

طراحی کنترل کننده عصبی پایدار ساز برای کلاسی از سیستمهای غیر خطی

محمد باقر منهاج
دانشیار

سید مجتبی روحانی
دانشجوی دکترا

دانشکده مهندسی برق، دانشگاه صنعتی امیر کبیر

چکیده

یک روش طراحی برای تعیین ماتریس وزنه‌های یک شبکه عصبی بدست آمده است که بعنوان کنترل کننده سیستم غیر خطی چند ورودی - چند خروجی (MIMO) متشکل از یک سیستم خطی با ورودیهای محدود شده عمل می کند. روش طراحی جدید برخلاف روشهای تعلیم تکراری شبکه های عصبی، بزرگ بهینه سازی تک پارامتری استوار است و بنابراین ماتریسهای وزنی بهینه را می توان به سبب محاسبه نمود. علاوه بر این در این روش پایداری سیستم حلقه بسته تضمین می شود.

Design of Stabilizing Neural Network Controller for a Class of Nonlinear Systems

S.M. Rouhani
Ph.D Student

M.B. Menhaj
Associate Professor

Amirkabir University of Technology

Abstract

A novel design procedure is presented that determines the weight matrices of a neural network controller for a class of nonlinear multi-input systems. The plant is a linear system supposed to bounded inputs. In contrast to conventional recursive training methods, the novel design method is based upon an one-parameter optimization which directly specifies the weight matrices. The stability of the closed loop system is guaranteed analytically.

اگر چه شبکه های عصبی مصنوعی در دو دهه اخیر بشدت مورد استقبال قرار گرفته و در کاربردهای گوناگونی از آن استفاده شده است و نظریه کنترل نیز جزء اولین کاربردهای آن می باشد، اما بررسی پایداری کنترل کننده های عصبی تا کنون کمتر مورد توجه قرار گرفته است. در روشهای معمول طراحی کنترل کننده های عصبی (نظیر الگوریتم انتشار معکوس خطا و نسخه های تعمیم یافته آن)، کارایی شبکه عصبی پس از انجام طراحی، بستگی به میزان قابلیت تعمیم الگوهای آرایه شده به الگوریتم تعلیم دارد و به عبارتی تضمینی در مورد صحت عمل شبکه عصبی در تمامی حالات وجود ندارد. و از این رو طراح موظف است که توجه کافی به تمامی شرایط ممکن داشته باشد. اما از طرفی در بسیاری از مسایل کنترل، قابلیت اعتماد به نتایج از عوامل مهم تصمیم گیری در مورد یک کنترل کننده است و از این رو خواص کیفی یک کنترل کننده (نظیر تضمین پایداری) با اهمیت تر از خواص کمی آن (نظیر سرعت میرایی نوسانات) تلقی می گردد. در چنین حالاتی روشهای کلاسیک که بر مبنای نظریه های قوی ریاضی استوارند، ترجیح داده خواهند شد. این واقعیت باعث می شود که تحلیل نظری خواص کنترل کننده های عصبی مورد توجه قرار گیرد.

در میان خواص متعدد یک کنترل کننده، بی شک پایداری سیستم حلقه بسته از اهمیت ویژه ای برخوردار است. از این رو تضمین تحلیلی پایداری کنترل کننده های عصبی بسیار ارزشمند خواهد بود. اما متأسفانه، در سالهای اخیر تنها تعداد محدودی مقاله در این زمینه انتشار یافته است. واقعیت این است که با وجود مطالعات و مقالات قوی و منسجم در زمینه هایی مثل رفتارهای دینامیکی شبکه های عصبی برگشتی^۲ [4]-[1] و یا تعداد نقاط تعادل و پایداری موضعی آنها [7]-[5]، کارهایی که در زمینه بررسی پایداری کنترل کننده های عصبی انجام گرفته، اندک می باشند و تنها در سالهای اخیر مورد توجه قرار گرفته اند. یکی از اولین کارها در این زمینه کار Tzikel-Hancock و Fallside [8] است. آنها از دو شبکه عصبی برای برآورد مشتقات خروجی نسبت به ورودی و حالت استفاده کرده اند و هدف کنترل نیز خطی سازی فیدبکی یک سیستم غیر خطی جدپذیر بوده است. نشان داده شده است که تحت شرایط خاص، مانند برآورد دقیق مشتقات، خطای تعقیب بسمت صفر می رود. در کارهایی که توسط Lewis و همکاران [10]، [9] انجام گرفته است، یک شبکه عصبی به همراه یک کنترل کننده PD به مدل روبات اعمال شده است. شبکه عصبی بخش غیر خطی مدل روبات را حذف می کند و سیگنال کنترل توسط بخش PD

