

بِنَامِ خَدَا



Market Code

طراحی کنترلر رگولاتور خطی و مشاهده گر برای پاندول
معکوس سه بازویی بر اساس هوش مصنوعی فازی و بهینه ساز

ژنتیک

 دانشگاه صنعتی شاهرود	ایمان شفیعی نژاد: دکtra، مهندسی فضایی	توسعه دهنده:
	ایمان شفیعی نژاد	تهریه کننده مستند:
	۱۳۹۴ / ۰۳ / ۱	تاریخ تنظیم سند:

فهرست مطالب

 چکیده
۵	فصل ۱: راهنمای کاربری
۷	فصل ۲: آشنایی با مسئله پاندول معکوس.
۷	۱-۲ . بیان اهمیت پاندول سه گانه و کاربردهای آن.....
۸	۲-۲ . مروری بر ادبیات و تاریخچه و مقالات مرتبط با پاندول معکوس.....
۹	فصل ۳: مدلسازی و خطی سازی مسئله پاندول معکوس.
۹	۱-۳ . مدلسازی کامل با در نظر گرفتن اصطکاک و وجود موتور یا دمپر پیچشی.....
۱۳	۲-۳ . شبیه سازی غیرخطی و اعتبارسنجی و حساسیت سنجی.....
۱۸	۳-۳ . خطی سازی و معادلات فضای حالت.....
۲۰	۴-۳ . مقایسه مدل خطی و غیر خطی و بررسی پایداری و کنترل پذیری و رویت پذیری.....
۲۲	فصل ۴: طراحی رگولاتور خطی برای مسئله پاندول معکوس.
۲۲	۱-۴ . طراحی رگولاتور خطی و اعمال آن به مدل غیرخطی و حساسیت سنجی.....
۲۵	۲-۴ . طراحی ردیاب مکان یا زاویه.....
۲۹	۳-۴ . طراحی رویتگر حالت بویژه در مورد زوایا.....
۳۴	۴-۴ . استفاده از Fuzzy-GA در طراحی LQR.....
۴۰	فصل ۵: طراحی مشاهده گر برای مسئله پاندول معکوس.
۴۰	۱-۵ . استفاده از مشاهده گر.....
۴۳	فصل ۶: ارائه کد بخش میپل (بدست آوردن معادلات حاکم)
۵۶	فصل ۷: مراجع

۱- چکیده

در این تحقیق، طراحی کنترلر رگولاتور خطی و مشاهده پذیری آن بر اساس هوش مصنوعی مورد بررسی قرار گرفته و کدهای محاسباتی فوق بر اساس دو نرم افزار متلب و میپل نیز در دسترس قرار گرفته است. هوش مصنوعی‌های به کار برده شده شامل الگوریتم ژنتیک، الگوریتم ژنتیک-حرکت جمعی به عنوان بهینه سازها و همچنین منطق فازی جهت طراحی بهینه ضرایب بهره کنترلر رگولاتور خطی مد نظر قرار گرفته است. هدف از طراحی کنترلر پایدار نگهداشتن قائم پاندول سه بازویی است. نتایج بخش فازی از دقیق بالایی برخوردار هستند و مفاهیم کنترلی به خوبی پوشش داده شده اند. نتایج این بخش در انجمن بین‌المللی مهندسان الکترونیک به چاپ رسیده و مورد تایید قرار گرفته است (که در زیر آمده است).

كلمات کلیدی: پانول معکوس سه بازویی، رگولاتور خطی بهینه، مشاهده‌گر، بهینه ساز ژنتیک، هوش

مصنوعی فازی

Paper Title: Design of the LQR Controller and Observer with Fuzzy Logic GA and GA-PSO Algorithm for Triple an Inverted Pendulum and Cart System

Proceedings of the 2014 International Conference on Advanced Mechatronic Systems, Kumamoto, Japan, August 10-12, 2014.

