

С.С. СЕМЕНОВ, А.А. ЖДАНОВ, А.А. РОМАНОВ

ОАО «Институт точной механики и вычислительной техники имени С.А.

Лебедева РАН», Москва

ОАО «Российские космические системы», Москва

semenovss@gmail.com, aazhdanov@ipmce.ru

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА «АВТОНОМНОГО АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ» В МНОГОУРОВНЕВЫХ УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМАХ

Предлагается паллиативное решение проблемы модернизации действующих в различных производствах детерминированных систем управления и необходимой их замены на адаптивные системы управления, путем внедрения адаптивных систем для автоматической настройки параметров старых систем управления, которые ранее настраивались вручную. Предложение рассматривается на двух практических примерах, в которые внедряется система Автономного адаптивного управления.

Ключевые слова: многоуровневые управляющие системы, автономное адаптивное управление, сканирующий зондовый микроскоп, наноспутник.

Введение

Внедрение в действующее производство инновационных систем управления, требующих радикальной перестройки сложившихся технических и организационных комплексов, дорого, связано с рисками и потому всегда затруднено. Этот фактор тормозит и внедрение адаптивных систем управления. Однако возможно паллиативное решение – использование новых адаптивных систем управления в составе действующих систем управления для автоматической и адаптивной настройки тех их параметров, которые ранее регулировались вручную.

Проблема построения систем управления, способных адаптироваться к внешним изменениям, активно исследуется последние полвека. Первые идеи и конкретные способы адаптации появились в конце 30-х годов прошлого столетия. Основное содержание задачи автоматической оптимизации состояло в поиске и удержании системы на экстремуме

некоторой ее статической характеристики. На сегодняшний день для многих задач автоматического регулирования не существует универсальных алгоритмов их решения, поэтому для получения приемлемого качества управления требуется участие опытного специалиста, эпизодически настраивающего параметры системы управления, полагаясь на свои знания, опыт и интуицию. Так, например, при использовании ПИД-регуляторов, опытный специалист должен настроить коэффициенты ПИД-регулятора и эпизодически подстраивать их по мере ухудшения качества управления из-за изменений каких-либо условий эксплуатации объекта управления. Для того чтобы в таких задачах вывести человека из контура управления, делаются попытки применения адаптивных методов управления. Несмотря на активные исследования в этой области, адаптивные методы, в целом, пока не получили широкого распространения. На действующем промышленном объекте пробные воздействия, необходимые для обучения системы, нарушают нормальный режим его работы и требуют дополнительных затрат энергии. Такие воздействия могут применяться только с существенными ограничениями [1].

В рамках данной работы рассмотрены способы построения многоуровневых адаптивных управляющих систем посредством добавления адаптивных подсистем управления (на основе метода «Автономного Адаптивного Управления») в действующие на практике традиционные детерминированные системы управления, что позволяет привнести в систему управления адаптивные свойства, не меняя при этом кардинально систему управления, и оставаясь в тех же границах требований к системе по надежности, устойчивости и прочим характеристикам. Такой подход позволит существенно упростить использование адаптивных методов в практических задачах. Метод «Автономного Адаптивного Управления» (ААУ) [2], который мы развиваем, представляет собой концептуальную модель нервной системы живых организмов. Самообучение системы ААУ происходит автоматически непосредственно в процессе взаимодействия управляющей системы со средой. Информация о совершенных действиях и их статистически подтвержденных результатах накапливается в базе знаний системы ААУ. Впоследствии этот опыт автоматически используется для принятия решений. Управляющая система ААУ стремится максимизировать свою «эмоциональную оценку», соответствующую качеству текущего состояния системы. Основой управления в методе ААУ являются не математические модели, а сочетание двух алгоритмов –

активного поиска знаний и нахождение оптимального решения на множестве накопленных знаний. Как и человек, система ААУ производит управление на основе собственного опыта.

Использование метода «Автономного Адаптивного Управления» для автоматической настройки параметров сканирующего зондового микроскопа

Для решения многих практических задач применяют детерминированные системы управления, в которых определенные параметры закона управления, влияющие на качество управления, настраиваются вручную экспертами – опытными специалистами.

