مقایسه بین الگوریتم‌های بهینه‌سازی برای تنظیم پارامترهای ارتباط کنترل‌شده مبتنی بر فازی در سیستم‌های کنترل شبکه

مهناز اثباتی[۱]، دانشجوی کارشناسی ارشد؛ مجتبی احمدیه خانه‌سر[۲]، استادیار؛ علی شهزادی[۳]، استادیار

۱- دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر - دانشگاه سمنان - سمنان - ایران - mahnaz.esbati@semnan.ac.ir
۲- دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر - دانشگاه سمنان - سمنان - ایران - ahmadieh@semnan.ac.ir
۳- دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر - دانشگاه سمنان - سمنان - ایران - shahzadi@semnan.ac.ir

چکیده: هدف این مقاله بهبود عملکرد سیستم‌های کنترل شبکه با استفاده از ارتباط کنترل‌شده با منطق فازی بهینه‌شده است. با استفاده از منطق فازی و تخمین‌گرهای بهینه فیلتر کالمن تعیین می شود که چه زمانی داده‌ها روی شبکه قرار گیرند تا ترافیک شبکه کاهش یابد. لازم به تو ضیح است که نیازی نیست که همواره اطلاعات روی شبکه ارسال شود و اندازه‌گیری‌ها به‌صورت محلی قبل از ارسال پردازش می‌شوند. در این مقاله، از الگوریتم‌های بهینه‌سازی مبتنی بر جمعیت برای تنظیم پارامترهای سیستم فازی کنترل منطق ارتباطی استفاده می‌شود. عملکرد کنترل‌کننده‌های تنظیم‌شده با استفاده از نتایج به‌دست آمده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی ازدحام ذرات، الگوریتم ژنتیک، الگوریتم رقابت استعماری، الگوریتم بهینه‌سازی بر پایه جغرافیای زیستی، الگوریتم کلونی مورچه‌ها مقایسه می‌شوند. روش به‌دست آمده بر روی دو سیستم جرثقیل سقفی شبکه‌شده با مشخصه‌های غیرخطی شبیه‌سازی می‌شود. نتایج شبیه‌سازی اعتبار روش پیشنهادی را اثبات می‌کند. درحالی‌که همه الگوریتم‌ها نتایج قابل قبولی ایجاد کرده‌اند، بهترین عملکرد در استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات از لحاظ کمینه‌کردن تابع هدف و خطای ردیابی مشاهده شده است و نشان داده می‌شود این الگوریتم قادر است مشکل هماهنگ‌سازی دو جرثقیل تحت شبکه به هنگام جابه‌جایی بار با حجم بالا را، با کارآیی بالا حل کند.

واژه‌های کلیدی: سیستم‌های کنترل شبکه، منطق ارتباطی فازی، الگوریتم‌های هوشمند، تخمین‌گرهای حالت

A comparison between optimization algorithms for the tuning of fuzzy based controlled communication for networked controlled systems

M. Esbati[1], MSc Student; M. Ahmadieh Khanesar[2], Assistant Professor; A. Shahzadi[3], Assistant Professor

1- Faculty of Electrical and Computer Engineering, University of Semnan, Semnan, Iran, Email: mahnaz.esbati@semnan.ac.ir
2- Faculty of Electrical and Computer Engineering, University of Semnan, Semnan, Iran, Email: ahmadieh@semnan.ac.ir
3- Faculty of Electrical and Computer Engineering, University of Semnan, Semnan, Iran, Email: shahzadi@semnan.ac.ir

Abstract: The goal of this paper is improvement of the operation of networked control systems using optimized fuzzy logic controlled communication. Network traffic is reduced with optimal kalman filter estimator and fuzzy logic. It should be explained, there is no need to send information on the network continuously and the measurements are processed locally before sending. In this paper, population based optimization algorithms are used to set the parameters of fuzzy system for control the communication logic. The performance of regulated controllers are compared by the results of Particle Swarm Optimization (PSO), Genetic Algorithm (GA), Biogeography Based Optimization (BBO), Imperialist Competitive Algorithm (ICA) and Ant Colony Optimization with continuous domain (ACOR) algorithms. The proposed method is simulated on two overhead cranes over a network with nonlinear features. Simulation results prove the validation of the proposed solution. While the results of all algorithms are reasonable but PSO algorithm has best result in reducing tracking error and fitness function point of view. Simulation results illustrate the effectiveness of proposed control system in coordination of two cranes over the network in moving heavy loads.

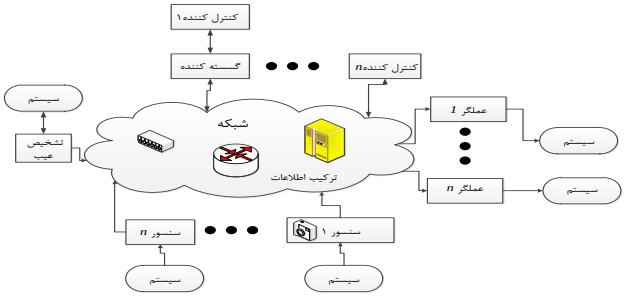
Keywords: Networked control systems, Fuzzy Communication logic, intelligent algorithms, state estimators

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۵/۱۰/۱۳
تاریخ اصلاح مقاله: ۱۳۹۵/۱۲/۱۴
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۰۵/۰۸
نام نویسنده مسئول: مجتبی احمدیه خانه‌سر
نشانی نویسنده مسئول: ایران - سمنان - دانشگاه سمنان - دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر.

۱- مقدمه

در سال‌های اخیر سیستم‌های کنترل شبکه توجه زیادی را به خود جلب کرده‌اند. یک سیستم کنترل تحت شبکه (NCS[1]) از سنسورها، محرک‌ها و کنترل‌کننده‌هایی تشکیل شده است که در مکان‌های مختلفی توزیع شده‌اند و از طریق تبادل اطلاعات توسط شبکه‌های ارتباطی بلادرنگ با یکدیگر در تعامل هستند[۱]. استفاده از یک شبکه مشترک چندمنظوره برای ارتباط المان‌های گسترده باعث ساختاری انعطاف‌پذیر و اطمینان‌پذیر می شود و معمولاً هزینه‌ها و دشواری نصب و نگهداری، تشخیص خطا، تعمیر و بازبینی را با امکان کنترل از راه دور کاهش داده و مزایای بسیاری را به ارمغان می‌آورد[۴-۲].

NCS می‌تواند به‌طور گسترده بسته به ساختار چند سنسوره و چند عملگره به‌عنوان یک سیستم شبکه‌ای و سیستم کنترل راه دور طبقه‌بندی گردد. همچنین این سیستم می‌تواند به‌عنوان سیستم کنترل زمان حقیقی/ حساس به زمان و یک سیستم کنترل غیر زمان حقیقی/ غیر حساس به زمان طبقه‌بندی گردد[۵]. شکل ۱ یک سیستم کنترل شبکه را نشان می‌دهد.



شکل۱: سیستم کنترل شبکه‌شده

برای کیفیت خدمات (QoS[2]) سیستم‌های کنترل شبکه مواردی باید در نظر گرفته شوند که تأخیر شبکه، پایداری، تخصیص پهنای باند، برنامه‌ریزی، ماژوله‌سازی، یکپارچه‌سازی ماژول‌ها برخی از موارد اصلی آن هستند که توسط جامعه تحقیقاتی برای توسعه NCS قابل اعتماد، سریع و کارآمد درنظر گرفته می‌شوند[۵]. کیفیت خدمات (QoS) سیستم‌های کنترل شبکه با توجه به ازدحام و تداخل کاهش می‌یابند[٦].

سیستم‌های کنترل تحت شبکه کاربردهای بسیاری در زمینه‌های مختلف از جمله در شبکه‌های سنسور متحرک، عملیات نظامی، عملیات اورژانسی و فوری پزشکی، محیط‌های پرخطر، جراحی از راه دور[۷]، سیستم‌های خودکار بزرگراه و وسایل نقلیه هوایی - فضایی بدون سرنشین[۸،۹]، کارخانه‌ها و ربات‌های متحرک[۵] و.. پیدا کرده‌اند. از طرفی استفاده از شبکه مشترک، چالش‌ها و مشکلات جدیدی را به وجود آورده و تحلیل و طراحی را دشوارتر می سازد[۱۰]. مشکلاتی از جمله امنیت شبکه، شبکه‌هایی با پهنای باند محدود، تاخیرهای شبکه، از دست رفتن داده‌ها و... ازجمله این مشکلات می‌باشند.

اختلاف مهم بین NCS و کنترل دیجیتال استاندارد، این است که در انتقال در طول شبکه، داده‌ها ممکن است از دست بروند. معمولاً از دست رفتن‌های داده‌ها درنتیجه خطاهای انتقال در لینک‌های فیزیکی شبکه یا پر شدن حافظه شبکه به‌دلیل ازدحام می‌باشند[۱۱]. لازم به توضیح است که از دست‌دادن داده‌ها در شبکه‌های بی سیم نسبت به انواع باسیم آن‌ها بیشتر رخ می‌دهد. تفاوت مهم دیگر بین NCSها و سیستم‌های کنترل دیجیتال وجود تاخیرها در حلقه کنترل بر پایه خاصیت شبکه است. این تأخیر می‌تواند باعث کاهش عملکرد سیستم‌های کنترل طراحی شده در حالتی باشد که در ابتدای طراحی کنترل‌کننده، تأخیر در نظر گرفته نشود و یا حتی می‌تواند باعث ناپایداری در سیستم نیز شود. بسته به پروتکل شبکه کنترل (MAC[3])، تأخیر شبکه ممکن است ثابت، متغیر با زمان و یا حتی تصادفی باشد[۱۱]. همچنین هر شبکه ارتباطی می‌تواند میزان محدودی اطلاعات را در واحد زمان در برداشته باشد[۲]. تلاش‌های تحقیقاتی مهمی، برای مساله تعیین نرخ بیت کمینه، که برای پایدارسازی یک سیستم فیدبک‌دار خطی تحت یک کانال باند محدود مورد نیاز است، انجام شده است[۱۶-۱۲]. همچنین مشکل پایدارسازی پهنای باند ارتباطی محدود برای سیستم‌های غیرخطی نیز مطالعه شده است[۱۷،۱۸].

