مجله مهندسی مکانیک مدرس، مرداد 1395، دوره 16، شماره 5، ص‌ص 178-186

ماهنامه علمی پژوهشی

مهندسی مکانیک مدرس

mme.modares.ac.ir

تعیین بهینه زمان‌های سوئیچینگ کنترلر بنگ- بنگ برای سیستم نامعین جرثقیل سقفی

سیدعلی معافی[1]، مجتبی معصوم‌نژاد[2*]

1- دانشجوی دکتری، مهندسی مکانیک، موسسه آموزش عالی احرار، رشت
2- استادیار، مهندسی مکانیک، دانشکده فنی چمران دانشگاه فنی و حرفه‌ای، رشت
*رشت، صندوق پستی 3756، masoumnezhad@tvu.ac.ir

اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی کامل
دریافت: 26 آبان 1394
پذیرش: 06 فروردین 1395
ارائه در سایت: 29 اردیبهشت 1395

کلید واژگان:
جرثقیل سقفی
نویز
فیلتر کالمن
الگوریتم ژنتیک
کنترلر بنگ- بنگ

چکیده

امروزه جرثقیل سقفی به‌صورت گسترده در صنایعی چون خودروسازی، بنادر و کشتیرانی و نیز جابه‌جایی و حمل بار در انبارها به‌کار گرفته می‌شود. اغلب مدل‌سازی‌هایی که از سیستم‌های دینامیکی صنعتی صورت می‌گیرد دارای پارامترهای مخدوش با نویز یا اغتشاش است که مدل جرثقیل سقفی نیز از این امر مستثنی نیست. اغتشاش در سیستم می‌تواند ناشی از مدل آن و یا وسایل اندازه‌گیری باشد. فیلتر کالمن از روش‌های کارآمد شناسایی مدل و پالایش داده‌های مخدوش است. با توجه به غیرخطی‌بودن مدل دینامیکی جرثقیل سقفی، فیلتر کالمن نامتقارن بهبودیافته با الگوریتم ژنتیک برای تخمین پارامترهای سیستم درنظر گرفته شده است. استفاده از نیروی کنترلی بنگ- بنگ از روش‌های معمول در کنترل پارامترهای جرثقیل سقفی است. با این حال شیوه عملکرد کنترلر بنگ- بنگ وابستگی بسیاری به زمان‌های سوئیچ‌شدن نیروی کنترلی دارد. در این مقاله ضمن استفاده از این کنترلر، زمان‌های سوئیچینگ آن با استفاده از الگوریتم ژنتیک برای سیستم مخدوش با نویز تعیین شده است. هدف طراحی دستیابی به نقطه هدف در کمینه زمانی با کمترین میزان خطاست، همچنین با درنظر گرفتن ورودی کنترلر بنگ- بنگ به مقایسه شرایط سیستم در نسبت‌های جرمی مختلف پرداخته شده است. نتایج شبیه‌سازی بیانگر عملکرد بهینه الگوریتم کالمن بهبود یافته نامتقارن در تعیین زمان سویئچینگ نقطه هدف در کمینه زمانی است.

Optimal Switching Times of Bang-Bang Controller for Uncertain Overhead Crane System

Seyed Ali Moafi[1], Mojtaba Masoumnezhad[2*]

1- Mechanical Engineering Department, Ahrar Institute of Technology and Higher Education, Rasht, Iran.
2- Mechanical Engineering Department, Chamran Faculty of Technical and Vocational University, Rasht, Iran.
*P. O. B. 3756 Rasht, masoumnezhad@tvu.ac.ir

ARTICLE INFORMATION

Original Research Paper
Received 17 November 2015
Accepted 25 March 2016
Available Online 18 May 2016

Keywords:
Overhead Crane
Noise
Filter Kalman
Genetic Algorithm
Bang-Bang Controller

ABSTRACT

These days overhead crane is widely used in different industries such as automobile, harbor, navigation and also transportation of tools in storerooms. Most models which are done through industrial dynamic systems include some vitiated parameters with noise and disturbance and overhead crane model is no exception. Disturbance in system can be due to its model or measuring tool. Kalman filter is a practical method in order to recognize the model and also filtration of disordered data. Given that overhead crane is a nonlinear model, asymmetric sigma-point Kalman filter improved by genetic algorithm (GA-ASKF) is intended to estimate system parameters. One of the common ways to controlling overhead crane parameters is using controlling force, Bang-Bang. By the way, function of Bang-Bang controller depends on controlling force switched times. In this paper, besides using this controller, its switched times are found by using genetic algorithm for noisy system. The design aim is to achieve the target point in minimum time with minimum error. Also, by considering Bang-Bang controller entrance part, the article compares the situation of the system in different mass relativeness. Simulation results shows improved performance of the GA-ASKF algorithm to determine the switching time of controller and also achieve the target point in minimum time.

1- مقدمه

کنترل سیستم‌های دینامیکی پرکاربرد در صنعت از دیرباز مورد توجه بسیاری از مهندسین بوده است. با توجه به استفاده گسترده از جرثقیل سقفی در صنایع، شرایط مختلف کاری آن تاکنون توسط محققان مورد بررسی قرار گرفته است [1]. در شرایطی که جرثقیل سقفی دارای مدل دینامیکی غیرخطی و متغیر با زمان است، روش‌های مختلف کنترلی جهت بهبود عملکرد آن توسط پژوهشگران پیاده‌سازی شده است [3,2]. در این میان یکی از نیروهای کنترلی پرکاربرد بر روی سیستم جرثقیل سقفی، کنترلر بنگ- بنگ[1] است که در آن زمان های سوئیچ شدن نیرو، پارامتر تعیین کننده و تأثیرگذاری می باشد. در مراجع [5,4] به طراحی زمان مناسب سوئیچینگ جهت عملکرد مطلوب موقعیت و سرعت گاری و پاندول پرداخته شده است.

[1] Bang-Bang

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

Please cite this article using:
S. A. Moafi, M. Masoumnezhad, Optimal Switching Times of Bang-Bang Controller for Uncertain Overhead Crane System, *Modares Mechanical Engineering*, Vol. 16, No. 5, pp. 178-186, 2016 (in Persian)

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1395.16.5.37.8]

نتیجه انتخاب بهترین زمان‌های سویئچ‌شدن نیرو در کنترلر بنگ- بنگ، دستیابی به عملکرد بهینه و مطلوب سیستم است. به گونه‌ای که در [7-6] بهینه‌سازی انتخاب زمان‌های سوئیچینگ به کمک الگوریتم ژنتیک مد نظر قرار گرفته شده است.

