Telerobotics As a Solution In The Post-Epidemic World

Jafar Tavosi [1,2] and Amirreza Azizi [2]

[1] Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Ilam University, Ilam, Iran
[2] Department of Electrical Engineering, Shahed University, Tehran, Iran
E-mails: j.tavoosi@ilam.ac.ir , , amirreza.azizi@shahed.ac.ir, ma.shirkhani@ilam.ac.ir
* Corresponding Author

Abstract
In this paper, with the aim of presenting an optimized adaptive control method in telerobotic systems, the impact of this technology on medical nanorobots and microrobots and their application in telemedicine and remote surgery systems has been analyzed. The proposed method has been designed and simulated considering the existing challenges such as actuator saturation and time delays. The simulation results showed that this adaptive controller was successfully able to improve the system performance under different conditions and ensure the stability of the system. The innovation of this research in presenting an optimized control structure for teleoperative systems with an emphasis on practical applications in the medical field, especially in critical situations such as the Corona pandemic, has been highlighted. This technology can reduce the need for the constant presence of medical personnel and improve access to medical services in deprived areas. However, limitations such as high costs, technical complexity, and the impact of environmental noise have been raised as potential challenges, the investigation of which could pave the way for future research.

Keywords
Telemedicine, Nanorobotics, Adaptive Control, Robust Control, Artificial Intelligence,.

تله رباتیک به عنوان راهکاری در جهان پسا اپیدمی

جعفر طاوسی [۱و*]، امیررضا عزیزی [۱و۲]
گروه مهندسی برق، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران
گروه مهندسی برق، دانشگاه شاهد، تهران، ایران
ایمیل نویسندگان: j.tavoosi@ilam.ac.ir, amirreza.azizi@shahed.ac.ir

چکیده

در این مقاله، با هدف ارائه یک روش بهینه‌سازی‌شده کنترل تطبیقی در سیستم‌های تله‌رباتیک، تأثیر این فناوری بر نانوربات‌ها و میکروربات‌های پزشکی و کاربرد آن‌ها در سیستم‌های تله‌مدیسین و جراحی از راه دور مورد تحلیل قرار گرفته است. روش پیشنهادی با توجه به چالش‌های موجود مانند اشباع محرک‌ها و تأخیرهای زمانی، طراحی و شبیه‌سازی شده است. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که این کنترلر تطبیقی با موفقیت توانست عملکرد سیستم را در شرایط مختلف بهبود بخشد و پایداری سیستم را تضمین کند. نوآوری این پژوهش در ارائه یک ساختار کنترلی بهینه‌شده برای سیستم‌های تله‌اپراتوری با تأکید بر کاربردهای عملی در حوزه پزشکی، به‌ویژه در شرایط بحرانی مانند همه‌گیری کرونا، برجسته شده است. این فناوری می‌تواند نیاز به حضور مداوم پرسنل پزشکی را کاهش داده و دسترسی به خدمات درمانی در مناطق محروم را بهبود بخشد. با وجود این، محدودیت‌هایی مانند هزینه‌های بالا، پیچیدگی‌های فنی و تأثیر نویز محیطی به‌عنوان چالش‌های بالقوه مطرح شده‌اند که بررسی آن‌ها می‌تواند زمینه‌ساز تحقیقات آینده باشد.

کلمات کلیدی: تله مدیسین-نانورباتیک-کنترل تطبیقی-کنترل مقاوم-هوش مصنوعی

نام نویسنده مسئول: جعفر طاوسی
ایمیل نویسنده مسئول: j.tavoosi@ilam.ac.ir

تاریخ ارسال مقاله: ۱۴۰۳/۰۸/۱۶
تاریخ(های) اصلاح مقاله: ۱۴۰۳/۰۹/۲۷
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۱۰/۲۳