با پائین نگاه‌داشتن ترافیک شبکه می‌توان باعث بهبود کیفیت خدمات (QoS) سیستم‌های کنترل شبکه شد. براساس یک معماری کنترل که اساساً توسط یوک[۱۹] مطرح شده است، برای کاهش ملزومات ارتباطی، همیشه اطلاعات روی شبکه قرار داده نمی‌شوند و در هر بازه زمانی براساس اطلاعات تخمین‌گرها تصمیمی اتخاذ می‌شود مبنی براین‌که " آیا ارزش قرارگرفتن آن اطلاعات بر روی شبکه وجود دارد؟ " و هر کنترل‌کننده متغیر حالت فرآیند محلی خود را با بقیه کنترل‌کننده‌ها براساس پروتکل ارتباطی که توسط "منطق ارتباطی" مشخص می‌گردد به اشتراک می‌گذارد. درنتیجه کاهش ترافیک شبکه صورت می‌پذیرد و نرخ ارسال کوچک‌تر داده‌ها منجر به تاخیرهای کوتاه‌تر و از دست رفتن کمتر داده‌ها در سیستم‌های ارتباطی می‌شود. مرجع[۲۰] کنترل فرایندهای توزیع‌شده را در شبکه‌های ارتباطی با یک تأخیر ثابت نشان می‌دهد. تمرکز در این پژوهش تنها بر روی فرایندهای خطی مستقل از زمان است که با نویز سفید گوسی توزیع شده است. منطق‌های تصادفی و قطعی را برای تعیین‌کردن نحوه ارتباط بین کنترل‌کننده‌ها پیشنهاد می‌دهد. در [۲۱] منطق‌های ارتباطی بهینه برای معماری سیستم کنترل شبکه همراه با تخمین‌گر جهت کاهش بار ارتباطی، به‌عنوان راه‌حل‌های مساله بهینه‌سازی هزینه میانگین که با استفاده از برنامه‌ریزی پویا حل می‌شوند، به دست می‌آیند. تمرکز در این مقاله روی سیستم‌های گسسته زمان خطی مستقل از زمان است. در [۲۲] یک چارچوب تخمین LTI برای سیستم‌های کنترل شبکه مطرح می‌شود، که در آن تخمین‌های فیلتر کالمن محلی به تخمین‌گر راه دور ارسال می‌شود. جریان داده به سمت

تخمین‌گر راه دور، توسط سنسور هوشمند و شبکه صورت می‌پذیرد و سنسور هوشمند نرخ انتقال داده را با افزایش خطای تخمین افزایش می‌دهد. همچنین یک برنامه سنسور رخداد - پایه تصادفی حلقه بسته و حلقه باز برای تخمین متغیر حالت راه دور پیشنهاد داده می‌شود [۲۳]، یک مقایسه عددی بین تخمین‌گر کمینه میانگین مجذور خطا (MMSE[۴]) حلقه بسته و یک تخمین‌گر MMSE معمولی با برنامه سنسور رخداد - پایه قطعی، در یک مساله تنظیم ردپای هدف، برتری برنامه سنسور پیشنهادی را نشان می‌دهد. پژوهش‌های گذشته، برای سیستم‌های خطی قابل استفاده هستند و مبتنی بر محاسبات محض هستند درحالی‌که روش پیشنهادی قابل استفاده برای سیستم‌های غیرخطی و مبتنی بر منطق فازی و روش‌های هوش مصنوعی است.

در این مقاله، مسئله تخمین از راه دور را در نظر گرفته و یک کانال ایده‌آل بدون از دست رفتن داده‌ها و تأخیر ولی با پهنای باند محدود فرض می‌شود. منطق ارتباطی که در طرح تخمین در نظر گرفته شده است، منطق فازی است که بر مبنای آن احتمال ارسال داده‌ها، زمانی که خطای تخمین‌گر و مقدار واقعی سیستم کم باشد، کاهش می‌یابد. به این صورت که دو تخمین‌گر بهینه وجود دارد یک تخمین‌گر راه دور که متغیر حالت سیستم را تخمین می‌زند وکپی محلی آن‌که همین خروجی را می‌دهد. خروجی تخمین‌گر محلی با مقدار واقعی سیستم مقایسه می‌شود، اگر خطای تخمین کم باشد نیازی به ارسال داده نیست و از مقدار تخمین‌گر راه دور استفاده می شود و احتمال ارسال داده با منطق ارتباطی فازی پیشنهادی کم می‌شود. هدف این مقاله، تنظیم پارامترهای فازی و طراحی کنترل‌کننده بهینه برای کاهش ترافیک شبکه است.

بدین‌منظور، از الگوریتم‌های بهینه‌سازی هوشمند از جمله الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات[۲۴،۲۵]، الگوریتم ژنتیک[۲۶]، الگوریتم رقابت استعماری[۲۷]، الگوریتم بهینه‌سازی بر پایه جغرافیای زیستی[۲۸]، الگوریتم کلونی مورچه‌ها [۲۹] برای تنظیم پارامترها استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد عملکرد الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات بهتر از بقیه الگوریتم‌ها است. استفاده از یک تخمین‌گر محلی که به تصمیم‌گیری راجع به ارسال یا عدم ارسال داده‌ها تصمیم بگیرد در کارهای پیشین سابقه دارد[۲۲-۲۰، ۳۱-۳۰]. اما تفاوت روش پیشنهادی در این مقاله با کارهای پیشین در این است که در همه کارهای پیشین سیستم‌های خطی مورد بررسی قرار گرفته‌اند، در حالی‌که در این مقاله یک سیستم غیرخطی مورد مطالعه قرار داده شده است. با توجه به استفاده از سیستم غیرخطی، رویتگر مورد استفاده یک رویتگر کالمن توسعه یافته است. همچنین استفاده از منطق فازی برای کنترل سویچینگ نوآوری دیگری است که به‌هیچ‌عنوان در کارهای سابق به چشم نمی‌خورد. اگرچه می‌توان پارامترهای سیستم فازی را بر اساس دانش فرد خبره طراحی نمود، برای داشتن یک سیستم فازی بهینه یک بهینه‌ساز به ساختار اضافه می‌شود، تا بر اساس تابع هزینه‌ای بر اساس خطا پارامترهای سیستم فازی بهبود یابد.

در ادامه این مقاله، در بخش دوم، طرح تخمین و منطق ارتباطی پیشنهادی و توضیحات کلی ارائه می‌شود. در بخش سوم، روش پیشنهادی بر روی دو سیستم جرثقیل شبکه شده پیاده سازی شده و نتایج شبیه‌سازی تحلیل می‌گردند. سرانجام نتیجه‌گیری در بخش پایانی آورده می‌شود.

۲- طرح تخمین و منطق ارتباطی پیشنهادی

مسئله‌های پایه‌ای که در سیستم کنترل تحت شبکه مورد توجه قرار می‌گیرد، تأخیر ناشی از شبکه و از دست رفتن اطلاعات در شبکه است که در این مقاله تلاش بر این است که با کاهش بار ارتباطی شبکه این اثرات نامطلوب کاهش یابد. هرچه نرخ ارسال بسته‌ها کوچک‌تر باشد، تاخیرها کوتاه‌تر و از دست رفتن داده‌ها کمتر می‌گردد. در این بخش، یک طرح تخمین برای سیستم های غیرخطی در سیستم‌های کنترل شبکه برمبنای تخمین‌گرهای بهینه و منطق ارتباطی فازی پیشنهادی توضیح داده می‌شود.

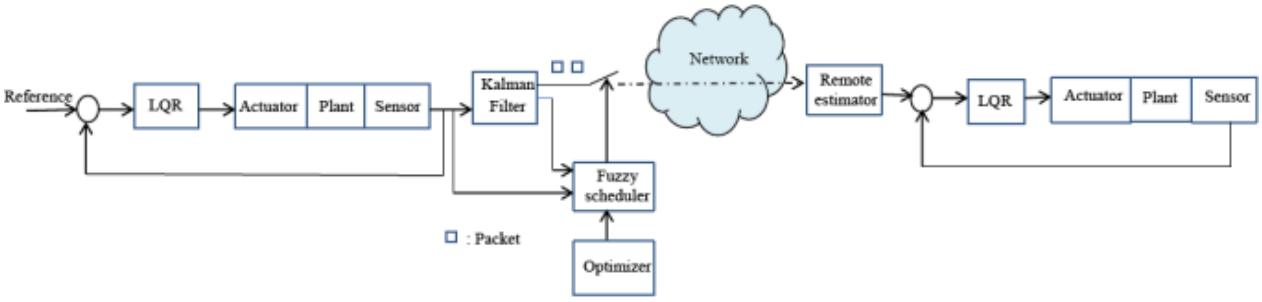
طرح تخمین شامل فیلتر کالمن محلی و راه دور، یک برنامه‌ریز ارتباطی فازی، یک شبکه و سیستم پایه و پیرو شامل سیستم فیزیکی، سنسورها، عملگرها و تنظیم‌کننده خطی مرتبه دوم (LQR[۵]) مطابق شکل ۲ است.