تأمین می گردد. اگر ماتریسهای اینرسی و اصطکاک شرایط خاصی را برآورده سازد، با استفاده از الگوریتم تعلیم پس انتشار خطا، خطای تعقیب بسمت صفر می رود. Fullmer و Kuntanapreeda [11] یک شبکه عصبی تک لایه را به طور مستقیم برای کنترل یک سیستم غیر خطی موضعاً پایدار، بکار برده و شرایطی را بر روی ماتریس وزنه های شبکه عصبی بدست آورده اند که تحت آنها سیستم کلی پایدار موضعی باقی می ماند. در [12] Sadegh روشی را برای طراحی کنترل کننده شبکه عصبی تطبیقی به همراه تحلیل پایداری موضعی آن بدست آورده است. همچنین نتایج بدست آمده در مقالات [14]-[13] از Jagannathan و همکاران در زمینه کنترل کننده شبکه عصبی پایدار برای دسته خاصی از سیستم های غیر خطی بسیار با اهمیت میباشند. علاوه بر اینها، می توان به کارهای Suykens و همکار [15] و [16] Tanaka نیز اشاره کرد. نتایج بدست آمده در مقالات اخیر، شرایطی را بصورت نامساویها و تساویهایی بر روی ماتریسهای وزنی شبکه عصبی اعمال می نماید که تحت آن شرایط، سیستم کلی مرکب از یک کنترل کننده عصبی و یک سیستم دینامیکی بیان شده توسط شبکه عصبی دیگر، پایدار خواهند بود. در این مقالات روشی برای طراحی ارائه نشده است.

در مقاله حاضر، ما یک سیستم غیر خطی را در نظر خواهیم گرفت که متشکل است از یک سیستم خطی چند ورودی - چند خروجی به همراه عناصر غیر خطی محدودکننده ورودیها. مشخص است که این حالت معمول برای هر سیستم واقعی است. یک روش طراحی مستقیم برای تعیین ماتریسهای وزنی شبکه عصبی دو لایه کنترل کننده بدست آمده است.

در بخش اول این مقاله، کار را با بررسی مسئله طراحی پایداری عصبی سراسری^۲ برای سیستم خطی شروع خواهیم نمود. در بخش دوم، نتایج بدست آمده برای حالتی که ورودیهای سیستم خطی محدود میباشند، توسعه داده خواهد شد. بخش سوم به نتایج شبیه سازی و بخش پایانی به بحث در مورد نتایج اختصاص دارد.

۱- طراحی شبکه عصبی پایدار ساز سراسری برای سیستم خطی

ساختار نمایش داده شده در شکل (۱) را در نظر می گیریم که در آن یک سیستم خطی باید توسط کنترل کننده غیر خطی شبکه عصبی پایدار سراسری گردد. سیستم خطی توسط نمایش فضای حالت آن توصیف گردیده است و شبکه

که در آن P یک ماتریس مثبت معین است که توسط الگوریتم طراحی تعیین خواهد گردید. محاسبه مشتق تابع لیاپانوف نسبت به زمان در طی مسیرهای حالت سیستم، به روابط زیر منجر می گردد:

$$\dot{V}(x) = \dot{x}'Px + x'P\dot{x} = x'A'Px + x'PAx + 2f(w_1 x)'w_2'b'Px \quad (1-6)$$

تعریف می کنیم:

$$\begin{cases} \beta_1 \equiv bw_2 \\ A_f \equiv A + b_1 w_1 \end{cases} \quad (1-7)$$

هدف طراحی آن است که ماتریسهای w_1 و w_2 را بگونه ای انتخاب نمود تا سیستم حلقه بسته پایدار سراسری باشد. شرط لازم برای این مقصود پایدار بودن A_f است و بنابراین با این فرض مسئله را پیش می بریم. ماتریس P را برابر جواب یکتای معادله لیاپانوف زیر برای یک ماتریس متقارن دلخواه $Q > 0$ در نظر می گیریم:

$$A_f'P + PA_f = -Q \quad (1-8)$$

می توان (1-6) را دوباره چنین نوشت:

$$\begin{aligned} \dot{V}(x) &= -x'Qx + 2[f(w_1 x) - w_1 x]'b_1'Px \\ &= -x'Qx + 2 \sum_{i=1}^m \left(\frac{f(w_{1i} x)}{w_{1i} x} - 1 \right) x' w_{1i}' b_{1i}' Px \end{aligned} \quad (1-9)$$

