

طراحی رویتر اغتشاش غیر خطی برای ربات بازویی با لینک انعطاف پذیر جوادی عیسی وند¹، امین نیکوبین²، سمانه عیسی وند³، احسان پرآورفر⁴

¹دانشجو کارشناسی ارشد، دانشگاه سمنان؛ issavand.j@gmail.com

²استادیار، دانشگاه سمنان؛ anikoobin@gmail.com

³دانشجو کارشناسی، دانشگاه سمنان؛ issavand.s@gmail.com

⁴دانشجو کارشناسی ارشد، دانشگاه سمنان؛ ehsan_way@yahoo.com

چکیده

وجود اغتشاش در سیستم های رباتیک غیر قابل اجتناب می باشد. این اغتشاش ها در حالت کلی به دو دسته اغتشاشات داخلی و خارجی تقسیم بندی می شوند. یکی از روش های حذف این اغتشاش ها استفاده از رویتر اغتشاش غیر خطی می باشد. از این رو در این مقاله یک رویتر اغتشاش غیر خطی برای ربات بازویی با دو لینک انعطاف پذیر ارائه شده و پایداری آن به روش لیاپانوف اثبات شده است. رویتر اغتشاش ارائه شده قادر می باشد بدون استفاده از سنسور اضافی اغتشاش وارد به سیستم را تخمین زده و حذف نماید. ربات انعطاف پذیر با معادلات مربوط به ربات با لینک صلب مدل می شود و اثرات انعطاف پذیری لینک ها به عنوان اغتشاش داخلی فرض شده که توسط رویتر نهمین زده شده و حذف می شود. نتایج حاصل از شبیه سازی این روش نشان از دقت بالای رویتر و نیز تاثیر فراوان آن در کنترل دقیق تر ربات می باشد. این روش برای اولین بار برای ربات با لینک انعطاف پذیر ارائه شده است که قابلیت تعمیم به ربات های مشابه با تعداد لینک های بالا تر را دارد.

کلمات کلیدی: رویتر اغتشاش¹، ربات بازویی با لینک انعطاف پذیر²

مقدمه

اغتشاش در سیستم های رباتیکی غیر قابل اجتناب است. اغتشاشات داخلی به دینامیک های مدل نشده در سیستم مربوط می باشند و اغتشاشات خارجی به مجموعه عدم قطعیت ها و یا نیروها و یا گشتاور های خارجی که در دینامیک سیستم پیش بینی نشده اند، مرتبط می شوند. روش های مختلفی برای حذف اثرات اغتشاش در سیستم ارائه شده اند، یکی از این روش ها استفاده از رویتر اغتشاش می باشد.

ایده اصلی رویتر اغتشاش بر اساس تخمین اغتشاش از مقایسه گشتاور ورودی سیستم واقعی با گشتاور مجازی که از معکوس مدل اسمی به دست می آید، گرفته شده است. این تخمین به عنوان