سیستم پایه و پیرو به‌وسیله یک شبکه با باند محدود، برای ایجاد کنترل از راه دور به هم متصل شده‌اند. دو تخمین‌گر به‌صورت محلی و از راه دور که خروجی یکسانی دارند و متغیرهای حالت سیستم را تخمین می‌زنند، وجود دارند. اندازه‌گیری‌ها همیشه روی شبکه منتقل نمی شوند و منطق ارتباطی فازی مسئول این است که تعیین کند چه زمانی داده باید ارسال گردد. این منطق پیشنهادی مقدار تخمین‌گر را با مقدار واقعی مقایسه می‌کند و بر اساس میزان خطا احتمال ارسال داده‌ها را تعیین می‌کند.

زمانی که خطای تخمین کم باشد نرخ ارسال داده را کاهش می‌دهد. بنابراین بار ارتباطی کاهش یافته و عملکرد شبکه بهتر می‌شود. فیلتر کالمن زمانی که داده‌ها ارسال می‌شود با مقدار داده‌های ارسال‌شده به‌روزرسانی می‌شود. سیگنال کنترلی نیز براساس تخمین محلی از متغیرهای حالت سیستم اصلی تخمین زده می‌شود. در این روش، پهنای باند شبکه محدود و تأخیر قابل چشم‌پوشی، در نظر گرفته شده است. پارامترهای منطق ارتباطی فازی با استفاده از الگوریتم‌های هوشمند بهینه‌سازی مبتنی بر جمعیت تنظیم می‌شوند. در ادامه قسمت‌های مختلف روش ذکرشده آورده می‌شود.

۲-۱- منطق ارتباطی بهینه

شبکه‌های عصبی پیش‌خور چندلایه در شناسایی سیستم‌های خطی و غیرخطی ناشناخته استفاده می شوند[۳۲]. در میان شبکه‌های عصبی مصنوعی، شبکه‌های پیش‌خور تک‌لایه پنهان (SLFN[۶]) به‌عنوان یک ساختار قابل توجه می‌باشند. ساختار سیستم استنتاج فازی-عصبی [۳۳] و SLFN از لحاظ کاربردی می‌توانند هم‌ارز باشند.



شکل ۲: شبکه ارتباطی تحت شبکه ارتباطی کنترل‌شده

تنها تفاوت این سیستم‌ها این است که در سیستم فازی- عصبی لایه توابع عضویت و قانون جایی که تمامی ترکیب‌های ممکن از ورودی‌های فازی‌شده به یک t-norm فازی معرفی شده و توسط اپراتور ضرب نمایش داده می شوند، در SLFN به‌عنوان یک لایه پنهان در نظر گرفته می‌شوند و پارامترهای مراکز دسته و انحراف معیار هر ورودی مستقل از ورودی دیگر است و تابع عضویت به‌عنوان تابع فعال سازی لایه پنهان در نظر گرفته می‌شود.

شبکه در نظر گرفته‌شده در این مقاله، یک SLFN مطابق شکل ۳ است. یک SLFN با n گره پنهان و m ورودی می‌تواند با روابط ریاضی (۱) تا (۴) مدل شود[۳۴]:

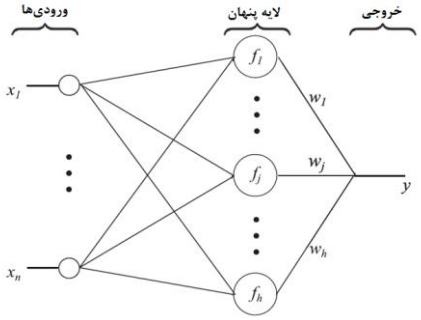
$$f_{i,j} = e^{-(x_j - m_{i,j})^2/\sigma^2_{i,j}} \quad i = 1, \dots, n;\ j = 1, \dots, m \tag{۱}$$

$$R_i = \prod_{j=1}^{m} f_i(x_j, m_{i,j}, \sigma_{i,j}) \tag{۲}$$

$$w_i = \frac{R_i}{\sum R_i} \tag{۳}$$

$$y = \sum_{i=1}^{n} \theta_i . w_i \tag{۴}$$

که $f_{i,j}$ تابع فعال سازی گره پنهان i است که تابع گوسین انتخاب شده است و $m_{i,j}, \sigma_{i,j}$ به‌ترتیب انحراف معیار و مراکز دسته می‌باشند، r_i خروجی گره لایه پنهان i که نرمالیزه نیز می‌گردد. x_j متغیرهای ورودی، w_i وزن اتصال بین گره لایه پنهان i و گره خروجی می‌باشند. ساختار SLFN و تنظیمات لایه پنهان می‌توانند طوری تنظیم شوند که خطای خروجی مدل کمینه گردد.



شکل۳: ساختار شبکه پیش‌خور تک‌لایه پنهان

پارامتر ورودی x_j توسط لایه ورودی به شبکه وارد می‌شوند. m تعداد پارامترهای ورودی و n تعداد گره‌های پنهان را نشان می‌دهند. در این شبکه پارامترهای $m_{i,j}$ و $\sigma_{i,j}$ که به‌ترتیب مرکز دسته و انحراف معیار توابع فعال‌سازی لایه پنهان هستند. این پارامترها و وزن لایه خروجی (θ_i)، در مرحله آموزش شبکه تنظیم می‌شوند.

عملکرد مناسب منطق ارتباطی فازی بستگی مستقیمی به این پارامترها دارد که به‌طور مناسب انتخاب شوند. برای دستیابی به عملکرد بهینه کنترل‌کننده، در این مقاله از الگوریتم‌های بهینه سازی از جمله: الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات[۲۴]، الگوریتم ژنتیک[۲۵]، الگوریتم رقابت استعماری[۲۶]، الگوریتم بهینه سازی بر پایه جغرافیای زیستی[۲۷]، الگوریتم کلونی مورچه ها [۲۸] استفاده می‌شود. تقریباهمه این الگوریتم‌ها تکرارشونده هستند. هر الگوریتم با ایجاد یک جمعیت اولیه از راه‌حل‌های کاربردی آغاز می‌گردد و به‌صورت مکرر از نسلی به نسل دیگر در جهت بهترین راه‌حل حرکت می‌کند. سرانجام بهترین تجربه در آخرین جمعیت به‌عنوان راه‌حل مطلوب در نظر گرفته می‌شود.

۲-۲- تخمین‌گرهای بهینه

تخمین متغیرهای حالت با استفاده از فیلتر کالمن توسعه‌یافته (EKF[۷])، صورت می‌پذیرد. تخمین متغیر حالت برای ارتباط کنترل‌شده بسیار مهم و حیاتی است. چراکه تصمیمات منطق ارتباطی بر پایه تخمین متغیرهای حالت ساخته می‌شوند.

برای EKF مدل غیرخطی (۵) در نظر گرفته می‌شود:

$$\begin{aligned} x_{k+1} &= f(x_k, u_k) + \omega_k \\ y_k &= h(x_k, u_k) + v_k \end{aligned} \tag{۵}$$

ω_k و v_k نویزهای سفید گوسی هستند که دارای ماتریس کواریانس به‌ترتیب Q_k و R_k می‌باشند. $f(x_k, u_k)$ ماتریس تابع غیرخطی گذار حالت و $h(x_k, u_k)$ تابع غیر خطی اندازه‌گیری نام دارد[۳۵]. الگوریتم فیلتر کالمن توسعه یافته در جدول ۱ موجود است.

برای سیستم‌های غیرخطی از خطی‌سازی در لحظه نمونه‌برداری استفاده می‌شود و به‌این‌ترتیب سیستم غیرخطی با سیستم خطی متغیر با زمان تقریب زده می‌شود.

جدول۱: الگوریتم فیلتر کالمن توسعه‌یافته جهت تخمین متغیر حالت سیستم غیر خطی [۳۵]

مدل فضای حالت:	$x_{k+1}=f\left(x_k,u_k\right)+\omega_k$ $y_k=h\left(x_k,u_k\right)+\upsilon_k$
تعریف :	$A_k=\left.\frac{\partial f\left(x_k,u_k\right)}{\partial x}\right\|_{x=\hat{x}_k}$ $C_k=\left.\frac{\partial h\left(x_k,u_k\right)}{\partial x}\right\|_{x=\hat{x}_k^-}$
مقداردهی اولیه :	$x_0=E\left[x_0\right]$ $P_0=E\left[\left(x_0-E\left[x_0\right]\right)\left(x_0-E\left[x_0\right]\right)^T\right]$
انجام محاسبات از k = 0 تا آخر :	
به‌روزرسانی زمانی :	
انتشار تخمین حالت:	$\hat{x}_k^-=f\left(\hat{x}_{k-1},u_{k-1}\right)$
انتشار ماتریس کواریانس خطا:	$P_k^-=A_{k-1}P_{k-1}A_{k-1}^T+Q_{k-1}$
به‌روزرسانی اندازه‌گیری:	
بهره کالمن:	$G_k=P_k^-C_k^T\left(C_kP_k^-C_k^T+R_k\right)^{-1}$
به‌روزرسانی تخمین حالت:	$\hat{x}_k=\hat{x}_k^-+G_k\left[y_k-h\left(\hat{x}_k^-,u_k\right)\right]$
به‌روزرسانی ماتریس کواریانس خطا:	$P_k=\left(I-G_kC_k\right)P_k^-$

۳-۲- تابع هدف

برای کاهش مؤثر ترافیک شبکه و مصرف توان، اندازه‌گیری‌های سنسور تنها زمانی که خطای تخمین زیاد باشد به تخمین‌گر راه دور ارسال می‌شوند. به‌این‌ترتیب می‌توان تا حدی احتمال از دست‌رفتن بسته و تأخیر را کنترل کرد. بنابراین با ارتباط کنترل‌شده با منطق ارتباطی فازی مصالحه‌ای بین ارتباطات و عملکرد تخمین ایجاد می‌گردد. در هرلحظه زمانی منطق ارتباطی باید تصمیم بگیرد که داده ارسال شود یا خیر که این کار با تعریف (۶) انجام می‌شود:

$$u\left(i\right)=\begin{cases}1 & with\ prob\ \gamma\\ 0 & with\ prob\ 1-\gamma\end{cases} \qquad (۶)$$

γ توسط منطق ارتباطی فازی تعیین می‌شود. u برابر یک به معنی ارسال داده و برابر صفر به معنی عدم ارسال داده است.