که در رابطه آخر w_{1i} سطر i ام از ماتریس w_1 و b_{1i} ستون i ام از b_1 می باشد. همچنین توجه شود که $w_{1i} x$ و $w_{1i}' Px$ مقادیر عددی هستند. بنابراین تعریف تابع فعالیت $f(\cdot)$ داریم:

$$0 < 1 - \frac{f(y)}{y} < 1 - \beta \quad \forall y \quad (1-10)$$

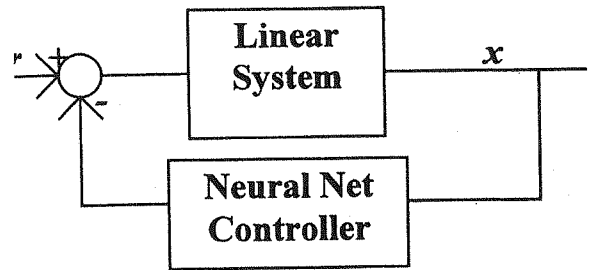
در اینجا به نخستین نکته کلیدی در الگوریتم طراحی رسیده ایم. ماتریس w_1 را بصورت زیر با یک ماتریس قطری دلخواه $R > 0$ در نظر می گیریم:

$$w_1 = R^{-1} b_1' p \quad (1-11)$$

برای آنکه سیستم حلقه بسته پایدار باشد، باید داشته باشیم:

عصبی یک شبکه دو لایه پیش - خوراند با نرونهای غیر خطی در لایه مخفی و نرونهای خروجی خطی است:

$$\dot{x} = Ax + bu \quad (1-1)$$



شکل (1) پایدارسازی سراسری سیستم خطی توسط شبکه عصبی.

$$u = w_2 f(w_1 x) \quad (1-2)$$

که در آن w_1, b, A و w_2 ماتریسهای به ترتیب $n \times n, n \times m, m \times n$ و $m \times p$ هستند و x بردار $n \times 1$ حالتی سیستم خطی میباشد. تابع $f(\cdot)$ تابع غیر خطی فعالیت نرونهای لایه مخفی شبکه است، که به بازه $[\beta, 1]$ ، $0 < \beta < 1$ تعلق دارد. جمله آخر با توجه به تعریف زیر تفسیر می گردد:

تعریف 1: [17] تابع پیوسته و معین $f(\sigma)$ را متعلق به بازه $[\alpha, \beta]$ می گوئیم، اگر:

$$\alpha^2 \leq \sigma f(\sigma) \leq \sigma^2 \beta \quad \forall \sigma \in \mathcal{R} \quad (1-3)$$

توجه شود که برای تابع فعالیت متداول سیگموئید داریم $\beta = 0$ ، و در نتیجه خروجی شبکه عصبی محدود است. اما از آنجا که مابه دنبال طراحی یک کنترل کننده سراسری برای این سیستم خطی هستیم، واضح است که باید سیگنال کنترل نامحدود باشد. در بخش بعد این شرط بر روی تابع فعالیت را حذف خواهیم کرد.

با جایگزینی (1-1) در (1-2) و مرتب سازی مجدد جملات، بدست می آوریم:

$$\dot{x} = (A + bw_2 w_1) x + bw_2 (f(w_1 x) - w_1 x) \quad (1-4)$$

جهت بررسی پایداری از تابع لیاپانوف درجه دوم زیر استفاده می شود:

$$V(x) = x'Px \quad (1-5)$$

شروع کرده و باحل معادله ریکاتی (1-16) برای Q, P را بصورت زیر قرار داد:

$$Q = Q_1 + 2(1-\beta)Pb_1 R^{-1} b_1^T P \quad (1-18)$$

برای آنکه معادله ریکاتی (1-16) جواب یکتا داشته باشد، زوج (A, b_1) باید کنترل پذیر باشد. بنابراین الگوریتم طراحی را بصورت ذیل جمع بندی می کنیم:

- ماتریس w_2 را چنان انتخاب کن که زوج (A, b_1) کنترل پذیر باشد. واضح است که در صورتی می توان اینکار را کرد که زوج (A, b) کنترل پذیر باشند.

- معادله ریکاتی (2-16) را برای یک ماتریس Q_1 و یک ماتریس قطری $R > 0$ داده شده حل کند.

- ماتریس وزنی w_1 را توسط (1-11) بدست آورد.

بکمک این روش طراحی، ما اطمینان داریم که شبکه عصبی قادر خواهد بود تا سیستم حلقه بسته را بصورت سراسری پایدار نماید. همچنانکه بنظر می رسد، هنوز پارامترهای آزاد زیادی در این الگوریتم طراحی وجود دارد که انتخاب آنها به نظر طراح بستگی دارد. این مطلب، ما را بر آن می دارد که پیچیدگیهای بیشتری را به مدل اضافه نماییم. اینکار را در بخش بعدی انجام خواهیم داد.

