

О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В КОНТУРЕ УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМОЙ ПЕРЕДАЧИ ЭТАЛОННЫХ СИГНАЛОВ ВРЕМЕНИ И ЧАСТОТЫ

д.т.н., проф. В.Н. Чинков, М.Л. Троцко

В статье показана возможность построения оптимального контура управления системой передачи эталонных сигналов частоты и времени системы единого времени Государственной службы единого времени и эталонных частот на основе многослойных нейронных сетей.

Постановка проблемы. В соответствии с Постановлением Кабинета Министров Украины № 434 от 16 июня 1995 г. в Украине принята Государственная программа по созданию и развитию Государственной службы единого времени и эталонных частот [1]. Одним из приоритетных проектов программы является создание системы передачи эталонных сигналов частоты и времени (ЭСЧВ) с автоматическим контуром управления процессом синхронизации шкал времени, формируемых управляемыми мерами частоты и времени (УМЧВ) на передающих центрах радио и телевидения, и координированной шкалы времени Государственного первичного эталона единиц времени и частоты (ГПЭВЧ) UTC(UA) [2 – 4].

В связи с этим актуальной является задача совершенствования автоматизированной системы управления УМЧВ, территориально распределенных относительно ГПЭВЧ.

Анализ литературы. Анализ известных методов синтеза систем автоматического управления показывает, что оптимальными по различным критериям качества являются обучающиеся и адаптивные системы. Теория этих систем позволяет синтезировать алгоритмы управления, приближающиеся по своим качественным показателям к байесовскому оптимальному варианту [5 – 8].

В последнее время для построения систем управления сложных динамических комплексов, к которым относится система передачи ЭСЧВ, все более широкое применение находит теория многослойных нейронных сетей (МНС), обладающих универсальными аппроксимационными свойствами, доказанными обобщенной аппроксимационной теоремой Стоуна-Вейерштрасса [9, 10]. Их применение в контуре управления системой передачи

ЭСЧВ позволит улучшить качественный показатель управления.

Цель статьи – показать возможность применения МНС для построения оптимального контура управления системой передачи ЭСЧВ системы единого времени Государственной службы единого времени и эталонных частот на основе многослойных нейронных сетей.

Постановка задачи. Система передачи ЭСЧВ содержит в себе территориально распределенные УМЧВ, которые могут быть представлены в совокупности как многомерный, динамический, нелинейный, нестационарный и подверженный воздействию помех объект управления.

Решение задачи. Необходимо сформировать такое управляющее воздействие $u(k)$, чтобы управляемая мера перешла из произвольного начального состояния $x(k_0)$ в заданное состояние $x(k_2)$ по известной траектории, определяемой поведением шкалы времени ГПЭВЧ. При этом данное движение должно минимизировать функционал качества

$$\min_{\sigma_x} F\{x, y, u, k\}, \quad (1)$$

где $x = [x(k), \dots, x(k-n)]$ – вектор фазовых координат УМЧВ, $k = 0, 1, 2, \dots$; $u = [u(k), \dots, u(k-n)]$ – вектор управляющих воздействий; σ_x – среднее квадратическое отклонение фазовых координат системы УМЧВ; $y = [y(k), \dots, y(k-n)]$ – вектор опорных фазовых координат, размерность которого соответствует размерности вектора управляющих воздействий u .

Процедура поиска оптимального управления УМЧВ включает два этапа. **Первый этап** заключается в формировании идентифицирующей модели УМЧВ системы передачи ЭСЧВ в виде функции от результатов измерений расхождений шкал времени $s(k)$.

При построении идентифицирующей модели УМЧВ и оптимального регулятора на основе байесовского критерия получение оптимальной оценки расхождения шкал времени означает создание такой функции результатов измерений расхождений шкал времени $s(k)$, которую можно определить как оптимальную оценку истинного значения поправки к шкалам \hat{s} (рис. 1). Получение оптимальной оценки результатов наблюдений осуществляется идентифицирующей моделью территориально распределенных УМЧВ системы передачи ЭСЧВ, которая на рис. 1 описана функционалом качества (1).