هدف اصلی مقاله، تنظیم پارامترهای منطق ارتباطی فازی با الگوریتم‌های مختلف هوشمند جهت ایجاد مصالحه‌ای بین عملکرد سیستم و نرخ ارتباطی شبکه است. تابع هزینه به‌عنوان معیاری که باید کمینه شود مطابق رابطه (۷) است:

$$J=\int e\left(\tau\right)^2d\tau+\sum\lambda u\left(n\right)\lambda\in\left[0,1\right] \qquad (۷)$$

که در آن $e=X^{slave}-X^{master}$ خطای متغیرهای حالت پایه و پیرو و n شماره نمونه‌ها است.

این تابع هزینه هر دو معیار خطای ردیابی و تعداد دفعاتی که از شبکه ا ستفاده می شود را در برمی‌گیرد. به عبارت دیگر، با در نظرگرفتن یک جمله مربوط به تعداد دفعاتی که داده‌ها ارسال یا دریافت می‌شوند، می‌توان باعث کمتر ا شغال شدن شبکه و افزایش کیفیت و عدم اعمال بار بر روی گره‌های دیگر شد. این مهم در حالی اتفاق می‌افتد که عملکرد ردیابی سیستم حاصل نیز کاهش نمی‌یابد.

با استفاده از الگوریتم‌های هوشمند الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات[۲۴]، الگوریتم ژنتیک[۲۵]، الگوریتم ر قابت استعماری[۲۶]، الگوریتم بهینه‌سازی بر پایه جغرافیای زیستی[۲۷] و الگوریتم کلونی مورچه‌ها [۲۸] پارامترهای منطق فازی مراکز دسته، انحراف معیار و ماتریس وزن طوری تنظیم می‌گردند که تابع هزینه (۷)کمینه شود.

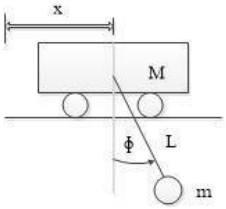
۳- نتایج شبیه‌سازی

در این بخش، به کاربرد طرح تخمین بر مبنای تخمین‌گرهای بهینه و منطق ارتباطی مبتنی بر منطق فازی پرداخته می‌شود. ابتدا به معرفی و مدل‌سازی سیستم نمونه و نحوه پیاده‌سازی روش پیشنهادی روی آن پرداخته می‌شود. سپس به ارائه نتایج عملکرد تخمینگرها پرداخته می‌شود. پس از آن عملکرد روش پیشنهادی با توجه به نتایج ردیابی سیستم تحت شبکه بررسی خواهد شد. پارامترهای کنترل‌کننده فازی با الگوریتم های بهینه‌سازی مبتنی بر جمعیت از جمله: الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات[۲۴]، الگوریتم ژنتیک[۲۵]، الگوریتم رقابت استعماری[۲۶]، الگوریتم بهینه‌سازی بر پایه جغرافیای زیستی[۲۷]، الگوریتم کلونی مورچه‌ها [۲۸] تنظیم می‌شوند. عملکرد کنترل‌کننده‌های تنظیم‌شده با استفاده از نتایج به‌دست آمده از الگوریتم‌های نام برده‌شده، مقایسه می‌شوند. از نرم‌افزار MATLAB R2014a و کامپیوتر Intel®Xeon®cpu با سرعت پردازنده ۳،۴GHz گیگاهرتز و حافظه ۱۶ GB برای شبیه‌سازی‌ها استفاده شده است.

۳-۱- سیستم مورد مطالعه و کاربرد

در این قسمت شبیه سازی روی یک جفت سیستم جرثقیل سقفی با مشخصه‌های غیرخطی انجام شده است. به هنگام نیاز به جابه‌جایی بار با حجم بالا نیاز است که دو سیستم جرثقیل هم‌زمان باهم کار کنند و هم‌زمانی آن‌ها تحت شبکه انجام می‌شود. به این صورت که یک سیستم جرثقیل پایه (فرستنده-اصلی) و سیستم دیگر پیرو (گیرنده-فرعی) با دینامیک‌های یکسان می‌باشند و هدف کنترل، اولاً تنظیم زاویه انحراف

بار سیستم پیرو برای ردیابی زاویه انحراف بار سیستم پایه است، ثانیاً به یک اندازه روی ریل و به‌طور هم‌زمان باهم جابه‌جا شـوند تا آسـیبی به بار وارد نشود. بنابراین سیستم پیرو براساس موقعیت و زاویه سیستم پایه، زاویه و موقعیت خود را تنظیم می‌کند تا بار به‌درسـتی جابه‌جا گردد. از منطق ارتباطی فازی برای کاهش ترافیک بین دو سـیسـتم تحت شـبکه اسـتفاده می‌شـود که در این مقاله پارامترهای آن توسـط الگوریتم‌های هو شمند تنظیم می شوند تا تابع هزینه (۷) کمینه شود. برای مدل‌سازی سیستم جرثقیل سقفی بدین‌گونه عمل می‌کنند که آن را با یک سیستم معروف کنترلی به نام پاندول- ارابه مقایسه می‌کنند. بدین‌گونه که موتور حرکتی برای جرثقیل سـقفی در نقش همان ارابه متصل به پاندول است و پاندول در نقش همان سیم جرثقیل و بار مورد نظر، ایفای نقش می‌کند. پس به‌راحتی می‌توان سیستم جرثقیل سقفی را به یک سیستم پاندول-ارابه مطابق شکل ۴ تقریب زد[۳۶].



شکل۴: مدل پاندول - ارابه

معادلات فضای حالت سیستم جرثقیل سقفی که برای شبیه‌سازی استفاده شده است، در ادامه آمده است که با تنظیمات پیوسته زمان با $Ts=0.01$ به‌دست می‌آیند.

$$x_1=\theta \qquad x_2=\dot{\theta}=\dot{x}_1 \qquad x_3=x \qquad x_4=\dot{x}=x_3 \tag{۸}$$

$$\frac{d}{dt}x=\frac{d}{dt}\begin{bmatrix}x_1\\x_2\\x_3\\x_4\end{bmatrix}=\frac{d}{dt}\begin{bmatrix}\theta\\\dot{\theta}\\x\\\dot{x}\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}f_1\\f_2\\f_3\\f_4\end{bmatrix} \tag{۹}$$

که در این معادلات $f_1=x_2$, $f_3=x_4$ است که به‌صورت (۱۰) و (۱۱) برقرار می‌باشند.

$$f_2=\frac{ucosx_1-(M+m)gsinx_1+ml(cosx_1sinx_1)x_2^2}{mlcos^2x_1-(M+m)l} \tag{۱۰}$$

$$f_4=\frac{u+ml(sinx_1)x_2^2mgcosx_1sinx_1}{M+m-mcos^2x_1} \tag{۱۱}$$

زاویه پاندول با θ و موقعیت ارابه X نشـان داده می‌شـوند. بنابراین معادلات خروجی به‌صورت (۱۲) است.

$$y=CX \quad or \quad y=\begin{bmatrix}\theta\\x\end{bmatrix}=CX=\begin{bmatrix}1&0&0&0\\0&0&1&0\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\theta\\\dot{\theta}\\x\\\dot{x}\end{bmatrix} \tag{۱۲}$$

۲-۳- کنترل بهینه جرثقیل‌ها با استفاده از کنترل‌کننده LQR برای جلوگیری از ناپایداری

به هنگام حجم بالای بار به‌جای اسـتفاده آر جرثقیل‌های بزرگ‌تر و بلندتر می‌توان دو جرثقیل سـقفی کوچک‌تر را به‌طور هم‌زمان برای جابه‌جایی بار به کار برد تا هم هزینه و هم فضای اشغالی کمتر شود و هم نوسـانات نامطلوب ناشـی از سـاختار بزرگ جرثقیل‌ها که کنترل را دشـوارتر می‌کند کاهش یابد. با این‌حال برای هر جرثقیل سـقفی یک کنترل‌کننده در نظر گرفته می‌شود، تا پایدار باشند و از مشکلات ایمنی ناشی از نوسانات بار جلوگیری شود. با استفاده از کنترل‌کننده LQR سیستم دینامیکی غیرخطی جرثقیل سقفی کنترل می‌شود. در طراحی کنترل‌کننده LQR در m-file متلب تابع LQR برای تعیین مقدار بردار K برای قانون کنترلی فیدبک سـاده $u=-kx$ به کار برده می‌شـود. پارامترهای سیستم پایه و پیرو به این صورت انتخاب می شوند: جرم ارابه (M): ۱کیلوگرم، جرم پاندول (m): ۱ کیلوگرم، طول پاندول (l): ۱ متر که به هنگام خطی‌سـازی برای در نظر گرفتن عدم‌قطعیت در مدل‌سازی به‌صورت زیر در نظر گرفته می‌شوند:

$$M_m=0.9kg \;,\; m_m=0.8\,\text{kg}\,,\; l_m=1.1\,\text{m}\,, M_s=1kg, m_s=0.9kg\;, l_s=1.2m$$