۱- مقدمه

این روزها شیوع کروناویروس، فشار مضاعفی را بر سیستم بهداشت و درمانِ بسیاری از کشورها وارد کرده است؛ اما مقوله "تله مدیسین"[1] می‌تواند از روش‌های ضروری مقابله با آن به ویژه برای افرادی باشد که سلامتشان تحت تاثیر این ویروس قرار گرفته است.با ورود نانو تکونولوژی به عرصه پزشکی زمینه تسریع در درمان بیماری به روش های نوین فراهم شده است.با پیشرفت نانو تکنولوژی در مهندسی پزشکی و توسعه میکرو ماشین ها و افزایش کاربرد آنها در قابلیت های حسی، نظیر حسگرهای مختلف میتوان این انتظار را داشت که برای سالهای آینده این نانو ماشینها بتوانند از فواصل بسیار دور عمل های جراحی بسیار حساس را نیز انجام دهند.با توجه به وضعیت پاندمی کرونا این بستر برای توسعه تله مدیسین و نانو رباتهای پزشکی فراهم شده است. تله مدیسین به معنای "پزشکی از راه دور "مشتمل بر نگهداری، مراقبت، تشخیص، مشاوره و معالجه بیماران است که با انتقال داده های پزشکی و مسائل آموزشی به درمان و مراقبت از بیماران کمک می کند . در نگاهی جامع تر و کامل تر بطور عمومی پزشکی از راه دور کاربرد فناوری های پزشکی و ارتباطی جهت تبادل هر گونه اطلاعات، اعم از داده ، صدا یا ارتباطات تصویری بین پزشک و بیمار یا پزشک و متخصصان بهداشت و درمان در موقعیت های مجزای جغرافیایی و به منظور ایجاد امکان تبادل، جهت مقاصد پزشکی ، بهداشتی درمانی ، تحقیقاتی و آموزشی است . اکنون که تماس حضوری با بیماران کرونا می‌تواند خطر ابتلای کارکنان بهداشتی و درمانی را بیشتر کند این شیوه مراقبت و نگهداری برای بیماران کرونایی موثر است. همین طور به افراد سالم، از طریق پزشکی از راه دور کمک کنند و آنان را از ابتلا به این ویروس بازدارند و افراد مبتلا به ویروس و مرخص شده از بیمارستان را پیگیری کنند.

تله‌رُبات نوعی ربات است، که از طریق کانال ارتباطی معین و از مسافتی دور توسط یک متصدی انسانی یا ماشینی دستورات و فرمان‌ها را اجرا می‌کند. متصدی انسانی بدین وسیله می‌تواند حرکت‌هایی را در قالب یک ماشین از مسافت طولانی مدیریت نماید. در این راستا حسگرهای مستقر بر روی ربات، متصدی را از چگونگی و نتایج انجام حرکات ربات مطلّع می‌سازد. معمولا به دلیل فاصله زیاد بین ربات های موجود در سیستم های حرکت از راه دور، در انتقال اطلاعات مذکور بین ربات ها تاخیر وجود دارد که این تاخیر مهمترین چالش در کنترل پایداری و کارایی این سیستم ها می باشد . در حالت ایده آل محرک ها توانایی تولید هر گشتاور را داشته و اطلاعات دقیق از پارامترهای سیستم های رباتیکی نیز وجود دارد . ولی در عمل به دلیل نامعلوم بودن یا احتمال تغییرات برخی پارامترهای ربات نظیر اصطکاک ، جرم و اغتشاشات خارجی , امکان دسترسی به مقادیر واقعی ربات وجود ندارد . اخیرا تحقیقاتی در خصوص در نظر گرفتن مساله اشباع محرک ها در سیستم های تله اپراتوری صورت گرفته است . در مرجع [۱]کنترل به صورت ترکیبی با ساختار ضد اشباع برای سیستم تله PID کننده اپراتوری معین و بدون تاخیر در کانال ارتباطی طراحی شده است . در مرجع [۲] ساختاری متفاوت با ترکیب روش متغییرهای موج و کنترل کننده تناسبی غیرخطی برای کنترل سیستم های تله اپراتوری مقید به مساله اشباع ارائه شده است که در آن تاخیر موجود در کانال انتقال اطلاعات ثابت و دینامیک ربات هم معین باشد . در پژوهشی دیگر جهت کنترل موقعیت و تضمین پایداری ربات های فرمانده و فرمانبر معین مقید به مساله اشباع محرک ها با تاخیر زمانی ثابت روش ترکیبی متغییرهای موج با ساختار ضداشباع مطرح شده است [۳]. از جمله راه‌های دیگر کنترل سیستم‌ها استفاده