سیگنال حذف کننده اغتشاش از گشتاور ورودی سیستم کم می شود. رویتر های اغتشاش بر اساس روش های خطی و غیرخطی آنالیز و طراحی می شوند. رویتر های خطی به گونه ای طراحی می شوند تا اغتشاش را در یک محدوده فرکانسی حذف کنند. این الگوریتم شامل معکوس مدل نامی و فیلتر پایین گذر می شود. این روش توسط چیانگ و همکارانش برای ربات با دو لینک الاستیک به کار گرفته شد [1]. آن ها از مدل ساده شده ربات الاستیک استفاده کرده به طوری که هر لینک به عنوان یک جرم در نظر گرفته شده که با یک فنر به هم متصل شده اند. این مدل سیستم دو جرمی تشدید شده نامیده می شود و دینامیک های باقی مانده به عنوان اغتشاش در نظر گرفته می شوند. در کار بعدی که توسط آنها ارائه شد ابتدا روش اختلالات منفرد را برای دینامیک ربات در نظر گرفتند تا سیستم را به دو زیر سیستم تند و کند تقسیم کنند. آنگاه برای سیستم کند رویتر اغتشاش را طوری طراحی کردند که فرکانس قطع سیستم پایین گذر بر پایه فرکانس اصلی سیستم انتخاب شود. آن ها نشان دادند به منظور عملکرد بهتر باید فرکانس قطع سیستم پایین گذر به اندازه کافی نسبت به فرکانس اصلی کوچک انتخاب شود [2]. هوساکا و موراگامی با در نظر گرفتن ربات الاستیک به صورت جرم سه نقطه ای رویتری را که از شتاب بازو به عنوان ورودی استفاده می کرد، ارائه کردند. رویتر های اغتشاش ارائه شده شامل سه رویتر خطی می شد [3]. نکته قابل توجه در مورد رویتر های خطی این می باشد که این رویترها نیازمند طراحی فیلتر پایین گذر بوده و انتخاب فرکانس قطع این فیلتر و نوع این فیلتر از کارهای چالش برانگیز می باشد. علاوه بر آن رویترها برای سیستم مینیمم فاز مناسب می باشند. چن و همکارانش نیز ربات با دو لینک صلب را مورد مطالعه قرار دادند و توانستند برای این ربات یک رویتر اغتشاش غیر خطی ارائه دهند که به واسطه آن اغتشاش وارد به سیستم را تخمین زده و حذف کنند. آنها پایداری رویتر ارائه شده را به روش لیاپانوف ثابت کردند [4]. نیکوبین و حقیقی [5] توانستند این رویتر را برای ربات با n لینک صلب به کار برند. آنها نیز برای اثبات پایداری رویتر ارائه شده از روش مشابه روش چن با استفاده از معیار پایداری لیاپانوف استفاده کردند. چالهبوب و همکارانش [6] توانستند رویتر اغتشاش بر پایه روش مود لغزان³

³ Sliding Mode Method

¹ Nonlinear Disturbance Observer (NDO)

² Flexible Link Manipulator Robot

حال با داشتن معادلات سیستم مورد مطالعه به تاثیر ترم اغتشاش در این معادلات و فرضیات آن پرداخته می شود.

طراحی رویتنگر

از معادله (3) ترم اغتشاش را بر مبنای سایر پارامترها بدست می آید:

$$\hat{f}_{dis} = M(q)\ddot{q} + N(q, \dot{q}) - T \quad (4)$$

در اینجا با معرفی اغتشاش تخمین زده شده با نام پارامتر \hat{f}_{dis} دار می توان خطای بین اغتشاش واقعی و اغتشاش تخمین زده شده را از معادله (5) محاسبه نمود.

$$e = \hat{f}_{dis} - f_{dis} \quad (5)$$

$$\ddot{e} + L(q, \dot{q})e = 0$$

لازم به ذکر است چون از ماهیت مشتق اغتشاش اطلاعاتی در دسترس نیست و در اکثر مراجع [4] از آن صرف نظر شده است در این مقاله نیز این ترم صفر در نظر گرفته می شود.

$$\ddot{e} = -L(q, \dot{q})\hat{f}_{dis} + L(q, \dot{q})(M(q)\ddot{q} + N(q, \dot{q}) - T) \quad (6)$$

در نهایت خطای رویتنگر اغتشاش از رابطه (7) به دست می آید:

$$\ddot{e} + L(q, \dot{q})e = 0 \quad (7)$$

می توان نشان داد در صورتی تابع L به شکل زیر باشد معادله خطای رویتنگر پایدار خواهد بود.

$$L(q, \dot{q}) = \begin{bmatrix} c & 0 \\ 0 & c \end{bmatrix} \Leftrightarrow c > 0 \quad (8)$$

اثبات: معادله (7) را برای ربات دو لینکی می توان به فرم ماتریسی زیر در نظر گرفت:

$$\begin{bmatrix} \ddot{e}_1 \\ \ddot{e}_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} c & 0 \\ 0 & c \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} \Rightarrow \ddot{e}_{1,2} + ce_{1,2} = 0 \Rightarrow e_{1,2} = \exp(-ct)$$

$$c > 0 \Rightarrow \lim_{t \rightarrow \infty} e = 0 \quad (9)$$

در بسیاری از سیستم های رباتیکی ترم شتاب لینک ها در دسترس نمی باشد. بنابراین به منظور سهولت در کاربرد می توان ترم شتاب را از معادلات کنار گذاشت، به این منظور از تغییر متغیر زیر استفاده می شود.