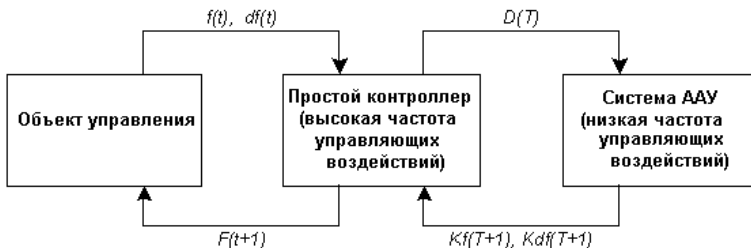


Рис. 1. Схема 2-уровневой параметризованной системы управления.

Мы предлагаем в системах такого рода настройку параметров управляющей системы осуществлять автоматически при помощи метода ААУ. На рисунке 1 изображена общая схема предлагаемой системы управления. Внутренний контур схемы представляет собой низкоуровневый настраиваемый контроллер. Внешний контур – система автоматической настройки, построенная на основе метода ААУ. Контроллер внутреннего контура воздействует на объект управления напрямую в режиме реального времени и является быстродействующим. Внешний контур воздействует на систему гораздо реже и лишь посредством изменения определенных параметров быстродействующего контроллера внутреннего контура. Значения этих параметров подбираются системой ААУ адаптивно, что позволяет автоматизировать весь процесс управления и сделать его в целом адаптивным [3].

Описанная схема системы управления применялась нами, например, для управления компьютерной моделью сканирующего зондового

микроскопа (СЗМ). Для получения достоверных результатов сканирования необходимо, чтобы расстояние между подвижным рабочим органом СЗМ - «зондом» и образцом оставалось неизменным на протяжении всего процесса сканирования. В традиционных системах управления СЗМ в основе лежит некоторая характеристика, такая, что существует резкая и взаимно однозначная связь между числовым значением данной характеристики и расстоянием между зондом и образцом. Цель системы управления – поддерживать числовое значение этой характеристики неизменным. Чем точнее она работает, тем качественнее будет полученное изображение.

В основе системы обратной связи в системах управления СЗМ в подавляющем большинстве случаев лежит пропорциональный, интегральный, дифференциальный (ПИД) регулятор или их комбинации [4]. В рассматриваемой модели СЗМ был использован пропорционально-интегральный (ПИ) регулятор, включающий 2 задаваемых параметра. Они подбираются вручную заново для каждого образца. Наиболее распространен эмпирический метод подбора параметров. Качество получаемого изображения оценивается специалистом на основе собственного опыта.

Формула ПИ-регулятора:
$$u(t) = P + I = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau .$$

Управляющее воздействие $u(t)$ в каждый момент времени рассчитывается на основе рассогласования $e(t)$. Пропорциональный (K_p) и интегральный (K_i) коэффициенты по сути являются параметрами, влияющими на закон управления. Настройка этих параметров позволяет существенно влиять на качество работы управляющей системы в целом.

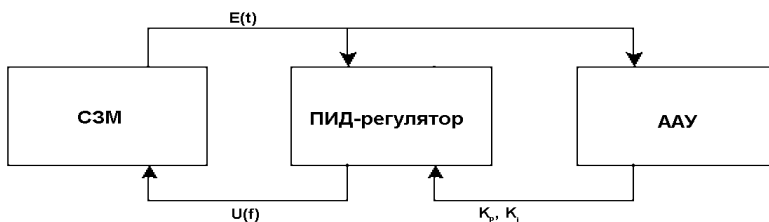


Рис. 2. Схема системы управления сканирующим зондовым микроскопом, построенной с использованием метода «Автономного Адаптивного Управления».

Система управления СЗМ в целом изображена на рис. 2. На вход как внутреннего (ПИ-регулятора), так и внешнего (системы ААУ) контуров подается $E(t)$ - рассогласование текущего состояния объекта управления. В качестве результата внутренний контур управления выдает $U(t)$ - регулирующее воздействие в данный момент времени. Внешний контур управления посылает на вход ПИ-регулятора новые значения пропорционального K_p и K_i интегрального коэффициентов.

