

Ланкин Ю.П. Некоторые особенности самоадаптирующихся нейросетей на примере управления механическим объектом.// Научная сессия МИФИ-99. Всероссийская научно-техническая конференция "Нейроинформатика-99". Сборник научных трудов. В 3 частях. Ч.3.- М.: МИФИ, 1999.- С.278-284.

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ САМОАДАПТИРУЮЩИХСЯ НЕЙРОСЕТЕЙ НА ПРИМЕРЕ УПРАВЛЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИМ ОБЪЕКТОМ

Ланкин Ю.П.

Институт биофизики СО РАН

Аннотация

В работе приведены результаты исследования нейросетей с самостоятельной адаптацией на примере управления моделью статически-неопределимой четырехпролетной балки по реальным данным. Показана возможность создания нейросетей, способных учитывать изменения свойств обслуживаемого объекта и самостоятельно доучиваться в процессе функционирования с целью выполнения поставленной задачи при изменении условий управления. Описаны некоторые особенности самоадаптирующихся нейросетей.

Задача для самоадаптации

Необходимость выполнения данной работы обусловлена двумя причинами:

1. потребностью дать простую и рельефную иллюстрацию возможностей предложенной концепции создания обучаемых сетей нового поколения и в частности нейросетей с самостоятельной адаптацией¹;

2. утверждение о невозможности создания нейросетевых устройств управления объектами, способных учитывать изменения их свойств и внешних условий путем самостоятельного доучивания без участия человека, высказанное на IV Всероссийской конференции "Нейроинформатика и ее приложения" в г. Красноярске в 1996 г.

¹ Концепция и алгоритмы описаны в двух других статьях данного сборника.

Дискуссия возникла в связи с докладами, демонстрирующими возможности создания однократно обученных нейропроцессоров, предложенных ранее в работах [1,2] для аналоговых и цифровых реализаций соответственно.

Результаты программной апробации нейросетей с самостоятельной адаптацией, продемонстрировавших способность успешно решать подобные задачи, были впервые опубликованы в работе [3] на примере управления равномерностью распределения локальной нагрузки по длине статически неопределимой четырехпролетной балки с целью создания эффекта “повышения прочности” (см. рис. 1).

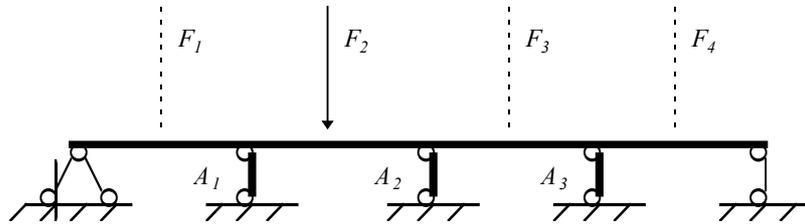


Рис. 1. Схема нагружения статически-неопределимой четырехпролетной балки.

Необходимо отметить, что автоматическое управление напряженно-деформированными состояниями конструкций является в настоящее время весьма перспективной бурно развивающейся областью науки и техники. В частности описываемая задача позволяет значительно экономить конструкционные материалы, уменьшать вес объекта и целенаправленно изменять свойства механической конструкции. Отсюда очевидно, что рассмотренные далее примеры имеют не только демонстрационное, но и прикладное значение. При этом имеются лишь отдельные попытки использования для этих целей нейронных сетей. В частности в [4] приведен пример *адаптации* нейросети для расчета значений смещения опор A_i идеальной модели четырехпролетной балки по величинам приложенных нагрузок F_j с целью выравнивания по абсолютным значениям изгибающих моментов в некоторых контрольных сечениях.

В данной работе описаны исследования, показывающие особенности *самоадаптации* нейросетей на примере управления моделью

реальной лабораторной четырехпролетной балки при решения прямой и обратной задачи:

1) смещения опор по данным, получаемым от 15 пар тензодатчиков, расположенных по длине балки (по три на пролетах и по одному на средних опорах) с целью выравнивания локальной нагрузки по длине балки для создания эффекта “повышения прочности” конструкции - прямая задача и 2) получения значений смещения опор путем подстройки величин сигналов тензодатчиков - обратная задача².

