеспечивающей хаотический режим поведения нелинейной дискретной динамической системы отсутствуют “окна” периодичности, нарушающие процедуру распознавания.

Для предложенного класса отображений (5) возмущение параметров $\{\lambda_{n+K}\}$ проводилось элементами хаотических последовательностей $\{z_n\}$, $\{z_{\delta n}\}$ и задавалось выражением

$$\delta \lambda_n = \frac{z_n - z_{\delta n}}{z_n} w \widehat{\sigma}_y. \quad (6)$$

Последовательности $\{z_n\}$ и $\{z_{\delta n}\}$ были сформиро-

ваны логистическим отображением, с начальными значениями, задаваемыми фрагментом изображения \vec{x}_0 и его наблюдением \vec{y}_0

$$z_0 = \frac{1}{L \cdot K} \sum_{i=0}^{K-1} \frac{x_{n+i+1}}{x_{n+i} (1 - x_{n+i})}, \quad (7)$$

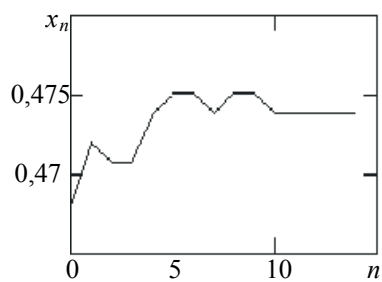
$$z_{\delta 0} = \frac{1}{L \cdot K} \sum_{i=0}^{K-1} \frac{y_{n+i+1}}{y_{n+i} (1 - y_{n+i})}, \quad (8)$$

где L - масштабный множитель.

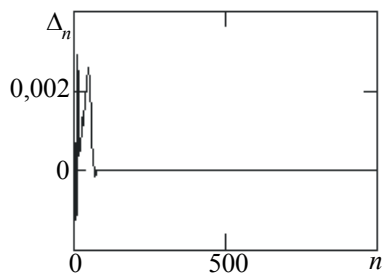
В выражении для возмущения (6) w - весовой коэффициент, $\widehat{\sigma}_y$ - эмпирическая оценка СКО вектора наблюдений \vec{y}_0 .

В отличие от композиции логистических отображений (1), для отображения (5) наблюдается высокая чувствительность алгоритма ассоциативного распознавания изображения к точности задания его фрагмента. Результаты эксперимента по распознаванию, основанного на использовании отображения (5), представлены на рис. 1 и иллюстрируют ошибки восстановления изображения (ассоциативного распознаваемого образа) $\Delta_n = a_n - \widehat{a}_n$ по его фрагменту, для различных уровней нормального шума с нулевым математическим ожиданием, независимыми значениями и дисперсией σ^2 .

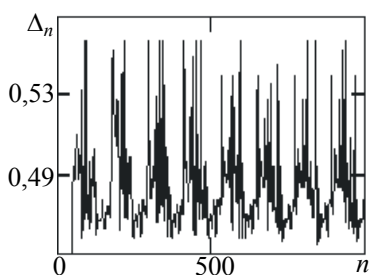
Из графиков видно, что при уровне шума $\sigma = 0,001$ ошибка распознавания сохраняется только на элементах фрагмента изображения, представленного для распознавания. Увеличение уровня шума до значения $\sigma = 0,005$ приводит к невозможности распознавания всего изображения. В тоже время эксперимент показал, что выбором весового коэффициента можно добиться надежного распознавания и для этого уровня шума. Однако выбор этого коэффициента проводился эмпирическим путем. Вероятно, можно синтезировать алгоритм определения весового коэффициента, учитывающего уровень шума в наблюдении фрагмента изображения.



а)



б)



в)

Рис. 1. Фрагмент информационной последовательности (а), ошибки восстановления последовательности при уровне шума $\sigma = 0,001$ (б) и $\sigma = 0,005$ (в)

Выводы

В работе предложена и исследована модель дискретной хаотической системы для ассоциативного распознавания образов. При построении модели пришлось учесть, что при определенных значениях параметра λ_K и ошибках в начальных значениях отображения или предъявлении фрагмента другого изображения, последовательности могут сходиться к одному и тому же устойчивому состоянию. В результате для решения задачи надежного распознавания модель дискретного отображения модифицирована таким образом, что ее управляющий параметр подвергается хаотической модуляции логистическими отображениями, начальные значения которых зависят от наблюдаемого фрагмента и его истинного значения. Модифицированная модель обладает рядом полезных свойств: во-первых, позволяет кодировать информацию с высокой степенью

скрытности, во-вторых, восстанавливать по фрагменту изображения, искаженного шумом, связанный с ней образ, что важно для уменьшения загрузки канала передачи информации. Кроме того, дает возможность управлять чувствительностью алгоритма распознавания к уровню шума, позволяет работать с любыми видами данных (тексты, звук и др.), выполнять быстрый ассоциативный доступ к большим объемам информации с возможностью поиска информации по ее фрагментам, искаженным шумом.

Работоспособность алгоритма распознавания, основанного на использовании предложенной модели, исследована в случаях небольших отношений шум/сигнал. Однако искажения фрагмента изображения при передаче по каналу связи, могут быть значительными. Поэтому представляет самостоятельный интерес дальнейшее исследование этой задачи в статистической постановке при больших отношениях шум/сигнал.

Литература

1. Мун Ф. Хаотические колебания: Вводный курс для научных работников и инженеров: Пер. с англ. - М.: Мир, 1990.
2. Шустер Г. Детерминированный хаос: Введение: Пер. с англ. - М.: Мир, 1988.
3. Дмитриев А.С. Хаос и обработка информации в нелинейных динамических системах. – Радиотехника и электроника, 1993, Т.38. №1, с. 1-24.
4. Андреев Ю.В., Бельский Ю.Л., Дмитриев А.С., Куминов Д.А. Динамические системы с хаосом как среда для записи, хранения и обработки информации. – Изв. ВУЗов Радиофизика, 1994, Т.37. №8 с. 1003-1018.
5. Андреев Ю.В., Дмитриев А.С., Куминов Д.А. Хаотические процессоры. - Зарубежная радиоэлектроника, 1997, №10, с.50-77.

Поступила в редакцию 14.08.03

Рецензент: д-р техн. наук, профессор Костенко П.Ю., Харьковский институт Военно-Воздушных Сил им. Ивана Кожедуба, г. Харьков