در چند دهه گذشته توجه بسیاری از مهندسین کنترل به حل تقریبی مسائل معطوف شده است تا بتوانند از داده‌های اندازه‌گیری‌شده دارای نویز، مقدار واقعی متغیر حالت را تخمین زنند و از معروف‌ترین روش‌های حل تقریبی فیلتر کالمن است که به‌عنوان ابزاری کارآمد در تخمین متغیرهای حالت سیستم‌های دینامیکی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این میان استفاده از تکنیک نقاط سیگما[1] برای سیستم‌هایی با مدل دینامیکی غیرخطی بسیار کارآمد بوده است [8]. گونه‌های توسعه‌یافته فیلتر کالمن جهت بهبود عملکرد آن ارائه شده است [10,9]. در این گونه‌ها مقاوم‌ترکردن الگوریتم نسبت به اغتشاشات و عملکرد بهینه در کمینه‌سازی خطای تخمین منجربه نتایج مطلوب شده است. در [12,11] از فیلتر کالمن توسعه‌یافته برای تخمین متغیرهای حالت سیستم‌های مکانیکی غیرخطی استفاده شده و علاوه‌بر آن استفاده از روش‌های انطباقی نیز سبب بهبود عملکرد فیلتر کالمن شده است [13]. معصوم‌نژاد و همکارانش برای نخستین بار فیلتر کالمن نامتقارن بهبودیافته با الگوریتم ژنتیک (GA-ASKF) را ارائه کردند [14]. در این فیلتر از الگوریتم ژنتیک برای انتخاب بهینه ترکیب نامتقارن نقاط سیگما استفاده شده، به گونه‌ای که به‌کارگیری این تکنیک سبب کمینه‌شدن میانگین مجذور خطای تخمین شده است. در مرجع [15] متغیرهای حالت سیستم جرثقیل سقفی تحت نیروی کنترلی بنگ- بنگ با روش فیلتر کالمن آنسنتد[2] (UKF) تخمین زده شده است. با این حال نویسندگان آن برای تعیین زمان‌های سوئیچینگ کنترلر از نتایج مرجع [16] کمک گرفته‌اند. بهترین انتخاب زمان‌های سوئیچ‌شدن نیروی کنترلی بنگ- بنگ، به کمک روش بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک، برای سیستم آغشته به نویز جرثقیل سقفی هدف مقاله کنونی است. سیستم دینامیکی جرثقیل سقفی به‌صورت دو حالت طول کابل ثابت و طول کابل متغیر درنظر گرفته شده و مدل‌سازی برای هر یک از این دو حالت انجام شده است. به دلیل عملکرد بهبود یافته آن از فیلتر GA-ASKF برای تخمین پارامترهای سیستم نامعین جرثقیل سقفی استفاده شده است. کنترلر بنگ- بنگ برای دستیابی به بهترین رفتار متغیرهای حالت سیستم به‌کار گرفته شده است. از این‌رو زمان‌های سوئیچینگ نیروی کنترلی، به‌عنوان متغیر طراحی در بهینه‌سازی رفتار مناسب مشخصه‌های سیستم دینامیکی جرثقیل سقفی درنظر گرفته شده‌اند و نقش مهم آن‌ها در خلال نتایج تحلیل بررسی شده است. لازم است سیستم با کمترین نوسان، بیشترین دقت و سریع‌ترین زمان به نقطه هدف برسد که تمامی این عوامل به واسطه کمینه‌سازی تابع ارزش طراحی، در تعیین عملکرد کنترلر لحاظ شده است. در تعیین تابع ارزش طراحی کمینه‌سازی میزان خطای سیستم و مدت زمان اجرای آن لحاظ شده است؛ بنابراین با کمینه‌سازی میزان خطا به کمک انتخاب بهترین زمان‌های سوئیچینگ کنترلر، در راستای بهبود پایداری گام برداشته شده است. علاوه‌بر آن سیستم تحت مقادیر متفاوت وزنی محموله مدل شده و برای هر کدام از این حالت‌ها بهترین عملکرد کنترلر تعیین شده است، همچنین نتایج حاصل از شبیه‌سازی در قالب جداول و نمودارها ارائه شده است.

[1] Sigma point
[2] Unscented Kalman Filter

2- مدل دینامیکی جرثقیل سقفی

مدل دینامیکی زمان پیوسته یک جرثقیل سقفی نشان داده شده در شکل 1 بدین صورت است [1].

$$(M+m)\ddot{y}(t) - m\ddot{l}(t)\sin\theta(t) - 2m\dot{l}(t)\dot{\theta}(t)\cos\theta(t) - ml(t)\ddot{\theta}(t)\cos\theta(t) + ml(t)\sin\theta(t)\dot{\theta}^2 = F(t) \quad (1)$$

$$\ddot{y}(t)\cos\theta(t) - l(t)\ddot{\theta}(t) - g\sin\theta(t) - 2\dot{l}(t)\dot{\theta}(t) = 0 \quad (2)$$

در روابط (2,1) بار به‌صورت نقطه‌ای فرض‌شده و کابل بدون جرم درنظرگرفته شده است. از آثار دینامیکی و غیرخطی موتور، اثر میرایی باد و اصطکاک صرف‌نظر شده و مشخصات فیزیکی مدل نیز نشان داده شده است.

θ	زاویه نوسان بار	(rad)
y	جابه‌جایی گاری	(m)
m	جرم بار	(kg)
M	جرم گاری	(kg)
α	نسبت جرم بار به جرم گاری	
g	شتاب گرانش زمین	($m.s^{-2}$)
l	طول کابل حمل بار	(m)
F	نیروی خارجی وارد بر گاری	(N)

پارامتر α به‌صورت جداگانه به‌عنوان نسبت جرم بار به جرم گاری تعریف شده است.

3- فیلتر کالمن نامتقارن بهبودیافته با الگوریتم ژنتیک (GA-ASKF)

مدل دینامیکی زمان گسسته برای یک مسئله فیلترینگ غیرخطی به‌صورت روابط (4,3) تعریف شده است [1].

$$x_{k+1} = f(x_k, u_k) + w_k \quad (3)$$

$$y_k = h(x_k) + v_k \quad (4)$$

x_k بردار متغیرهای حالت سیستم، y_k بردار مشاهده‌گر و w_k و v_k مقادیر نویزهای گوسی سفید و به‌صورت رابطه (5) است.

$$w_k = N(0,Q) \quad \text{و} \quad v_k = N(0,R) \quad (5)$$

در UKF مرسوم فرآیند طراحی براساس اعمال نقاط سیگمای متقارن

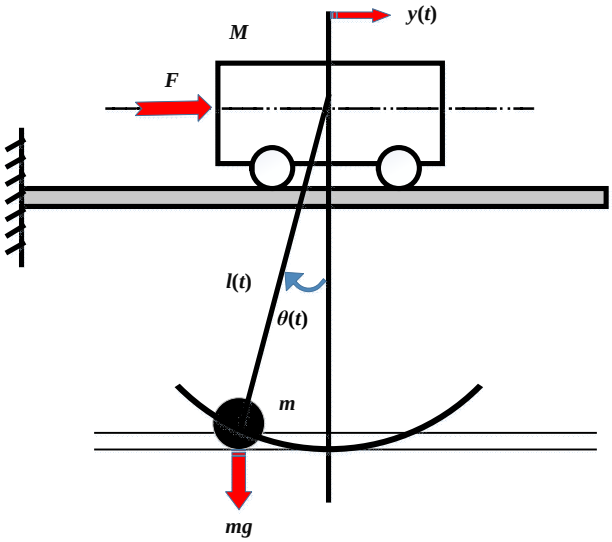

Fig. 1 Overhead crane model

شکل 1 مدل جرثقیل سقفی

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1395.16.5.37.8]

حول نقطه‌ای که در مرحله پیشین تخمین زده شده اجرا می‌شود. در حالی که در GA-ASKF جهت بهبود تخمین متغیرهای حالت سیستم دینامیکی، به جای نقاط سیگمای متقارن از نقاط سیگمای نامتقارن حول بردار حالت تخمین زده شده در گام پیشین استفاده شده است. به یقین در تبدیل آنسنتد از آن‌جا که نقاط سیگما توزیع متقارنی حول نقاط تخمین دارند، میانگین و کوواریانس‌شان در هر تکرار با میانگین و کوواریانس در تکرار پیشین برابر است. حال آن‌که در انتخاب نامتقارن آن‌ها برای حفظ این ویژگی آماری باید تابع ارزش رابطه (6) کمینه شود. مشخصا عبارت دوم در رابطه (6) تضمین خواهد کرد که در شرایط میل‌کردن مقدار تابع ارزش به سمت صفر تحت بهینه‌سازی با الگوریتم ژنتیک مشخصات آماری نقاط سیگمای جدید با مشخصات آماری تکرار پیشین یکسان خواهد بود.

$$\text{cost function} = \frac{1}{L} \times \text{norm}(\hat{x}_k - x_k)^{1/2} + \left[\text{norm}\left(\text{mean}(\chi_{i,k-1}) - \hat{x}_{k-1}\right) + \text{norm}\left(\text{Var}(\chi_{i,k-1}) - (P_{i,k-1})\right)\right]^{1/2} \quad (6)$$

بنابراین الگوریتم GA-ASKF شامل چهار مرحله است که به شرح زیر است.

مرحله نخست شرایط اولیه و به صورت روابط (8,7) است.

$$\hat{x}_0 = \text{E}(x_0) \quad (7)$$

$$P_0 = \text{E}(x_0 - \hat{x}_0)(x_0 - \hat{x}_0)^{\text{T}} \quad (8)$$

$\hat{x}_0$ و P_0 به ترتیب مقادیر بردار حالت نخستین و کوواریانس خطای اولیه هستند.