[1] Telemedicine

از روش‌های مبتنی بر هوش محاسباتی می‌باشد که در مقالات مورد بررسی قرار گرفته است [۴-۹].

در این مقاله به بررسی تاثیرات یک سیستم تله اپراتوری در مسئله درمان از راه دور و نقش آن در دوران پاندمی کرونا پرداخته میشود.یک نوع ساختار بهینه سازی شده در سیستم کنترل رباتهایی که از الگوریتم فرمانده و فرمانبر استفاده میکنند ارائه شده و مشاهده میشود که الگوریتم های کنترل تطبیقی بهینه سازی شده در محیط محدود چگونه از اشباع در فرایند اجرای دستورات کنترلی جلوگیری میکند؛ و ارتباط آن در نانورباتهای تله مدیسین و نقش آنها در جراحی های ویژه ارائه شده است.

۲- نانورباتیک

نانوربات ها از فناوری های نوین در زمینه رباتیک هستند که مقیاس هایی از ۱ تا ۱۰ میکرومتر را در برمیگیرند.[۱۰] نانوربات ها از طریق سیگنالهای اولتراسونیک وارد بدن شده و با شناسایی و هدایت به سمت منشا بیماری این سیگنالها را منعکس کرده و اطلاعات را به منبع منتقل میکنند.این روش میتواند به صورت بی سیم از راه دور اعمال شده و میتوان از آن در تله مدیسین هم استفاده کرده و در شرایط شیوع بیماری های ویروسی نظیر کووید-۱۹ و عدم دسترسی به جراحان و متخصصان استفاده کرد.[۱۱-۱۳].

۲-۱- کاربرد نانوربات ها در جراحی

نانورباتها امروزه در جراحی سرطان ها یا جراحی از راه دور مورد استفاده قرار میگیرند.در نانورباتهای مورد استفاده در جراحی سرطان، موتور های بسیار ریزی قرار دارد که دستگاه را تا نقاط تومور هدایت میکند.[۱۴].استفاده از نانورباتها نقش جراحان را مانند نقش هدایتی خلبان در ناوبری،آنان را بصورت ناظر بر عملکرد رباتها در طول جراحی قرار میدهند. [۱۴].

۲-۲- طراحی میکروربات

باید در طراحی میکروربات ها در محیط بافتها و ارگانهای بدن،بالا بودن میزان درجه آزادی[۲] را مد نظر قرار داد.در طراحی این نانو ماشین ها مدل های زیستی شامل اجزا و بر مبنای گردش مولکولی مورد استفاده قرار میگیرند.با استفاده از بازو های ربات برای کارکرد های ویژه و مخصوص باید سازش پذیری و تطبیق پذیری نانوماشین در محیط مورد بررسی قرار گیرد [۱۵]. سیستم های کنترلی در نانوربات ها بر مبنای داده های دریافتی سنسور هایی که بر روی آنها قرار گرفته است عمل میکنند.این حسگر ها با بررسی عملکرد مویرگها،قابلیت عملیات در ناحیه هدف مورد بررسی قرار میدهند.با توجه به ابعاد نانومتری این ماشینها،باید از سنسور های شیمیایی استفاده کرد.[۱۵]

