کاهش chattering در عملکرد کنترل کننده NARMA-L2

احمد حاجی پور hajjipoor@yahoo.com
ویدا جهان پناه vjp2031@yahoo.com
سحر بهرامیان sb_77@yahoo.com

آدرس: سبزوار ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سبزوار،گروه برق

کلمات کلیدی:
$NARMA-L2$، شبکه چندلایه عصبی،کنترلرفیدبک خطی،خطی سازی فیدبکی

۱- مقدمه

بسیاری از ساختارهای شبکه های عصبی برای شناسایی و کنترل سیستم های دینامیکی به طور موفقیت آمیزی به کار برده شده اند [1] . یکی از محبوبترین ساختار های کنترل شبکه های عصبی کنترل کننده $NARMA-L2$ است [2]. آموزش برای این روش سرراست است به خاطر اینکه کنترل کننده یک باز چینی ساده از مدل شبکه عصبی فرآیند می باشد، که به صورت *offline* آموزش می بیند،دینامیک جداگانه ای برای آموزش کنترل کننده وجود ندارد. اشکال این روش این است که فرآیند حتماً باید به شکل *companion form* یا قابل تقریب به *companion form* باشد[3] . همچنین ،اغلب *chattering* در عملکرد کنترلی وجود دارد این *chattering* می تواند بوسیله اضافه کردن یک فیدبک خطی، همانطور که در این مقاله توضیح داده خواهد شد ، کاهش یابد.

در بخش ۲ این مقاله ما اساس یک کنترل کننده $NARMA-L2$ را ارائه می کنیم و عملکرد آن را بر یک سیسم ساده نشان خواهیم داد . ما همچنین نشان خواهیم داد که *chattering* در عملکرد کنترلی اتفاق می افتد. بخش ۳ نشان می دهد که چگونه فیدبک خطی به کنترل کننده $NARMA-L2$ اضافه می شود که می تواند *chattering* در عملکرد کنترلی را کاهش دهد. در انتها نتایج آورده شده است.

۲- کنترل کننده $NARMA-L2$

کنترل کننده $NARMA-L2$ ،سیستم دینامیکی غیر خطی را با حذف غیر خطی ها به سیستم دینامیکی خطی تبدیل می کند این کنترل کننده یک باز چینی ساده از مدل شبکه عصبی فرآیند می باشد، که به صورت *offline* آموزش می بیند ، اشکال این روش این است که فرآیند حتماً باید به شکل *companion form* یا قابل تقریب به *companion form* باشد. این کنترل کننده همانند بیشتر کنترل کننده های با شبکه های عصبی بر پایه طراحی با

کنترل خطی بنا شده است. دو مرحله شناسایی سیستم و طراحی کنترل کننده هنگام استفاده از کنترل کننده های عصبی وجود دارد:

در مرحله شناسایی سیستم، یک مدل شبکه عصبی از سیستمی که می خواهیم کنترل کنیم را ارائه می کنیم. در مرحله طراحی کنترل کننده،از مدل شبکه عصبی فرآیند برای طراحی (یا آموزش) کنترل کننده استفاده می کنیم.

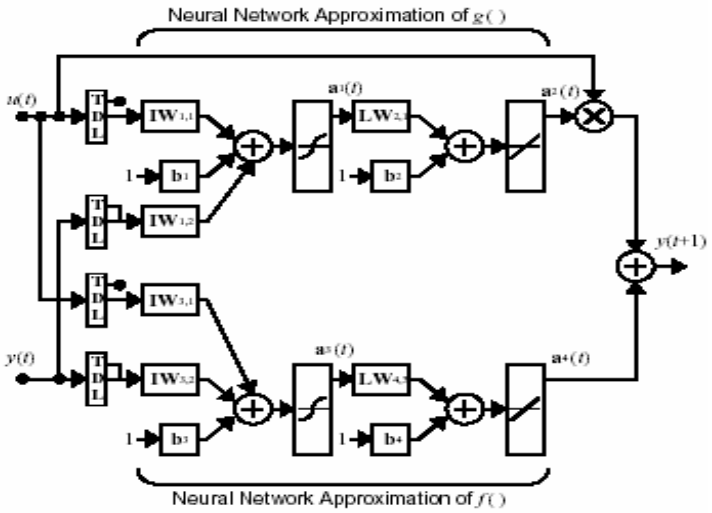
۲-۱ شناسایی مدل $NARMA-L2$:

مدل $NARMA-L2$ یک تقریب از مدل $NARMA$ است [4].مدل تقریبی $NARMA-L2$ با معادله زیر

داده می شود:

$$\hat{y}(k+d) = f[y(k), y(k-1), \ldots y(k-n+1), u(k-1), \ldots, u(k-m+1)] + g[y(k), y(k-1), \ldots y(k-n+1), u(k-1), \ldots, u(k-m+1)] * u(k) \qquad (۱)$$

که f, g با استفاده از شبکه عصبی ، با استفاده از مدل $NARMA-L2$ تقریب زده می شوند. نمودار بلوکی زیر این موضوع را نشان می دهد[5].



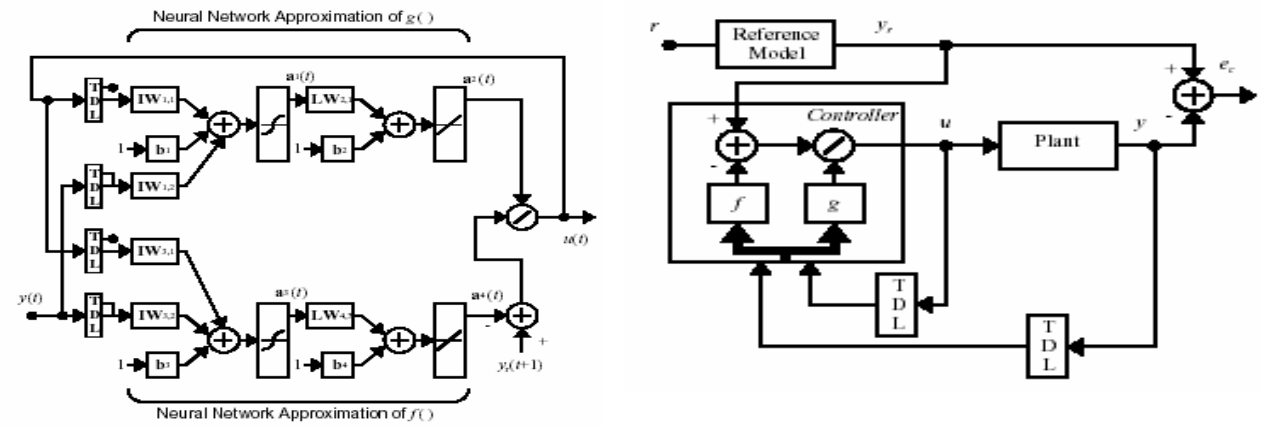
شکل ۱- مدل $NARMA-L2$ فرایند

۲-۲ کنترل کننده $NARMA-L2$

ما می توانیم کنترل کننده $NARMA-L2$ را همانند زیر تعریف کنیم

$$u(k)=\frac{y_r(k+1)-f[y_n(k),u_m(k-1)]}{g[y_n(k),u_m(k-1)]} \qquad y_n(k)=[y(k),...,y(k-n+1)]^T \qquad (۲)$$
$$u_m(k-1)=[u(k-1),...,u(k-m)]^T$$

که $y_r(k+1)$ سیگنال مرجعی است که باید ردیابی شود این کنترل کننده می تواند با استفاده از مدل $NARMA-L2$ فرآیندی که قبلاً شناسایی شده است را پیاده سازی نمود.



شکل ۲- پیاده سازی کنترل کننده $NARMA-L2$

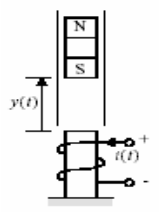
اگر سیستم بتواند در شکل *companion form* بیان شود واگر f, g به طور صحیح تقریب زده شوند،خروجی سیستم معادل با خروجی مدل مرجع خواهد بود.

$$y(k+1)=y_r(k+1) \qquad (۳)$$

در بخش بعدی عملکرد کنترل کننده $NARMA-L2$ بر روی یک سیستم شناور مغناطیسی نشان خواهیم داد.