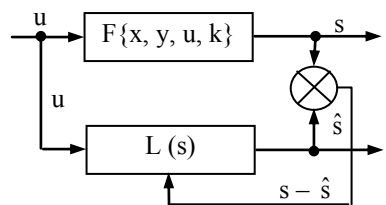


Рис. 1. Формирование идентифицирующей модели УМЧВ системы передачи ЭСЧВ

На этапе построения идентифицирующей модели в качестве эталон-

ного сигнала используется вектор поправок к шкалам УМЧВ относительно шкалы ГПЭВЧ. Вычисляемая погрешность идентификации $\hat{s}(k) - s(k)$ используется для настройки параметров модели. Кроме выходного сигнала УМЧВ, используются возможные значения параметра управляющего сигнала, не изменяющие фазовых координат данной группы УМЧВ. Таким образом, в результате построения идентифицирующей модели УМЧВ выстраивается функция правдоподобия $L(s) = p(\hat{s}|s)$ параметров выходных сигналов УМЧВ

$$p_{ps}(\hat{s}) = \alpha_1 \cdot p_{pr}(s)L(s), \quad (2)$$

где α_1 – коэффициент пропорциональности, выбираемый из условия нормировки

$$\alpha_1 = \left[\sum_{i=1}^n p_{pr}(s)L(s) \right]^{-1};$$

$p_{ps}(\hat{s})$ – апостериорная плотность вероятности параметра сигнала идентифицирующей модели УМЧВ; $p_{pr}(s)$ – априорная плотность вероятности параметров идентифицирующей модели УМЧВ; $L(s) = p(\hat{s}|s)$ – функция правдоподобия оцениваемого параметра.

Построение идентифицирующей модели УМЧВ осуществляется при помощи МНС, имеющей K слоев и n нейронов на l -м слое. Входными данными МНС являются расхождения шкал времени УМЧВ и выходные сигналы нейронной сети-регулятора. Выходные сигналы МНС-идентификатора \hat{s} представляют собой апостериорные знания (с апостериорной плотностью вероятности параметра идентифицирующей модели $p_{ps}(\hat{s})$), полученные из априорных данных в процессе обучения МНС по алгоритму обратного распространения ошибки. Априорные данные поступают на вход сети в виде выходной реализации параметров идентифицируемого объекта s в k -й момент времени.

На втором этапе процедуры поиска оптимального управления УМЧВ построим регулятор, адаптированный к изменениям свойств УМЧВ и внешних

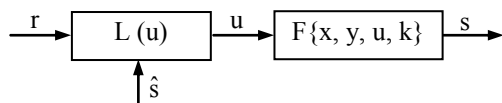


Рис. 2. Формирование регулятора расхождения шкал времени УМЧВ системы передачи ЭСЧВ

возмущений. Аналогично идентифицирующей модели оптимальный регулятор формирует функцию правдоподобия $L(u)$ параметров сигнала управления (рис. 2). Следовательно, априорные знания о плотности распределения оцениваемого параметра s с использованием поступающей измерительной информации о шкалах УМЧВ трансформируются в данные с апо-

стериорной плотностью вероятности параметра $p_{ps}(u)$ сигнала управления u :

$$p_{ps}(u) = \alpha_2 \cdot p_{ps}(s) L(u) = \alpha_2 \cdot \alpha_1 \cdot p_{pr}(s) \cdot L(s) \cdot L(u),$$

где α_2 – коэффициент пропорциональности, выбираемый из условия нормировки

$$\alpha_2 = \left[\sum_{i=1}^n \alpha_1 \cdot p_{ps}(s) L(s) \right]^{-1};$$

$L(u) = p(u|\hat{s}, r)$ – функция правдоподобия параметра сигнала управления; r – опорный сигнал, содержащий текущую информацию о допустимых расхождениях шкал времени УМЧВ и ГПЭВЧ.

Регулятор формируется с помощью МНС, имеющей такое же, как и u идентифицирующей МНС, количество слоев и нейронов в каждом слое. Однако на вход МНС-регулятора поступают от МНС-идентификатора оценки параметра \hat{s} и текущая информация r о допустимых расхождениях шкал времени УМЧВ и ГПЭВЧ. Данные параметры используются алгоритмом обучения регулятора для настройки синаптических весов МНС.

Для формирования оптимальных управляющих воздействий на УМЧВ системы передачи ЭСЧВ используем контур управления, состоящий из двух МНС.

Обучение МНС представляет собой градиентную процедуру нахождения экстремума функционала качества обучения сети по алгоритму обратного распространения ошибки (Back Propagation – BP) [11 – 13], т.е. минимизацию рассогласования выходного сигнала МНС и опорного сигнала (априорной информации). В процессе обучения априорные данные фиксируются сетью в виде значений синаптических весов.