۳- کنترل عملکرد نانورباتها

امروزه روش های بسیاری برای کنترل عملکرد نانوربات ها ارائه شده است.یکی از پرکاربرد ترین این روشها الگوریتم کنترل تطبیقی است. یک الگوریتم بهینه سازی شده تطبیقی برای سیستم های تله اپراتوری که در زمینه میکروروباتهای پزشکی موثراند،در ادامه ارائه میشود[۱۹-۱۶]

۳-۱- مدل سیستم تله اپراتوری با کنترلر مقید به مسئله اشباع

مدلسازی سیستم های تله اپراتوری غیرخطی مبتتنی بر کنترلر عای مبتنی بر اشباع بصورت زیر طراحی شده است:

$$M_m(q_m(t))\ddot{q}_m(t) + c_m(q_m(t),\dot{q}_m(t))\dot{q}_m(t) + F_m\dot{q}_m(t) + F_{CM}(\dot{q}_m(t)) + G_m(q_m(t)) = \tau_h(t) + S(\tau_m(t)) \quad (۱)$$

$$(q_s(t))\ddot{q}_s(t) + C_s(q_s(t),\dot{q}_s(t))\dot{q}_s(t) + F_s\dot{q}_s(t) + F_{cs}(\dot{q}_s(t)) + M_s G_s(\dot{q}_s(t)) = S(\tau_s(t) - \tau_e(t) \quad (۲)$$

در روابط بالا موقعیت،سرعت و شتاب ربات های فرمانده وفرمانبر q_j و $\dot{q}_j$ و $\ddot{q}_j$ که $j \in \{m,s\}$ مشخص شده اند.$G_j(q_j(t)) \in R^{n\times 1}$ بردار جاذبه، $M_j(q_j(t)) \in R^{n\times n}$ و $C_j(q_j(t),\dot{q}_j(t)) \in R^{n\times n}$ ماتریس های کوریولیوس و سانتریفوژ و اینرسی می باشند.$F_j \in R^{n\times n}$ و $F_{cj}(\dot{q}_j(t)) \in R^{n\times 1}$ ضرایب اصطکاک ویسکوز و کولمبی سیستم اند.

$\tau_m(t),\tau_s(t) \in R^{n\times 1}$ گشتاور های اعمالی و $\tau_h(t),\tau_e(t) \in R^{n\times 1}$ نیز سیگنال های کنترلی رباتهای فرماندهی و فرمانبری می باشند که از تابع اشبا $S: R^{n\times 1} \to R^{n\times 1}$ ع عبور میکنند.

در فرمول های بالا زیروند m به معنای ربات فرمانده و زیروند s نمایانگر ربات فرمانبر می باشد.د نیز تعداد مفصل های ربات هارا نشان میدهد.

۳-۲- معادله حرکت ربات ها بصورت خطی شده

معادلات حرکات رباتها با رابطه زیر بیان میشود:

$$M(q(t))\ddot{q}(t) + C(\dot{q}(t))q(t) + F\dot{q}(t) + F(q(t)) + G(q(t)) = Y(q(t),\dot{q}(t),\ddot{q}(t))\theta = \tau$$

بیان میشود.که در آن $Y(q(t),\dot{q}(t),\ddot{q}(t))\theta = \tau$ یک ماتریس تابع پیوسته است.که اعضای آن موقعیت و شتاب و سرعت ربات هاست که ماتریس رگرسیون نامیده میشود. $\theta \in R^1$ یک بردار ثابت و τ گشتاور کنترلی و l نیز تعداد پارامتر های نامعین است.

۳-۳- مدل محرک اشباع با ناحیه خطی محدود

مدل محرک اشباع در ناحیه خطی که محدود شده است،بصورت تابع s(x) ارائه شده است.پارامتر های بردار مذکور بصورت زیر ارائه شده است:

$$s_i(x_i) = \begin{cases} > M_i & x_i > M_i \\ = x_i & -M_i \le x_i \le M_i \\ < -M_i & x_i < M_i \end{cases} \quad s_i(x_i): R \to R, i = 1,\dots,n \quad (۴)$$

با استفاده از تابع فوق میتوان توابع جداگانه ای را برای مفصل ها در ناحیه غیر خطی در نظر گرفت.در این مدلسازی تابع باید در بازه $-M_i \le x_i \le M_i$ خطی شده باشد و در خارج از این ناحیه تابع غیر خطی است.