۲-۳ سیستم شناور مغناطیسی

در این مسئله آزمایشی،هدف کنترل کردن موقعیت آهن ربای بالای یک آهن ربای الکتریکی است،که آهن ربا محدود شده است و بنابراین آن می تواند فقط در جهت عمودی همانطور که در شکل نشان داده شده، جابجا شود



شکل ۳- سیستم شناور مغناطیسی

معادله حرکت آهن ربا به صورت زیر است :

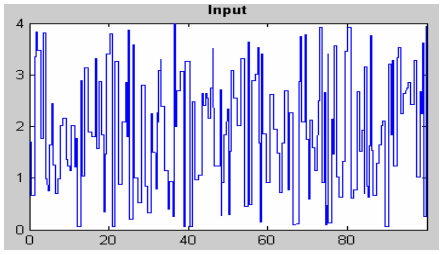
$$\frac{d^2y(t)}{dt^2} = -g + \frac{\alpha}{M}\frac{i^2(t)\,\mathrm{sgn}[i(t)]}{y(t)} - \frac{\beta}{M}\frac{dy(t)}{dt} \qquad (۴)$$

که $y(t)$ فاصله آهن ربای بالای آهن ربای الکتریکی، $i(t)$ جریان عبوری در آهن ربای الکتریکی است، M جرم آهن ربا است و g ثابت جاذبه است. پارامتر β ضریب اصطکاک ویسکوزیته است و α ثابت شدت میدان است . مرحله او ل در استفاده کنترل کننده $NARMA-L2$ ، شناسایی مدل فرآیند است که دو شبکه ی عصبی چند لایه برای تقریب $f(),g()$ استفاده می شوند ورودی این شبکه ها،ورودی و خروجی های تأخیری $u_m(k-1), y_n(k)$ هستند.
جدول زیر پارامترهای شناسایی مدل برای سیستم آهنربای مغناطیسی شناور را نشان می دهد .

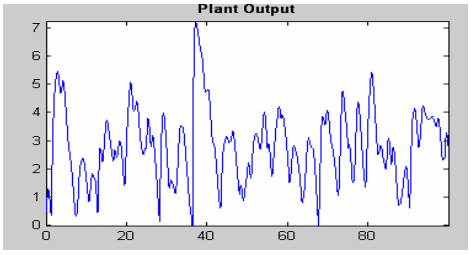
INPUT RANGE	(0,4)
Input interval	(0.05,5)
Sampl time	0.01
Delayed inputs(m)	3
Delayed outputs(n)	3
Hidden Layer size	10

جدول ۱- پارامترهای شناسای مدل

شکل زیر پاسخ سیستم به سیگنال ورودی هنگامی که ورودی یک سری از توابع پله ای است را نشان می دهد.



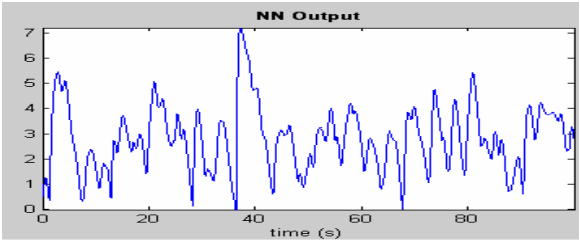
شکل ۴- ورودی به سیستم



شکل ۵- پاسخ سیستم

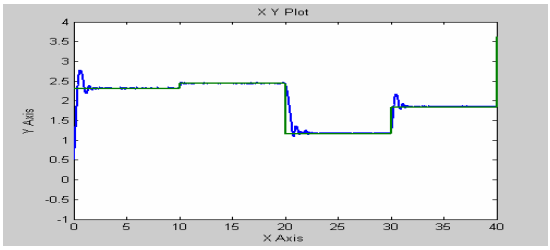
٤-۲ طراحی کنترل کننده:

حال با استفاده ازدو شبکه عصبی ۱۰ لایه مخفی توابع f, g را تقریب می زنیم. ۱۰۰۰۰ داده آموزشی به شبکه می دهیم وبعد از بدست آوردن وزنهای شبکه (پارامترهای شبکه) پاسخ شبکه را به ورودیهای تست رسم می کنیم

