

УДК 004.896

Конечные автоматы. Применение и перспективы в управлении и прогнозировании технологических процессов

С.К. Улыбышев, Р.Р. Беглов, К.Н. Воронов

В статье представлено исследование конечных автоматов, анализ их свойств, перспектив и возможностей для реализации различных алгоритмов моделирования, а также описанию реализации, структуры и свойств «прогнозирующей системы» на основе конечных автоматов.

В современном мире существует множество сфер, в которых необходим автоматический контроль и управление процессами. Автоматизация применяется повсеместно от управления котельными до прогнозирования и контроля электроэнергии. Современные технологии в свою очередь открывают возможность расчета сложных алгоритмов управления, чем в разы увеличивает скорость, а также упрощая весь процесс автоматизации. Минусами данного метода является создание сложных моделей, а также необходимости наличия мощных электронных вычислительных машин.

Одним из наиболее перспективных направлений прогнозирования и управления, получившем развитие в последние десятилетия является применение искусственных нейронных сетей (ИНС). Применение нейронных сетей не накладывает ограничений на характер входной информации и позволяет успешно решать задачи, в которых затруднено или невозможно нахождение аналитических зависимостей между входными и выходными данными. Но для этих целей используются также другие методы, основанные на применении фильтра Виннера,

эволюционного моделирования, конечных автоматов или нечётких множеств.

В данной статье будут рассмотрены конечные автоматы. Конечный автомат – дискретный автомат, в котором переход из одного состояния в любое другое может быть совершено за конечное число шагов.

Автомат Мили — конечный автомат, выходная последовательность которого зависит от состояния автомата и входных сигналов. Автомат Мили может быть задан таблицей переходов и таблицей выходов.

При сравнении конечных автоматов с другими методами моделирования возникает вопрос: что может «делать» конечный автомат? Ответ дается в различных терминах в зависимости от того, является ли автомат (соответственно П-машина) автономным или нет [1]. Автономный конечный автомат, начиная с некоторого такта, может лишь генерировать периодическую последовательность состояний x (соответственно П-машина — последовательность выходных символов y). Если эта последовательность состоит лишь из одного символа, то это означает, что за конечное число тактов автомат достигает равновесного состояния. Если же эта последовательность содержит несколько символов, это означает, что автомат последовательно проходит состояния, соответствующие этим символам, а затем работа автомата неограниченно долго периодически повторяется. Более того, какова бы ни была периодическая последовательность состояний конечной длины, всегда может быть построен автономный конечный автомат, который, начиная уже со второго такта, генерирует эту последовательность. Ничего иного, кроме периодического повторения одного и того же состояния или конечной последовательности состояний, автономный автомат «делать» не может. Однако в связи с тем, что последовательное выполнение заданного цикла операций типично для многих областей современной техники,

динамические системы, которые в приемлемой идеализации можно рассматривать как автономный автомат, имеют широкое применение.

Классическим примером могут служить автоматы-куклы, выполнявшие сложные последовательности действий, например: пишущие на бумаге определенный текст, играющие на рояле заранее установленные пьесы т. д.

Современным примером служат многие станки-автоматы, автоматические линии и системы автоматического управления циклическими производствами. Если автомат не автономен, то есть состояние входа изменяется от такта к такту, то ответ на вопрос, что может «делать» и что не может «делать» конечный автомат, можно дать в разных терминах. Например, ответ можно сформулировать на языке представления событий. Действительно, неавтономный конечный автомат или последовательностная машина лишь преобразуют входные последовательности символов в последовательности состояний или выходных символов, и сказать, что может и что не может «делать» конечный автомат, значит выяснить, какие преобразования последовательностей возможны в конечном автомате, а какие невозможны. Но так как количество состояний (соответственно выходных символов) конечно, этот вопрос эквивалентен такому вопросу: при каких входных последовательностях возникает каждое из возможных состояний (или каждый из выходных символов). Этот последний вопрос в терминах, принятых в теории конечных автоматов, формулируется так: какие события могут и какие не могут быть представлены в конечном автомате каждым из возможных состояний (или каждым из выходных символов).

Ответ дается теоремами Клини [2]. Этот ответ точный, так как теоремы Клини устанавливают необходимые и достаточные условия представимости последовательности событий в автомате, а именно: выделяются особые множества последовательностей входных символов —

регулярные множества. Факт появления входной последовательности из такого множества называется соответствующим регулярным событием. Теоремы Клини устанавливают, что в конечном автомате могут быть представлены регулярные события и только они. Таким образом, на языке представления событий ответ на вопрос, что может «делать» конечный автомат, дается однозначно: конечный автомат может представлять только регулярные события. Ряд важных множеств входных последовательностей, с которыми часто приходится иметь дело на практике, заведомо регулярны. Так, например, заведомо регулярно множество, состоящее из любого конечного числа входных последовательностей конечной длины; множество любых периодических входных последовательностей; множество бесконечных последовательностей, которое содержит заданные конечные последовательности на протяжении нескольких последних тактов, и т. д.