۲- طراحی شبکه عصبی پایدار ساز موضعی برای سیستم غیر خطی

در این بخش به تعمیم نتایج بخش قبلی برای حالتی که یک سیستم غیر خطی MIMO باید توسط شبکه عصبی کنترل گردد، پرداخته می شود. سیستم غیر خطی مورد نظر متشکل است از یک سیستم خطی که محرکه های آن دارای بازه کاری محدود می باشند و عبارتی مدل سیستم شامل یک بلوک غیر خطی محدود کننده در ورودی می باشد. این حالت در بسیاری از سیستمهای واقعی رخ می دهد، چرا که هر وسیله فیزیکی تنها قادر به تحمل نیروهای محدودی می باشد. شکل (۲) ساختار مورد نظر را نشان می دهد.

دوباره دقت شود که با وجود محدود کننده در ورودی سیستم امکان تحقق پایداری سراسری وجود ندارد. از اینرو نیازی به انتخاب تابع فعالیت نامحدود برای شبکه عصبی وجود ندارد و می توان از توابع متداول سیگموئید استفاده نمود. بنابراین، علاوه بر روابط (1-1) و (1-2) داریم:

$$\|u\|_{\infty} < \bar{u} \quad (2-1)$$

$$x^T Q x - 2 \sum_{i=1}^m \frac{f(w_{1i} x)}{w_{1i} x} x^T P b_{1i} r_i^{-1} b_{1i}^T P x > 0 \quad (1-12)$$

از رابطه (1-10) می دانیم که تمام جملات داخل علامت جمع مثبت اند، و در نتیجه رابطه بالا معادل رابطه زیر خواهد بود:

$$x^T Q x - 2(1-\beta) \sum x^T P b_{1i} R^{-1} b_{1i}^T P x > 0 \quad (1-13)$$

که این رابطه را نیز می توان بشکل زیر نوشت:

$$Q - 2(1-\beta)Pb_1 R^{-1} b_1^T P > 0 \quad (1-14)$$

بخاطر داریم که در رابطه (1-8) فرض کرده ایم A_f پایدار است، و یا بطور معادل داریم:

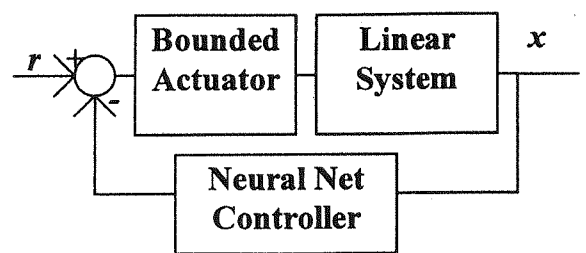
$$A^T P + PA - 2Pb_1 R^{-1} b_1^T P = -Q \quad (1-15)$$

که یک معادله ریکاتی کاملاً شناخته شده می باشد. اما مشکل در اینجا است که باید رابطه (1-14) نیز بطور همزمان برقرار باشد. دومین نکته اساسی در الگوریتم طراحی نیز در همین جا است. با افزودن جمله $2(1-\beta)Pb_1 R^{-1} b_1^T P$ به هر دو طرف (1-15) می نویسیم:

$$A^T P + PA - 2Pb_1 R^{-1} b_1^T P = -Q_1 \quad (1-16)$$

که در آن:

$$Q_1 \equiv 2Q - 2(1-\beta)Pb_1 R^{-1} b_1^T P > 0 \quad (1-17)$$



شکل (۲) پایدارسازی موضعی سیستم غیر خطی شامل یک سیستم خطی و محدود کننده ورودی آن توسط شبکه عصبی.

دوباره رابطه (1-16) یک معادله ریکاتی، معادل رابطه (1-15) است و می توان رابطه (1-14) را نیز همزمان با انتخاب $Q_1 > 0$ برقرار نمود. بنابراین می توان با انتخاب یک Q_1 مثبت

واز آنجا که در پی تحقیق پایداری موضعی می باشیم، فضای حالت را نیز می توان محدود کرد:

$$\|x\|_{\infty} < \bar{x} \quad (2-3)$$

در اینجا می توان دو مسئله طراحی متفاوت را بررسی نمود:

۱- \bar{u} داده شده است، یعنی محدوده کاری محرکه ها مشخص است، و بدنبال کنترل کننده ای با تضمین پایداری و بزرگترین دامنه جذب هستیم.

۲- \bar{x} داده شده است، یعنی محدوده مورد نیاز برای پایداری سیستم مشخص است و باید کنترل کننده پایدار ساز را بگونه ای طراحی کنیم که پایداری در محدوده مورد نظر توسط محرکه هایی با حداقل دامنه تضمین گردد. از این روش می توان در انتخاب محرکه های مناسب، ب. برای سیستم استفاده نمود.

