

УДК 621.391.26

М. А. Анкуда, ассистент (БГТУ)

АДАПТИВНАЯ МОДЕЛЬ НАСТРОЙКИ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ С НЕЧЕТКИМИ ПАРАМЕТРАМИ

В статье предложена модель адаптивной настройки системы регулирования, которая основана на критерии серий оценки стационарности определенного числа наблюдений. Рассмотрено устройство, которое позволяет проводить подстройку параметров системы регулирования при анализе полученных трендов от сравнения откликов эталонной модели и откликов объекта. Приведены структуры и алгоритмы, которые дают возможность реализовать подобную адаптивную систему в условиях некоторой неопределенности параметров, что может широко использоваться в системах адаптивного управления технологическими процессами.

In article the model of adaptive adjustment of system of regulation which is based on criterion of series of an estimation stationary certain number of supervision is offered. The device which allows to spend fine tuning of parameters of system of regulation at the analysis of the received trends from comparison of responses of reference model and object responses is considered. Structures and algorithms which give the chance to realise similar adaptive system in the conditions of some uncertainty of parameters that can widely be used in systems of adaptive management by technological processes are resulted.

Введение. При построении систем управления, контроля и регулирования, а также измерительных устройств возникает задача адаптивной настройки параметров. Различного рода микропроцессорные устройства, способные автоматически настраивать параметры цифровых регуляторов под динамические свойства объектов управления, получили широкое распространение во всем мире. Чаще всего автоматическая настройка осуществляется по параметрам автоколебаний, возникающих в замкнутой системе. Такой метод настройки вынуждает прекращать процесс регулирования объекта на время настройки, имеет высокую чувствительность к шумам и предъявляет высокие требования к процессу автоколебаний из-за возможности их срыва при определенных возмущениях.

Основная часть. В работе предложен алгоритм адаптивной настройки регулятора, основанный на использовании эталонной модели объекта (рис. 1).

Данную модель можно получить путем анализа динамических свойства объекта с помощью адаптивного алгоритма с использова-

нием критерия серий. Адаптация связана с коррекцией, подстройкой параметров модели и настроек регулятора объекта в соответствии с определенными изменениями в эталонной модели. Необходимость в такого рода адаптации возникает ввиду дрейфа характеристик управляемого объекта. Данный адаптивный алгоритм позволяет подстраивать модель на каждом шаге управления. При этом исходной информацией для критерия адаптации является рассогласование откликов объекта и модели. Основной задачей адаптивного регулирования является минимизация данного рассогласования откликов [1].

В общем виде модель можно представить в виде некоторой квантованной авторегрессионной математической зависимости:

$$\hat{y}(k) = -a_1\hat{y}(k-1) - a_2\hat{y}(k-2) - \dots - a_n\hat{y}(k-n) + b_0y(k) + \dots + b_my(k-m), \quad (1)$$

где \hat{y} – сигнал с выхода эталонной модели; a_i, b_i – весовые коэффициенты модели; y – входной сигнал.

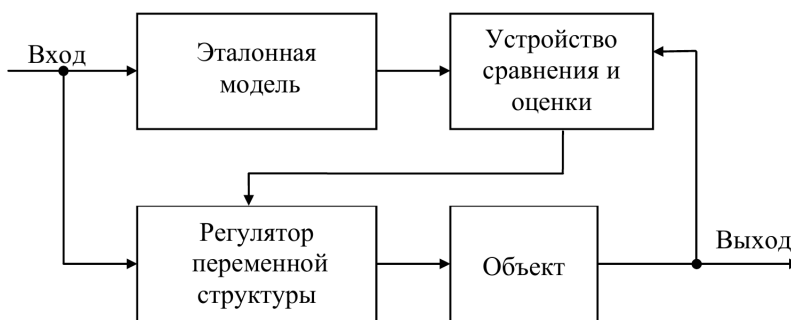


Рис. 1. Адаптивная система регулирования с эталонной моделью

Если все $a_i = 0$, то получим в итоге фильтр скользящего среднего с конечной импульсной характеристикой (КИХ). У таких фильтров выходной сигнал образуется весовым суммированием M предшествующих значений входного сигнала. Если некоторые либо все $a_i \neq 0$, то модель называют авторегрессионной, и ее импульсная характеристика считается бесконечной (БИХ).