$$z = \hat{f}_{dis} - P(q, \dot{q}) \quad (10)$$

با این کار معادله اصلی رویتنگر به شکل زیر ارائه می شود:

$$\ddot{z} = -L(q, \dot{q})z + L(q, \dot{q})(N_r(q, \dot{q}) - T - P(q, \dot{q})) \quad (11)$$

ارائه دهند. آنها ربات تک لینکی انعطاف پذیر را با یک شکل مود و به روش مودهای فرضی مدل کردند و اثرات مربوط به شکل مود دوم را به عنوان اغتشاش فرض کردند. اگر چه تا به امروز کارهای فراوانی در زمینه رویتنگر های اغتشاش انجام گرفته لیکن، مبحث ربات ها با لینک های انعطاف پذیر هنوز نیازمند تحقیقات بیشتر می باشد. لذا در این مقاله ابتدا معادلات ربات با دو لینک انعطاف پذیر ارائه می شود در ادامه معادلات به دو بخش معادلات ترم صلب و معادلات ترم الاستیک تقسیم بندی خواهد شد. معادلات ربات با دو لینک صلب به عنوان معادلات مرجع فرض شده و ترم مربوط به معادلات الاستیک به عنوان اغتشاش داخلی سیستم فرض می شود. سپس معادلات مربوط به رویتنگر ارائه شده و پایداری آن اثبات خواهد شد. در نهایت نتایج حاصل از شبیه سازی و تاثیر وجود این رویتنگر اغتشاش در کنترل این سیستم ارائه خواهد شد.

استخراج معادلات

معادلات حاکم بر ربات بازویی در حالت کلی را می توان با معادله زیر نشان داد:

$$M(q)\ddot{q} + N(q, \dot{q}) = T \quad (1)$$

که در آن q ، \dot{q} ، \ddot{q} ، T به ترتیب بردارهای $n \times 1$ مربوط به موقعیت زاویه ای، سرعت، شتاب، گشتاور مفاصل وارد به هر لینک می باشد. که n تعداد لینک ربات می باشد. $M(q)$ ماتریس اینرسی $n \times n$ و $N(q, \dot{q})$ مجموع نیروهای جاذبه و جانب مرکز $n \times 1$ می باشد.

می توان معادله (1) را در فرم ماتریسی و با جدا کردن ترم های صلب و انعطاف پذیر نمایش داد. معادله (2) معادلات حاکم بر ربات با لینک انعطاف پذیر را در فرم ماتریسی و جدا شده نمایش می دهد:

$$\begin{bmatrix} M_{rr} & M_{rf} \\ M_{fr} & M_{ff} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{q}_r \\ \ddot{q}_f \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} N_r \\ N_f \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

زیر نویس Γ به معنی ترم مربوط به معادلات صلب و زیرنویس f به معنی ترم مربوط به لینک انعطاف پذیر می باشد. در صورتی که اثر ترم انعطاف پذیر در سیستم ، به عنوان اغتشاش فرض می شود. می توان نشان داد که با حذف ترم الاستیک از معادله (2) معادلات حاکم بر ربات با لینک صلب بدست خواهد آمد. معادله (3) معادلات حاکم بر ربات با لینک صلب است که در ادامه تنها از این معادلات استفاده کرده و ترم های انعطاف پذیر را به عنوان دینامیک مدل نشده در سیستم فرض می کنیم. f در معادله زیر اغتشاش است.

$$M_{rr}\ddot{q}_r + M_{rf}\ddot{q}_f + N_r = T$$

$$M_{rr}\ddot{q}_r + N_r = T + f_{dis} \quad (3)$$

با توجه به معادله فوق اغتشاش تخمین زده شده در سیستم از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$\hat{f} = z + P(q, \dot{q}) \quad (12)$$

که در رابطه (11) تابع $L(q, \dot{q})$ از رابطه زیر محاسبه خواهد شد:

$$L(q, \dot{q}) M(q) \ddot{q} = \left[\frac{\partial P(q, \dot{q})}{\partial q}, \frac{\partial P(q, \dot{q})}{\partial \dot{q}} \right] \begin{bmatrix} \dot{q} \\ \ddot{q} \end{bmatrix} \quad (13)$$