Проведенные эксперименты были повторены для ряда конфигураций из 8, 7, 4 и 3 пар тензодатчиков с целью оценки возможности упрощения входных измерительных цепей. В выполненных исследованиях шесть предложенных методов самоадаптации нейросетей продемонстрировали высокое качество решения задачи для всех перечисленных конфигураций тензодатчиков. Оптимальными показали себя конфигурации из 7 и 8 пар тензодатчиков, позволяющие совместить разумное сокращение числа измерительных элементов на управляемом объекте и, соответственно, входных связей нейросети с приемлемой потерей точности управления при выходе из строя отдельных датчиков.

Особенности процесса самоадаптации

В экспериментах по самоадаптации выявились существенные отличия в способе формирования воздействий на объект нейросетью в зависимости от соотношения размерностей входных и выходных векторов самоадаптирующейся нейросети, являющихся соответственно выходными и входными векторами объекта. Рассмотрим их на модели, описанной в предыдущем параграфе для случая с 15-ю тензометрическими датчиками (толстые вертикальные риски) и 3-мя актуаторами (*A1-A3*), осуществляющими заданное смещение опор (см. рисунки 2-4, иллюстрирующие отдельные фрагменты управляющих воздействий и реакций балки).

² Обратная задача, в описанной постановке, прямого физического смысла не имеет и служит примером оптимизации.

Самоадаптация нейросети для решения прямой задачи управления нагружением балки, фрагмент которой приведен на рисунке³ 2, осуществлялась путем автоматического формирования величин смещения трех средних опор балки с целью получения требуемого вектора значений сигналов датчиков. Балка имела 3 управляющих входа на актуаторы и 15 выходов на тензодатчики, то есть размерность вектора контролируемых параметров объекта в 5 раз превосходила размерность вектора управления.

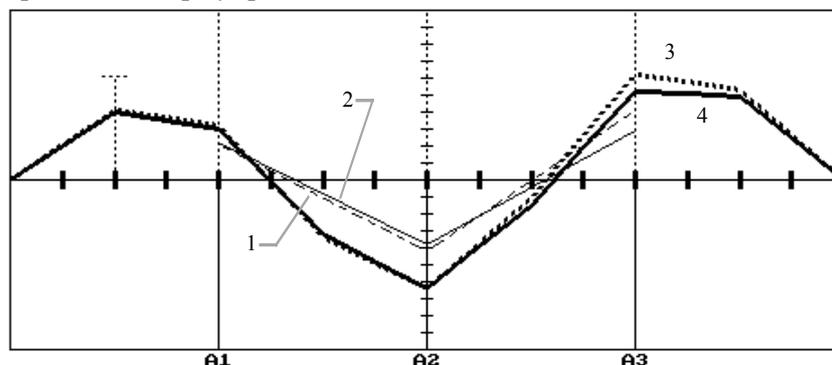


Рис. 2. Фрагмент заключительной фазы самоадаптации нейросети при решении *прямой* задачи управления нагружением четырехпролетной балки.

При этом выдававшиеся нейросетью величины смещений опор (сноска 2) совпадали с соответствующими предварительно измеренными тестовыми значениями смещений (сноска 1), а контролируемые значения датчиков состояния объекта (сноска 4) соответствовали требуемым значениям (сноска 3). На рисунке 2 показан один из фрагментов заключительной фазы адаптации. Линии 1-2 и 3-4 еще не слились и хорошо иллюстрируют близость получаемых значений.

Решение обратной задачи с 15-ю входами объекта и 3-мя выходами давало качественно иную картину, изображенную на рисунке 3. При этом размерность вектора контролируемых параметров была в 5 раз ниже размерности вектора “управления”. Избыточное, относительно минимально необходимого, число степеней свободы пространства

³ На рисунках 2-4 цифровыми сносками отмечены: 1- тестовые, а 2 - выдаваемые нейросетью управляющие воздействия на актуаторы; 3 - образцовые, 4 - полученные от объекта значения сигналов датчиков.