با مد نظر قرار دادن مسئله اول و دنبال کردن مسیر طراحی در بخش قبلی، از آنجا که خروجی نرونها لایه مخفی شبکه کنترل کننده توسط رابطه (2-2) محدود شده است، خروجی شبکه عصبی را می توان با انتخاب ماتریس وزنی w_2 بصورت زیر در محدوده مورد نظر قرار داد:

$$\|w_2\|_{\infty} < \bar{u} \quad (2-4)$$

برای آنکه سیستم حلقه بسته پایدار باشد، کفایت تا برای یک $0 < \beta < 1$ ، داشته باشیم:

$$0 < 1 - \frac{f(y)}{y} < 1 - \beta \quad y = w_{1i} x \quad i=1, \dots, n \quad (2-5)$$

اگر برای β یک مقدار مشخص انتخاب گردد و مراحل طراحی قبلی با حل معادله ریکاتی (1-16) و بدست آوردن w_1 دنبال شوند، رابطه (1-5) یک حد بالا برای x خواهد داد:

$$\bar{x} < \frac{\bar{y}}{\|w_2\|_{\infty}} \quad (2-6)$$

که در آن \bar{y} جواب معادله زیر است:

$$\frac{f(\bar{y})}{\bar{y}} = \beta \quad (2-7)$$

انتخاب بهترین مقدار برای β ، که بزرگترین بازه جذب را نتیجه

میدهد را می توان توسط هر روش بهینه سازی تک پارامتری^۷ انجام داد. بازه پایداری تضمین شده را می توان به سادگی با بدست آوردن بزرگترین کانتور بشکل $xPx = cte$ که مشروط به $\|x\|_{\infty} < \bar{x}$ است، محاسبه نمود.

نکته ۱: توجه شود که بهینگی بازه پایداری بدست آمده بستگی به انتخاب ماتریسهای R, Q_1, w_2 دارد. برای بررسی تاثیر هر یک از این پارامترها، می توان (1-16) را چنین نوشت:

$$A'P + PA - 2\beta P b w_2^{-1} w_2 b' P = -Q_1 \quad (1-16)$$

در این حالت می توان $w_2^{-1} w_2$ را بصورت تک پارامتر در نظر گرفت. همچنین توجه شود که β پارامتر آزادی است که توسط بهینه سازی تک پارامتری تعیین می گردد و بنابراین مقدار مطلق $w_2^{-1} w_2$ برای الگوریتم اهمیت ندارد و مقادیر نسبی آنها را نیز می توان بصورت اهمیت نسبی هر یک از ورودیها در نظر گرفت، همچنانکه در کنترل بهینه خطی نیز رایج است. ماتریس Q_1 را نیز می توان بر همان اساس تعبیر نمود.

مطالب فوق را می توان در الگوریتم ذیل خلاصه نمود:
الگوریتم ۱:

ورودیها: \bar{u}, b, A .

انتخابهای آزادطراح: $R, Q_1, \hat{w}_2, \beta_0$.

۱- قرار بده: $\|w_2\|_{\infty} = \hat{w}_2 \bar{u} / \hat{w}_2$ ، $w_2 = b w_2$ ، $b_1 = b w_2$.

۲- انتخاب کن: $\beta = \beta_0$.

۳- \bar{x} معادله ریکاتی (1-16) را برای P حل کن. قرار بده:
 $w_1 = -R^{-1} b_1' P$

۴- \bar{x} را توسط روابط (2-7) و (2-6) محاسبه کن. بازه پایداری تضمین شده بصورت بزرگترین کانتور بشکل $Px = cte$ داخل ناحیه $\|x\|_{\infty} < \bar{x}$ بدست می آید.

۵- مقدار بهینه β را بکمک هر الگوریتم بهینه سازی تک پارامتری و با تکرار مراحل فوق از قدم سوم می توان بدست آورد.

برای حل مسئله طراحی دوم، از رابطه زیر شروع می کنیم:

$$w_2 = \hat{y} \hat{w}_2 \quad (2-8)$$

$$\hat{b}_1 = \hat{b} \hat{w}_2 \quad (2-9)$$

رابطه (1-16) به شکل زیر باز نویسی می شود:

$$A'P + PA - 2\beta P b w_2^{-1} w_2 b' P = -Q_1 \quad (2-10)$$

$$\hat{\beta} \equiv \beta^2$$

۶. مقدار $\hat{\beta}$ را توسط هر الگوریتم بهینه سازی تک پارامتری اصلاح کرده و مراحل فوق از قدم سوم به بعد را تکرار کن.

۳- شبیه سازی

به جهت روشن شدن کارایی و قابلیت روش ارائه شده در این مقاله، تعداد زیادی شبیه سازی انجام شده است که در اینجا یک نمونه بصورت مثال ذیل آورده میشود.

مثال: سیستم خطی (1-1) ذیل رابطه (2-1) را در نظر میگیریم. کنترل کننده شبکه عصبی را نیز همچنانکه در رابطه (1-2) آمده است به این سیستم غیر خطی اعمال میکنیم. قرار میدهیم:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -2 & 3 \end{bmatrix} \quad b = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3-1)$$

هدف بدست آوردن ماتریسهای وزنی برای شبکه عصبی کنترل کننده است که این سیستم ناپایدار را برای مقادیر اولیه داخل ناحیه $\|x\|_{\infty} < \bar{x}$ پایدار کند. در اینجا قرار میدهیم $\bar{x} = 1$.