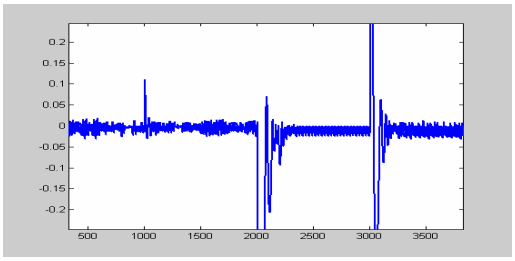


شکل۶- پاسخ مدل $NARMA-L2$ سیستم

حال با f , g بدست آمده سیگنال کنترلی را به سیستم اعمال می کنیم که پاسخ آن به صورت زیر است.



شکل ۷ - خروجی سیستم بعدازاعمال کنترل کننده



شکل ۸- خطای سیستم به ورودی توابع پله ای

همانطور که از نمودارهای فوق مشخص است کنترل کننده $NARMA-L2$ تولید *chattering* در خروجی سیستم می کند. که در بخش بعد راه حل لازم را ارائه می دهیم.

۳- کاهش *chattering* در عملکرد کنترل

یکی از معایب این کنترل کننده این است که اغلب تولید *chattering* در عملکرد کنترلی می کند برای کم کردن این پدیده می توان یک کنترلر خطی فیدبکی به کنترلر $NARMA-L2$ جهت بهبود عملکرد کنترلی آن اضافه کرد.کنترلر $NARMA-L2$ خیلی شبیه به کنترلر خطی سازی فیدبکی است . تفاوت اساسی بین این دو این است که کنترل کننده خطی سازی فیدبکی یک بخش فیدبک خطی اضافه می کند.اگر ما معادله ۲ را به صورت زیر اصلاح کنیم

$$u(k)=\frac{y_r(k+1)-f[y_n(k),u_m(k-1)]-d^T y_p(k)}{g[y_n(k),u_m(k-1)]} \qquad (۵)$$

$$d=[d_1,\ldots d_p]^T$$

اگر f , g دقیق تقریب زده شوند ، خروجی سیستم ، معادله تفاضلی زیر را برآورده خواهد کرد.

$$y(k+1) = c_0 y_r(k+d) - d^T y_p(k) \qquad (۶)$$
$$\Rightarrow y(k) + d_1 y(k-1) + \ldots + d_p y(k-p) = c_0 y_r(k)$$

با تبدیل z گرفتن ، داریم:

$$Y(z) = \frac{c_0}{D(z)} Y_r(z) \Rightarrow \qquad D(z) = 1 + d_1 z^{-1} + d_2 z^{-2} + \ldots + d_p z^{-p} \qquad (۷)$$

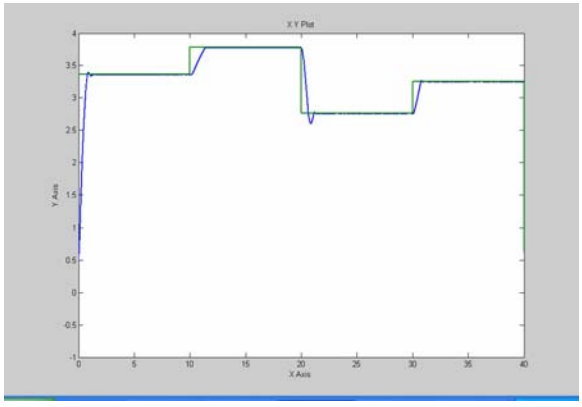
با قراردادن ریشه های $D(z)$ در داخل دایره واحد پاسخ $y(k)$ نوع نرم (smooth) از $y_r(k)$ است . این به معنی این است که $u(k)$ نیز نرم شده است. و می توان $chattering$ دیده شده در کنترل کننده $NARMA-L2$ را کاهش داد. اگر پارامتر c_0 به صورت زیر تعیین شود