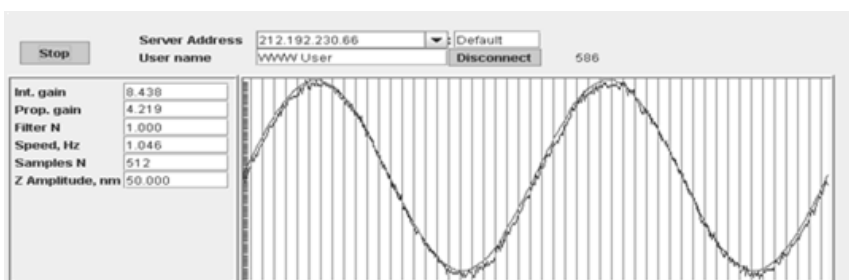


Рис. 3. Коэффициенты K_p и K_i настроены вручную. Значение интегральной ошибки 586.

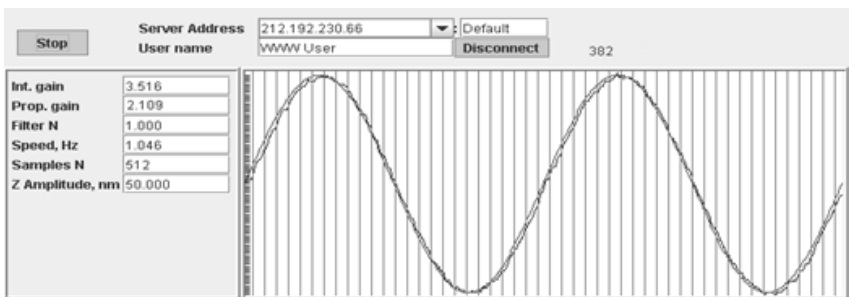


Рис. 4. Коэффициенты K_p и K_i настроены системой «Автономного Адаптивного Управления». Значение интегральной ошибки 382.

В качестве количественной характеристики качества управления в данном случае была использована интегральная сумма значения

рассогласования на отсканированной микроскопом строке образца. Кривые на рис. 3 и рис. 4 отображают реальный профиль образца и профиль поверхности, получаемый в процессе сканирования. Площадь между кривыми, изображенными на рисунках, соответствует количественной характеристике качества управления. Система «Автономного Адаптивного Управления» не только дает возможность настраивать параметры ПИ-регулятора автоматически без участия человека, но и позволяет достичь, по результатам проведенных тестов, улучшения качества управления примерно в 1,5 раза.

Использование метода «Автономного Адаптивного Управления» для управления в заданных границах на примере управления группой наноспутников

Рассмотрим другой пример использования метода «Автономного Адаптивного Управления» в многоуровневых управляющих системах. Двухуровневая схема системы управления другого типа применялась для моделирования процессов управления группой перспективных наноспутников мониторинга ионосферной плазмы [5]. Задачей системы автоматического управления группой наноспутников является поддержание заданной пространственной конфигурации группы в процессе движения по заданной орбите. Каждый объект должен поддерживать неизменным свое заданное положение относительно ближайшего соседа в группе и относительно орбиты.

Положение объектов группы удобнее всего рассматривать в орбитальной системе координат (RNB). Ось R (радиальная) направлена вдоль линии от центра Земли к спутнику. Ось N (нормаль) лежит в плоскости орбиты и направлена в сторону движения перпендикулярно оси R . Ось B (бинормаль) дополняет систему осей до правой системы координат и расположена перпендикулярно плоскости орбиты. Отклонения по оси B достаточно мало для характерного времени жизни системы, поэтому в рамках решения данной задачи рассматриваются только отклонения по осям R и N .

Система «Автономного Адаптивного Управления» берет на себя управление только в строго определенных границах. Управляемый процесс в данном случае можно представить переменным ходом координат $r(t)$ и $n(t)$, на которые можно влиять при помощи управляющих воздействий. За пределами диапазонов $[r(t)_{min}, r(t)_{max}]$ и $[n(t)_{min}, n(t)_{max}]$ управление берет на себя традиционная система управления, пока ей не

удастся вернуть значения в указанные диапазоны, что обеспечивает устойчивость группы спутников в допустимых пределах.