قضیه: اگر تابع $P(q, \dot{q})$ طبق معادله (14) انتخاب شود. می توان ثابت کرد که رویتر اغتشاش غیر خطی پایدار می باشد:

$$P(q, \dot{q}) = C \begin{bmatrix} \dot{q}_1 \\ \dot{q}_1 + \dot{q}_2 \end{bmatrix} \quad (14)$$

$$C > X q_{2m}$$

در اینجا X پارامتر مربوط مشخصات فیزیکی لینک ها و موتور می باشد [4]. در این جا ماتریس اینرسی بر حسب مقادیر j_1 و j_2 و j_3 در زیر ارائه شده است:

$$M(q) = \begin{bmatrix} j_1 + 2X \cos(q_2) & j_2 + X \cos(q_2) \\ j_2 + X \cos(q_2) & j_3 \end{bmatrix} \quad (15)$$

اثبات: با توجه به اینکه تابع $P(q, \dot{q})$ از رابطه (14) به دست می آید، مشتق این تابع نسبت به زمان برابر خواهد بود با:

$$\frac{d}{dt} P(q, \dot{q}) = \left[\frac{\partial P(q, \dot{q})}{\partial q}, \frac{\partial P(q, \dot{q})}{\partial \dot{q}} \right] \begin{bmatrix} \dot{q} \\ \ddot{q} \end{bmatrix} = c \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \ddot{q} \quad (16)$$

از ترکیب معادله فوق با معادله شماره (13) می توان نوشت:

$$L(q, \dot{q}) = c \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} M(q)^{-1} \quad (17)$$

لازم به ذکر است که در اینجا تابع $M(q)$ برای تمام مقادیر θ معین مثبت می باشد. با توجه به ربات مورد مطالعه که مشخصات آن در مرجع [4] آمده است، تابع $M(q)$ در آن رابطه (15) بدست می آید.

بنابراین برای راحتی محاسبات می توان نوشت:

$$M(q) = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \bar{M}(q) \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (18)$$

که در آن:

$$\bar{M}(q) = \begin{bmatrix} j_1 - 2j_2 + j_3 & j_2 - j_3 + X \cos(q_2) \\ j_2 - j_3 + X \cos(q_2) & j_3 \end{bmatrix} \quad (19)$$

بنابراین:

$$L(q) = c \bar{M}(q)^{-1} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (20)$$

در اینجا با معرفی تابع لیپانوف که تحت شرایط این روش تعریف شده است، به اثبات پایداری پرداخته می شود.

$$V(e, \dot{q}) = e^T \bar{J}(q) e \quad (21)$$

مشتق این تابع لیپانوف نسبت به زمان برابر خواهد بود با:

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} V(e, \dot{q}) &= \frac{\partial V(e, \dot{q})}{\partial e} \dot{e} + \frac{\partial V(e, \dot{q})}{\partial \dot{q}} \ddot{q} \quad (22) \\ &= -ce^T \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} e - ce^T \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \dot{e} \\ &\quad + e^T \begin{bmatrix} 0 & -X \dot{q}_2 \sin(q_2) \\ -X \dot{q}_2 \sin(q_2) & 0 \end{bmatrix} e \\ &= -e^T \begin{bmatrix} 2c & -c + X \dot{q}_2 \sin(q_2) \\ -c + X \dot{q}_2 \sin(q_2) & 2c \end{bmatrix} e \quad (23) \end{aligned}$$

برای تمام مقادیر θ مشتق زمانی تابع لیپانوف ارائه شده کوچکتر از صفر است اگر:

$$\begin{vmatrix} 2c & -c + X \dot{q}_2 \sin(q_2) \\ -c + X \dot{q}_2 \sin(q_2) & 2c \end{vmatrix} > 0 \quad (24)$$

با توجه به معادله (14) که شرطی برای ضریب ثابت ارائه می کند و البته وابستگی این مقدار به سرعت زاویه ای لینک دوم، با اعمال این شرط پایداری رویتر غیر خطی تضمین می شود.