Таким образом, нахождение экстремума функционала качества обучения сети обеспечивает минимизацию расхождения фазовых координат системы передачи ЭСЧВ и опорных фазовых координат ГПЭВЧ. Следовательно, решение уравнения (2) обеспечит минимум среднего квадратического значения погрешности выходных сигналов нейронной сети.

Выводы. В работе показана возможность формирования контура управления УМЧВ системы передачи ЭСЧВ системы единого времени Государственной службы единого времени и эталонных частот на основе МНС, оптимальность которого обеспечивается реализацией байесовского подхода. Процесс обучения МНС соответствует нахождению апостериорной плотности вероятности ее выходного сигнала. Настройка синаптических весов МНС, посредством которых фиксируются априорные знания, осуществляется при нахождении экстремума функционала качества обучения, соответствующего минимуму апостериорного риска.

Основными направлениями дальнейших исследований являются

ЛИТЕРАТУРА

1. *Державна служба єдиного часу та еталонних частот України: структура і основні засади забезпечення країни високоточною частотно-часовою інформацією* / О.М. Величко, Ю.І. Сафронов, О.С. Клейман та ін. // *Космічна наука та технологія*. – 1998. – Т.4. – № 2 – 3. – С. 8 – 11.
2. *Державна служба єдиного часу та еталонних частот – необхідний елемент розвитку наземної космічної інфраструктури України* / О.М. Величко, Б.І. Макаренко, В.Ю. Камінський та ін. // *Космічна наука та технологія*. – 1997. – Т. 3. – № 1 – 2. – С. 7 – 16.
3. *Система синхронізації и єдиного времени наземного автоматического комплекса управления КА Украины* / Б.И. Макаренко, В.Ф. Кулишенко та інші // *Космічна наука та технологія*. – 2001. – Т. 7. – № 4. – С. 107 – 113.
4. *Романько В.М., Ємець Н.Г., Сагайдак Г.І. Методика управління сигналами часу, що передаються з Києва по радіо*. // *Труди IV Міжн. НТК "Метрологія та вимірвальна техніка"*, Харків, 12 – 14 жовтня 2004 р. – С. 229 – 231.
5. *Хомяков Э.Н. Вопросы статистической теории оптимальных измерительных систем*. – М.: Изд-во МО СССР, 1973. – 280 с.
6. *Гостев В.И., Стеклов В.К. Системы автоматического управления с цифровыми регуляторами: Справочник*. – К.: Радиоаматор, 1998. – 704 с.
7. *Меркулов В.И., Харьков В.П. Оптимізація радіоелектронних систем управління. Методи и алгоритмы синтеза оптимального управления (обзор)* // *Радиотехника*. – 1998. – № 9. – С. 2 – 24.
8. *Тихонов В.И., Харисов В.Н. Статистический анализ и синтез радиотехнических устройств и систем*. – М.: Радио и связь, 1991. – 608 с.
9. *Терехов В.А. Нейросетевые системы управления*. – М.: Высш. шк., 2002. – 183 с.
10. *Назаров А.В., Лоскутов А.И. Нейросетевые алгоритмы прогнозирования и оптимізації систем* – С.-Пб.: Наука и Техника, 2003. – 384 с.
11. *Levin A.U., Narendra K.S. Control of nonlinear dynamical system using neural networks: Controllability and stabilization* // *IEEE Trans. Neural Networks*. – 1996. – V. 4, № 2. – P. 192 – 206.
12. *Levin A.U., Narendra K.S. Control of nonlinear dynamical system using neural networks. Part II: Observability, identification and control* // *IEEE Trans. Neural Networks*. 1996. – V. 7, № 1. – P. 30 – 42.
13. *Neural networks for control systems: A survey* / K.J. Hunt, D. Sbarbaro // *Automatica*. – 1992. – V. 28, № 6. – P. 1083 – 1112.

Поступила 12.11.2004

ЧИНКОВ Виктор Николаевич, доктор техн. наук, профессор, профессор кафедры ХУ ВС. Область научных интересов – метрология и измерительная техника.

ТРОЦКО Максим Леонидович, младший научный сотрудник НМЦ (военных эталонов). В 2002 году окончил ХВУ. Область научных интересов – применение искусственных нейронных сетей в системах синхронізації и єдиного времени.