مرحله دوم محاسبه مقادیر نقاط سیگما و اعمال ضرایب وزنی است. در این مرحله تولید نقاط سیگما نیاز به $2L+2$ پارامتر دارد که توسط الگوریتم ژنتیک انتخاب می‌شوند که در آن L بردار بعد متغیر طراحی است $2L$ پارامتر معیاری برای بیان فاصله همان تعداد نقاط سیگما نسبت به حالت تخمین زده شده در تکرار پیشین است. علاوه‌بر آن ضرایب طراحی φ و γ دو پارامتر وزنی است که به‌صورت بهینه توسط الگوریتم ژنتیک انتخاب می‌شوند. محدوده یا فضای جست و جو برای یافتن نقاط سیگما بین [-100,100] تنظیم شده است؛ بنابراین محاسبه نقاط سیگمای نامتقارن به‌صورت روابط (13-9) است.

$$\chi_{0,k-1} = \hat{x}_{k-1} \quad (9)$$

$$\chi_{i,k-1} = \hat{x}_{k-1} + \zeta_i \sqrt{P_{i,k-1}} \quad (10)$$

$$\omega_0^{(m)} = \frac{\varphi}{(L + \varphi)} \quad (11)$$

$$\omega_0^{(C)} = \frac{\varphi}{(L + \varphi)} + \gamma \quad (12)$$

$$\omega_i^{(m)} = \omega_i^{(C)} = \frac{1}{2(L + \varphi)} \quad (13)$$

$2L$ پارامتر فاصله با ζ_i نام‌گذاری شده است و $i=1,2,\ldots,2L$ است. χ_i مقادیر نقاط سیگماست که براساس مقادیر میانگین $\hat{x}$ و کوواریانس P بردار حالت در تکرار پیشین x_{k-1} محاسبه می‌شوند. $\omega_i^{(m)}$ و $\omega_i^{(C)}$، وزن‌های تبدیل آنسنتد مرتبط با i امین نقطه سیگماست.

مرحله سوم به‌روزرسانی در زمان و به صورت روابط (17-14) است.

$$\chi_{i,k|k-1} = \text{f}(\chi_{i,k-1}, u_k) \quad (14)$$

$$\hat{x}_k^- = \sum_{i=0}^{2L} \omega_i^{(m)} \chi_{i,k-1} \quad (15)$$

$$P_k^- = \sum_{i=0}^{2L} \omega_i^{(C)} \left[\chi_{i,k-1} - \hat{x}_k^-\right]\left[\chi_{i,k-1} - \hat{x}_k^-\right]^{\text{T}} \quad (16)$$

$$\hat{y}_k^- = \sum_{i=0}^{2L} \omega_i^{(m)} h(\chi_{i,k-1}) \quad (17)$$

$\hat{x}^-$ و $\hat{y}^-$ مقادیر میانگین تخمین زده شده از قبل x و y در لحظه k هستند.

مرحله چهارم به‌روزرسانی مقادیر اندازه‌گیری‌شده به‌صورت روابط (22-18) است.

$$P_{k|k-1}^{yy} = \sum_{i=0}^{2L} \omega_i^{(C)} \left[\text{h}(\chi_{i,k-1}) - \hat{y}_k^-\right]\left[\text{h}(\chi_{i,k-1}) - \hat{y}_k^-\right]^{\text{T}} \quad (18)$$

$$P_{k|k-1}^{xy} = \sum_{i=0}^{2L} \omega_i^{(C)} \left[\chi_{i,k-1} - \hat{x}_k^-\right]\left[\text{h}(\chi_{i,k-1}) - \hat{y}_k^-\right]^{\text{T}} \quad (19)$$

$$K_k = (P_{k|k-1}^{xy})\left(P_{k|k-1}^{yy}\right)^{-1} \quad (20)$$

$$\hat{x}_k = \hat{x}_k^- + K_k(y_k - \hat{y}_k^-) \quad (21)$$

$$P_k = P_k^- - K_k P_{k|k-1}^{yy} K_k^{\text{T}} \quad (22)$$

به ترتیب مقادیر P^{yy}، P^{xy} و K_k نشان‌دهنده کوواریانس خطای y، کراس- کوواریانس[1] خطای بین بردارهای حالت و مشاهده‌گر و ضریب کالمن هستند.

4- پیاده‌سازی سیستم دینامیکی جرثقیل سقفی

در این مرحله جهت بررسی مقاوم بودن مدل جرثقیل سقفی به رابطه حالت سیستم و مشاهده‌گر، نویز با عنوان w_k, v_k افزوده می‌شود، سپس با استفاده از فیلتر کالمن که فیلتر برگشتی کارا ست نویز سیستم فیلتر شده و مشخصه‌های پالایش‌شده مورد بررسی قرار می‌گیرند. مدل دینامیکی زمان گسسته سیستم جرثقیل سقفی به‌صورت رابطه (23) است.

$$\begin{bmatrix} x_{1,k+1} \\ x_{2,k+1} \\ x_{3,k+1} \\ x_{4,k+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_{2,k} \times dt + x_{1,k} \\ \ddot{d} \times dt + x_{2,k} \\ x_{4,k} \times dt + x_{3,k} \\ \ddot{\theta} \times dt + x_{4,k} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ w_3 \\ w_4 \end{bmatrix} \quad (23)$$

مقادیر موقعیت و سرعت گاری و همچنین موقعیت زاویه‌ای و سرعت زاویه‌ای حرکت بار، متغیرهای بردار حالت و مقادیر $\ddot{\theta}$ و $\ddot{d}$ از روابط (2,1) قابل حصول است. بردار حالت و بردار مشاهده‌گر به ترتیب در روابط (25,24) آورده شده است.

$$x_k = [d, \dot{d}, \theta, \dot{\theta}]^{\text{T}} \quad (24)$$

$$y_k = [d, \theta]^{\text{T}} \quad (25)$$

نویز فرآیند w_k و نویز مشاهده‌گر v_k، نویزهای گوسی سفید است که ماتریس‌های کوواریانس آن‌ها به ترتیب در روابط (27,26) نشان داده شده است.

$$Q = 0.001 \times \text{diag}\{1,1,1,1\} \quad (26)$$

$$R = 0.01 \times \text{diag}\{1,1,1,1\} \quad (27)$$

رابطه (23) نمایش فرم گسسته فضای حالت سیستم است. در واقع سیستم در بازه صفر تا τ_f ثانیه به‌صورت پیوسته اجرا می‌شود که این فاصله به بازه‌هایی با طول $dt = 0.02$ تقسیم شده و به شکل گسسته حل می‌شود. کمیت τ_f انتهای بازه زمانی کارکرد سیستم است. حرکت جرثقیل در دو حالت طول کابل ثابت و طول کابل متغیر با زمان بررسی می‌شود. در صورتی که جرثقیل مورد مطالعه فقط حرکت صفحه‌ای داشته باشد و طول کابل در حرکت ثابت باشد، سیستم مورد نظر یک سیستم مستقل از زمان می‌شود؛ بنابراین مشتق اول طول کابل و مشتق دوم آن نیز برابر با صفر می‌شود.

در حالتی که طول کابل حامل بار متغیر باشد، نسبت طول کابل در هر نقطه به کمینه طول کابل با علامت λ درنظر گرفته می‌شود. در این مقاله حالت بالا/ پایین بردن بار تحلیل شده است. در این حالت فرمول $\lambda(t)$

[1] Cross-covariance

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1395.16.5.37.8]

به‌صورت رابطه (28) می‌شود [8].

$$\lambda(\tau) = \begin{cases} a_{10} + a_{11} + a_{12}\tau^2 + a_{13}\tau^3 & 0 < \tau < p\tau_f \\ a_{20} + a_{21} + a_{22}\tau^2 + a_{23}\tau^3 & p\tau_f < \tau < \tau_f \end{cases} \quad (28)$$

در آن روابط قیود به‌صورت رابطه (29) به‌کار رفته است.

$$\lambda_{\min} = \lambda(p\tau_f) = 1 \,،\, \acute{\lambda}(0) = 0 = a_{20}$$
$$\lambda(0) = \lambda_0 = a_{10} \,،\, \lambda(p\tau_f{}^{+}) = \lambda(p\tau_f{}^{-}) \,،\, \lambda(\tau_f) = \lambda_f \quad (29)$$

در رابطه بالا نیز ضریب p محل آغاز حرکت به سمت بالا و پایین کابل را مشخص می‌کند. λ_0 طول نخستین کابل، λ_f طول نهایی کابل و $\lambda_{\min}$ کمینه طول کابل است.

در این حالت سیستم تحت ورودی کنترلی بنگ- بنگ قرار گرفته که مدل آن به‌صورت تابع در شکل 2 آورده شده است.

زمان‌های سوئیچینگ τ_a ، τ_b ، τ_c و τ_f به‌صورت درایه‌های ماتریسی درنظر گرفته شده که همان ماتریس متغیر طراحی بهینه‌سازی در الگوریتم ژنتیک است.