طراحی کنترلر

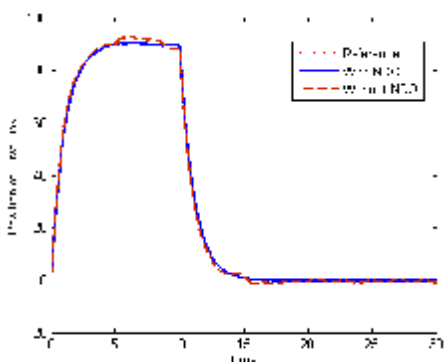
مدار کنترلی سیستم مورد مطالعه شامل مسیر اولیه کنترلر، بلوک مربوط به سیستم و در نهایت رویتر می باشد. شکل (1) مدار کنترلی طراحی شده به منظور کنترل سیستم ربات دو لینکی انعطاف پذیر را نشان می دهد.

روش های گوناگونی در کنترل سیستم های غیر خطی از جمله ربات ها با لینک انعطاف پذیر ارائه شده است. قوانین کنترلی در این مقاله بر اساس روش گشتاور محاسباتی انتخاب شده که قانون کنترلی این روش در معادله (25) ارائه شده است.

$$\begin{aligned} \ddot{q} &= M_{rr}^{-1} [T - N_r] = n \\ n &= \ddot{q}^{ref} + K_d (\dot{q}^{ref} - \dot{q}) + K_p (q_r^{ref} - q_r) \\ T &= M_{rr} [\ddot{q}^{ref} + K_d (\dot{q}^{ref} + \dot{q}) + K_p (q_r^{ref} - q_r)] + N_r \quad (25) \end{aligned}$$

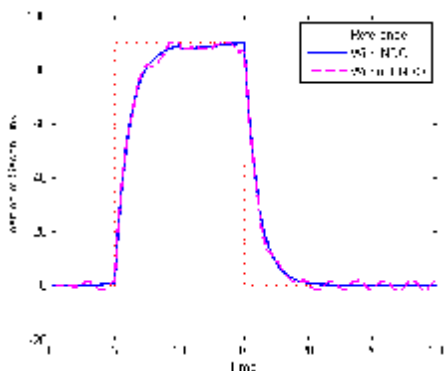
نتایج حاصل از شبیه سازی در دو حالت بررسی می شود. حالت اول اینکه اغتشاش وارد شده به سیستم از نظر مقداری قابل توجه نبوده و قابل چشم پوشی می باشد. حالت دوم اینکه اگر چه اطلاعاتی از اغتشاش در دسترس نیست، لیکن فرض بر آن است که نیروها و یا گشتاور اعمالی به سیستم در حدی نمی باشند که بتوان از آنها چشم پوشی نمود. علت این تقسیم بندی این است که بتوان قدرت این رویتنگر را در مواردی که اغتشاشی قابل ملاحظه و از پیش تعیین نشده به سیستم وارد می شود، را نشان داد.

حالت اول شبیه سازی: شکل (2) موقعیت لینک اول را در سه حالت موقعیت مرجع و موقعیت در حضور رویتنگر و موقعیت لینک بدون حضور رویتنگر را با هم مقایسه می کند. به وضوح دیده می شود که تاثیر وجود رویتنگر اغتشاش در بالا بردن دقت کنترل این سیستم بسیار قابل توجه می باشد.



شکل 2. موقعیت لینک اول با رویتنگر و بدون رویتنگر (حالت اول)

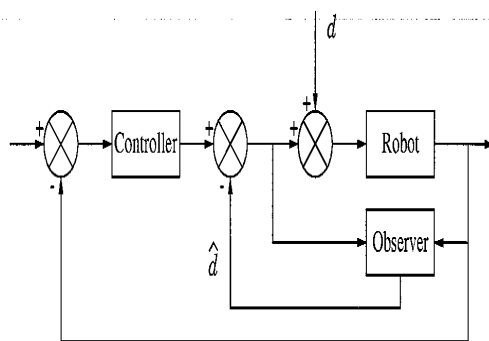
شکل (3) موقعیت لینک دوم را مشابه شکل دوم در سه حالت موقعیت مرجع، موقعیت در حضور رویتنگر و در نهایت موقعیت بدون حضور رویتنگر با هم مقایسه کرده و تاثیر به سزای وجود رویتنگر را برای بالا بردن دقت نمایش می دهد.



شکل 3. موقعیت لینک دوم با رویتنگر و بدون رویتنگر (حالت اول)

شکل های (4) و (5) خطای ماندگار سیستم را برای لینک اول و نیز برای لینک دوم در دو حالت کاربرد رویتنگر اغتشاش و عدم کاربرد رویتنگر نمایش می دهد.