управления позволяло нейросети строить управляющие воздействия на объект (сноска 4 - тонкая сплошная линия), которые, как видно из рисунка, весьма слабо коррелировали с соответствующими предварительно измеренными тестовыми значениями (сноска 3 - тонкая пунктирная линия). Однако поставленная задача при этом эффективно решалась (линии 1 и 2 на рисунке 3 полностью совпали).

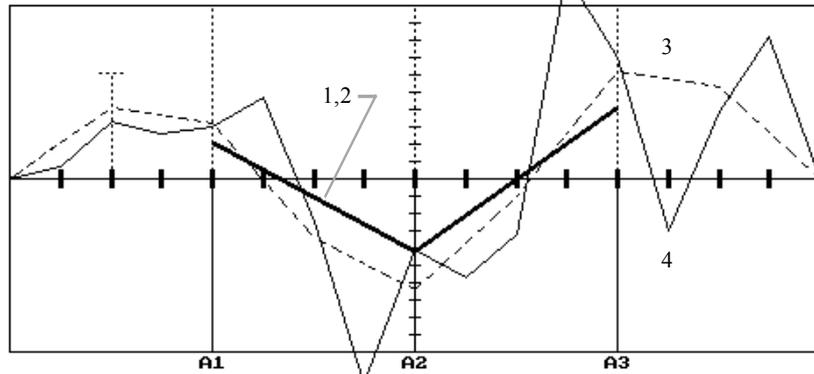


Рис. 3. Результат самоадаптации нейросети при решении обратной задачи управления нагружением четырехпролетной балки.

Очевидно на практике могут иметь место ситуации, когда подобная свобода в формировании управляющих воздействий самоадаптирующейся нейросетью не является допустимой, а управление должно протекать по определенным законам. Для оценки такой возможности были проведены вычислительные эксперименты с постановкой задачи на самоадаптацию для нейросети, включающей требование формирования заданного вида функции управления. В качестве приближения к желаемой функции управления, коррелирующей с тестовыми значениями, для вычисления элементов входного вектора объекта было использовано уравнение гармонического синтеза с помощью ряда Фурье⁴

$$y(t) = \frac{V_0}{2} + \sum_{k=1}^m V_k \cos(2\pi k f_1 t + Q_k), \quad (1)$$

⁴ Выбор вида уравнения обусловлен лишь удобством его использования и не несет никакого дополнительного смысла. Значения невычисляемых коэффициентов в нем подобраны эмпирически.

заданного гармониками с амплитудой V_k и фазовым углом Q_k . В уравнении

t - имеет смысл номера элемента входного вектора объекта и может быть ассоциирован со временем вычисления значений этого вектора⁵;

k - номер гармоники, совпадающий с номером i -го элемента выходного вектора нейросети $\{\alpha_{ij}\}$.

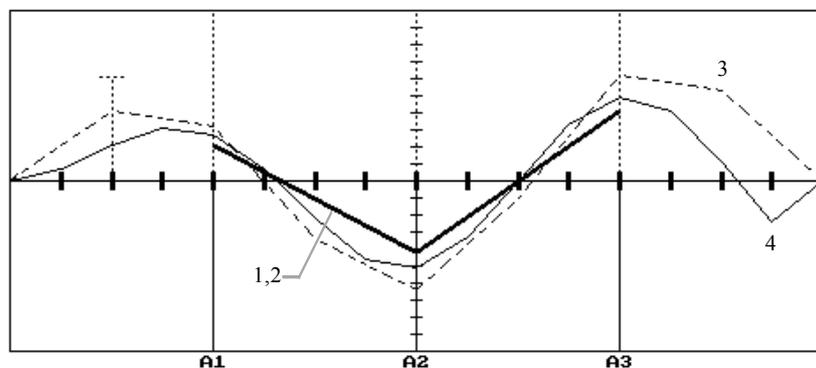


Рис. 4. Приближение нейросетью выходного вектора к требуемому виду при решении *обратной* задачи управления нагружением четырехпролетной балки в результате самоадаптации с заданными в уравнении (1) ограничениями ($m=3$).