В общем случае, если каким-либо произвольным способом задано бесконечное множество входных последовательностей, то остается открытым вопрос о том, регулярно ли это множество. Дело в том, что понятие регулярного множества вводится индуктивно, то есть устанавливается алгоритм построения любых регулярных множеств. Однако, не существует достаточно эффективного способа решения обратной задачи, то есть установления того, является ли каждое заданное множество регулярным.

Хотя теоремы Клини и отвечают на вопрос о том, что может делать конечный автомат, но отвечают они на этот вопрос неэффективно. Сделаны первые попытки построения иных языков, на которых ответ может быть дан эффективно. Эта проблема языка, играющая кардинальную роль в получении эффективного ответа на вопрос, что может и что не может «делать» конечный автомат, имеет решающее значение и для первых этапов синтеза автомата, то есть для ответа на

второй из сформулированных выше вопросов. Если расширить класс динамических систем, которые мы определили терминами «конечный автомат» и «последовательностная машина», включением бесконечной памяти (моделью бесконечной памяти может быть, например, бесконечная лента для хранения символов или бесконечное число состояний), то для динамических систем этого более широкого класса (абстрактные системы этого класса называют машинами Тьюринга [3]) ответ на вопрос «что они могут делать?» значительно проще — они могут реализовать любой наперед заданный алгоритм. При этом само понятие алгоритма трактуется в современной математике как реализация вычисления значений какой-либо рекурсивной функции. Столь однозначный и четкий ответ на вопрос «что может делать машина Тьюринга?» дает возможность положить понятие о машине Тьюринга в основу определения понятия алгоритма: алгоритмом называется любой процесс, который может быть осуществлен на конечном автомате, дополненном бесконечной памятью, то есть алгоритмически полных машинах, на машине Тьюринга, на машине Поста и др.

Одним из примеров таких алгоритмов является применение конечных автоматов в прогнозировании, где они используются в рамках эволюционного метода моделирования [4]. Эволюционный метод представляет собой машинный универсальный способ построения прогнозов. Путем указания неких макросостояний системы, выбранных до проведения экспериментов на основе данных, которые задают лишь предысторию выбранных состояний. Метод использует признаки теории Дарвина для построения интеллектуальных систем и основан на принципах мутации и естественного отбора, по определенным критериям.

Принцип прогнозирования состоит в том, что детерминированные автоматы Милли [5], подвергаются случайным изменениям, и сравниваются по критерию оптимальности, в качестве которого задана

минимальная ошибка прогнозирования. Автоматы с лучшими характеристиками отбирают для дальнейшего «совершенствования».

Структура автоматов Милли описывается набором состояний и совокупностью связей между ними, а также правилами функционирования: преобразования входных символов в выходные. Автоматы-потомки образуются из автоматов-родителей путем случайных мутаций как его структуры, так и правил функционирования. При этом если по выбранному критерию качества "потомок" лучше "родителя", то в дальнейшем мутациям подвергается автомат-потомок; если хуже, то продолжают изменять автомат-родитель [6].

Существует пять режимов мутаций:

- добавление одного состояния - связи нового состояния с другими состояниями и правила преобразования символов устанавливаются случайным образом;
- устранение одного состояния;
- случайное изменение начального состояния;
- изменение направления перехода от одного состояния к другому;
- изменение соотношения символов "вход/выход" при переходе от одного состояния к другому.

Интенсивность каждого режима мутации задается некоторым распределением его вероятности. При этом распределение вероятностей зависит от вариантов эволюционного моделирования.

Так в классическом варианте распределение остается неизменным, поиск структуры является случайным, нецеленаправленным, что в свою очередь приводит к увеличению времени эволюционного развития. Но данная проблема легко устраняется применением других алгоритмов.

Эволюционный процесс может быть остановлен, по выполнению одного из трех условий:

- синтезирован автомат с критерием качества, превосходящим некоторую заданную величину;
- израсходовано отведенное число мутаций, выделенное на построение "лучшего" автомата
- получено заданное число "удачных" автоматов-потомков.

Помимо классического варианта моделирования существует большое число модификаций процесса построения эволюционной модели:

Эволюционное моделирование с алгоритмом случайного поиска с адаптацией. В этом случае возрастает вероятность «успешных» мутаций, когда автомат-потомок лучше автомата-родителя, что уменьшает и количество «тупиковых» мутаций.