Преимуществом данной модели является то, что авторегрессионная зависимость скользящего среднего имеет изменяемые весовые коэффициенты по алгоритму, включающему определение знаков ошибок.

Сущность работы системы подстройки модели поясняется на рис. 2. После аналогово-цифрового преобразования (АЦП) (блок 1) здесь приведена адаптивная структура с подсчетом количества серий (блок 8) по числу положительных и отрицательных исходов (блок 7) с непосредственным подсчетом количества серий, реализующий способ с переменным числом наблюдений. В структуре дополнительно вводят целочисленную переменную состояния модели и увеличивают ее на целую постоянную величину при изменении цифрового отсчета на входе (блок 2), задают число наблюдений в одном цикле генерации весовых коэффициентов (блок 3), рассчитывают среднее значение и дисперсию для числа серий (блок 4).

Серией считают последовательность N однотипных наблюдений, перед и после которой следуют наблюдения противоположного типа или вообще нет наблюдений, соответствующих заданному числу наблюдений в предположении статистической независимости последовательных отсчетов на входе модели. Определяют знак ошибки цифрового отсчета на входе относительно медианы или среднего значения последовательности наблюдений и подсчитывают количество серий знаков ошибок за заданное число наблюдений. С использованием критерия серий устанавливают вероятность статистической независимости отсчетов на входе модели за период, соответствующий числу наблюдений. Для последовательности из N наблюдений выборочное распределение числа серий r является случайной величиной, распределенной по нормальному закону [2], со средним значением и дисперсией:

$$\mu = \frac{N}{2} + 1, \tag{2}$$

$$\sigma^2 = \frac{N^2 - 2N}{4(N - 1)}. \tag{3}$$

После нахождения r , μ и σ^2 определяется вероятность статистической независимости данных (блок 11):

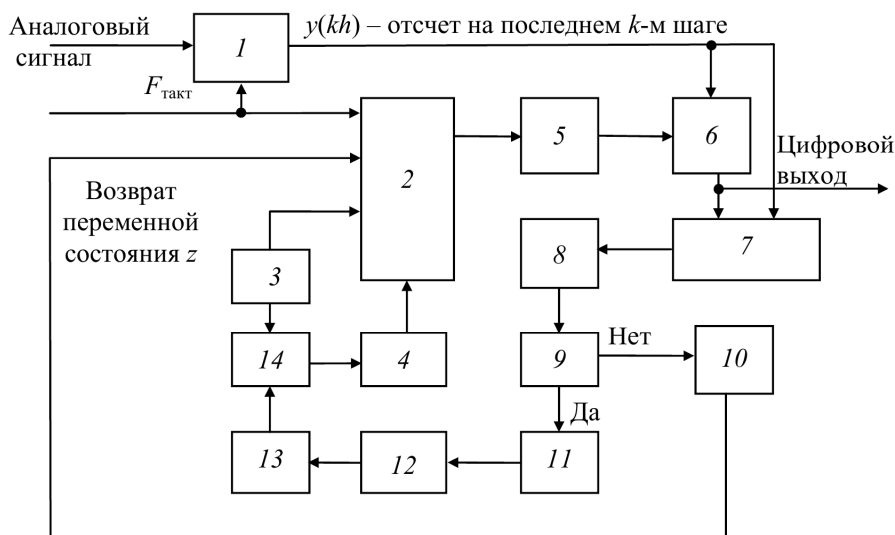


Рис. 2. Структура адаптивной авторегрессионной системы

скользящего среднего на критерии серий с переменным числом наблюдений:

- 1 – АЦП; 2 – наращивание переменной состояния; 3 – инициализация начальных установок;
- 4 – расчет среднего и дисперсии для N наблюдений при статистической независимости;
- 5 – вычисление весового коэффициента; 6 – авторегрессионная фильтрация скользящего среднего;
- 7 – определение ошибки и ее знака; 8 – подсчет числа серий; 9 – проверка конца наблюдений;
- 10 – наращивание переменной наблюдений при сохранении переменной состояния;
- 11 – определение вероятности статистической независимости;
- 12 – сброс переменной наблюдений с изменением переменной состояния;
- 13 – определение переменной приращения наблюдений ΔN ;
- 14 – определение числа наблюдений N

$$\gamma = \exp\left(-\frac{(r - \mu)^2}{K_1 \sigma^2}\right), \quad (4)$$

где K_1 – коэффициент изменения вероятности статистической независимости ($0 < K_1 < \infty$). При $K_1 > 2$ снижается скорость изменения весовых коэффициентов эталонной модели, т. е. замедляется процесс адаптации, но уменьшается чувствительность к спектральным составляющим трендов, которые имеют период, сопоставимый с длительностью одной серии.

Далее умножают переменную состояния на γ и округляют полученную величину до ближайшего большего целого значения, которое присваивают переменной состояния модели, а по переменной состояния производят перерасчет весовых коэффициентов (блок 5). В качестве подобной структуры используют авторегрессионную зависимость скользящего среднего с БИХ (блок 6) и нулевым значением коэффициентов перед всеми отдельными отсчетами, кроме последнего.

Дополнительно вводят целочисленную переменную приращения наблюдений ΔN (блок 13), определяемую после получения N наблюдений (блок 14) со значением γ ; изменяют N на ΔN ; рассчитывают μ и σ^2 для нового числа наблюдений и переходят к наращиванию переменной состояния (блок 12). Введение ΔN позволяет автоматически корректировать число N . При $\gamma > 0,5$ следует увеличить число наблюдений в следующей последовательности, т. е. задать $\Delta N > 0$. При $\gamma = 0,5$ число наблюдений остается неизменным. Для $\gamma < 0,5$ число наблюдений в следующей последовательности должно быть меньше, чем в предыдущей, т. е. $\Delta N < 0$. Однако для $\gamma < 0,5$ число наблюдений в следующей последовательности не должно стать меньше некоторого N_{\min} , определяемого вероятностными ограничениями критерия серий [2]. Обычно $N_{\min} \geq 20$.

Определение переменной приращения наблюдений в блоке 13 производится округлением до ближайшего меньшего целого. Пересчет μ и σ^2 выполняется в блоке 4 после окончания последовательности N наблюдений, которое фиксируется по переменной наблюдений i , обеспечивающей счет текущего числа наблюдений (блок 9). Таким образом, для каждой последовательности используется свое N , причем N_{\min} задается при инициализации начальных установок в блоке 3.

Статистическая независимость последовательности данных нарушается при появлении нестационарности случайного процесса, т. е. при непостоянстве вероятностных характеристик (например, среднего значения, медианы)

случайного процесса, поэтому предлагаемый алгоритм адаптируется к случайным нестационарным процессам в случае, когда спектральные составляющие дрейфа вероятностных характеристик имеют период, превышающий период N наблюдений. Изменения периода наблюдений модели позволяют более качественно учитывать динамику процесса, что может в целом приводить к улучшению процесса моделирования [3].

Повышение точности достигается за счет неограниченного увеличения учитываемых отсчетов. При наращивании переменной состояния и снижении весового коэффициента перед каждым новым отсчетом АЦП обеспечивается работа цифровой модели с бесконечной импульсной характеристикой с увеличивающейся для каждого следующего наблюдения постоянной времени. Разработанная адаптивная структура с использованием критерия серий не требует хранения весовых коэффициентов и отдельных отсчетов АЦП, что значительно снижает требуемые вычислительные мощности и объем памяти по сравнению с другими способами.