تابع ارزش مسئله بهینه‌سازی به‌صورت روابط (31,30) تعریف شده است.

$$\text{Cost Function} = \text{Penalty} + w \times (\tau_f) \quad (30)$$

در آن penalty به‌صورت رابطه (31) درنظر گرفته شده است.

$$\text{Penalty} = \text{abs}(y - y_d) + \text{abs}(\dot{y} - 0) + \text{abs}(\theta - 0) + \text{abs}(\dot{\theta} - 0) \quad (31)$$

ضریب وزنی برای تنظیم تابع ارزش، y_d نیز مسافت مطلوب طی‌شده توسط گاری که در این مسئله برابر 14.7 متر است. سه جمله آخر سمت راست رابطه (31) نشان می‌دهند که مقادیر مطلوب سرعت گاری، موقعیت زاویه‌ای بار و سرعت زاویه‌ای آن، در هنگام رسیدن گاری به انتهای مسیر، برابر صفر است؛ بنابراین جمله نخست در رابطه (30) تضمین خواهد کرد که گاری و پاندول در مکانیزم جرثقیل سقفی با کمترین خطای ممکن به نقطه مطلوب برسند و همچنین جمله دوم برای دستیابی به این هدف در کمترین زمان ممکن درنظر گرفته شده است.

5- نتایج

در این بخش به تحلیل سیستم جرثقیل در دو حالت طول کابل ثابت و طول کابل متغیر پرداخته شده است. در هر دو حالت سیستم دارای مقادیر نامعینی یا نویز است که به کمک الگوریتم فیلتر کالمن پالایش شده است. علاوه‌بر آن، هدف تعیین بهینه زمان‌های سوئیچینگ کنترلر بنگ- بنگ جهت دستیابی

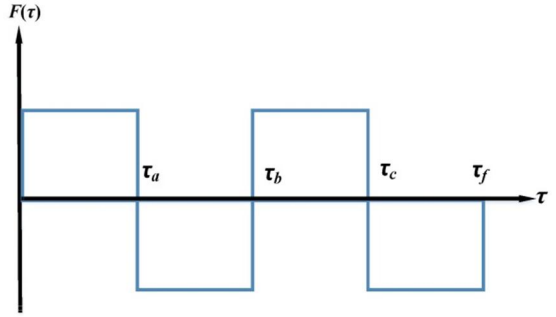

Fig. 2 Schematic of Bang-Bang controller input

شکل 2 شماتیک ورودی کنترل بنگ- بنگ

به عملکرد مطلوب سیستم است. عملکرد نیروی کنترلی تحت شرایط بهینه درنظر گرفته شده، پایداری سیستم را تضمین می‌کند، اجزای سیستم را با کمترین خطا به نقطه هدف می‌رساند و این امر را در کمترین زمان به انجام خواهد رساند.

5-1- بهینه‌سازی با درنظر گرفتن نویز در حالت طول کابل ثابت

از روابط (2,1) برای مدل‌سازی سیستم جرثقیل سقفی استفاده می‌شود. برای حالت طول کابل ثابت با توجه به ثابت‌بودن طول کابل مقادیر $\dot{l}(t)$ و $\ddot{l}(t)$ برابر صفر خواهند شد. کمیت‌های جرم گاری، جرم بار و شتاب گرانش به ترتیب برابر M=1kg، m=0.2kg و g=9.8m.s^{-2} درنظر گرفته شده است. در این شرایط روابط غیرخطی (2,1) به‌عنوان روابط سیستم، آغشته به نویزهای فرآیند و اندازه‌گیری شده و برای دستیابی به جواب سیستم در الگوریتم GA-ASKF قرار می‌گیرند. بحث کمینه‌سازی تابع ارزش رابطه (30) تحت الگوریتم NSGA II در نرم‌افزار متلب پیاده‌سازی شده است. بهترین پاسخ مربوط به شیوه کارکرد نیروی کنترلی را فرآیند بهینه‌سازی در اختیار قرار می‌دهد؛ بنابراین همان‌طور که در بخش 4 اشاره شد متغیر طراحی الگوریتم بهینه‌سازی ماتریسی است که درایه‌های آن شامل زمان‌های سوئیچینگ کنترلر است. مشخصه‌های بهینه‌سازی ژنتیک شامل جمعیت 50 نفر، ضریب جهش انطباقی[1]، تقاطع[2] 1.2 و 300 نسل بوده است. در شکل 3 نمودار تغییرات میانگین و بهترین تابع ارزش بهینه‌سازی در طول نسل نشان داده شده است. براساس شکل 3 به دلیل نشست تقریبی نمودار تابع ارزش بعد از 60 نسل، در نمایش دادن مقادیر تابع ارزش، به بازه 100 نسل ابتدایی اکتفا شده است. زمان‌های بهینه سوئیچینگ کنترلر برای این حالت در جدول 1 آورده شده است.

لازم به یاد است که مقادیر مشخص‌شده در جدول 1 همان درایه‌های ماتریس متغیر طراحی الگوریتم بهینه‌سازی است؛ بنابراین درصورت سوئیچ‌شدن نیروی کنترلی در این زمان‌ها سیستم جرثقیل سقفی با کمترین خطا و سریع‌ترین زمان به نقطه هدف در انتهای مسیر خواهد رسید.

در شکل 4 نمودار تغییرات نیروی کنترلی بنگ- بنگ در طول زمان نشان داده شده است. به درستی مشاهده می‌شود که مقدار نیروی کنترلی در زمان آورده شده در جدول 1 تغییر می‌کند. سیستم جرثقیل سقفی به‌صورت

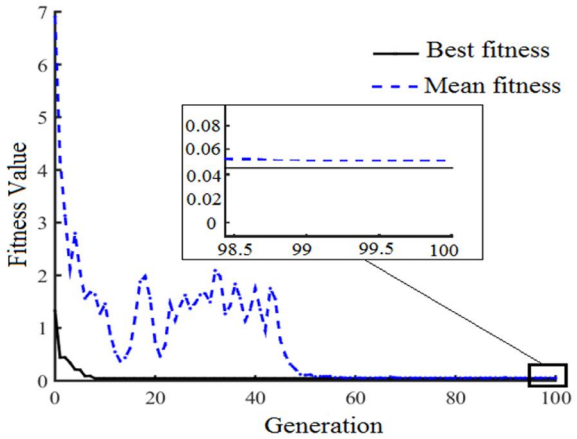

Fig. 3 Variation of cost function during the generation for fixed length system

شکل 3 نمودار تغییرات تابع ارزش در طول نسل برای سیستم طول کابل ثابت

[1] Adaptive Feasible
[2] Cross Over

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1395.16.5.37.8]

جدول 1 زمان‌های سوئیچینگ بهینه برای جرثقیل سقفی با طول ثابت

Table 1 Optimal switching time for overhead crane with fixed length

زمان‌های سوئیچینگ	α=0.2
τ_a	2.883
τ_b	4.559
τ_c	6.395
τ_f	9.7

جداگانه، در نبود اغتشاش اجرا شده و رفتار متغیرهای آن تحت نیروی کنترلی بنگ- بنگ به‌دست آمده است. تغییرات متغیرهای سیستم جرثقیل سقفی در طول زمان، برای دو حالت حضور و حضور نداشتن فیلتر کالمن با رفتار سیستم مطلوب در شکل‌های 5-10 مقایسه شده است. در این شکل‌ها نزدیک‌بودن رفتار سیستم مخدوشی که در آن از فیلتر GA-ASKF استفاده شده به عملکرد سیستم مطبوب به روشنی نمایان است؛ بنابراین نتایج به‌دست‌آمده بیانگر ضرورت استفاده از فیلتر کالمن برای سیستم‌های مخدوش جهت تخمین متغیرهای حالت و دستیابی به عملکرد مطلوب است.