۳-۴- طراحی کنترلر تطبیقی

برای مقابله با اشباع محرک ها و مسئله سنکرونیسم سیگنالها و میزان سرعت در رباتهای فرمانده و فرمانبر در سیستم های کنترلر تله اپراتوری غیرخطی یک کنترلر تناسبی-مشتق گیر غیر خطی (nP+nD) به همراه عبارات کنترل تطبیقی محدود به صورت زیر پیشنهاد شده است:

$$\tau_m(t) = Y_m(q_m(t),\dot{q}_m(t))\hat{\theta}_m - P(q_m(t) - q_s(t - d_s(t))) - k_m P(\dot{q}_m(t)) \quad (۵)$$

$$\tau_s(t) = Y_s(q_s(t),\dot{q}_s(t))\hat{\theta}_s - P(q_s(t) - q_m(t - d_m(t))) - K_s P(\dot{q}_s(t)) \quad (۶)$$

در توابع بالا، $K_m(t), K_s(t) \in R^{n\times n}$ ماتریس های مثبت معین،متقارن ثابت می باشند. $d_m(t), d_s(t)$ نمایانگر تاخیر های ارتباطی از مسیر فرمانبر به فرمانده و از فرمانده به فرمانبر است.$\widehat{\theta_m}, \hat{\theta}_s \in R^1$ بردار تخمین پارامتر های نامعین و $Y_m(q_m(t),\dot{q_m}(t)) \in R^{n\times n}$, $Y_s(q_s(t),\dot{q}_s(t)) \in R^{n\times 1}$ ماتریس های رگرسیون ربات های فرمانده و فرمانبر میباشند.

[2] Degree of freedom

با توجه به ۵و۶،کنترلر تطبیقی ارائه شده،دارای کران بالا به شکل زیر خواهد بود:

$$|\tau_{mi}(t)| \le N_i + \lambda_{max}\{K_m\}N_i + B^{\Theta}_{Dm_i} \le M_i, i = 1, \dots, n \quad (۷)$$

$$|\tau_{si}(t)| \le N_i + \lambda_{max}\{K_s\}N_i + B^{\Theta}_{Ds_i} \le M_i, i = 1, \dots, n \quad (۸)$$

در روابط بالا $B^{\Theta}_{Dm_i}$ و $B^{\Theta}_{Ds_i}$ باند های بالای ترم های کنترلر های تطبیقی در [۱۱] است.قید های محرک در تابع (۴) با انتخاب K_m, K_s کران بالای تابع غیر خطی N_i و باند های بالا ترم تطبیقی به شکل توابع زیر انجام شده و در نهایت سیگنالهای کنترلی ارسالی همواره در باند خطی محرک عمل میکنند.

$$N_i + \lambda_{max}\{K_m\}N_i + B_{DM_i} \le M_i, i = 1, \dots, n$$

$$N_i + \lambda_{max}\{K_s\}N_i + B_{Ds_i} \le M_i, i = 1, \dots, n \quad (۹)$$

$$(۱۰)$$

با در نظر گرفتن روابط ۹و۱۰ و ترکیب ۵و۶ در ۱و۲،معادله حلقه بسته سیستم به صورت زیر است:

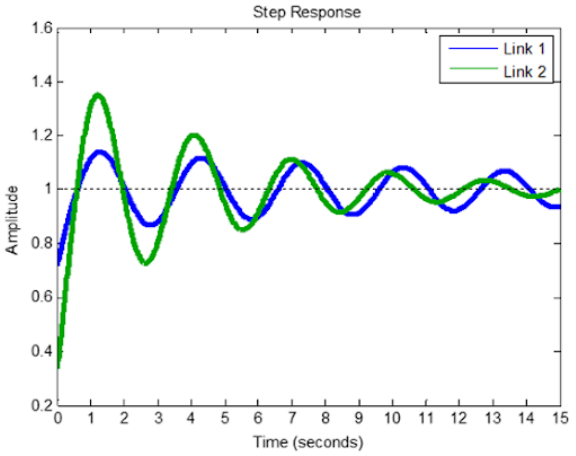
$$M_m(q_m(t))\ddot{q}_m(t) + C_m(q_m(t), \dot{q}_m(t))\dot{q}_m(t) = \tau_h(t) + Y_m(q_m(t), \dot{q}_m(t))\tilde{\theta}_m - P(q_m(t) - q_s(t - d_s(t))) - K_m P(\dot{q}_s(t)) \quad (۱۱)$$

$$M_s(q_s(t))\ddot{q}_s(t) + C_s(q_s(t), \dot{q}_s(t))\dot{q}_s(t) = Y_s(q_s(t), \dot{q}_s(t))\tilde{\theta}_s - \tau_e(t) - P\left(q_s(t) - q_m(t - d_m(t))\right) - K_s P(\dot{q}_s(t) \quad (۱۲)$$

در توابع بالا $\tilde{\theta} = \hat{\theta} - \theta$ نشان دهنده خطای تخمین میباشد.

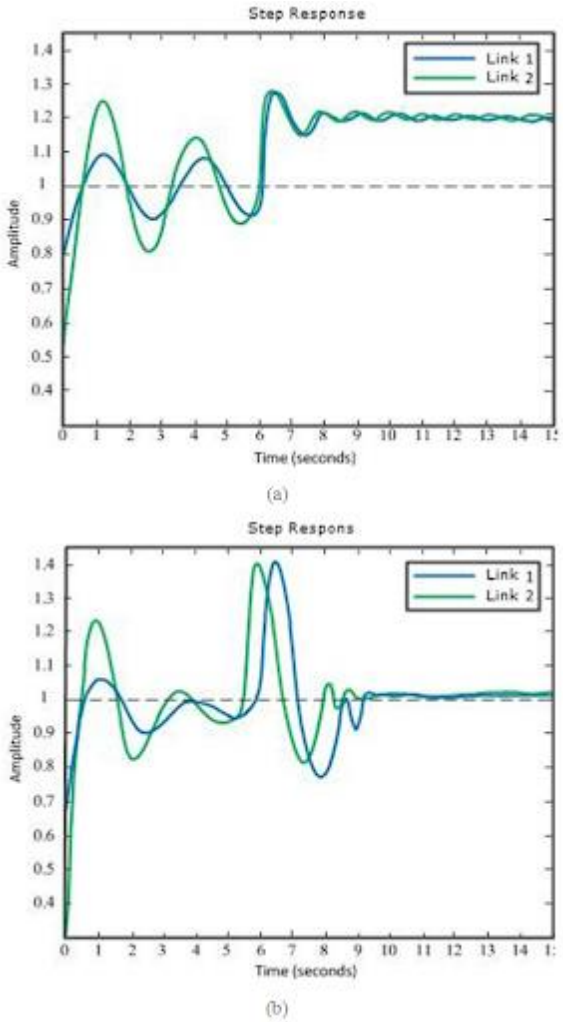
۴- نتایج شبیه سازی

در این قسمت در محیط نرم افزار MATLAB روش کنترلی پیشنهادی جهت ربات پیاد سازی شده و مورد ارزیابی قرار می گیرد. در شکل-۱ نتایج پاسخ پله برای یک ربات دولینک کنترل از راه دور نشان داده شده است.