بعد از خطی‌سـازی، ماتریس‌های سـیسـتم که در طراحی LQR استفاده می‌شوند عبارتند از:

$$A_m=\begin{bmatrix}0&0&1&0&0\\0&0&0&1&0\\0&0&0&0&0\\0&-19.6&0&0&0\\1&0&0&0&0\end{bmatrix} \qquad B_m=\begin{bmatrix}0\\0\\1\\1\\0\end{bmatrix}$$

$$A_s=\begin{bmatrix}0&0&1&0&0&0\\0&0&0&1&0&0\\0&0&0&0&0&0\\0&-19.6&0&0&0&0\\1&0&0&0&0&0\\0&1&0&0&0&0\end{bmatrix} \qquad B_s=\begin{bmatrix}0\\0\\1\\1\\0\\0\end{bmatrix}$$

و با انتخاب دو پارامتر:

$$Q_m=\begin{bmatrix}50&0&0&0&0\\0&5&0&0&0\\0&0&1&0&0\\0&0&0&1&0\\0&0&0&0&10\end{bmatrix} \qquad R_m=0.1$$

$$Q_s = \begin{bmatrix} 50 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 5 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 10 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 10 \end{bmatrix} \qquad R_s = 0.1$$

بردار بهره‌های LQR مطابق زیر به‌دست می‌آیند:

$$k_m = [26.5634 \quad 15.6822 \quad 10.2808 \quad -0.0587 \quad 10]$$
$$k_s = [26.5774 \quad 15.8424 \quad 10.3179 \quad -0.0788 \quad 10 \quad 0]$$

سیگنال مرجع نیز ابتدا تابع پله و سپس سینوسی است. سیگنال کنترلی نیز براساس تخمین محلی از متغیرهای حالت سیستم اصلی تخمین زده می‌شود.

۳-۳- پیاده‌سازی تخمین متغیر حالت سیستم پایه با استفاده از فیلتر کالمن توسعه‌یافته و نتایج

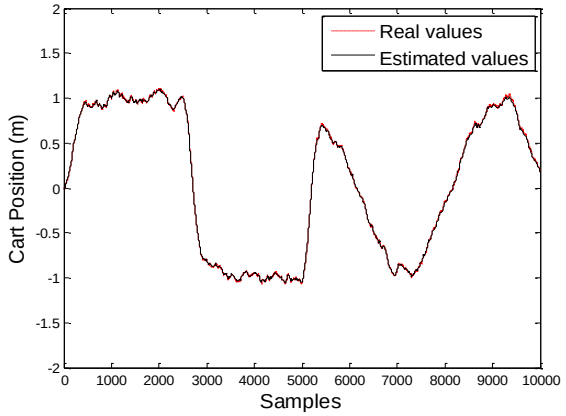
در طرح تخمین، متغیرهای حالت با استفاده از روش فیلتر کالمن توسعه‌یافته تخمین زده می‌شوند. الگوریتمی که در این قسمت استفاده می‌شود، مطابق الگوریتم جدول ۱ است.

در این قسمت الگوریتم جدول ۱ پیاده‌سازی می‌شود و نتایج تخمین با نتایج سیستم واقعی مقایسه می شوند. در روش پیشنهادی خطای مقدار تخمین زده شده به‌عنوان ورودی به سیستم فازی داده می‌شود و منطق فازی تصمیم می‌گیرد که داده‌ها را روی شبکه ارسال کند یا با توجه به تخمین مناسب در گره کنترل‌کننده نیازی به ارسال داده‌ها وجود ندارد. سپس فیلتر کالمن خود را به‌روزرسانی می‌کند به این صورت که اگر داده‌ها ارسال شود از مقدار جدید $k+1$ ارسالی و در غیر این صورت از مقدار قبلی ارسال‌شده برای به‌روزرسانی استفاده می‌کند. پارامترهای منطق فازی نیز با استفاده از الگوریتم‌های هوشمند تنظیم می‌شوند. نتایج تخمین متغیرهای حالت که دو کپی یکی در سیستم پایه و دیگری در سیستم پیرو می‌باشند، با الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات که بهترین نتیجه را از لحاظ کمینه‌کردن تابع هدف و خطای ردیابی دارد، مطابق شکل‌های ۵ تا ۸ است.

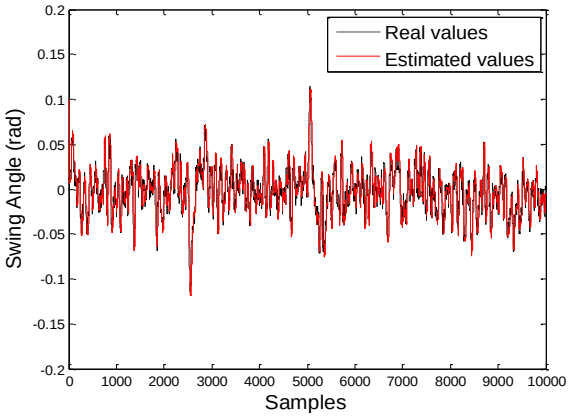
همچنین به معادلات متغیرهای حالت نیز باید نویزی که نشان‌دهنده خطای مدل‌سازی یا حسگر است افزود. در این قسمت برای تولید نویز از دستور mvnrnd استفاده شده است. میانگین نویزهای تولید شده برابر ۰ و ماتریس کواریانس نویز برای هر دو سیستم پایه و پیرو به‌ترتیب برابر $R = 0.1 . \begin{pmatrix} 1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & 1 \end{pmatrix}_{4\times4}$ و $Q = 0.1 \begin{pmatrix} 1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & 1 \end{pmatrix}_{4\times4}$ در نظر گرفته می‌شوند.

برای تخمین متغیر حالت، مقادیر اولیه متغیرهای حالت در الگوریتم فیلتر کالمن مطابق زیر در نظر گرفته می‌شود:

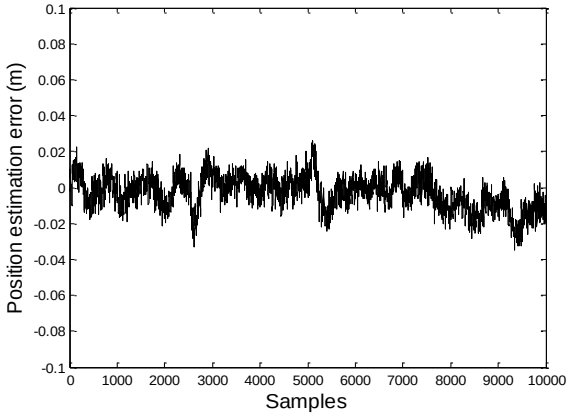
$$x_m(0) = 0 \quad \varphi_m(0) = 0.1 \quad x_s(0) = 0 \quad \varphi_s(0) = 0.02$$



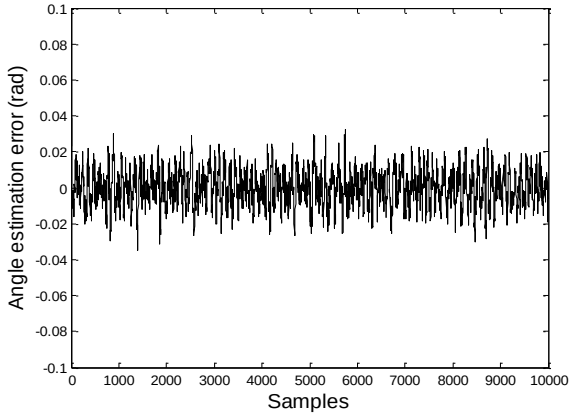
شکل۵: مقدار واقعی و تخمین‌زده شده موقعیت xارابه



شکل۶: مقدار واقعی و تخمین‌زده شده زاویه پاندول



شکل۷: خطای تخمین موقعیت x برای جرثقیل پایه



شکل ۸: خطای تخمین زاویه پاندول برای جرثقیل پایه

همچنین ماتریس کواریانس اولیه خطا برای هر دو سیستم پایه و پیرو برابر یک ماتریس همانی 4×4 در نظر گرفته می‌شود. در این شبیه سازی زمان نمونه‌برداری یا Δt برابر 10^{-2} در نظر گرفته شده است.

۴-۳- ساختار منطق ارتباطی بهینه پیشنهادی مبتنی بر منطق فازی و SLFN

همان‌طور که گفته شد، مقادیر خطا به‌عنوان ورودی به سیستم فازی براساس ساختار SLFN داده می شوند و سیستم فازی احتمال ارسال داده را زمانی که خطای تخمین‌گر و مقدار واقعی سیستم کم باشد کاهش می‌دهد. سیستم فازی با ۴ ورودی و ۵ تابع عضویت (MF) برای هر ورودی در نظر گرفته شده است. هرتابع عضویت ۲ پارامتر دارد که باید آموزش داده شوند. این پارامترها عبارتند از: مراکز دسته(m)، انحراف معیار(σ) و همچنین ماتریس وزن (θ) خروجی نیز باید تنظیم گردند که تنظیم این پارامترها با الگوریتم‌های هوشمند از جمله: الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات[۲۴]، الگوریتم ژنتیک[۲۵]، الگوریتم رقابت استعماری[۲۶]، الگوریتم بهینه‌سازی بر پایه جغرافیای زیستی[۲۷]، الگوریتم کلونی مورچه‌ها [۲۸] انجام می‌شوند. پارامترهای الگوریتم‌ها در قسمت تعیین پارامترهای الگوریتم‌ها آورده شده‌اند.