Нейросети ставилась задача подобрать амплитуды ограниченного числа гармоник $V_k=\alpha_i$ в процессе самоадаптации, позволяющие получить приближение значений функции $y(t)$ на входе объекта к набору тестовых значений, которое было бы достаточным для формирования требуемого вектора $\{\beta_{ij}\}$ на выходе объекта.

В проведенных компьютерных экспериментах нейросеть успешно самоадаптировалась к поставленной задаче, организуя требуемую реакцию объекта на воздействия, начиная с $m=3$ и выше. На рисунке 4 показано одно из характерных приближений $y(t)$ (сноска 4 - тонкая сплошная линия) для $m=3$ к тестовым значениям (сноска 3 - тонкая

⁵ Поскольку значения t известны, все значения $y(t)$ могут быть вычислены параллельно в момент получения от нейросети $V_k=\alpha_i$.

пунктирная линия). С увеличением m точность приближения соответственно возрастала, однако возрастало и время вычисления $y(t)$.

В то же время отклонение значений $y(t)$ от тестовых практически не сказывалось на качестве решения задачи нейросетью (на рисунке 4 линии 1 и 2 после самоадаптации сети сливаются). Как и в предыдущих случаях, нейросеть эффективно подбирала управляющие воздействия на объект, самообучаясь их оперативному формированию в процессе функционирования.

Заключение

Концепция создания сетей с самостоятельной адаптацией позволяет создавать нейронные сети, способные самостоятельно адаптироваться к решению поставленной задачи по заданным критериям, как, например, гомеостатирование характеристик объекта при изменении внешних условий, самообучение требуемому режиму управления объектом, оптимизация характеристик объекта или модели и др. В качестве объекта для нейросети в адаптивной системе может выступать его модель либо/и внешняя среда. В частности появляется возможность конструирования моделей систем с самоадаптацией в условиях изменяющейся внешней среды, а также создания сложных иерархических систем управления.

Избыточность размерности пространства “управления” дает самоадаптирующейся нейронной сети потенциальную возможность решить поставленную задачу многими способами. Предсказуемость ее поведения может быть обеспечена путем наложения соответствующих ограничений.

Наиболее эффективным представляются представляется использование алгоритмов обучения нейросетей, сконструированных исходя из предложенной концепции создания сетей с самостоятельной адаптацией, что позволяет исключить необходимость различных ухищрений, требующихся для приспособления существующих супервизорных нейросетей к задачам самоадаптации и значительно расширяет спектр применений нейронных сетей относительно традиционной концепции, сохраняя ее возможности.

Описанные результаты получили продолжение в [5].

Автор благодарен Н.П.Абовскому и Л.Г.Смоляниновой за предоставленные данные по объекту моделирования и за интерес, проявленный к работе.

Литература

1. Барцев С.И., Машихина Н.Ю., Сувор С.В. Нейронные сети: подходы к аппаратной реализации.- Красноярск, 1990.- (Препринт Института биофизики СО АН СССР; №59Б).- 20 стр.

2. Ланкин Ю.П. Реализация нейросетей с фиксированной структурой на аналоговой элементной базе.- Красноярск, 1994.- (Автореферат кандидатской диссертации).

3. Ланкин Ю.П. Самоадаптирующиеся нейронные сети.- Красноярск, 1997.- (Препринт Института биофизики СО РАН, Теоротдел; ТО №3).- 21 стр.

4. Абовский Н.П., Абросимов П.С., Бабанин В.Б., Ланкин Ю.П., Смолянинова Л.Г. Автоматическое управление конструкциями с помощью нейронных сетей.- Красноярск: КрасГАСА, 1996.- 88с.

5. Охонин В.А., Смолянинова Л.Г., Абовский Н.П., Деруга А.П. Нейросетевое управление конструкциями и возможности физической реализации уравнений двойственного функционирования.// Третий сибирский конгресс по прикладной и индустриальной математике. Тезисы докладов.- Новосибирск: Изд-во Института математики СО РАН.- 1998.- V.- с.90.