نمودارهای تغییرات متغیرهای حالت سیستم جرثقیل سقفی نشان می‌دهد که درصورت وجود اغتشاش در سیستم، فیلتر کالمن GA-ASKF به درستی و با دقت بالاتر نسبت به حالت بدون فیلتر قادر است که متغیرهای حالت سیستم را تخمین بزند. البته این نمودارها به‌جای استفاده از زمان‌های

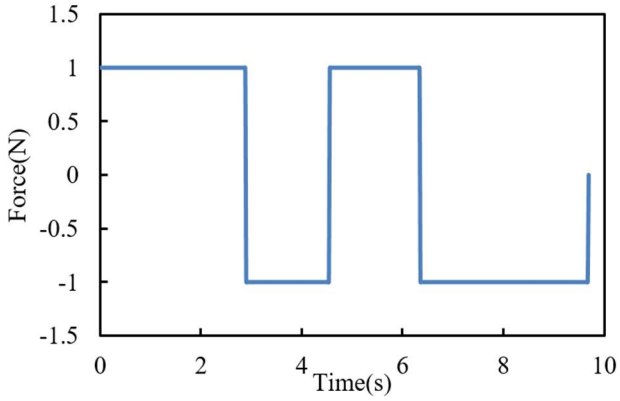

Fig. 4 Bang-Bang controller force obtained from ptimization of overhead crane with fixed lenght

شکل 4 نیروی کنترلی بنگ- بنگ حاصل از بهینه‌سازی جرثقیل سقفی با طول کابل ثابت

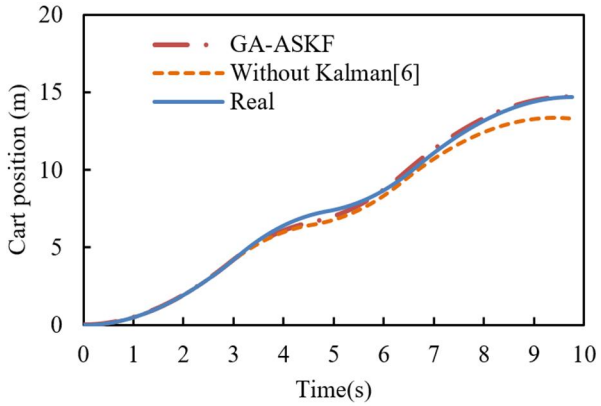

Fig. 5 Variation of crane position with fixed length for the presence and absence of the Kalman filter and noiseless condition

شکل 5 تغییرات موقعیت گاری با طول کابل ثابت در حضور و حضور نداشتن فیلتر کالمن و شرایط بدون نویز

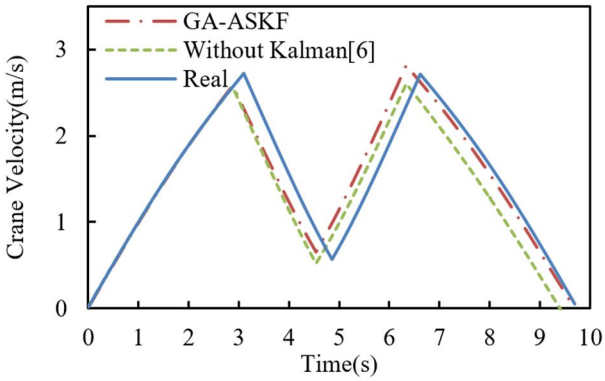

Fig. 6 Variation of crane velocity with fixed length for the presence and absence of the Kalman filter and noiseless condition

شکل 6 تغییرات سرعت گاری با طول کابل ثابت در حضور و حضور نداشتن فیلتر کالمن و شرایط بدون نویز

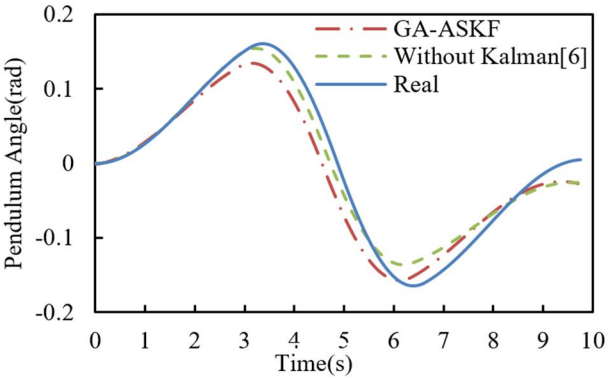

Fig. 7 Variation of load angular position with fixed length for the presence and absence of the Kalman filter and noiseless condition

شکل 7 تغییرات موقعیت زاویه‌ای بار با طول کابل ثابت در حضور و حضور نداشتن فیلتر کالمن و شرایط بدون نویز

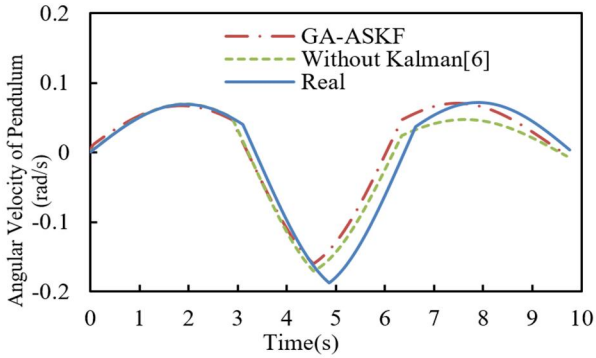

Fig. 8 Variation of load angular velocity with fixed length for the presence and absence of the Kalman filter and noiseless condition

شکل 8 تغییرات سرعت زاویه ای بار با طول کابل ثابت در حضور و نداشتن حضور کالمن فیلتر و شرایط بدون نویز

سوئیچینگ برای عملکرد بهینه کنترلر، حاصله از الگوریتم ژنتیک است. اختلاف رفتار سیستم مخدوش نسبت به سیستم بدون اغتشاش برای دو حالت حضور فیلتر کالمن و غیاب آن در شکل 11 نشان داده شده است.

در شرایطی که اعداد استفاده شده در نمودار شکل 11 مقدار میانگین خطاهای بی‌بعدشده چهار متغیر سیستم در طول زمان شبیه‌سازی به روشنی نشان داده شده است که با استفاده از روش پیشنهادی برای تخمین پارامترهای سیستم می‌توان خطای سیستم مخدوش نسبت به حالت مطلوب

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1395.16.5.37.8]

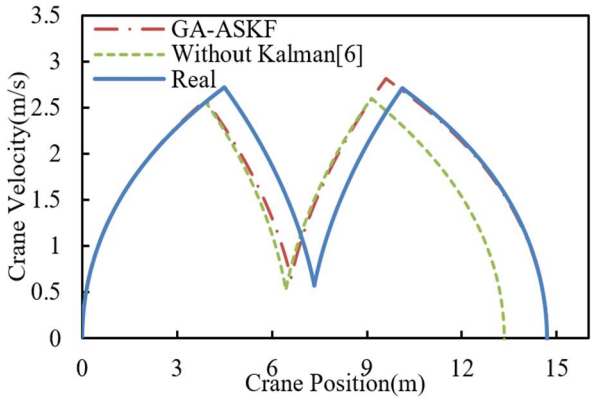

Fig. 9 Variation of crane velocity relative to crane position with fixed length for the presence and absence of the Kalman filter and noiseless condition

شکل 9 تغییرات سرعت گاری نسبت به موقعیت آن با طول کابل ثابت در حضور و نداشتن حضور فیلتر کالمن و شرایط بدون نویز

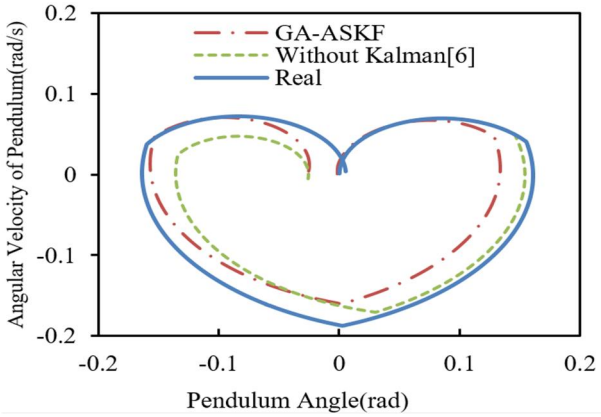

Fig. 10 Variation of load angular velocity relative to load angular position with fixed length for the presence and absence of the Kalman filter and noiseless condition

شکل 10 تغییرات سرعت زاویه‌ای بار نسبت به موقعیت زاویه‌ای آن با طول کابل ثابت در حضور و نداشتن حضور فیلتر کالمن و شرایط بدون نویز

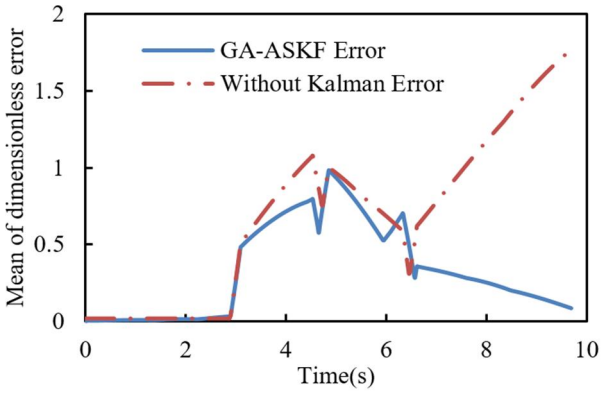

Fig. 11 Variation of the mean of dimensionless error of noisy system than ideal system for the presence and absence of the Kalman filter

شکل 11 تغییرات میانگین خطای بی‌بعدشده سیستم مخدوش نسبت به سیستم ایده‌آل در دو حالت حضور و نداشتن حضور فیلتر کالمن

آن را به کمینه رساند.