برای اعمال روش طراحی ارائه شده (الگوریتم ۲)، باید ماتریسهای R و Q_1 را انتخاب کنیم. همچنین w_2 را بگونه ای در نظر میگیریم که رابطه (2-4) برقرار گردد.

$$R = Q_1 = \text{diag}\{1, 1\} \quad w_2 = \begin{bmatrix} 1 & 2 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \quad (3-2)$$

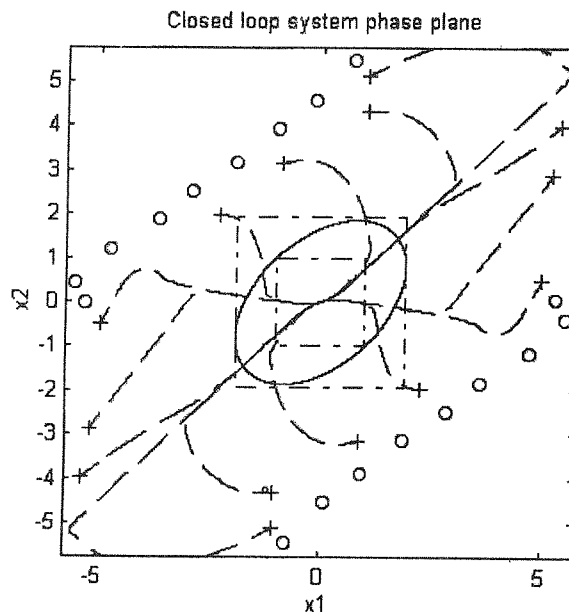
شبکه عصبی یک شبکه دو لایه مخفی غیر خطی و با خروجیهای خطی است. لایه مخفی دارای دو نرون در نظر گرفته شده است. بدین ترتیب برای ورودی کران بالای $\bar{u} = 10.418$ بدست می آید.

شکل (۳) نتیجه اعمال کنترل کننده را بصورت یک صفحه حالت سیستم کلی نشان میدهد. در این تصویر، ناحیه پایداری تضمین شده سیستم حلقه بسته توسط یک بیضی مشخص گردیده است که ناحیه مستطیلی شکل $\|x\|_{\infty} < \bar{x}$ را احاطه دارد. علاوه بر این میتوان گفت که در اینجا روش دارای محافظه کاری کمی می باشد.

شکلهای (۴) و (۵) مسیرهای حالت و سیگنالهای کنترل مربوطه را برای دو مقدار اولیه متفاوت نشان می دهند. واضح است که ورودی محرکه ها به مقادیر محاسبه شده محدود است.

در همین مثال، اگر بدنبال بدست آوردن بزرگترین بازه تضمین شده پایداری قابل تحقق با کران ورودی $\bar{u} = 10.418$ باشیم، کمک الگوریتم ۱ نتایج مشابهی بدست می آید، یعنی خواهیم داشت: $\bar{x} = 1$ که قابل پیش بینی است،

برای مقادیر خاص Q_1, R و w_2 می توان الگوریتم طراحی را با هر مقدار $\hat{\beta}$ شروع کرده، رابطه (2-10) را برای w_1 و P حل نمود. سپس β را بگونه ای تعیین می کنیم که (2-5) برقرار گردد. سپس می توان ماتریس وزن را از معادلات (3-11) و (2-8) بدست آورد. خواهیم داشت:



شکل (۳) دیاگرام مسیرهای حالت سیستم با کنترل کننده عصبی دایره های کوچک نشاندهنده نقاط ناپایدار است.

$$\bar{u} = \|w_2\|_{\infty} \quad (2-12)$$

دوباره، کوچکترین کران بالای ورودی \bar{u} را می توان بکمک یک الگوریتم بهینه سازی تک پارامتری برای بدست آوردن مقدار بهینه $\hat{\beta}$ محاسبه نمود. این را می توان بصورت الگوریتم ذیل جمع بندی کرد:

الگوریتم ۲:

ورودیها: A, b .

انتخابهای آزاد طراح: $Q_1, R, \hat{w}_2, \hat{\beta}_0$.

۱- قرار بده: $\hat{b}_1 = b, \hat{w}_2$.

۲- انتخاب کن: \hat{b}_0 .

۳- معادله ریکاتی (2-10) را برای P حل کن. قرار بده: $\hat{w}_1 = R^{-1} \hat{b}_0$.

۴- مقادیر β و γ را بگونه ای انتخاب کن که روابط (2-5) و (2-11) برقرار گردند. بازه پایداری تضمین شده را بصورت

کوچکترین کانتور به شکل $x^T P x = cte$ که شامل ناحیه $\|x\|_{\infty} < \bar{x}$ باشد، بدست می آید.

