

# **Совмещение подходов адаптивного управления и детерминированного хаоса для построения эффективных автономных управляющих систем**

**А.Е. Устюжанин, А.А. Жданов**

Работа поддержана РФФИ, проекты № 03-01-00323 и № 04-01-08023-офи

## *Аннотация*

Проектирование и построение систем автономного адаптивного управления (ААУ) включает в себя несколько этапов. Процедура разработки каждого из них во многом определяется спецификой использования системы. Требования, предъявляемые к функциональным подсистемам, также определяются спецификой предметной области. В данной работе рассматриваются возможные предметные области, эффективность работы в которых достигается посредством использования технологий детерминированного хаоса. Рассмотрены возможности совмещения двух подходов, отмечены позитивные и негативные стороны такого совмещения. Приведены примеры и оценки, позволяющие сделать заключение о жизнеспособности предлагаемого композитного подхода.

## **1. Введение**

Исследование систем детерминированного хаоса является сравнительно новой областью математики. Несмотря на свою новизну, эта область сегодня имеет весьма широкий спектр практических применений. Так, обладая довольно сложными особенностями поведения, искусственные системы детерминированного хаоса [1–5], позволяют эффективно запоминать весьма протяженные последовательности. Наиболее интересным свойством памяти, построенной на данном принципе, является ее ассоциативность. В отличие от обычной линейной организации памяти, лежащей в основе подавляющего большинства вычислительных машин, ассоциативная память обладает следующими преимуществами: а) возможностью воспроизведения/распознавания полного образа по его части даже при наличии погрешности во входных данных, б) время восстановления (воспроизведения) полного образа не зависит от объема записанных данных.

С точки зрения построения управляющей системы, эффективность управляющей системы определяется тем, насколько оперативно система может реагировать на изменения в окружающей среде и насколько точно система может прогнозировать ее изменения. В данной работе мы опираемся на методологию «Автономного Адаптивного Управления» (ААУ) [6-9], ключевым моментом которой, является декомпозиция системы на следующие функциональные подсистемы: а) системы датчиков, б) системы формирования и распознавания образов, в) базу знаний, г) подсистема эмоциональной оценки и д) подсистема актуаторов. Такое деление является достаточно условным с точки зрения имитации естественных системы управления, тем не менее, оно позволяет нам выделить те функциональные подсистемы, в которых можно использовать технологии детерминированного хаоса, что может повысить эффективность систем управления.

Помимо описания архитектуры системы ААУ, в данной работе рассмотрены контексты применения управляющих систем, в которых затраты на реализацию подсистем детерминированного хаоса оказываются оправданными. В Заключении приведены направления дальнейших работ и исследований, которые могут способствовать расширению спектра применения описываемого подхода.

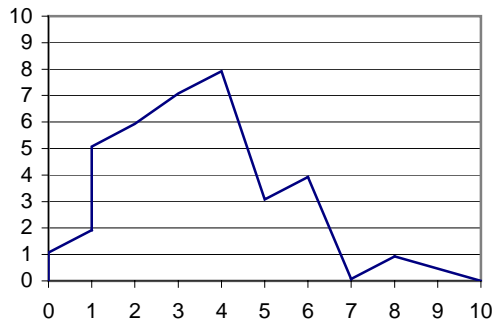
## 2. Детерминированный хаос

Системы, использующие детерминированный хаос, будем называть *хаотическими процессорами*. Хаотический процессор может хранить всю историю существования системы, записанной в него определенным способом.