در معادله فوق ترم هایی که بالانویس ref دارند مربوط به معادله مسیر اولیه ربات می شوند. لازم به ذکر است که طبق فرض اولیه در این مقاله ربات با لینک انعطاف پذیر با معادلات مربوط به ربات با لینک صلب مدل می شود و ترم های انعطاف پذیر به عنوان اغتشاش داخلی فرض شده اند. بنابراین در قانون کنترلی تنها ترم های صلب وجود دارند. همچنین در قانون کنترلی ارائه شده در معادله (25) دو ضریب ثابت وجود دارد، که مقادیر آن به شدت بر روی دقت روش تاثیر دارند، روش انتخاب این ضرایب در بخش شبیه سازی و نتایج مورد بحث قرار می گیرد.



شکل 1. بلوک دیاگرام مدار کنترلی سیستم

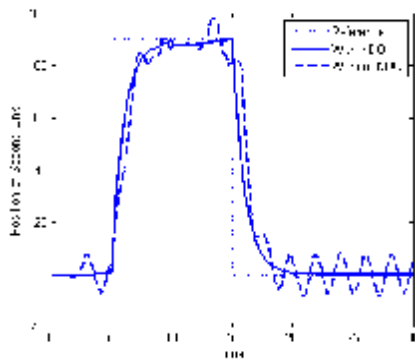
شبیه سازی و نتایج

مشخصات ربات مورد مطالعه در جدول شماره (1) آمده است:

Properties of Robot	
Length of First Link	0.38 m
Length of Second Link	0.38 m
Mass of First Link	0.450 Kg
Mass of Second Link	0.450 Kg
Stiffness of First Link (EI)	100 Nm ²
Stiffness of Second Link (EI)	100 Nm ²
Gravity (g)	9.8 m/s ²

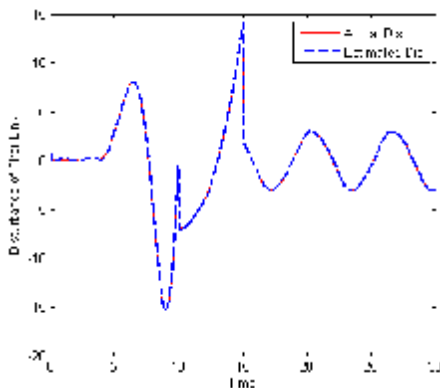
جدول (1). مشخصات فیزیکی ربات

سیستم مورد مطالعه در محیط نرم افزار MATLAB-Simulink مدل شده است. بلوک مربوط به ربات که در شکل (1) مشاهده شد معادلات مربوط به ربات با دو لینک انعطاف پذیر را بر دارد اما کنترلر و رویتنگر اغتشاش به معادلات ربات صلب مرتبط می شوند. اغلب مسیرها برای ربات به صورت هموار طراحی می شوند، لیکن در این مقاله مسیر حرکت هر دو لینک را بر خلاف مسیر های واقعی به صورت تابع پله در نظر گرفته شده است. علت این می باشد که بتوان با این کار قدرت کنترلی سیستم را بیش از پیش نمایش داد و البته در صورت اینکه مدار کنترلی روی چنین مسیر سختی قادر به کنترل سیستم باشد، حتماً روی هر مسیر هموار نیز کاملاً درست و با دقت عمل خواهد کرد.

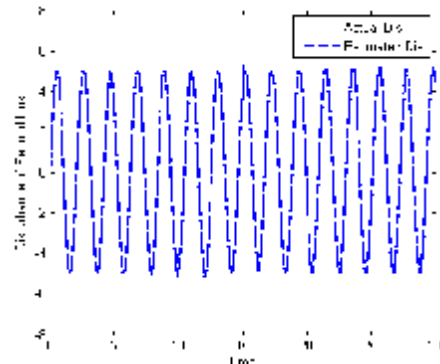


شکل 7. موقعیت لینک دوم با روینگر و بدون روینگر (حالت دوم)

شکل های (8) و (9) به ترتیب اغتشاش خارجی را با اغتشاش تخمین زده شده برای لینک اول و لینک دوم نمایش می دهد. دقت روینگر تا حدی است که تشخیص نمودار اغتشاش واقعی را از نمودار اغتشاش تخمین زده شده بسیار مشکل کرده است. لازم به ذکر است که قدرت تخمین زدن اغتشاش توسط روینگر به مقدار آن وابسته نبوده، بنابراین دقت روینگر در حالت اول شبیه سازی و حالی دوم شبیه سازی، یکسان می باشد.