При параллельном запуске одновременно нескольких подобных адаптивных моделей скользящего среднего с различными величинами минимального значения числа наблюдений можно добиться выявления независимости статистической вероятности информационных трендов. Что можно использовать для более качественной адаптации с возможностью прогнозировать поведение системы при подаче на вход некоторых информационных сигналов. При условии, когда адаптивная структура включает в себя сразу несколько подобных адаптивных блоков, минимальные числа наблюдений в которых будут отличными друг от друга хотя бы на порядок, можно выявлять определенные закономерности изменения статистической вероятности, более точно судить о статистической независимости наблюдений, выявлять характер изменения информационного параметра. Варьируя числом минимальных наблюдений в различных масштабах, можно судить о характере и динамике изменения статистических параметров тренда, учитывать влияние возмущающих параметров на свойства системы при малых и больших значениях числа наблюдений.

Для определения настроек регулятора было предложено также воспользоваться структурой адаптивной модели, которая подробным образом была рассмотрена выше, но с некоторыми измененными блоками. Изменения явным образом касаются блока регулятора переменной структуры и добавлением блока объекта управления.



Рис. 3. Структурная схема адаптивной подстройки регулятора

В отличие от рассмотренной ранее схемы адаптивной настройки эталонной модели здесь уже за счет внутренней переменной могут изменяться весовые коэффициенты в настройках регулятора. Тем самым осуществляются подстройки системы под определенное отклонение параметров. Внутренние параметры остальных блоков адаптивной системы настройки определяются теми же уравнениями и подчиняются тем же законам, что и блоки модели. Подобная процедура дублирования в некотором роде упрощает понимание всего математического аппарата системы регулирования, не требует дополнительных расчетов и вычислений.

Таким образом, структура настройки адаптивной системы регулирования приведена на рис. 3. После АЦП данные одновременно поступают на адаптивную систему эталонной модели, обладающую большой гибкостью, и на вход регулятора переменной структуры, параметры которого зависят от весовых коэффициентов в соответствии с определенным законом регулирования. Далее сигнал с выхода объекта управления подается на вход системы сравнения сигналов от объекта и эталонной модели, которая определяет разностную ошибку откликов и ее знак. По знаку ошибки устанавливаются серии и их число. Подсчитав статистические характеристики в рамках каждой серии, производится перерасчет весовых коэффициентов. Параметры настроек регулятора будут определяться значениями весовых коэффициентов, производя их перерасчет на каждом такте.

Заключение. В ходе работы была рассмотрена структура адаптивной системы, позволяющей реализовывать подстройку параметров модели и регулятора без остановки самого процесса регулирования. А использование автоподстройки с применением критерия серий дало возможность реализовывать эффективную адаптацию параметров цифрового регулятора и эталонной модели при изменениях информационного сигнала, существенно не увеличивая требований к вычислительной технике. При этом повышение точности достигалось за счет изменения числа наблюдений за один такт обработки.

Литература

1. Олссон, Г. Цифровые системы автоматизации и управления / Г. Олссон, Д. Пиани. – СПб.: Невский Диалект, 2001. – 557 с.
2. Бендат, Дж. Прикладной анализ случайных данных / Дж. Бендат, А. Пирсол. – М.: Мир, 1989. – 540 с.
3. Способ адаптивной фильтрации и устройство для его осуществления: пат. 9322 Респ. Беларусь, МПК7 G01F17/10, H04B1/10 / И. О. Оробей, С. Е. Жарский, Д. А. Гринюк, И. Ф. Кузьмицкий, Д. А. Медяк, В. В. Сароко, М. Ф. Лукашевич; заявитель Белорус. гос. технол. ун-т. – № а 0002317; заявл. 11.12.2003; опубл. 30.06.2005 // Афіцыйны бюл. / Дзярж. пат. ведамства Рэсп. Беларусь. – 2006. – № 1. – С. 16.

Поступила в редакцию 31.03.2010