در نمودار شکل 11 نشان داده شده که مقدار اختلاف بی‌بعدشده رفتار سیستم مخدوش نسبت به سیستم ایده‌آل در طول مدت زمان اجرای آن هیچ‌گاه از عدد یک تجاوز نکرده است که این امر بیانگر عملکرد مطلوب روش پیشنهادی در پالایش داده‌های مخدوش سیستم است. به‌عنوان اثبات دیگری بر عملکرد مطلوب فیلتر کالمن، میانگین خطاهای بی‌بعدشده رفتار متغیرهای حالت سیستم برای دو حالت حضور و حضور نداشتن فیلتر کالمن در جدول 2 مقایسه شده است که نشان می‌دهد میزان خطا برای حالتی که از فیلتر کالمن GA-ASKF استفاده می‌شود مقدار کمتری است؛ بنابراین فیلتر کالمن توانسته است اثرات نامطلوب ناشی از وجود اغتشاش در سیستم را تا حدودی برطرف نماید.

5-2- بهینه‌سازی با درنظر گرفتن نویز در حالت طول کابل متغیر

برای حالت طول متغیر کابل در جرثقیل حرکت رو به بالا/ پایین بررسی شده است. تحلیل‌ها در این بخش به دو قسمت دسته‌بندی‌شده که عبارت است از بررسی لزوم استفاده از فیلتر کالمن و تحلیل نسبت جرمی‌های متفاوت. برای هر کدام از حالت‌های درنظر گرفته‌شده در این بخش نیز، بهترین رفتار نیروی کنترلی تعیین شده است. این امر با بهینه‌سازی زمان‌های سوئیچینگ کنترلر بنگ- بنگ میسر می‌شود. در واقع عملکرد کنترلر به گونه‌ای تنظیم می‌شود که منجربه کمینه‌سازی تابع ارزش رابطه (30) می‌شود. نتیجه تکنیک به کار برده شده، عملکرد پایدار و دقیق سیستم مخدوش جرثقیل سقفی است.

5-2-1- بررسی لزوم استفاده از فیلتر کالمن

در این بخش سیستم جرثقیل در حالت حرکت به بالا/ پایین مدل شده است. بررسی کنونی در حالتی که جرم گاری 1 کیلوگرم و جرم بار 0.4 کیلوگرم، انجام گرفته است. (به عبارت دیگر ضریب α برابر 0.4 است.) تابع ارزش رابطه (30) برای دستیابی به بهترین عملکرد نیروی کنترلی به کمک الگوریتم ژنتیک کمینه شده است. فرآیند بهینه‌سازی با مشخصه‌هایی شامل جمعیت 50 نفر، ضریب جهش انطباقی، تقاطع 1.2 و 300 نسل انجام شده است. مقادیر مربوط به زمان‌های سویئچینگ نیروی کنترلی که به ازای آن تابع ارزش کمینه شده و در واقع نتیجه فرآیند بهینه‌سازی، در جدول 3 آورده شده است. نتیجه کارکرد کنترلر براساس این مقادیر، داشتن کمترین خطا از نقطه هدف و سریع‌ترین پاسخ است. تغییرات متغیرهای حالت سیستم آغشته به نویز جرثقیل سقفی در دو حالت حضور فیلتر کالمن و بدون استفاده از آن بررسی شده و به همراه رفتار این متغیرها برای سیستم بدون اغتشاش، در اشکال 12-17 نشان داده شده‌اند. در این‌جا نیز فیلتر کالمن استفاده شده GA-ASKF است.

جدول 2 مقایسه میانگین خطا برای طول کابل ثابت در حضور و نداشتن حضور فیلتر کالمن

Table 2 comparison of mean error for fixed length in the presence or absence of the Kalman filter

$\alpha = 0.2$	میانگین خطای بعدشده
با حضور فیلتر GA-ASKF	0.3292
بدون حضور فیلتر کالمن	0.6852

جدول 3 زمان‌های سوئیچینگ بهینه برای جرثقیل سقفی با طول متغیر

Table 3 Optimal switching time for overhead crane with variable length

زمان‌های سویئچینگ	α= 0.4
τ_a	3.244
τ_b	4.798
τ_c	6.214
τ_f	10

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1395.16.5.37.8]

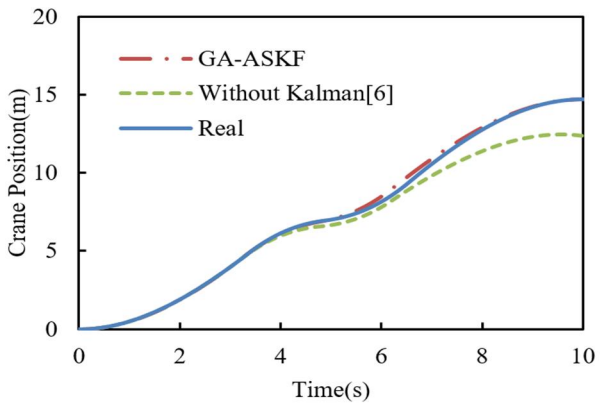

Fig. 12 Variation of crane position with variable length for the presence and absence of the Kalman filter and noiseless condition

شکل 12 تغییرات موقعیت گاری با طول کابل متغیر در حضور و نداشتن حضور فیلتر کالمن و شرایط بدون نویز

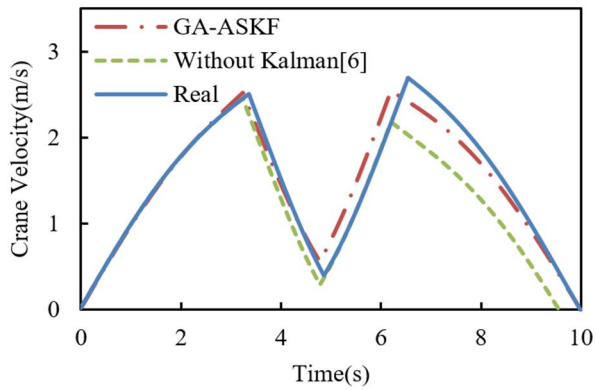

Fig. 13 Variation of crane velosity with variable length for the presence and absence of the Kalman filter and noiseless condition

شکل 13 تغییرات سرعت گاری با طول کابل متغیر در حضور و نداشتن حضور فیلتر کالمن و شرایط بدون نویز

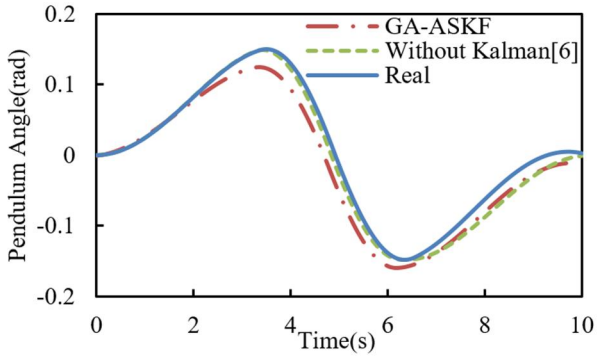

Fig. 14 Variation of load angular position with variable length for the presence and absence of the Kalman filter and noiseless condition

شکل 14 تغییرات موقعیت زاویه‌ای بار با طول کابل متغیر در حضور و نداشتن حضور فیلتر کالمن و شرایط بدون نویز

با بررسی نمودارهای نشان داده شده به خوبی می‌توان تأثیر عملکرد روش GA-ASKF را در تخمین متغیرهای سیستم مخدوش جرثقیل سقفی، مشاهده کرد. با پیاده‌سازی الگوریتم GA-ASKF علی‌رغم اغتشاش وارده،