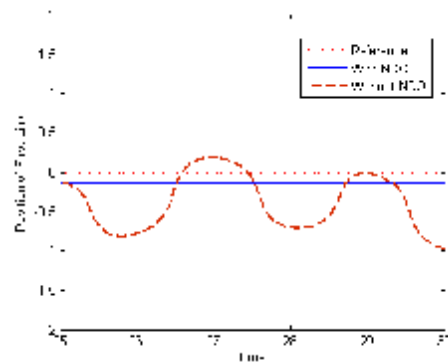


شکل 8. اغتشاش واقعی و اغتشاش تخمین زده شده برای لینک اول

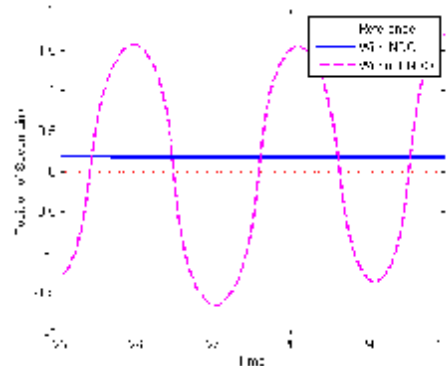


شکل 9. اغتشاش واقعی و اغتشاش تخمین زده شده برای لینک دوم

همان طور که در قسمت طراحی کنترلر ذکر شد، ضرایب ثابت موجود در کنترلر نقش به سزایی در کنترلر سیستم دارد. افزایش این ضرایب دقت را افزایش داده از طرفی با توجه به محدودیت گشتاور

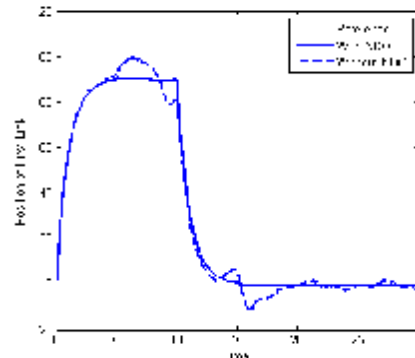


شکل 4. مقایسه خطای ماندگارسیستم با روینگر و بدون روینگر



شکل 5. مقایسه خطای ماندگارسیستم با روینگر و بدون روینگر

حالت دوم شبیه سازی: شکل (6) موقعیت لینک اول را در سه حالت موقعیت مرجع، موقعیت لینک در حضور روینگر و موقعیت درحالت عدم حضور روینگر را مقایسه می کند. تفاوت آشکار شکل (6) و شکل شماره (2) که مشابه هم می باشند، قدرت این روینگر را در حذف اغتشاشاتی که از نظر مقداری قابل توجه می باشد را نشان می دهد.



شکل (6). موقعیت لینک اول با روینگر و بدون روینگر (حالت دوم)

شکل شماره (7) در حالت دوم، مشابه شکل شماره (3) در حالت اول می باشد. این شکل موقعیت لینک دوم را مورد بررسی قرار داده و تاثیر وجود روینگر را در حضور اغتشاش قابل توجه مورد مطالعه قرار می دهد.

نیست. با طراحی چنین رویتنگری برای سیستم های رباتیک با لینک های انعطاف پذیر بدون صرف هزینه اضافی می توان قدرت کنترلی سیستم را افزایش داده و حساسیت سیستم را به دینامیک های مدل نشده از جمله اصطکاک و بار خارجی وارد بر پنجه و سایر عدم قطعیت ها، کاهش داد.

مراجع

[1] J. Cheong, W.K. Chung and Y. Youm, "Control of Two-Link Flexible Manipulator Using Disturbance Observer with Reaction Torque Feedback", Proc. International Conference on Advanced Robotics, pp. 227-232, 1997.