۵- قرار بده: $w_2 = \gamma \hat{w}_2, w_1 = \gamma \hat{w}_1, \bar{u} = \|w_2\|_{\infty}$.

چرا که این الگوریتم ها بیان یک مسئله به دو شکل متفاوت می باشند.

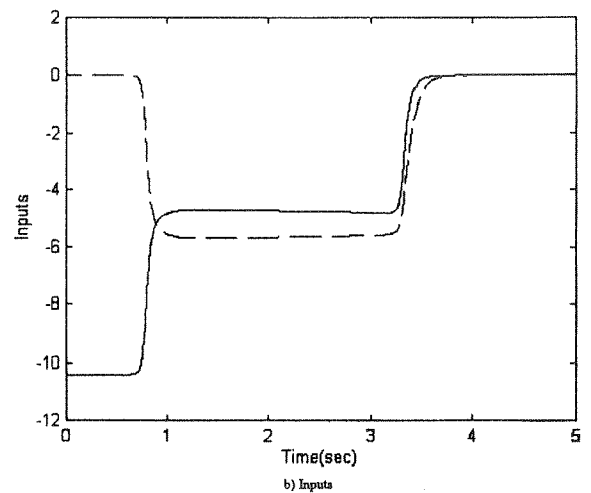
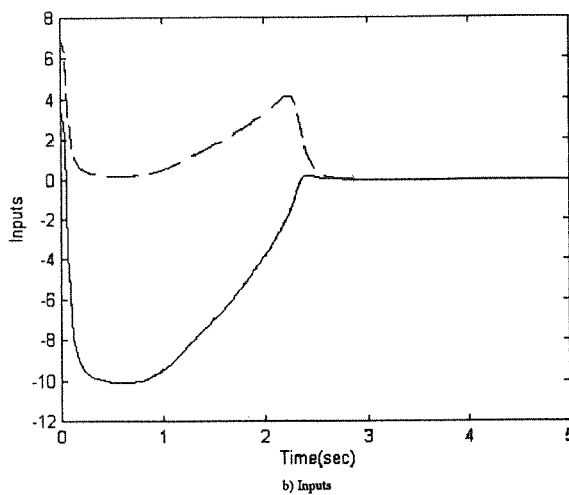
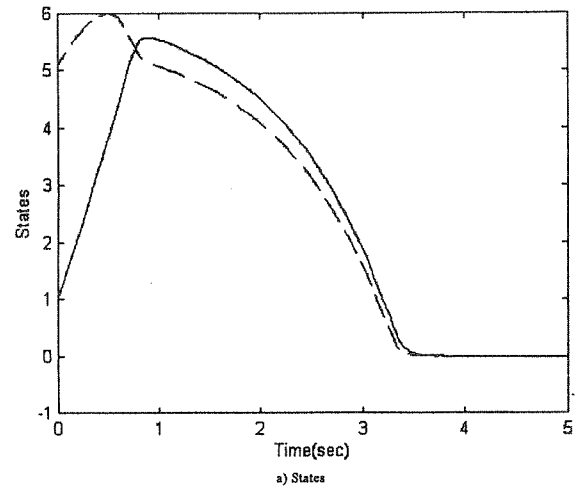
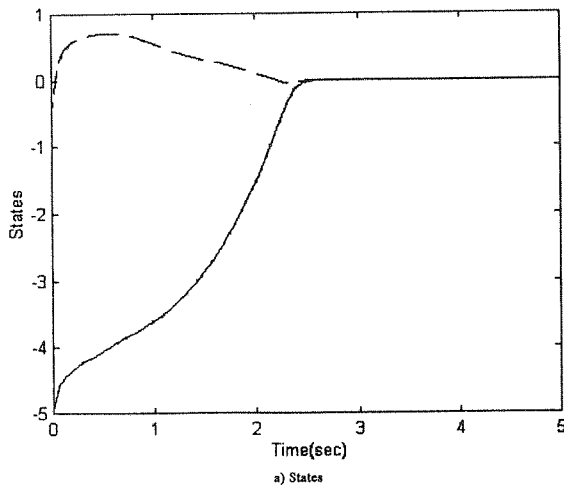
۴ - جمع بندی

در این مقاله روشی جدید برای طراحی یک کنترل کننده عصبی برای یک سیستم غیر خطی ارائه گردید. روش طراحی جدید بر اساس تحلیل پایداری لیاپانوف، تضمین کننده پایداری سیستم حلقه بسته می باشد. در این روش، الگوریتم های تکراری متداول برای تعیین وزنه های شبکه عصبی توسط یک روش بهینه سازی تک پارامتری جایگزین شده است. بدین ترتیب حجم عملیات لازم جهت رسیدن به پایداری سیستم نیز در فرایند طراحی تعیین می گردد. سیستم غیر خطی مورد نظر یک سیستم چند ورودی - چند خروجی است که شامل یک بلوک غیر خطی محدود کننده در ورودی آن است و کنترل کننده سیستم را شبکه عصبی دو لایه تشکیل می دهد. روش بکار رفته برای بدست آوردن الگوریتم طراحی،