$$c_0 = D(1) = 1 + d_1 + \ldots + d_p \qquad (۸)$$

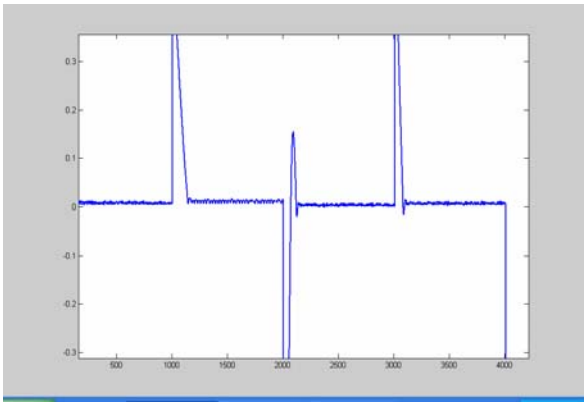
ما می توانیم مصمص سویم که خطای حالت دائمی به ورودی پله صفر است. شکل های زیر پاسخ ها و عملکرد کنترلی کنترل کننده $NARMA-L2$ همراه با فیدبک سیستم آهن ربای الکتریکی را نشان می دهد. برای مثال ما مرتبه سیستم فیدبکی را ۱ انتخاب کردیم یعنی

$$D(z) = 1 - .999 z^{-1}$$

که دارای یک قطب در $p = .999$ واقع در داخل دایره واحد می باشد.



شکل ۹- خروجی سیستم با کنترل کننده $NARMA-L2$ بهبود یافته



شکل ۱۰ -خطای سیستم با با کنترل کننده $NARMA-L2$ بهبود یافته

از روی نمودارهای فوق به خوبی واضح است که $chattering$ کاهش یافته است. نکته ای که باید توجه کرد این است که:به خاطر اینکه مدل سیستم تقریبی است ، غیرخطی ها دقیقاً حذف نمی شوند . خطا در تقریب می تواند سبب ناپایداری و یا خطا در حالت دائمی پاسخ سیستم حلقه بسته شود لذا در انتخاب $D(z)$ باید دقت کرد.

نتیجه گیری:

این مقاله با مروری بر کنترل کننده $NARMA-L2$ شروع شد . این کنترل کننده به خاطر اینکه محاسبات کمی چه از نظر آموزش شبکه و چه از نظر پیاده ساز ی کنترل کننده دارد ، روش محبوبی می باشد. این کنترل کننده یک باز چینی ساده از مدل شبکه عصبی فرآیند می باشد، که به صورت *offline* آموزش می بیند، اشکال این روش این است که فرآیند حتماً باید به شکل *companion form* یا قابل تقریب به *companion form* باشد و همچنین اغلب تولید *chattering* در عملکرد کنترلی می کند. *chattering* در عملکرد این کنترل کننده را همانند کنترل کننده خطی سازی فیدبکی می توان با استفاده از یک فیدبک خطی کاهش داد ولی از آنجا که مدل سستم تقریبی است بخاطر حفظ پایداری و خطای حالت دائمی باید در انتخاب فیدبک خطی دقت کرد.

مراجع :

[۱]. Narendra, K.S. and K. Parthasarathy, 'Identification and Control of Dynamical Systems Using Neural Networks,' *IEEE Transactions on Neural Networks*, vol. 1, 4-27 (1990).

[2]. Hagan, M. T. and H.B. Demuth, 'Neural Networks for Control,' *Proceedings of the 1999 American Control Conference*,San Diego, CA, 1642-1656 (1999)

[3]. Slotine, J.-J. E. and W. Li, *Applied Nonlinear Control*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1991.

[4]. Narendra, K.S. and S.Mukhopadhyay, 'Adaptive Control Using Neural Networks and Approximate Models,' *IEEE Transactions on Neural Networks*, vol. 8, 475-485 (1997).

[۵]. Hagan, M. T. and H.B. Demuth,, ' An introduction to the use of neural network in control system,' *Proceedings of the 2002 American Control Conference*,San Diego

[6] De jesus, O., Pukrittayakamee,A., and Hagan, M.T.," A Comparison of Neural Network Control Algoritms," Proccedings of the International Joint Conference on Neural Networks, vol .4.,2001,2626-2631.