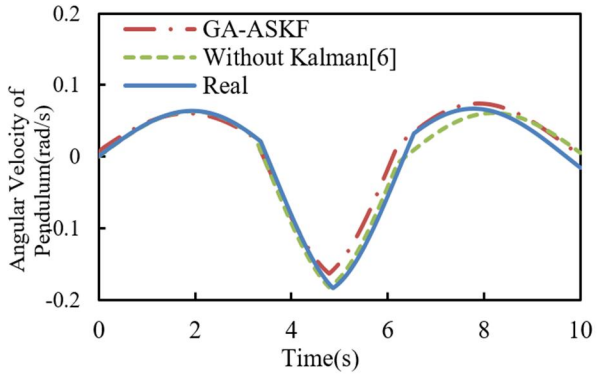

Fig. 15 Variation of load angular velocity with variable length for the presence and absence of the Kalman filter and noiseless condition

شکل 15 تغییرات سرعت زاویه‌ای بار با طول کابل متغیر در حضور و نداشتن حضور فیلتر کالمن و شرایط بدون نویز

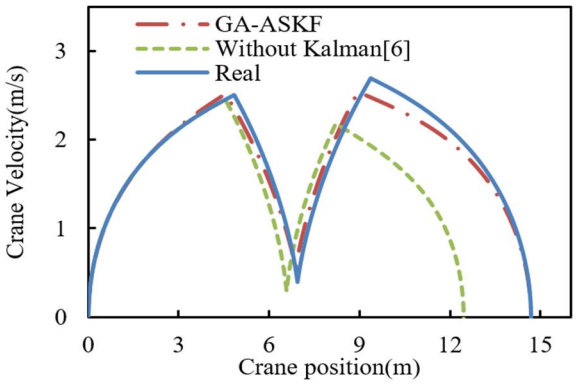

Fig. 16 Variation of crane velocity relative to crane position with variable length for the presence and absence of the Kalman filter and noiseless condition

شکل 16 تغییرات سرعت گاری نسبت به موقعیت آن با طول کابل متغیر در حضور و نداشتن حضور فیلتر کالمن و شرایط بدون نویز

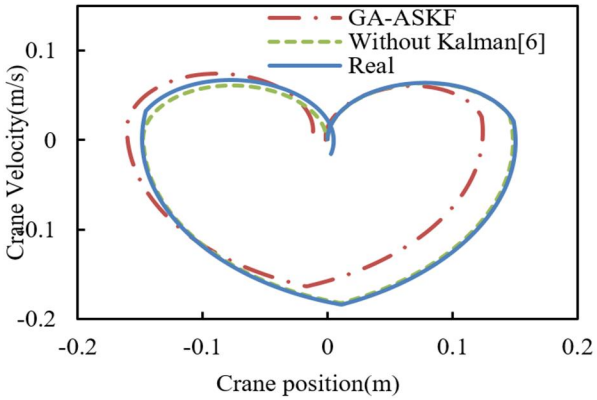

Fig. 17 Variation of load angular velocity relative to load angular position with variable length for the presence and absence of the Kalman filter and noiseless condition

شکل 17 تغییرات سرعت زاویه‌ای بار نسبت به موقعیت زاویه‌ای آن با طول کابل متغیر در حضور و نداشتن حضور فیلتر کالمن و شرایط بدون نویز

شاخصه‌های سیستم به خوبی و با کمترین نامیزانی نسبت به سیستم ایده‌آل، مسیر مطلوب را طی می‌کنند. در حالی‌که این عملکرد مناسب در شرایطی که از فیلتر کالمن استفاده نشده است، دیده نمی‌شود. به‌عنوان اثبات دیگری بر

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1395.16.5.37.8]

این نتیجه‌گیری، نمودار رفتار میانگین خطای بی‌بعدشده سیستم مخدوش نسبت به سیستم ایده‌آل، برای دو حالت حضور و نداشتن حضور فیلتر کالمن، در شکل 18 آورده شده است.

در این‌جا نیز مقادیر اختلاف، در واقع میانگین خطاهای بی‌بعدشده متغیرهای سیستم، شامل موقعیت و سرعت گاری، موقعیت زاویه‌ای و سرعت زاویه‌ای بار است. نمودار شکل 18 نشان می‌دهد که در طول زمان شبیه‌سازی، خطای رفتار سیستم نسبت به شرایط ایده‌آل آن، برای حالتی که از فیلتر کالمن استفاده شده است، کمتر از حالت بدون فیلتر است، همچنین مقادیر مربوط به اختلاف بی‌بعدشده رفتار سیستم در شرایطی که از روش پیشنهادی استفاده شده است، تا حدود زیادی قابل قبول است، همچنین کمیت میانگین مقادیر خطا بی‌بعدشده در طول زمان برای دو حالت حضور و نداشتن حضور فیلتر کالمن در جدول 4 مقایسه شده است که نشان می‌دهد میزان خطا برای حالتی که از فیلتر کالمن GA-ASKF استفاده می‌شود، مقدار کمتری است.

5-2-2- بررسی نسبت جرمی‌های متفاوت

در این بخش حرکت به بالا/ پایین جرثقیل سقفی، برای نسبت جرمی‌های مختلف (وزن بارهای مختلف) مورد تحلیل قرار گرفته و به بهینه‌سازی زمان‌های سوئیچینگ نیروی کنترلی پرداخته شده است. در این حالت نیز مشخصه‌های الگوریتم ژنتیک شامل جمعیت 50 نفر، ضریب جهش انطباقی، تقاطع 1.2 و 300 نسل است. برای هر یک از نسبت‌های جرمی به‌صورت جداگانه بهینه‌سازی انجام شده و نتایج حاصل از این بررسی در جدول 5 ارائه شده است. در این جدول زمان‌های سویئچینگ انتخابی توسط الگوریتم ژنتیک به نمایش درآمده است. به‌ازای استفاده از این مقادیر، بهترین رفتار نیروی کنترلی و در نتیجه عملکرد بهینه سیستم حاصل خواهد شد.

با مقایسه زمان‌های سویئچینگ کنترلر به روشنی مشاهده می‌شود که تحت بارهایی با وزن کمتر، جرثقیل در مدت زمان کوتاه‌تری به مکان مطلوب خود در انتهای مسیر می‌رسد. مقادیر متغیرهای حالت سیستم در لحظه قرار گرفتن بار در انتهای مسیر در جدول 5 آورده شده است. با بررسی این مقادیر مشاهده می‌شود که در تمامی شرایط وزنی بار، کنترلر بنگ- بنگ طراحی شده با روش انتخابی الگوریتم ژنتیک توانسته است سیستم جرثقیل سقفی را با دقت قابل قبولی به نقطه مطلوب انتهای مسیر برساند. ستون آخر جدول 5 شامل مقادیر مربوط به تابع ارزش فرآیند بهینه‌سازی برای هر یک از نسبت‌های جرمی است.

برای مقایسه بهتر شرایط کاری جرثقیل سقفی تحت بارهای مختلف، یک جمعیت 500تایی نویز با توزیع گوسی ساخته شده است. سیستم به کمک نیروی کنترلی بنگ- بنگ با همان زمان‌های سویئچینگ به‌دست‌آمده از فرآیند بهینه‌سازی هر بار تحت تأثیر یکی از نویزها اجرا و اطلاعات مربوط به آن ذخیره شده است. خطای مربوط به متغیرهای حالت سیستم، هنگام قرار گرفتن بار در انتهای مسیر، برای تمامی این 500 حالت اندازه‌گیری، میانگین و واریانس آن‌ها مورد محاسبه قرار گرفته است. مقادیر مربوط به این محاسبات در جدول 6 قابل مشاهده است. از مقایسه داده‌های موجود در جدول 6 به خوبی مشخص است که هرچقدر وزن محموله کم‌تر باشد، میانگین و واریانس خطاها دارای مقادیر کوچک‌تری هستند. با توجه به اطلاعات به‌دست‌آمده می‌توان به این نکته اشاره کرد که سیستم جرثقیل سقفی در هنگام کار با بارهای سبک تر دارای عملکرد به مراتب مطلوب‌تری است.

