УДК 332.025.12

ПРЕДИКТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ НЕЛИНЕЙНОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

Тауфер И., проф., д.т.н.; Драбек О., проф., к.т.н.; Долежел П., аспирант
(*Университет Пардубице, Факультет электротехники и информатики, Кафедра управления процессами, г. Пардубице, Чешская Республика*)

ВВЕДЕНИЕ

Предиктивное управление [1] представляет один из эффективных способов управления, которое при предполагаемых изменениях значений управляемой величины, дает возмможность, в определенном «опережении», действовать на эти изменения. При таком управлении необходимо хорошо знать математическую модел управаляемой системы. В зависимости от точности знания этой модели, однозначно зависит и точность собственного управления. И это может в ряде случаев, особенно при сложных и нелинейных системах, привести при разработке схемы управления, к проблеммам. Одной из возможности эффективного моделирования является использование нейронных сетей [2] – [4].

1 ПРИНЦИП ПРЕДИКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Принципиальная схема одной из возможности предиктивного управления – стратегия передвижного горизонта (RHC – Receding Horizont Control), или же управление с использованием модели системы (MPC – Model Predictive Control), приведена на рис. 1. Она состоит из четырех блоков: модели системы, работающей в режиме предиктора, блока расчета значений критериальной функции, блока оптимизации и собственной управляемой системы.

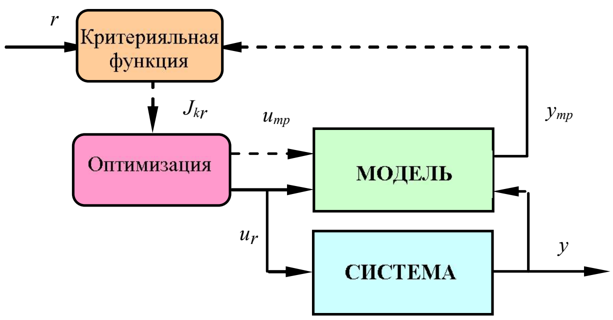

Рисунок 1 – Схема предиктивного управления

Модель управляемой системы в виде прямой нейронной сети и блок оптимизации предназначены для расчета оптимальных предиктивных значений вектора величин воздействий $\mathbf{u}_{mp}$, которые обеспечивают на данном горизонте упреждения максимальное совпадение между вектором значений уставки $\mathbf{r}$ и вектором выходных значений модели $\mathbf{y}_{mp}$, в виде минимума критериальной функции J_{kr}. Первый элемент вектора величин воздействий $u_{mp}(1)$ приводится потом на вход управляемой системы как оптимальное значение величины воздействия $u_r(k)$ на данном шагу управления k.

Значения входно/выходных величин управляемой системы можно использовать для актуализации параметров прямой нейронной сети.

2 НЕЙРОННАЯ СЕТЬ В РЕЖИМЕ ПРЕДИКТОРА

Как известно можно поведение нелиней динамической системы без задержки представить в виде разностного уравнения

$$y_m(k+1) = f\left[y_m(k), y_m(k-1), \ldots, y_m(k-n+1), u(k), u(k-1), \ldots, u(k-m+1)\right] \quad (1)$$

где u, y_m – входной, или выходной сигнал модели системы соответственно
$f[.]$ – нелинейная функция зависимости выхода модели системы от входа

Этому входно/выходному соотношению должна соответствовать по своим свойствам и модель системы в виде прямой нейронной сети.

С методикой обучения этой сети можно ознакомится напр. в [5].

Если на вход приведенной нейронной сети приведем в даннный момент времени k постепенно в промежутках времени i = 0, 1, …, N-1 значения элементов вектора управляющей величины

$$\mathbf{u}_{mp}(k)=\left[u_{mp}(k+0),u_{mp}(k+1),\ldots,u_{mp}(k+N-1)\right], \tag{2}$$

потом получим на выходе сети вектор управляемых величин

$$\mathbf{y}_{mp}(k)=[y_{mp}(k+1),y_{mp}(k+2),\ldots,y_{mp}(k+N)]. \tag{3}$$

3 АЛГОРИТМ ПРЕДИКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Приведенное предиктивное управление можно описать как расчет сигнала управления, при чем его значение определяется минимизацией критериальной функции, которая представлена в виде суммы квадратов отклонений между значениями уставки и предиктивными значениями управляемой величины на выходе модели управляемой системы в пределе выбранного числа шагов предикции. Робастность алгоритма управления обеспечена «on – line» непрерывной идентификацией управляемой системы (непрерывное обучение нейронной сети).

Критериальная функция представлена в виде

$$J_{kr}=\sum_{i=N_1}^{N_2}\left[r(k+i)-y_{mp}(k+i)\right]^2+\lambda\sum_{i=1}^{N_u}\left[\Delta u_{mp}(k+i-1)\right]^2 \tag{4}$$

где $$\Delta u_{mp}(k+i-1)=u_{mp}(k+i-1)-u_{mp}(k+i-2) \tag{5}$$

k – шаг управления

N_1 – минимальный (нижный) горизонт предикции, для котого действительно $N_1 = d + 1$, где d задержка по времени

N_2 – максимальный (верхний) горизонт предикции (как правило ей выбираем так, чтобы упрежденные значения занимали существенную часть отклика системы)

N_u – горизонт управления (для системы без задержки $N_u \leq N_2/2$)

λ – весовой коэффициент, его значение влияет на значение управляющей величины и тем самым на скорость изменения управляемой величины

$r(k+i)$ – значения требуемых значений упраляеммой величины определенные в момонтах времени $k + i$, $i = N_1, N_1+1, \ldots, N_2$

$u_{mp}(k+i)$ – значения упрежденного управляющего сигнала (уравнение (2)), в диапазоне нижнего и верхнего горизонта предикции N_1 а N_2

$y_{mp}(k+i)$ – вектор предсказанных значений управляемой величины (уравнение (4)) на выходе модели системы как отклик на вектор упрежденного управляющего сигнала $u_{mp}(k+i)$.