بستگی بسیار نزدیکی به روشهای موجود در طراحی کنترل کننده های کلاسیک (غیر هوشمند) دارد. در اینجا، برای محاسبه ماتریسهای وزنی شبکه عصبی از معادله ریگاتی استفاده می شود. بدین ترتیب می توان گفت که فرایند طراحی ارائه شده حلقه ارتباطی است. بین نظریه های کلاسیک کنترل با ابزارهای نوینی چون شبکه های عصبی مصنوعی.

زیر نویس ها

- 1- recursive
- 2 - line search
- 3- recurrent
- 4- Global
- 5- sigmoid
- 6- scalar
- 7- actuators
- 8- domain of attraction
- 9- line search



شکل (۵)

شکل (۴)

- [1] M. A. Cohen and S. Grossberg, "Absolute stability of global pattern formation and parallel memory storage by competitive networks", *IEEE Trans. on sys. man. and Cyb.*, vol. 13, no. 5, pp. 875-825, sep/Oct 1983.
- [2] J.J. Hopfield, "Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities," *proc. of the National Academy of sciences, USA*, vol. 79, pp. 2554-2558, 1982.
- [3] B. Kosko, "Structural stability of unsupervised learning in feedback neural networks", *IEEE Trans. on Auto. cont.*, vol. 36, no. 7, pp. 785-792, 1991.
- [4] A. Guez, V. Protopopescu and J. Barhen. "On the stability, storage capacity and design of nonlinear continuous neural networks", *IEEE trans. on Cys. man. and Cyb.*, Vol. 18, no. 1, pp. 80-87, 1988.
- [5] D.G. Kelly, "Stability in contractive nonlinear neural networks", *IEEE Trans. on Biomedical Eng.*, vol. 37, no. 3, pp. 231-242, Mar 1990.
- [6] M. Vidyasagar, "Location and stability of the high gain equilibria of nonlinear neural networks", *IEEE Trans. on Neural Networks*, Vol 4, no. 4, pp. 660-672, 1993.
- [7] L. Gim, P.N. Nikiforuk and M.M. Gupta, "Absolute stability conditions for discrete-time recurrent neural networks", *IEEE trans. on Neural Networks*, vol. 5, no. 6, pp. 954-964, 1994.
- [8] E. Tzirkel - Hancock and F. Fallside, "A stability based neural network control method for a class of nonlinear systems", *Inter. Joint conf. on N. N.*, vol. 2, pp. 1047-1052, 1991.
- [9] F.L. Lewis, A. Yesildirek and K. Jiu, "Neural net robot controller with guaranteed stability", 3rd *Inter. Conf. on Indus. Fuz. Cont.*, PP. 193-108, 1993.
- [10] "Multilayer neural net robot Controller with guaranteed tracking Performance", *IEEE Trans. on Neural Networks*, Vol. 7, no. 2, PP. 388-399, 1996.
- [11] S. Kuntanapreede and R. R. Fullmer, "A training rule which guaranteed finite region stability for a Class of Closed-loop neural network Control system", *IEEE Trans. on Neural Networks*, vol. 7, no. 3, PP. 629-642, May 1996.
- [12] N. Sadegh, "A Perceptron network for functional identification and control of nonlinear systems", *IEEE Trans. on Neural Networks*, vol. 4, no. 6, PP. 982-988, Nov 1993.
- [13] S. Jagannathan and F. L. Lewis, "Multilayer discrete-time neural-net controller with guaranteed Performance", *IEEE Trans. on Neural Networks*, vol. 7, PP. 107-130, 1996.
- [14] S. Jagannathan, F. L. Lewis and O. Pastavanu, "Discrete-time model reference adaptive control of nonlinear dynamical systems using neural networks", *Int. j. Contr.*, vol. 64, no. 2, pp. 217-239, 1996.
- [15] J.A.K. Suykens and J. Vandewalle, "Global asymptotic stability for multilayer recurrent neural networks with application to modeling and control," *Inter. Conf. on Neural Network 95*, vol 2, PP. 1065-1069, 1995.
- [16] K. Tanaka, "An approach to stability criteria of neural-network control systems," *IEEE Trans. on neural Networks*, vol. 7, no. 3, pp. 629-642, May 1996.
- [17] M. Vidyasagar, *Nonlinear Systems Analysis*, 2nd edition prentice Hall, New Jersey, 1993.