چنین سیستمی ۵ قانون دارد. توابع عضویت به‌صورت گوسین در نظر گرفته شده‌اند. توابع عضویت در سیستم ارائه‌شده به شکل گوسین زیر است:

$$f_{i,j}=\exp\left(\frac{-\left(x_j-m_{i,j}\right)^2}{\sigma^2_{i,j}}\right)\quad i=1,\ldots,n;\ j=1,\ldots,m \qquad (۱۳)$$

که x_j مقادیر خطای مقدار تخمین‌زده شده و مقدار واقعی سیستم است. m_{ij} مراکز توابع عضویت گوسین فازی و σ_{ij} مقادیر انحراف از معیار برای توابع عضویت است

۵-۳- تعیین پارامترهای الگوریتم‌ها

در این شبیه سازی‌ها برای مقایسه مطلوب الگوریتم‌ها، اندازه جمعیت اولیه ۳۰ و ماکزیمم تعداد تکرار آن‌ها برابر ۵۰ در نظر گرفته شده است. پارامترهای الگوریتم‌ها در جدول ۲ آورده شده‌اند.

۶-۳- تحلیل نتایج و مقایسه کارآیی الگوریتم‌های مختلف

در این بخش، نتایج الگوریتم‌های هوشمند برای تنظیم پارامترهای منطق فازی جهت کمینه‌کردن تابع هزینه (۷) با در نظرگرفتن وزن 10^{-4} برای نرخ ارتباطی (به‌دلیل اینکه عملکرد ردیابی سیستم با خطای پایین نسبت به کاهش بار ارتباطی شبکه برای ما اهمیت بیشتری دارد) ارزیابی می‌گردند. تعداد متغیرهای تصمیم در این الگوریتم‌ها ۴۵ است که ۲۰ تا مراکز دسته، ۲۰ تا انحراف معیار و ۵ تا ضرایب وزن می‌باشند که فضای جستجوی متناظر بین ۰ و ۱- انتخاب می‌شوند.

نتایج شبیه‌سازی‌ها شامل تابع هدف، خطای ردیابی و درصد کاهش بار ارتباطی الگوریتم‌های بهینه‌سازی مختلف در جدول‌های ۳ تا ۵ آورده شده‌اند.

هنگامی که همه داده‌ها ارسال شود و منطق فازی وجود نداشته باشد که در این حالت کمترین خطای ممکن ایجاد می‌شود که برابر ۶۲۵/۶۳۶۶ است.

جدول۲: پارامترهای الگوریتم‌ها

الگوریتم	پارامتر الگوریتم	مقدار پارامتر
الگوریتم رقابت استعماری	ضریب تشدید	۲
	تعداد امپریالیست	۳۰
	ضریب انتخاب	۱
	هزینه میانگین استعمارات	۰/۲
	نرخ انقلاب	۰/۵
	احتمال انقلاب	۰/۱
	تعداد مستعمرات هر امپریالیست	۲۰
الگوریتم بهینه‌سازی بر پایه جغرافیای زیستی	نرخ مهاجرت به داخل	linspace(1,0, 30)
	نرخ مهاجرت به خارج	1- linspace(1,0, 30)
	نرخ جهش	۰/۱
	احتمال تغییر زیستگاه	۰/۸
الگوریتم ژنتیک	درصد جهش	۰/۲
	درصد آمیزش	۰/۸
	روش انتخاب	چرخ رولت
	نرخ جهش	۰/۴
الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات	وزن لختی	۱/۲
	ضرایب شتاب	۱/۵
	ρ_1, ρ_2	rand∈[0,1]
الگوریتم کلونی مورچه‌ها	ضریب تشدید	۰/۵
	نرخ انحراف فاصله	۱
	اندازه نمونه جدید ایجاد شده در هر تکرار	۵۰

جدول۳: نتایج تابع هدف بعد از ۵۰ تکرار

الگوریتم	مقدار تابع هدف
الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات	۶۲۷/۳۸۸۸
الگوریتم ژنتیک	۶۲۸/۸۲۱۵
الگوریتم رقابت استعماری	۶۲۸/۸۰۴۲
الگوریتم بهینه‌سازی بر پایه جغرافیای زیستی	۶۲۸/۸۲۲۷
الگوریتم بهینه‌سازی کلونی مورچه‌ها	۶۲۷/۷۴۸۰

جدول۴: درصد کاهش ترافیک شبکه

الگوریتم	درصد کاهش ترافیک
الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات	۱۲/۵۱
الگوریتم ژنتیک	۲۹/۶۴
الگوریتم رقابت استعماری	۲۸/۶۰
الگوریتم بهینه‌سازی بر پایه جغرافیای زیستی	۲۹/۵۲
الگوریتم بهینه‌سازی کلونی مورچه‌ها	۱۶/۹۲

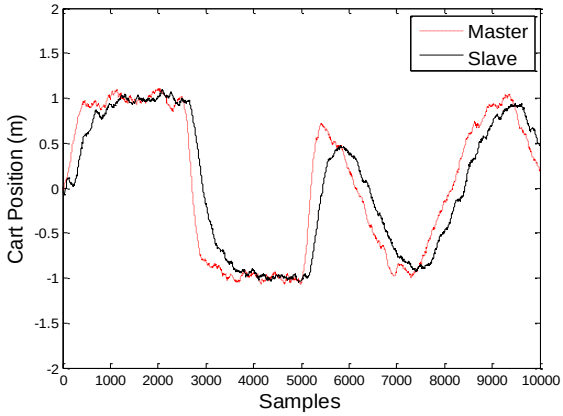
جدول۵: خطا و درصد خطای ردیابی

الگوریتم	خطای ردیابی	**درصد خطای ردیابی**
الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات	۶۲۶/۵۱۳۹	۰/۱۴
الگوریتم ژنتیک	۶۲۸/۱۱۷۹	۰/۳۹۶
الگوریتم رقابت استعماری	۶۲۸/۰۹۰۲	۰/۳۹۲
الگوریتم بهینه‌سازی بر پایه جغرافیای زیستی	۶۲۸/۱۱۷۹	۰/۳۹۶
الگوریتم بهینه‌سازی کلونی مورچه‌ها	۶۲۶/۹۱۷۲	۰/۲۰۴

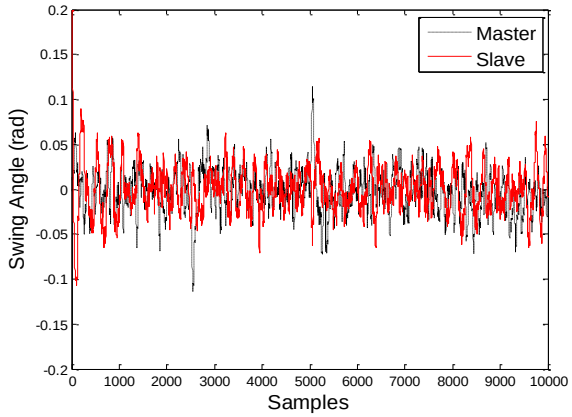
با توجه به جدول‌های ۳ تا ۵ منطق فازی پیشنهادی تنظیم شده با الگوریتم های هوشمند بار ارتباطی را کاهش می‌دهد در حالی که عملکرد ردیابی کاهش نمی‌یابد. به‌طوری‌که با درصد خطای کمتر از یک درصد نسبت به حالتی که همه داده‌ها ارسال می‌گردند، حدود ۱۰ الی ۳۰ درصد کمتر از ظرفیت شبکه استفاده شده است.

همچنین الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات خطای ردیابی را نسبت به الگوریتم‌های دیگر کاهش بیشتری داده است. و الگوریتم ژنتیک ترافیک شبکه را نسبت به الگوریتم‌های دیگر کاهش بیشتری داده است.

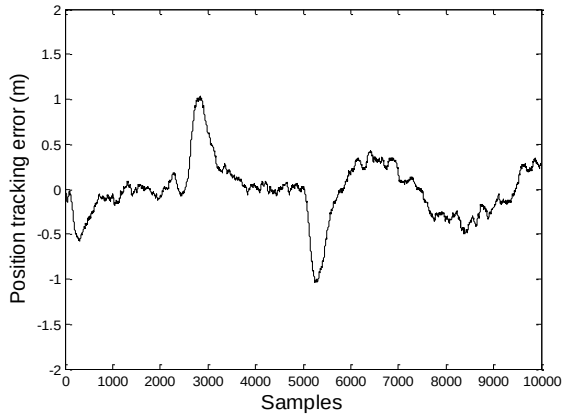
شکل‌های ۹ تا ۱۲ ردیابی موقعیت ارابه و زاویه پاندول را برای الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات که بهترین نتایج را از نقطه‌نظر کمینه‌کردن تابع هدف و خطای ردیابی دارد.