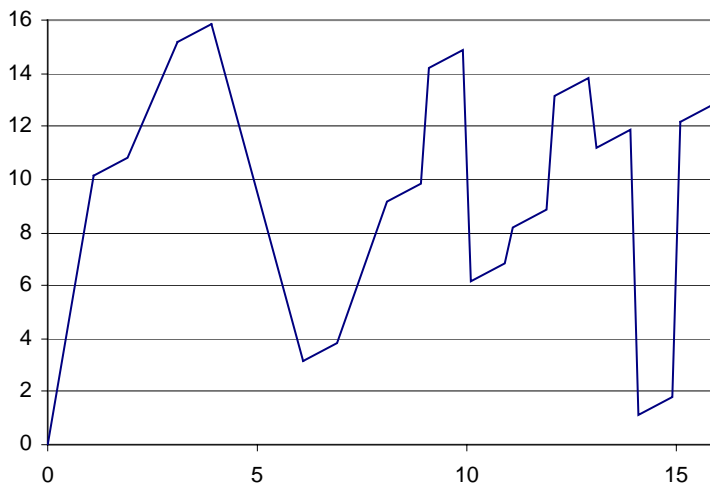
Рассмотрим принцип работы хаотического процессора на следующем примере. Допустим, необходимо сохранить последовательность символов 'abcdxndk'. Для построения хаотического процессора мы строим отображение специального вида:

$$X_{n+1} = F(X_n)$$

Для нашего примера  $F('a') = 'b'$ ,  $F('b') = 'c'$ , и т.д. Обладая информацией о некотором фрагменте искомой последовательности и последовательно повторяя вызовы функции  $F$ , мы можем воспроизвести всю сохраненную последовательность целиком. На рис. 1 показаны примеры построения отображений  $F$ . На рис. 1а построено отображение  $F$ , соответствующее слову «забег» в алфавите «а б в г д е ж з и к». Для записи более сложных последовательностей используются такие вспомогательные техники, как кодирование и вариация глубины кодирования [1]. На рис. 1б построено отображение  $F$ , соответствующее последовательности "1 2 3 7 4 2 3 7 5 4 8 9 0 5 4 1 2 3 7 6 3 8 5 4" в алфавите "0123456789".



а)



б)

Рис. 1. Отображения  $x_{n+1} = F(x_n)$ , содержащие слова «забег» (а) и последовательность «1 2 3 7 4 2 3 7 5 4 8 9 0 5 4 1 2 3 7 6 3 8 5 4» (б).

Построив схему представления состояний управляющей системы в некотором конечном алфавите, мы получаем возможность сохранять последовательности изменений состояний системы.

Важная особенность данной технологии записи информации состоит в том, что время воспроизведения записанной последовательности не зависит от длины этой последовательности, а также посредством этой технологии можно воспроизвести всю последовательность, располагая любой уникальной подпоследовательностью исходной последовательности. Эта особенность обеспечивает свойство ассоциативности при работе с памятью такого вида. Отметим также, что данная технология не накладывает никаких принципиальных ограничений на длину записываемых последовательностей.

Слабым местом использования хаотических процессоров является требования достаточной уникальности данных. Так, сохранив слово «забег» в одном процессоре, мы потеряем все свойства ассоциативности, если захотим записать в тот же процессор слово «побег». Оба слова обладают слишком большой общей частью – «бег», которая должна быть закодирована с использованием обычных технологий записи/чтения.

В [5] показано, что данный способ хранения информации позволяет воспроизвести записанный образ даже при наличии искажений последовательности-образце. Также в [5]

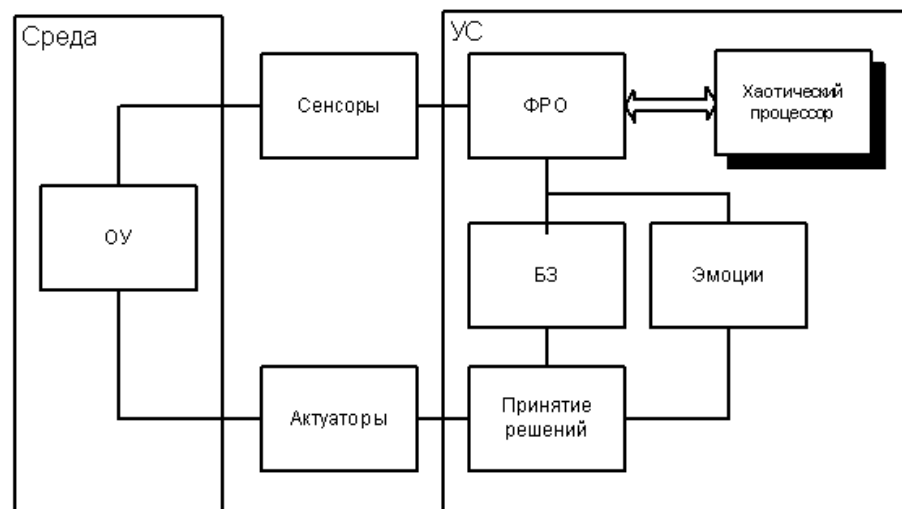
было отмечено, что данный способ записи информации схож со способом представления информации в нервной системе человека.

