

УДК 681.3

А.М. Дегтярев (6 курс, каф. АиВТ), Е.Н. Бендерская, к. т. н., доц.

МЕТОД ОБРАТНОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ ОШИБКИ НЕЙРОННОЙ СЕТИ С УЧЕТОМ ВРЕМЕНИ

Этот алгоритм применяется для настройки непрерывных рекуррентных нейронных сетей на воспроизведение заданной траектории. Нейроны в такой сети связаны каждый с каждым. В сети два слоя. С нейронов первого слоя снимаются выходные сигналы, таким образом, размерность выхода сети определяется количеством нейронов в этом слое. Для каждого нейрона сети можно записать:

$$\tau_i \dot{y}_i = -y_i + a\left(\sum_{j=1}^N w_{ij}\right) + x_i, \quad i = 1, 2, \dots \quad (1)$$

где τ_i – постоянная времени i -го нейрона, w_{ij} – вес связи j -го нейрона с i -тым, y_i – выход i -го нейрона, a – его передаточная функция, x_i – рецептивный вход нейрона, N – количество нейронов в сети. Пусть $d_i(t)$, непрерывные функции времени, задающие траекторию. Тогда обучение сети сводится к минимизации функционала

$$J = \frac{1}{2} \int_{t_0}^{t_1} \sum_{i=1}^S (y_i(t) - d_i(t))^2 dt \quad (2)$$

путем модификации весов w_{ij} и постоянных времени τ_i . Здесь t_0 – время выхода на траекторию, t_1 – время окончания движения. Минимизацию этого функционала можно осуществить, применив один из итерационных методов нелинейного программирования.

Для моделирования рекуррентной нейросети с обучением методом обратного распространения ошибки с учетом времени был создан программный проект в вычислительной среде MATLAB, в котором обучение нейросети реализовано как решение задачи нелинейной оптимизации с помощью одного из следующих алгоритмов: наискорейшего спуска, сопряженных градиентов, Левенберга - Марквардта.

Результаты моделирования показывают, что рекуррентные нейронные сети, обучаемые по методу обратного распространения ошибки с учетом времени, могут быть применены в задачах программного управления (терминального, траекторного) для повышения эффективности их решения. Для практически любой заданной траектории можно выбрать нейросеть и метод обучения, чтобы получить требуемую степень соответствия эталону.

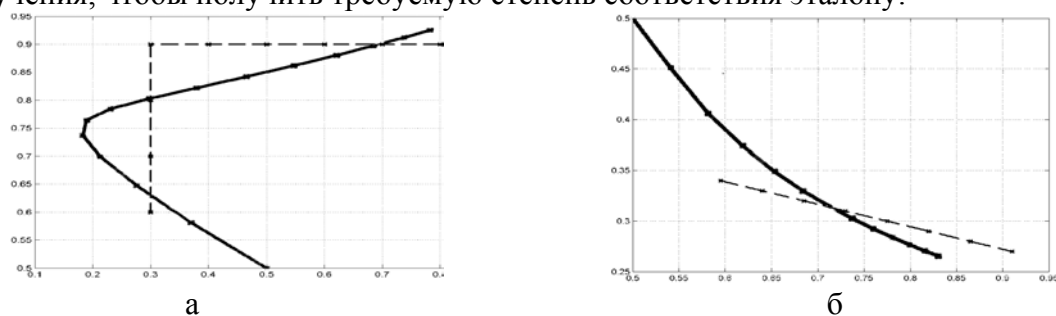


Рис. 1. Сплошная линия – воспроизводимая сетью траектория, пунктир – эталон. $N=5$, $t_0 = 5$, $t_1 = 15$ (а), $t_1 = 13$ (б).

При воспроизведении траектории нейросеть проявляет некоторую «инертность», сказывающуюся на качестве повторения эталона. Это можно наблюдать, как, например, плавный выход на прямую траекторию или «объезд» прямого угла по большому радиусу (рис. 1). Но с другой стороны, это как раз и важно при управлении реальными инертными объектами.

Скругляя траекторию движения, нейросеть исключает возможность перегрузки, выдачу за-
предельного сигнала управления. Она не просто фильтрует резкие изломы с неизбежным за-
паздыванием в этом случае, но «предугадывает» траекторию, что дает дополнительные воз-
можности оптимизации процессов управления.