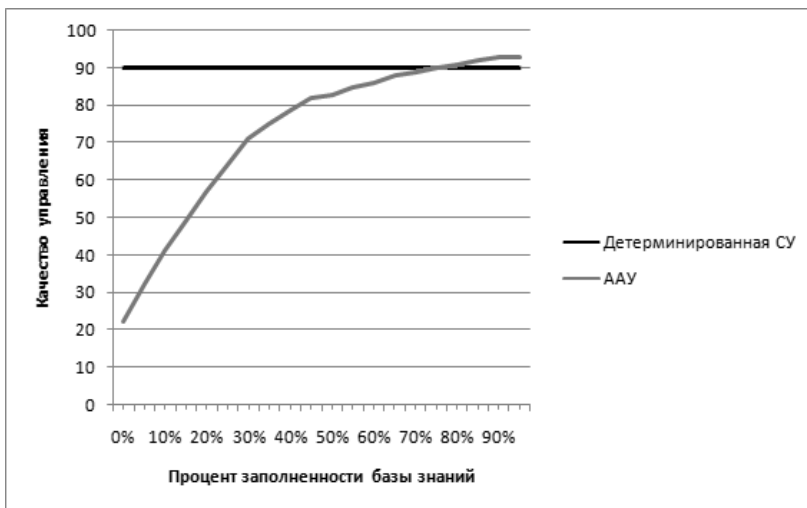


Рис. 5. График показывает рост качества управления от объема эмпирических знаний, автоматически накопленных системой ААУ. Для сравнения показан постоянный уровень качества управления, обеспечиваемый детерминированной системой управления.

Количественная оценка качества управления в данном случае может быть рассчитана по следующей формуле

$$\left(1 - \left(\sum_0^N (r(t_n) - r_0(t_n)) / (r_0(t_n) - r_{\min}(t_n))\right) / N\right) * 100.$$

Чем меньше спутник отклоняется от своего целевого положения, тем выше значение оценки качества управления.

В пределах диапазонов $[r(t)_{\min}, r(t)_{\max}]$ и $[n(t)_{\min}, n(t)_{\max}]$ происходит постоянная поисковая оптимизация процесса управления, построенная на основе метода «Автономного Адаптивного Управления», что заставляет качество управления повышаться со временем (рис. 5). Использование адаптивных методов позволяет косвенным способом учесть те свойства объекта и среды, которые были упущены в процессе проектирования системы управления, а также автоматически приспосабливаться к изменяющимся внешним воздействиям в режиме реального времени.

Заключение

Представленные в этой статье варианты построения адаптивных систем управления способны существенно упростить переход от построения существующих прикладных систем к построению систем, способных к перманентной оптимизации своего функционирования в реальном времени. Актуальность адаптивных методов растет с каждым днем, так как, несмотря на стремительные темпы роста вычислительных мощностей, становится очевидным, что многие задачи управления не могут быть решены при помощи существующих неадаптивных методов.

Результаты экспериментов, проведенных на компьютерных моделях, позволяют утверждать, что метод «Автономного Адаптивного Управления» может быть успешно применен для сравнительно недорогой и осторожной модифицирования существующих систем управления. Рассмотренные варианты построения адаптивных систем управления позволяют решить проблемы, возникающие при использовании адаптивных методов на практике, так как не требуют существенного изменения существующих управляющих систем.

Список литературы

1. Тюкин И.Ю., Терехов В.А. Адаптация в нелинейных динамических системах. М.: ЛКИ. 2008г.
2. Жданов А.А. Автономный искусственный интеллект. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний. 2008 г.
3. Zhdanov A., Karavaev M., Maklakova H., Medigue C., Sorine M. Simulation of control mechanisms in the cardio-vascular system. French-Russian A.M. Liapunov Institute for Applied Mathematics and Computer Science. Transactions. 2003. Vol. 4. P. 233-245.
4. Миронов В. Л. Учебное пособие для студентов старших курсов высших учебных заведений «Основы сканирующей зондовой микроскопии», Н-н.: ИФМ РАН. 2004 г.
5. Романов А.А., Трусов С.В., Новиков А.В., Аджалова А.А., Романов А.А., Селин В.А. Восстановление двумерного распределения электронной концентрации ионосферы в плоскости орбиты низкоорбитальных ИСЗ на основе анализа характеристик когерентного излучения // Вопросы электромеханики, 2009. Т.111, №4, с.37-42