Оптимальный вид управляющего сигнала в пределах горизонта предикции обеспечен минимизацией критериальной функции J_{kr}, (уравнение (4)), по вектору предикции управляющего сигнала, уравнение (2), т.е. решением уравнений

$$\frac{\partial J_{kr}}{\partial u_{mp}(i)}=0,\quad i=N_1,N_1+1,\ldots,N_2 \tag{6}$$

Так как аналитическое решение уравнения (6), которое обеспечивает расчет минимального значения J_{kr}, не является из за сложности его аналитической формы простым, представляется использовать решение численное. В нашем случае была испоьзована системная программа MATLAB-a, представлена функцией «*fminsearch*». Эта функция расчитывеат минимум данного уравнения методом симплексов «Neldera - Meada» [6].

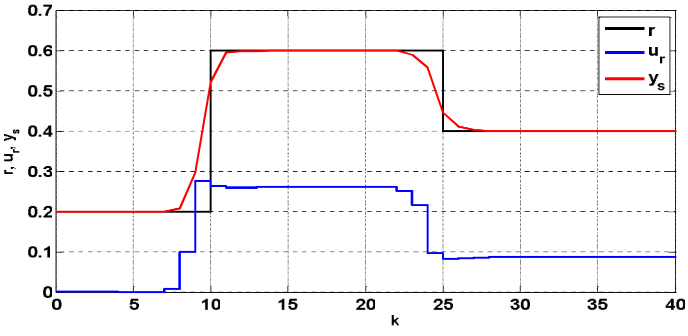

Рисунок 2 – Ход предиктивного

4 ПРИМЕР

4.1 Объект управления

Дана управляемая система, поведение которой можно представить в виде разностного уравнения без задержки [7]

$$y_s(k) + y_s^2(k-1) - 1{,}2\,y_s(k-1) = 0{,}92\,u(k-1) \qquad (7)$$

где $u(k)$ – входной сигнал,

$y_s(k)$ – выход из управляемой системы.

Детальный анализ системы можно найти в [8]. Реч идет о системе нелинейной в статике и динамике. Рабочий диапазон находится в пределах входа $u \in (0; 1)$ и выхода $y_s \in (0{,}2; 1)$.

4.2 Цели решения

Далее приведенными имитационными расчетами процесса управления было обеспечить выполнение сдедующих целей:

1) чтобы управление начапос с максимально возможным опережением перед предполагаемым изменением требуемого значения,
2) чтобы при скачкообразном изменении требуемого значения был обеспечен плавный и как можно скорый переход в новый устойчивый режим без перерегулирования.

4.3 Решение

Дан ход уставки управляемой величмны, приведенный на рис. 2 (скачкообразное изменение на 10-том и 25-том шагах управления).

В силу того, что система представлена без задержки будет нижный горизонт предикции ровен $N_1 = 1$. С учетем хода кривых разгона будет достаточно принять верхний горизонт предикции ровным $N_2 = 6$. Из приведенного потом вытекает, что горизонт управления надо принять ровным $N_u = 3$. Плавный ход отклика без перерегулирования был достигнут при весовом коэффициенте $\lambda = 0{,}4$. Вид кривых достигнутого процесса управления с выше прведенными параметрами указан на рис. 2.

5 ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Как видно процес управлия начинается на три шага ранее и успокоению переходного процесса без перерегулирования было достигнуто на носле следующих трех шагов управления. Это позволяет принять утверждение, что цели предиктивного управления были выполнены.

Проблемма была решена в рамках гранта научных исследовантй MŠM 0021627505 «Управление, оптимизация и анализ сложных систем» и по программе научного сотрудничества между ЧР и СР KONTAKT MŠMT MEB 0810003 «Идентификация и управление сложными нелинейными системами ипри использовании методов искуственного интелекта»

Перечень ссылок

1. CAMACHO, E.F. - BORDONS, C. *Model Predictive Control.* London : Springer, 405 p. ISBN 1-85233-694-3
2. LAZAR, M. - PASTRAVANU, O. A neural predictive controller for non-linear systeme. *Matehematics and Computers in Simulation*, 60 (2002), pp. 315-324.
3. SKLIARENKO, E.G. Предиктивное регулирование скорости электропривода роботов на базе нейромодели [on line]. *Електромашинобудування та електрообладнання*. Вип. 52. [cit. 11.8.2009]. ⟨http://www.nbuv.gov.ua/Articles/OSPU/ee_52/2.htm⟩.
4. NN Predictive Control. [on line]. *Neural Network Toolbox*. [cit. 11.8.2009]. ⟨http://www.mathworks.com/access/helpdesk/help/toolbox/nnet/control3.html⟩.
5. FAUSETT, L.V. *Fundamentals of Neural Network: Architectures, Algorithm and Applications.* New Persey : Prentice Hall, 1994.
6. NELDER, J.A. - MEAD, R. A simplex method for function minimization. *Computer Journal,* vol. 7, 1965, p. 308
7. KOZÁK, Š.; KAJAN, S. Adaptive Control of Nonlinear Dynamical Systems using Neural Networks. In *Proceeding of the 2nd Slovak Conference on Artificial Neural Networks SCANN 98*, November 10 - 12, 1998, pp. 72 – 76.
8. TAUFER, I.; DRÁBEK, O. Adaptive Control of Non-linear System using Neural Network. *Acta Mechanica Slovaca*, vol. 14, No 1/2010, pp. 54 – 63. Košice (Slovak Republic) : Elfa, s.r.o., 2010. ISSN 1335-2393.