### 3. Теоретическое обоснование

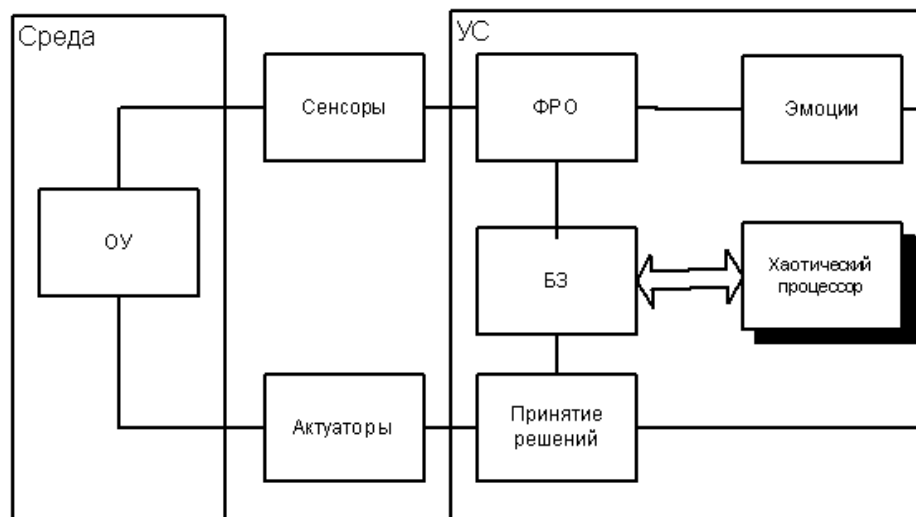
Как отмечалось ранее, использование детерминированных хаотических систем позволяет использовать все преимущества ассоциативной памяти. Именно этот принцип может стать ключевым для построения эффективных систем управления. С конструктивной точки зрения подхода ААУ, использование хаотического процессора может стать оправданным в одной из подсистем:

- база знаний или
- аппарат формирования и распознавания образов

Схематически варианты декомпозиции управляющей системы показаны на рис. 2. Хаотический процессор обозначен оттененным прямоугольником.



а)



б)

Рис. 2. Альтернативы использования хаотического процессора в управляющей системе ААУ.

Использование хаотического процессора в подсистеме базы знаний по сравнению с его использованием в блоке ФРО могло бы предоставить большую гибкость работы с образами самого низкого уровня. Однако такое совмещение может оказаться причиной неэффективного использования хаотического аттрактора, когда хранение похожих подпоследовательностей требует сохранения их общей части в линейной памяти. В некоторых случаях, когда длину общих подпоследовательностей можно предсказать на этапе программирования или заранее известно, что их длина не превышает определенного порога, можно использовать эту информацию для построения хаотического процессора. Однако в общем случае очень сложно оценить такие величины. Возможным выходом является перестройка хаотического процессора «на лету», с использованием параметров, полученных эвристически. На данном этапе использование перестройки или трансформации хаотического процессора находится на стадии исследования, в связи с чем на данном этапе используется схема 2а.

Обмен информации между функциональными подсистемами ААУ происходит по схеме, показанной на рис. 3. Построенная таким образом схема взаимодействия подсистемы ФРО и БЗ может в полной мере использовать преимущества включения хаотического процессора:

- возможность нахождения образа по его части,
- возможность использования искаженной входной информации об образе,
- возможность построения длительного прогноза поведения объекта управления и окружающей среды.