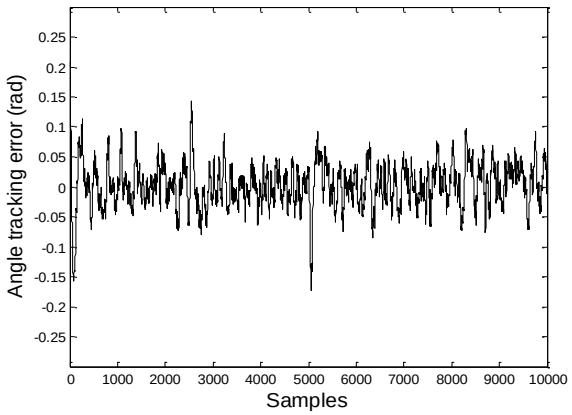
شکل۹: ردیابی موقعیت ارابه تحت الگوریتم PSO با کمترین خطا



شکل ۱۰: ردیابی زاویه پاندول تحت الگوریتم PSO با کمترین خطا

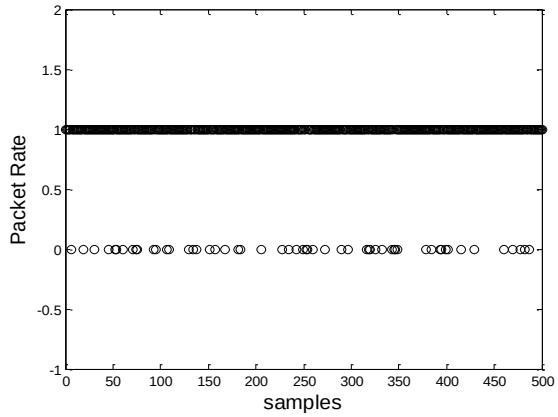


شکل ۱۱: خطای ردیابی موقعیت ارابه تحت الگوریتم PSO با کمترین خطا

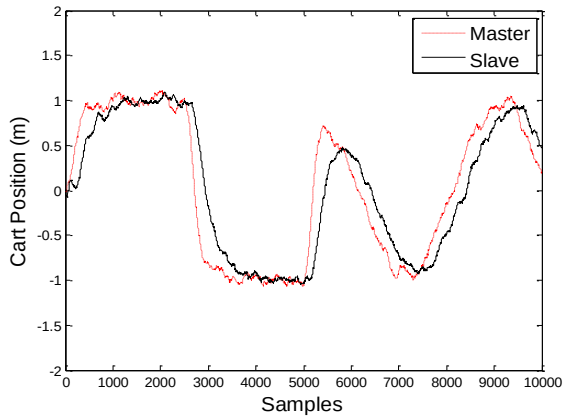


شکل۱۲: خطای ردیابی زاویه پاندول تحت الگوریتم PSO با کمترین خطا

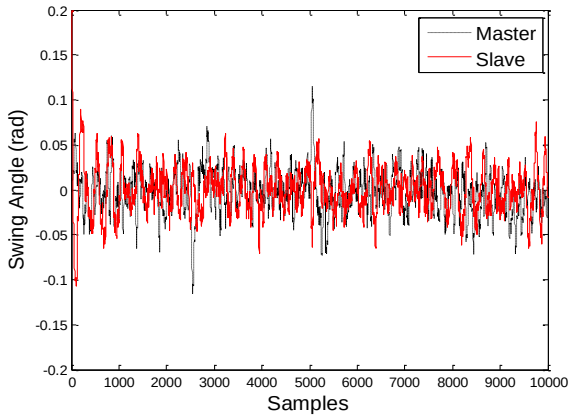
زمان‌های ار سال یا عدم ار سال بسته‌های اطلاعاتی تحت الگوریتم PSO و GA نیز به‌ترتیب در شکل ۱۳ و شکل ۱۹ نشان داده شده است. شکل‌های ۱۴ تا ۱۷ نیز ردیابی موقعیت ارابه و زاویه پاندول را برای الگوریتم ژنتیک که بیشترین کاهش ترافیک شبکه را دارا است، نشان می‌دهند. با توجه به شکل‌ها واضح است که ردیابی به‌خوبی انجام می‌شود.



شکل۱۳: زمان‌های ارسال یا عدم ارسال بسته‌های اطلاعاتی PSO با کمترین خطا

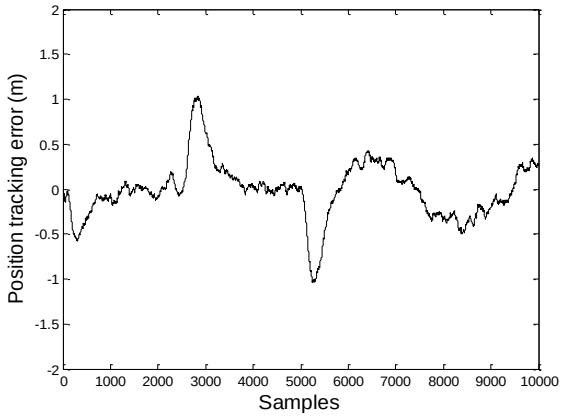


شکل۱۴: ردیابی موقعیت ارابه تحت GA با بیشترین کاهش ترافیک شبکه

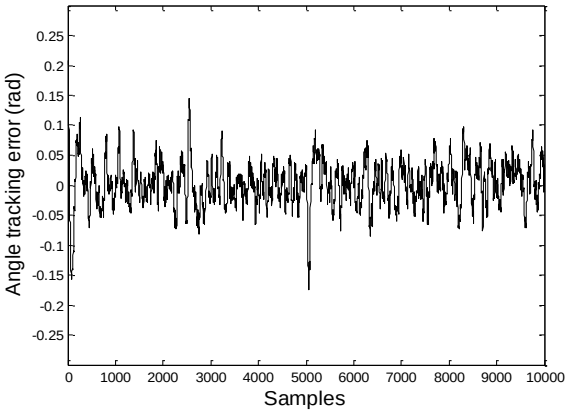


شکل۱۵:ردیابی زاویه پاندول تحت GA با بیشترین کاهش ترافیک شبکه

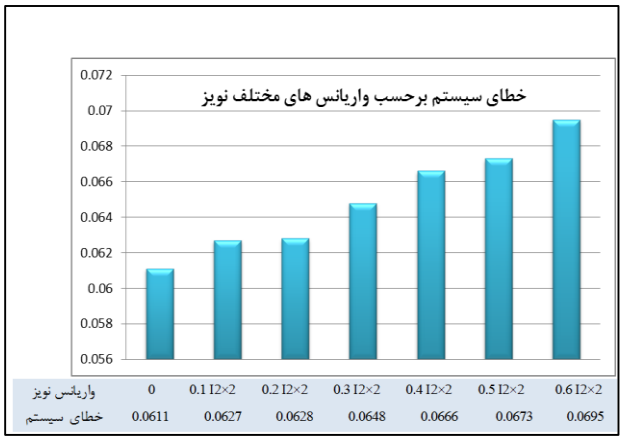
همچنین شکل ۱۸ میزان خطای ایجادشده برحسب واریانس‌های مختلف نویز (R) را نشان می‌دهد.



شکل۱۶: خطای ردیابی موقعیت ارابه تحت GA با بیشترین کاهش ترافیک شبکه

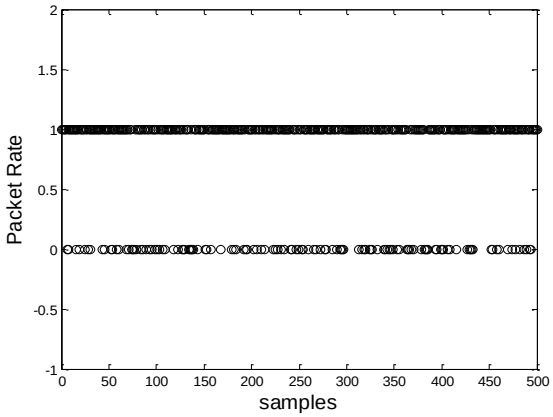


شکل۱۷: خطای ردیابی زاویه پاندول تحت GA با بیشترین کاهش ترافیک شبکه



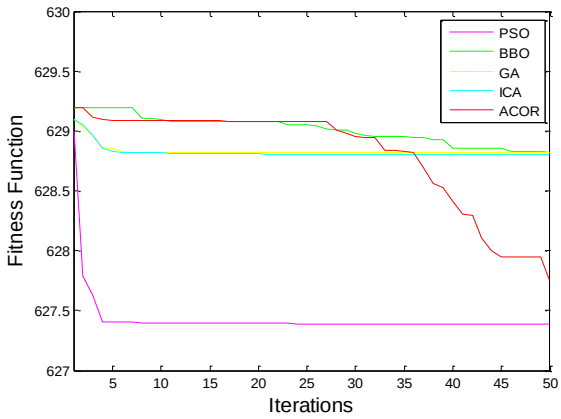
شکل ۱۸: خطای سیستم تحت PSO برای واریانس‌های مختلف نویز

مشاهده می‌شود هرچه واریانس نویز بیشتر می‌شود خطای سیستم نیز افزایش می‌یابد.



شکل۱۹: زمان‌های ارسال یا عدم ارسال بسته‌های اطلاعاتی GA با بیشترین کاهش ترافیک شبکه

شکل ۲۰ روند همگرایی تابع هدف مربوط به هریک از الگوریتم‌های به‌کار رفته، را نشان می‌دهد.



شکل۲۰: روند همگرایی توابع هدف

مشـــاهده می‌گردد پارامترهای کنترل‌کننده پیشـــنهادی به‌خوبی توسط الگوریتم‌های هوشمند تنظیم شده‌اند و به حالتی که تمام داده‌ها ارســـال گردند که ســـیســـتم بهترین عملکرد ردیابی را خواهد داشـــت نزدیک شده‌اند. این مهم در حالی اتفاق افتاده است که از ظرفیت مورد نیاز شبکه به میزان کمتری استفاده شده است.