6- نتیجه‌گیری

سیستم جرثقیل سقفی نیاز به طراحی کنترلری دارد که بتواند محموله را با کمترین نوسان، بیشترین دقت و سریع‌ترین زمان به نقطه هدف برساند. به همین منظور نیروی کنترلی بنگ- بنگ درنظر گرفته شده است که در آن، زمان‌های سوئیچینگ نیروی کنترلی مشخصه‌ای اساسی و تعیین‌کننده است. درنظر گرفتن این زمان‌ها به‌عنوان متغیر طراحی در الگوریتم بهینه‌سازی، رفتار مطلوب سیستم دینامیکی را درپی داشته است. تابع ارزش تعیین‌شده جهت کمینه‌سازی، اهداف طراحی را دنبال می‌کند. در شرایطی که بهینه‌سازی برای سیستم آغشته به نویز انجام شده است، برای پالایش داده‌های مخدوش از GA-ASKF بهره گرفته و تأثیر مطلوب این فیلتر در پالایش داده‌های مخدوش به خوبی در نتایج و نمودارها دیده شده، همچنین به مقایسه رفتار سیستم تحت بارهای مختلف پرداخته شده است. بهترین انتخاب کنترلر به‌دست‌آمده برای هر یک از این حات‌ها نشان می‌دهد که شرایط وزنی محموله‌ها بر عملکرد کنترلر تأثیرگذار خواهد بود. نتایج بررسی نشان می‌دهد که جرثقیل سقفی، برای بارهایی با نسبت جرمی پایین‌تر عملکرد بهتری خواهد داشت و می‌توان برای دستیابی به عملکرد مطلوب جرثقیل سقفی، بازه محدودکننده‌ای برای وزن بارهایی که قرار است حمل شوند، درنظر گرفت. از نتایج به‌دست‌آمده در تحلیل بارهایی با جرم‌های مختلف، تأثیر انتخاب بهینه زمان‌های سویئچینگ نیروی کنترلی در کمینه‌شدن زمان نهایی کارکرد جرثقیل سقفی دیده شده است.

جدول 4 مقایسه میانگین خطا بی‌بعد شده برای طول کابل متغیر در حضور و نداشتن حضور فیلتر کالمن

Table 4 Comparison of mean of dimensionless error for variable length in the presence and absence of the Kalman filter

α =0.4	میانگین خطای بی‌بعدشده
با حضور فیلتر GA-ASKF	0.2036
بدون حضور فیلتر کالمن	0.8678

جدول 5 مقایسه مشخصه های سیستم در نسبت جرمی های متفاوت

Table 5 Comparison of the fitueare of the system in different mass ratios

α	τ_a(s)	τ_b(s)	τ_c(s)	τ_f(s)	y(m)	$\dot{y}$(m/s)	θ(rad)	$\dot{\theta}$(rad/s)	تابع ارزش
0	2.715	4.609	6.05	9.38	14.67	-0.004	-0.061	0.021	0.1262
0.2	3.066	4.684	6.214	9.68	14.71	-0.006	-0.05	0.0371	0.1161
0.4	3.244	4.798	6.218	10	14.69	-0.008	-0.012	0.0015	0.042
0.6	3.388	4.967	6.389	10	14.7	-0.026	-0.002	-0.048	0.087
0.8	3.478	5.064	6.46	10.15	14.77	-0.006	-0.063	-0.0104	0.258
1.0	3.84	5.14	6.787	10.3	14.707	-0.0149	-0.054	-0.059	0.146

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1395.16.5.37.8]

جدول 6 میانگین و واریانس خطای سیستم در ازای جمعیت 500 تایی نویز برای نسبت‌های جرمی متفاوت

Table 6 Mean and variance of system dimensionless error as for category of 500 noises for different relative mass ratio

نسبت جرمی α	میانگین مجذور خطای بی بعد شده	
	میانگین	واریانس
0	0.293021	0.0326
0.2	0.858719	0.2865
0.4	1.284773	0.7816
0.6	1.590058	1.26
0.8	1.832774	1.6535
1	2.243420	2.5793

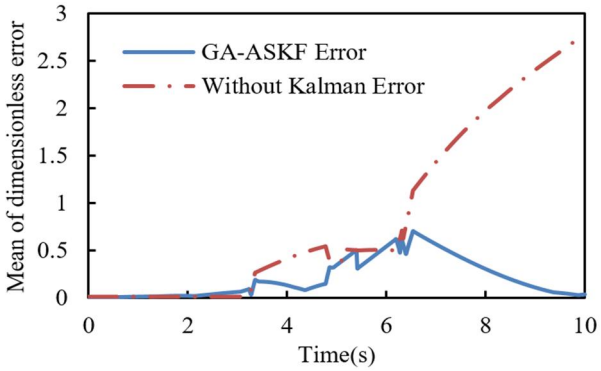

Fig. 18 Variation of the mean of dimensionless error of noisy system than ideal system for the presence and absence of the Kalman filter

شکل 18 تغییرات میانگین خطای بی‌بعدشده سیستم مخدوش نسبت به سیستم ایده‌آل در دو حالت حضور و نداشتن حضور فیلتر کالمن

7- مراجع

[1] Ch. Zhang, A. Hammad, Improving lifting motion planning and re-planning of cranes with consideration for safety and efficiency. *Advanced Engineering Informatics*, Vol. 26, No. 2, pp. 396-410, 2012.

[2] X. Zhang, Y. Fang, N. Sun, Minimum-Time Trajectory Planning for Underactuated Overhead Crane Systems With State and Control Constraints, *IEEE Transaction on Industrial Electronics*, Vol. 61, No. 12, pp.6915-6925, 2014.

[3] X. Wu, X. He, Enhanced damping-based anti-swing control method for underactuated overhead cranes, *IET Control Theory Application*, Vol. 9, No. 12, pp. 1893–1900, 2015.

[4] M. S. Moon, *Rule Based Approaches for Controlling Oscillation Mode Dynamic System*, PhD Thesis, Department of Electronical Engineering, Virginia Polytechnic Institute and State University, 1997.

[5] N. Narimanzade, A. Bagheri, P. Aghaie Moghadami, Designing the Optimal Switching Time for Overhead Crane, *The 11th Annual International Conference on Mechanical Engineering*, Mashhad, Iran, May 13-15, 2003. (in Persian فارسی)

[6] M. Masoumnezhad, *Efficient Control of An Overhead Crane Using Genetic Algorithm Methods.* M.s Thesis, Department of Mechanical Engineering, University of Guilan, Rasht, 2005. (in Persian فارسی)

[7] A. Bagheri, N. NArimanzade, M. Masoumnezhad, Optimal Determination of the Crane Switching Time Using GA, *The 13th Annual International Conference on Mechanical Engineering*, Esfahan, May 17-19, 2005. (in Persian فارسی)

[8] R.V. d. Merve, *Sigma-point kalman filter for probabilistic inference in dynamic state space models*, Ph.D. Thesis, OGI School of Science & Engineering at Oregon Health & Science University, Portland and Hillsboro, Oregon, 2004.

[9] R.V. d. Merwe, E. A. Wan, The Square-Root Unscented Kalman Filter for State and Parameter-Estimation. *In Proceeding of the IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing*, Vol. 6, pp. 3461 – 3464, 2001.

[10] W. Li, Y. Jia, H-infinity filtering for a class of nonlinear discrete-time systems based on unscented transform. Signal Processing, Vol. 90, pp. 3301–3307, 2010.

[11] J. Wang, Ch. Song, X. Yao, J. Chen, Sigma Point H-infinity Filter for Initial Alignment in Marine Strap down Inertial Navigation System, *2nd International Conference on Signal Processing Systems (ICSPS)*, Vol. 1, pp. 580–584, 2010.

[12] M. Masoumnezhad, A. Moafi, N. Nariman-zadeh, Optimal Stimate of An Inverted Pendulum's State Variables Using Unscented H-infinity Filter, *The 21th Annual International Conference on Mechanical Engineering*, Tehran, May 7-9, 2013 . (in Persian فارسی)

[13] M. Partovibakhsh, G. Liu, An Adaptive Unscented Kalman Filtering Approach for Online Estimation of Model Parameters and State-of-Charge of Lithium-Ion Batteries for Autonomous Mobile Robots, *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, Vol. 23, No. 1, pp. 357-363, 2015.

[14] M. Masoumnezhad, A. Jamali, N. Nariman-zadeh, Optimal design of symmetrical/asymmetrical sigma-point Kalman filter using genetic algorithms, *Transactions of the Institute of Measurement and Control*, Vol. 37, No. 3, pp. 425-432, 2014.

[15] M. Masoumnezhad, N. Nariman-zadeh, Optimal stimation of state variables of an overhead crane using improved kalman filter, *The 22nd Annual International Conference on Mechanical Engineering*, Ahvaz, April 22-24, 2014. (in Persian فارسی)

[16] Yang C, Wang X, Li Z. An optimization approach for coupling problem of berth allocation and quay crane assignment in container terminal. *Computers & Industrial Engineering*. Vol. 63, No.1, pp. 243-253, 2012.

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1395.16.5.37.8]