Вопрос выявления самоповторений в очереди подсистемы ФРО заслуживает отдельного внимания, так как образы, содержащиеся в этой очереди, могут оказаться весьма зашумленными. Выявление и сохранение зашумленных образов представляют собой отдельное направление наших исследований.

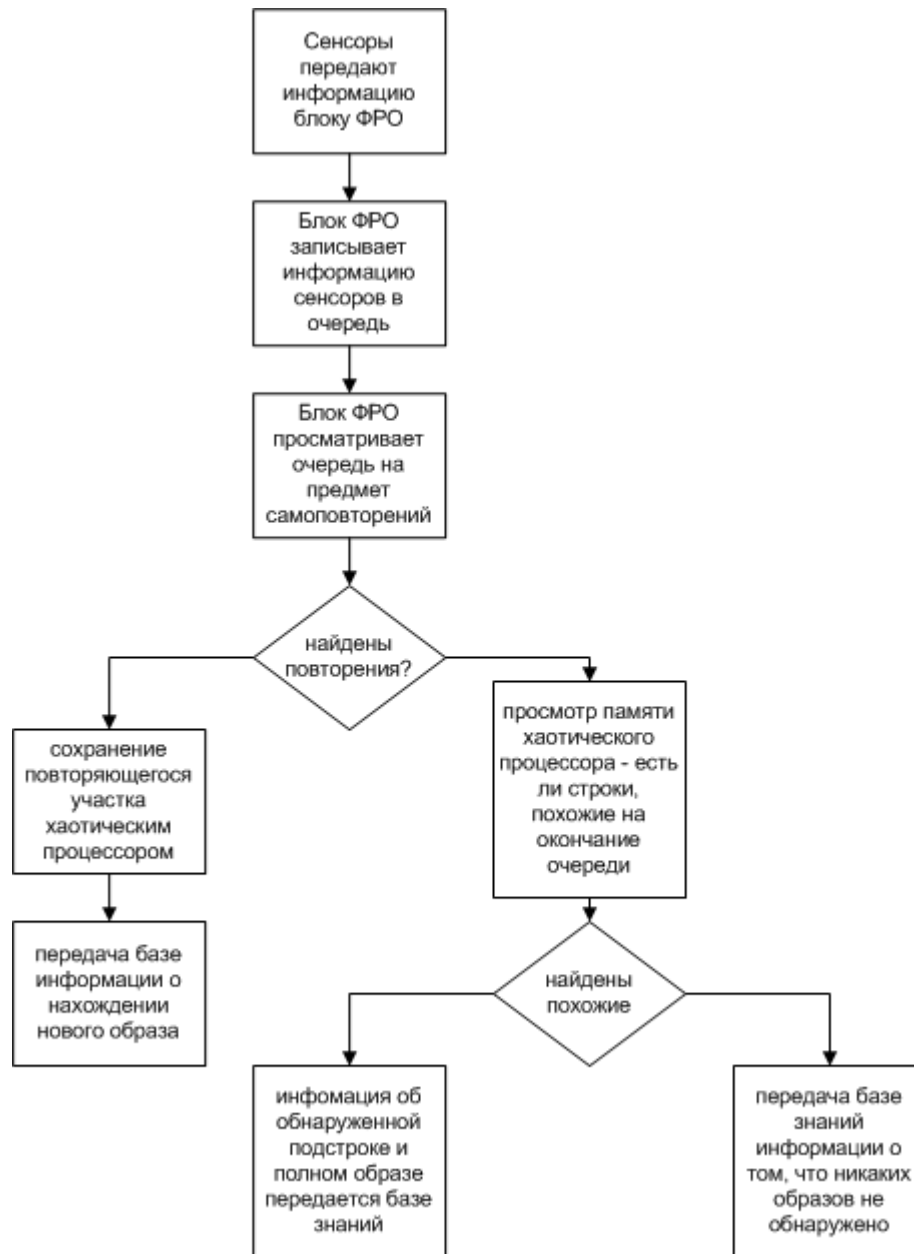


Рис. 3. Алгоритм взаимодействия ФРО, хаотического процессора и базы знаний

#### 4. Примеры совмещения подходов

Разработка и построение систем ААУ во многом определяется контекстом их применения. Исходя из свойств хаотических процессоров, мы можем заключить, что эффективность работы систем управления, построенных на предлагаемом подходе, достигается в предметных областях, обладающих следующими свойствами:

- протяженность образов во времени и/или пространстве
- уникальность образов

На данный момент количественные оценки или критерии, которыми можно руководствоваться для определения применимости подхода, находятся на стадии разработки, и единственным достоверным способом определения эффективности является практическая реализация системы управления. Авторами выполнена разработка системы

управления роботом в лабиринте препятствий и показана успешность использования предлагаемой концепции [9,10]. Следующие области применения, могут оправдать использование хаотического процессора в управляющих системах.:

- Система анализа трафика Internet, с помощью которой необходимо уметь оперативно выявлять характерные паттерны атак на Internet-узлы. Необходимость хранения большого количества паттернов возможных атак и их достаточная уникальность делают уместным использование систем ААУ и хаотических процессоров для таких систем.
- Система предиктивного кэширования информации, в которой информация кэшируется не только на основании запрошенных ранее URL, но и на основании прогноза, построенного на анализе последовательности URL, запрошенных пользователем.

Возможность использования предлагаемого подхода в прочих контекстах находится в процессе исследования.

## 5. Заключение и дальнейшие направления исследования

В данной работе мы описали способ совмещения систем ААУ с хаотическими процессорами. На данный момент реализован вариант использования хаотического процессора в системе ФРО [9,10]. Приведены примеры успешного совмещения подходов. Дальнейшие направления исследований включают в себя рассмотрение возможности встраивание хаотических процессоров в базы знаний; совместного использования ФРО и БЗ, спроектированных с использованием хаотических процессоров. Данное исследование, в частности, включает в себя рассмотрение подходов к трансформации хаотического процессора и эвристик, которые могут быть использованы для предсказания параметров целевого процессора. Наряду с трансформационными задачами находится задача выявления зашумленных образов и эффективная работа с ними посредством технологий детерминированного хаоса. Другое направление исследований состоит в выявлении контекстов, в которых описываемый метод может оказаться эффективным. Это направление оказывается тесно связанным с выявлением и формулировкой критериев эффективности предлагаемого метода, которому на данный момент уделяется наибольшее внимание.

## Литература

1. Андреев Ю.В., Дмитриев А.С., Куминов Д.А. Хаотические процессоры // Успехи современной радиоэлектроники — М.: 1997 — N 10.
2. Шарковский А.Н., Коляда С.Ф., Сивак А.Г., Федоренко В.В. Динамика одномерных отображений. — Киев: Наукова думка, 1989.
3. Шустер Г. Детерминированный хаос. Введение. — М: Мир, 1988.
4. Дмитриев В.А. Запись и восстановление информации в одномерных динамических системах.//Радиотехника и электроника. — М.: 1991 — т. 36 — N 1 — с 101–108.
5. Андреев Ю.В., Бельский Ю.Л., Дмитриев А.С. Запись и восстановление информации с использованием устойчивых циклов двумерных и многомерных отображений. // Радиотехника и электроника, М.: 1994– т.39 — с.114–123.
6. Жданов А.А. О подходе к моделированию управляемых объектов.// Препринт ВЦ РАН СССР 1991.
7. Zhdanov A.A.. Application of Pattern Recognition Procedure to the Acquisition and Use of Data in Control.// Pattern Recognition and Image Analysis — 1992 — vol.2 — N 2.
8. Жданов А.А. Об одном имитационном подходе к адаптивному управлению. // Сб. "Вопросы кибернетики". Научный совет по комплексной проблеме "Кибернетика" — РАН. М., 1996 — Вып. 2.

9. *Жданов А.А., Устюжанин А.Е.,* Возможности использования технологии детерминированного хаоса в системах автономного адаптивного управления. // Тр. Ин-та системного программирования: М.: ИСП РАН, 2001. — С. 141–179.
10. *Жданов А.А., Устюжанин А.Е.,* Использование технологий детерминированного хаоса для реализации памяти систем автономного адаптивного управления // МФТИ-2002