۴- نتیجه‌گیری

این مقاله کاهش اثرات نامطلوب شبکه با استفاده از کاهش بار ارتباطی موردنیاز شـــبکه را نشـــان می‌دهد. یک چهارچوب تخمین برای سیستم‌های کنترل شبکه مطرح شد که در آن تخمین‌های فیلتر کالمن محلی در زمان‌هایی که توسط برنامه‌ریز ارتباطی فازی مشخص می‌شود به تخمین‌گر از راه دور ارســـال می‌گردد. اگر خطای تخمین کم باشـــد نیازی به ارســـال داده نیســـت و احتمال ارســـال داده با منطق ارتباطی فازی پیشنهادی کاهش می‌یابد. در این مقاله پارامترهای منطق فازی با استفاده از الگوریتم‌های هوشمند از جمله: الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات، الگوریتم ژنتیک، الگوریتم رقابت استعماری، الگوریتم بهینه‌سازی بر پایه جغرافیای زیســـتی، الگوریتم کلونی مورچه‌ها تنظیم شـــدند تا مصـــالحه‌ای بین عملکرد ســـیســـتم و ترافیک شـــبکه ایجاد گردد. روش به‌دســـت آمده بر روی دو ســـیســـتم جرثقیل ســـقفی شـــبکه‌شـــده با مشخصه‌های غیرخطی پیاده‌سازی شد. از آن‌جا که دو جرثقیل سقفی نیاز دارند تا به‌طور همزمان کار کنند و همزمان‌سازی آن‌ها تحت شبکه انجام می شود که با روش پیشنهادی این مشکل با کارآیی بالایی حل می‌گردد. نتایج نشـان می‌دهند که با کنترل‌کننده تنظیم شـده ترافیک شبکه کاهش می‌یابد درحالی‌که عملکرد ردیابی سیستم به‌خوبی انجام می‌گردد و قادر اســـت تا ســـیســـتم‌های غیرخطی را با عملکرد مناســـبی کنترل نماید. با کنترل‌کننده تنظیم‌شـــده نســـبت به حالتی که همه داده‌ها ارسال می‌گردند عملکرد ردیابی سیستم با خطایی کمتر از یک در صد انجام می‌گیرد، درحالی‌که ترافیک شبکه نیز ۲۰ الی ۳۰ در صد کاهش می‌یابد.

مراجع

[1] M. A. Khanesar, O. Kaynak, S. Yin and H. Gao, “Adaptive indirect fuzzy sliding mode controller for networked control systems subject to time-varying network-induced time delay,” IEEE Transactions on Fuzzy Systems, vol. 23, no.1,pp. 205-214, 2015.

[2] J. P. Hespanha, P. Naghshtabrizi and Y. Xu, “A survey of recent results in networked control system,” Proceedings-IEEE, vol. 95, no.1, pp.138, 2007.

[3] Y. Ke-You and X. Li-Hua, “Survey of recent progress in networked control systems,” Acta Automatica Sinica, vol. 39, no.2, pp. 101-117, 2013.

[4] Y. Ge, L. Tian and Z. Liu,"Survey on the stability of networked control systems," Journal of Control Theory and Applications vol. 5, no. 4, pp. 374-379, 2007.

[5] K. You, N. Xiao and L. Xie, “Overview of Networked Control Systems,” In Analysis and Design of Networked Control Systems, Springer London, pp. 1-7, 2015.

[6] R. A. Gupta and M. Y. Chow, “Networked control system: overview and research trends,” IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 57, no. 7, pp. 2527-2535, 2010.

[7] C. Meng, T. Wang, W. Chou, S. Luan, Y. Zhang and Z. Tian, “Remote surgery case: robot-assisted teleneurosurgery,” In IEEE Int. Conf. on Robot. and Auto. (ICRA'04), vol. 1, pp. 819-823, Apr. 2004.

[8] P. Seiler and R. Sengupta,” Analysis of communication losses in vehicle control problems,” In Proc. of the 2001 Amer. Contr. Conf., vol. 2, pp. 1491-1496, June 2001.

[9] P. Seiler and R. Sengupta,” An H_∞ approach to networked control,” IEEE Trans. on Automat. Contr., vol. 50, no. 3, pp. 356-364, Mar.2005.

[10] محسن بحرینی، طاهره بینازاده، ملیحه مغفوری فرسنگی و جعفر زارعی، «پایدارسازی تصادفی زمان-محدود توسط فیدبک خروجی برای سیستم کنترل تحت شبکه با رویکرد سیستم‌های پرش مارکوف»، مجله مهندسی برق دانشگاه تبریز، دوره ۴۶، شماره ۲، صفحه ۲۵-۳۵، تابستان ۱۳۹۵.

[11] J. P. Hespanha and A. R. Mesquita, “Networked control systems: estimation and control over lossy

networks," Encyclopedia of Systems and Control, pp. 842-849, 2015.

[12] J. P. Hespanha, A. Ortega and L. Vasudevan, "Towards the control of linear systems with minimum bit-rate," In *Proc. of the int. symp. on the mathematical theory of networks and syst*, p. 1. 2002.

[13] G. N. Nair and R. J. Evans, "Exponential stabilisability of finitedimensional linear systems with limited data rates," Automatica ،vol. 39, no. 4, pp. 585–593, Apr. 2003.

[14] S. Tatikonda and S. Mitter, "Control under communication constraints," IEEE Trans. on Automat. Contr., vol. 49, no. 7, pp. 1056–1068, July 2004.

[15] J. H. Braslavsky, R. H. Middleton and J. S. Freudenberg. "Feedback stabilization over signal-to-noise ratio constrained channels," IEEE Transactions on Automatic Control, vol. 52, no. 8, pp. 1391-1403, 2007.

[16] W. S. Wong and R. W. Brockett, "Systems with finite communication bandwidth constraints– II: Stabilization with limited information feedback," IEEE Trans. on Automat. Contr., vol. 44, no. 5, May 1999.

[17] G. N. Nair, R. J. Evans, I. M. Y. Mareels and W. Moran. "Topological feedback entropy and nonlinear stabilization," IEEE Trans. on Automat. Contr., vol. 49, no. 9, pp. 1585-1597, Sept. 2004.

[18] D. Liberzon and J. P. Hespanha. "Stabilization of nonlinear systems with limited information feedback,". IEEE Trans. On Automat. Contr., vol. 50, no. 6, pp. 910-915, June 2005.

[19] J. K. Yook, D. M. Tilbury and N. R. Soparkar, "Trading computation for bandwidth: Reducing communication in distributed control systems using state estimators," IEEE Trans. Contr. Syst. Technol, vol. 10, no. 4, pp. 503–518, July 2002.

[20] Y. Xu and J. P. Hespanha. "Communication logics for networked control systems," In Decision and Control, 2004. CDC. 43rd IEEE Conference on, vol. 4, pp. 3527-3532. IEEE, 2004

[21] Y. Xu and J. P. Hespanha" Optimal communication logics for networked control systems," In *Decision and Control, 2004. CDC. 43rd IEEE Conference on*, vol. 4, pp. 3527-3532. IEEE, 2004.

[22] Y. Xu and J. P. Hespanha. "Estimation under uncontrolled and controlled communications in networked control systems," In Decision and Control, 2005 and 2005 European Control Conference. CDC-ECC'05. 44th IEEE Conference on, pp. 842-847. IEEE, 2005.

[23] D. Han, Y. Mo, J. Wu, S. Weerakkody, B. Sinopoli and L. Shi, "Stochastic event-triggered sensor schedule for remote state estimation,". IEEE Transactions on Automatic Control, vol. 60, no.10, pp. 2661-2675, 2015.

[24] سعید اباذری و امید مرادی، «بهبود میرایی نوسانات سیستم قدرت با به‌کارگیری UPFC و تنظیم پارامترهای کنترل‌کننده بر اساس یک الگوریتم جدید PSO»، دوره ۴۶، شماره ۱، صفحه ۱-۱۱، بهار ۱۳۹۵.

[25] J. Kennedy "Particle swarm optimization," In Encyclopedia of machine learning, pp. 760-766, Springer US, 2011.

[26] J.J. Grefenstette, "Optimization of control parameters for genetic algorithms," IEEE Trans. Syst. Man Cybern. Vol. 16, no. 1, pp. 122–128, 1986.

[27] E. Atashpaz-Gargari and C. Lucas, "Imperialist competitive algorithm: an algorithm for optimization inspired by imperialistic competition," In Evolutionary computation, 2007. CEC 2007. IEEE Congress on, pp. 4661–4667, 25–28 September, 2007.

[28] D. Simon, "Biogeography-based optimization," IEEE transactions on evolutionary computation, vol. 12, no. 6, pp. 702–713, 2008.

[29] K. Socha and M. Dorigo, "Ant colony optimization for continuous domains," European journal of operational research, vol. 185, no. 3, pp. 1155-1173, 2008.

[30] L. A. Montestruque and P. J. Antsaklis, "State and output feedback control in model-based networked control systems," In Decision and Control, Proceedings of the 41st IEEE Conference on, Vol. 2, pp. 1620-1625, 2002.

[31] L. A. Montestruque and P. J. Antsaklis, "Model-based networked control systems: stability," ISIS Technical Report ISIS-2002-001. University of Notre Dame, www. nd. edu/~ isis, 2002.

[32] M.A. Ahmadi, M. Ebadi, A. Shokrollahi and S.M.J. Majidi, "Evolving artificial neu-ral network and imperialist competitive algorithm for prediction oil flow rate," Appl. Soft Comput. Vol. 13, no. 2, pp. 1085–1098, 2013.

[33] B. Subudhi and D. Jena," Nonlinear system identification using memetic differential evolution trained neural networks," Neurocomputing, vol. 74, no. 10, pp. 1696-1709, 2011.

[34] T. Matias, F. Souza, R. Araújo and C. H Antunes, "Learning of a single-hidden layer feedforward neural network using an optimized extreme learning machine," Neurocomputing, vol. 129, pp. 428-436, 2014.

[35] M. C. VanDyke, J. L. Schwartz and C. D. Hall, "Unscented Kalman filtering for spacecraft attitude state and parameter estimation," Advances in the Astronautical Sciences, vol. 118, no. 1, pp. 217-228, 2008.

[36] A. Kaur, Priyahansha, S. Kumari and T. Singh, "Position Control of Overhead Cranes Using fuzzy Controller," International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering, vol. 3, no.5, pp. 9341-9350, 2014.

زیرنویس‌ها

[1] Networked Control System
[2] Quality of Service
[3] Medium Access Control
[4] Minimum Mean Squared Error
[5] Linear-quadratic regulator
[6] Single-hidden layer feedforward neural networks
[7] Extended Kalman Filter