شکل-۱. پاسخ پله برای یک ربات دولینک کنترل از راه دور

در شکل-۲ قسمت (a) فرض می‌شود نامعینی شدیدی در پارامترهای ربات رخ داده و هدف رسیدن به ۱.۲ واحد است. در شکل -۲ قسمت (b) اثر تاخیر ۷ ثانیه‌ای ناشی از اینترنت در کنترل ربات از راه دور، به تصویر کشیده شده است. همانطور که ملاحظه می شود سیستم کنتل بخوبی توانسته است ربات دو لینک را کنترل کند.



شکل-۲. پاسخ پله برای یک ربات دولینک کنترل از راه دور

پس شبیه سازی ها مشاهده می‌شود که سرعت زاویه ای ربات ها به سمت صفر میل می‌کند و همچنین سیگنالهای کنترل کمتر از محدوده اشباع عمل می‌کنند. با اعمال کنترلر تطبیقی پایداری سیستم افزایش می یابد.از کنترلر تطبیقی برای سیستم های تله اپراتوری مورد استفاده قرار میگیرند.با استفاده از کنترلر پیشنهادی می‌توان پایداری سیستم را نسبت به روش های کلاسیکی که پایداری کامل را تضمین نمی‌کنند،در سیستم‌های تله اپراتوری تضمین کند.

۵- نتیجه گیری

این پژوهش با هدف ارائه یک کنترلر تطبیقی بهینه‌شده برای سیستم‌های تله‌اپراتوری غیرخطی انجام شد. نتایج به‌دست‌آمده از شبیه‌سازی‌ها نشان داد که روش پیشنهادی توانست عملکرد سیستم‌های تله‌اپراتوری را بهبود دهد و مشکلاتی مانند اشباع محرک‌ها و تأخیرهای زمانی را کاهش دهد. همچنین، این روش در حفظ پایداری سیستم و کنترل دقیق ربات‌های فرمانده و فرمانبر مؤثر عمل کرد. استفاده از این سیستم‌ها در حوزه پزشکی، به‌ویژه در شرایط پاندمی کرونا و دیگر بیماری‌های همه‌گیر، امکان‌پذیر است. نانوربات‌ها و میکروربات‌های مجهز به این نوع کنترلر می‌توانند به‌صورت موثری در جراحی از راه دور و ارائه خدمات درمانی در مناطق محروم و دورافتاده به کار گرفته شوند. همچنین، این فناوری می‌تواند نیاز به حضور مداوم پرسنل پزشکی در نزدیکی بیماران را کاهش دهد و امکان انتقال داده‌های موردنیاز برای تجزیه‌وتحلیل را به صورت دیجیتالی و از فواصل دور فراهم کند. با این وجود، محدودیت‌هایی مانند هزینه‌های بالا، پیچیدگی‌های فنی، تأثیر نویز محیطی و

تأخیرهای زمانی متغیر همچنان به‌عنوان چالش‌های اصلی مطرح هستند که نیازمند بررسی و رفع در تحقیقات آینده می‌باشند. علاوه بر این، توسعه بیشتر در زمینه تطبیق این فناوری با شرایط عملی و بررسی تأثیر پارامترهای مختلف بر عملکرد آن، گامی اساسی در مسیر کاربردی‌سازی این فناوری خواهد بود. در مجموع، این تحقیق گام مهمی در جهت استفاده از فناوری‌های پیشرفته مانند تله‌مدیسین و نانوربات‌ها در حوزه پزشکی از راه دور به شمار می‌رود و می‌تواند مبنای تحقیقات آینده برای بهینه‌سازی بیشتر سیستم‌های کنترل تطبیقی در کاربردهای پزشکی باشد.

مراجع

[1] S. H. Ahn and J. S. Yoon, "A bilateral control scheme for 2-DOF telemanipulators with control input saturation," Control Engineering Practice, vol. 10, pp. 1081-1090, 2002.

[2] S.-J. Lee and H.-S. Ahn, "Synchronization of bilateral teleoperation systems with input saturation," in Control Automation and Systems (ICCAS), 2010 International Conference on, ۲۰۱۰, pp. 1357-1361.