[2] J. Cheong, Y. Youm, and W.K. Chung, "Joint Tracking Controller for Multi- Link Flexible Robot Using Disturbance Observer and Parameter Adaptation Scheme", J. of Robotic Systems, vol.19, pp.401-417, 2002 .

[3] M. Hosaka and T. Murakami, "Vibration Control of Flexible Arm by Multiple Observer Structure", Inc. Electrical Engineering in Japan, vol. 154, no. 2, 2006 .

[4]Chen W.H., Balance D.J., Gawthrop P.J., O'Reilly J.: A nonlinear disturbance observer for robotic manipulators. IEEE Trans. Ind. Electron. 47(4), 932-938 (2000). doi:10.1109/41.857974

[5].Nikoobin .A , Haghghi .R : Lyapunov-based nonlinear disturbance observer for serial n-link manipulator. Springer. J Intell Robot Syst. Doi:10.1007/s10846-008-9298-2

[6].Chalhoub N.G, Kfoury G.A, Bazzi B.A.:Design of robust controller and nonlinear observer for control of a single-link flexible robotic manipulator. Jornal Sound and Vibration 291(2006)437-461. doi:10.1016/j.jsv.2005.06.019

[7].Choi S.B., Kim J.S , A fuzzy-sliding mode controller for robust tracking of robotic manipulators, Mechatronics 7 (1997) 199-216

[8].Lee H.K., Kim E, Kang .J., Park M., A new sliding mode control with fuzzy boundary layer, Fuzzy Sets and Systems 120 (2001) 135-143.

[9] T.D. Nguyen and O. Egeland, "Observer Design for a Flexible Robot Arm with a Tip Load", American Control Conference, PP. 1389-1394, 2005.

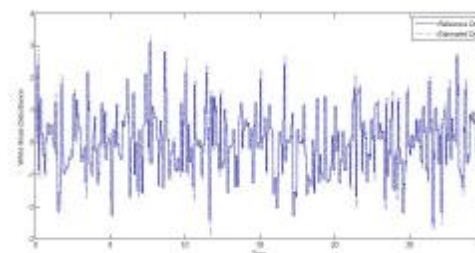
[10].Ha Q.P., Rye D.C., Durrant-Whyte H.F., Fuzzy moving sliding mode control with application the robotic manipulators, Automatica 35 (1999) 607-616.

اعمالی به سیستم که ناشی از توان موتور ها می باشد، بالا بودن این ضرایب در افزایش گشتاور مورد نیاز تاثیر دارد، بنابراین با توجه به شرایط مدل سازی سیستم مقادیر بهینه این ضرایب طبق جدول(2) در نظر گرفته شده است. ذکر این نکته لازم است که C پارامتر ضریب ثابت مربوط به رویتنگر می باشد.

C	50
K_p	۱۵۰
K_d	100

جدول 2. ضرایب مربوط به کنترل

در نهایت و به منظور نمایش قدرت رویتنگر اغتشاش ارائه شده اغتشاش نویز سفید به مجموعه اعمال می گردد. در شکل زیر نویز سفید مرجع و اغتشاش تخمین زده شده با هم مقایسه شده اند که نمایانگر قدرت رویتنگر ارائه شده در تخمین اغتشاش وارده به مجموعه می باشد.



شکل 10. اعمال اغتشاش نویز سفید به مجموعه

نتیجه گیری

این مقاله روش جدیدی در طراحی رویتنگر اغتشاش برای ربات های بازویی با لینک انعطاف پذیر ارائه می دهد. در این روش تمامی ترم های انعطاف پذیر سیستم به عنوان اغتشاش داخلی سیستم فرض شده و ربات مورد مطالعه با معادلات لینک صلب مدل می شود. رویتنگر اغتشاش ارائه شده قدرت بالایی در تخمین زدن اغتشاشات خارجی و داخلی را داشته و تاثیر بسزایی در کنترل سیستم دارد. این رویتنگر پایداری سیستم ونیز مورد قبول بودن خطای ماندگار سیستم را تضمین می کند. از دیگر مشخصات این رویتنگر قدرت تعمیم آن به تمام ربات های بازویی با لینک های انعطاف پذیر و تعداد لینک متفاوت می باشد و در کاربرد آن نیاز به استفاده از سنسور اضافی