Эволюционное моделирование с внешним дополнением. Исходная информация делится на две части - обучающую и проверочную последовательности. Автомат строится на обучающей информации, и после каждой мутации сравнивается с проверочной последовательностью, в том случае если результаты прогноза не ухудшились. В данном методе время поиска «лучшего» автомата увеличивается, но также возрастает и точность прогнозирования.

Эволюционное моделирование с отбрасыванием заикливания. Автомат-потомок отбрасывается при наличии внутренних петель. Исключаются случаи, когда состояние замыкается само на себе при воздействии входного сигнала.

Эволюционное моделирование с синтезом автоматов в коллектив. Одним из самых существенных недостатков классического варианта эволюционного моделирования, является то, что для прогноза выбирается единственный лучший автомат, хотя синтезируется несколько. Проблема состоит в том, что как такового лучшего автомата не существует. Так как возможно существование нескольких автоматов с одинаковыми характеристиками, или разные автоматы лучшие по разным критериям

качества. В результате вместе с отбрасываемыми автоматами теряется часть полезной информации. Синтез автоматов в коллектив позволяет избавиться от этого недостатка и существенно повысить надежность предсказания.

Достоинства:

- Метод эволюционного моделирования приближается к методу винеровской фильтрации по оценкам предсказываемых показателей.
- Критерий качества модели в этом случае мало чем отличается, например, от минимума среднеквадратической ошибки на обучающей последовательности метода наименьших квадратов.
- Прозрачность основных производимых вычислений.

Недостатки:

- Для метода характерна значительная, около 20 % ошибка в некоторые моменты времени.
- Необходимость наличия больших временных ресурсов.
- Эволюционное моделирование сложнее, по сравнению с другими рассмотренными алгоритмами, подвергается распараллеливанию.

Одновременные действия на всех автоматах могут быть произведены в момент подсчета целевой функции или в момент предсказания очередного символа последовательности. Однако в период мутации будет наблюдаться активная работа одного объекта и простой всех остальных.

В ходе изучения было выяснено, что для задач прогнозирования использование конечных автоматов накладывает значительные ограничения и его применение для сложных систем невозможно. По данным причинам в исследованиях использовался более совершенный тип прогнозирования, а именно прогнозирование с помощью ИНС[8]. Для задач управления программно-техническим комплексом на базе

микроконтроллера Arduino, позволяющее в автоматическом режиме анализировать поток льна и управлять технологическим процессом использования конечных автоматов является весьма оправданным решением [9].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Айзерман М. А., Гусев Л. А., Розоноэр Л. И., Смирнова И. М., Таль А. А. Логика. Автоматы. Алгоритмы. Гос. изд. физ.-мат. литературы 1963
2. Белоусов А. И., Ткачев С. Б. Дискретная математика. — М. : МГТУ, 2006. — 744 с.
3. Джон Хопкрофт, Раджив Мотвани, Джеффри Ульман. Глава 8. Введение в теорию машин Тьюринга // Введение в теорию автоматов, языков и вычислений - Introduction to Automata Theory, Languages, and Computation. — М.: «Вильямс», 2002. — 528 с.
4. Букатова И.Л. Эволюционное моделирование и его приложения. – М.: Наука, 1979. – 134 с.
5. Mealy George H. A Method to Synthesizing Sequential Circuits. — Bell Systems Technical Journal. — P. 1045–1079.
6. Ожиганов А.А. Теория автоматов: Учебное пособие. СПб.: НИУ ИТМО, 2013 — 84 с.
7. Богаченко Н.Ф., Файзуллин Р.Т. Синтез дискретных автоматов: Учебное пособие. Омск: Издательство Наследие. Диалог-Сибирь, 2006.
8. Беглов Р.Р., Воронов К.Н., Гнатюк А.Б., Проблемы формирования входного вектора для нейросетевых систем прогнозирования электропотребления // Электронный журнал «Научный вестник КГТУ», №2, декабрь 2015
9. Улыбышев С.К., Дроздов В.Г. Разработка SCADA-системы управления программно-техническим комплексом // Вестник

Костромского государственного технологического университета, №2 (35),
декабрь 2015

Finite state automaton. Application and perspectives in the management and
forecasting of technological processes

Ulybyshev S.K., Beglov R.R., Voronov K.N.

The article presents research of finite state automaton, analysis of their properties, perspectives and opportunities for the implementation of different modeling algorithms, as well as the description of implementation the structure and properties of the "forecasting system" based on finite state automaton.

Авторы:

Улыбышев Сергей Константинович - _____

Беглов Роман Ривхатович - _____

Воронов Кирилл Николаевич - _____