[3] S.-J. Lee and H.-S. Ahn, "A study on bilateral teleoperation with input saturation and systems", in Control, The International Conference on Automation and Systems, 2011, pp.۱۶۱-۱۶۶.

[4] J Tavoosi, R Azami, A New Method for Controlling the Speed of a Surface Permanent Magnet Synchronous Motor using Fuzzy Comparative Controller with Hybrid Learning, Journal of Computational Intelligence in Electrical Engineering, Vol. 10, 2019, pp. 57-68.

[5] J Tavoosi, S Rahmati, New Applications on Linguistic Mathematical Structures and Stability Analysis of Linguistic Fuzzy Models, International Journal of Smart Electrical Engineering, Vol.5, No.3,Summer 2016, pp. 153-159.

[6] MS Hesarian, J Tavoosi, Green Technology used in Finishing Process Study of the Wrinkled Cotton Fabric by Radial Basis Function neurons.(Experimental and Modeling analysis), Advances in Environmental Technology, Volume 5, Issue 1, Winter 2019, Pages 35-45.

[7] J Tavoosi, MA Badamchizadeh, S Ghaemi, Adaptive Inverse Control of Nonlinear Dynamical System Using Type-2 Fuzzy Neural Networks, Journal of Control, Vol. 5, No. 2, 2011, pp. 52-60.

[8] J Tavoosi, M Alaei, B Jahani, MA Daneshwar, A novel intelligent control system design for water bath temperature control, Australian Journal of Basic and Applied Sciences, Vol. 5, No. 12, 2011, pp. 1879-1885.

[9] J. Tavoosi, A. A. Suratgar, and M. B. Menhaj, "Nonlinear System Identification Based on a Self-Organizing Type-2 Fuzzy RBFN," Engineering Applications of Artificial Intelligence, Vol. 54, Sep. 2016.

[10] Azizi A, Toohidinejad Z, Haghighatpoor I. Design and analysis of adaptive control of the reference model to control the output pressure of the boiler system. Computational methods in engineering sciences. 2023 May 22;1(1):21-6.

[11] Nano – Medicine based drug delivery system " Journal of Advanced pharmacy Education & Research , 1(1) 211-213 (2111) ISSN 2219 – 3339 , -11

[12] Yadar, Akash,. GhuneMeenal,. Jain, Dinesh Kumar. NANOROBOTICS – AN UPCOMING Revolution'' , Kumar , Piyush.

[13] Motion Control Algorithms for Nanorobot Swarms in Medicine'', Hegarty , James . Gillespie , Anna , EE21N, Wong , Philip , H.-S. -11

[14]technology/nanotechnologyhttp://www.library.tebyan.net/Science

[۱۵] حمیدرضا شریفانی، فن آوری و نانوربات و کاربرد آن در پزشکی، مجله صنعت هوشمند ، سال دوازدهم ، بهمن ۸۸ ،شماره ۱۰۵

[16] Swallowable Wireless Capsule Endoscopy progress and Technical Challenges – Guobing Pan and Litong Wang – Review Article – October 2011.

[17] Soltanian F, Valadbeigi AP, Tavoosi J, Aazami R, Shasadeghi M, Shirkhani M, Azizi A. Adaptive Optimal Terminal Sliding Mode Control for T-S Fuzzy-Based Nonlinear Systems. Complexity. 2024;2024(1):7126978.

[18] Shirkhani M, Karimizad SS, Dadvand Z. Proof of stability of linear and non-linear TSK type-2 fuzzy systems. Computational methods in engineering sciences. 2023 May 22;1(1):5-10.

[۱۹] گنجه فر سهیل، رضایی سارا، هاشم زاده فرزاد. کنترل تطبیقی محدود سیستم تله اپراتوری غیرخطی نامعین با وجود اشباع محرک ها و تاخیر زمانی نامتقارن و متغیر بازمان. مجله کنترل. ۱۳۹۶; ۱۱ (۱) :۱۹-۲۵