فصل ۱: راهنمای کاربری

۱. در کد میپل در **Part-1** به بخش مدل سازی پاندول معکوس سه بازویی بر اساس مبحث انرژی پرداخته شده است.
۲. در بخش بعد در نرم افزار متلب کد شبیه سازی برای دو حالت بدون کنترل و همراه کنترل کننده های مطلوب آورده شده است. شایان ذکر است که از **ode4** که نقش یک انتگرالگیر را دارد آورده شده است که در متمم این مستند به کار برده شده است. همچنین بخش **main** بخش اجرایی برنامه است که زیر برنامه های دیگر در آن قرار می گیرند، برای مثال در **Part-2** زیر برنامه **model** وظیفه شبیه سازی مدل را خواهد داشت.
۳. در مجموعه کدهای **Part-3** به طراحی کنترلر رگولاتور خطی پرداخته شده است، که شامل یک زیر برنامه با عنوان **khatipaper** است که در برنامه **modelpaperkhati** عمل می نماید.
۴. در بخش **Part2-2** به بیان کد خطی سازی و بدست آوردن ماتریس های حالت در بخش سیمولینک متلب پرداخته شده است.
۵. در بخش **Part-4** به بررسی کدهای مشاهده پذیری پرداخته شده است. این بخش مشتمل بر ۳ کد است. کد **main** و کد جانبی آن بیانگر مدل، جهت انتگرالگیری و کد **rscale** بیانگر ورودی است که از زیر کدهای نرم افزار متلب است.
۶. در بخش بهینه سازی جهت طراحی ضرایب رگولاتور خطی از هوش مصنوعی استفاده شده است. جهت سادگی در قدم اول از بهینه ساز ژنتیک نرم افزار متلب بهره برده شده است. این بخش تحت نام **Part-6** بیان شده است، که شامل یک برنامه اصلی **main** است که برنامه اجرایی این بخش است و زیر برنامه های دیگر تحت فرمان آن عمل می کنند. همچنین آنچه باید بهینه گردد در زیر برنامه **testfunction** قرار گرفته است. زیر برنامه دیگر **dispfinal** است که جهت رسم خروجی های برنامه به طور مجزا برنامه ریزی شده است. نتایج بخش های قبل مانند بخش بهینه ساز را می گیرد و صرفاً وظیفه آن رسم نتایج است. همچنین بخش فازی جهت تنظیم دقیق تر طراحی

رگولاتور اضافه گردیده است که داری پسوند نام گذاری **fis** است، که یک نمونه آن آورده شده است.

فهرست علایم

علامت	توضیح
$m_i \quad i = 1 \dots n$	حجم
$l_i \quad i = 1 \dots n$	طول
$c_i \quad i = 1 \dots n$	میرایی
$k_i \quad i = 1 \dots n$	ضرایب رگولاتور خطی
$\theta_i \quad i = 1 \dots n$	زوایای پاندول
Q	ماتریس وزنی رگولاتور خطی، جمله دنبالگر
R	ماتریس وزنی رگولاتور خطی، جمله تلاش کنترلی
A	ماتریس حالت سیستم خطی
B	ماتریس حالت سیستم خطی، جمله کنترلی
C	ماتریس حالت سیستم خطی، جمله مربوط به مشاهده پذیری
$H_i \quad i = 1 \dots 3$	ماتریس حالت سیستم خطی شده
L	ماتریس مربوط به مشاهده پذیری
J	معیار بهینگی
\bar{x}	بردار متغیرهای حالت

فصل ۲: آشنایی با مسئله پاندول معکوس

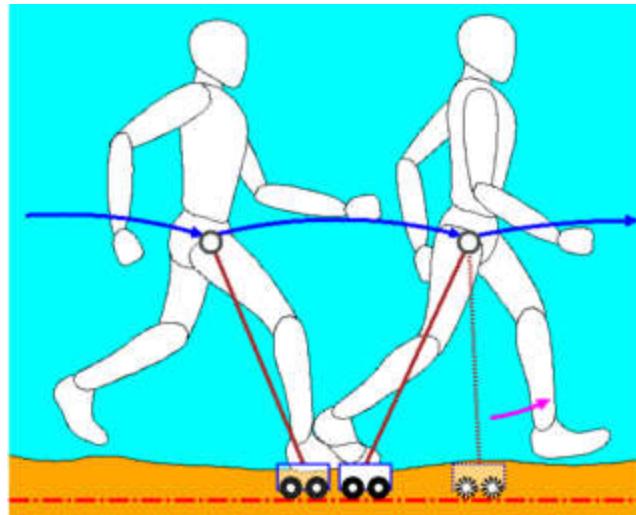
۲-۱. بیان اهمیت پاندول سه گانه و کاربردهای آن

در مصنوعات بشری و همچنین در طبیعت نمونه های زیادی از پاندول معکوس را میتوان مشاهده کرد. مثال بارز آن بدن انسان است. یک انسان در دویدن راه رفتن و یا ایستادن مانند یک پاندول معکوس است و مدام نیاز به حفظ تعادل خود دارد.

پاندول معکوس در دستگاه های مختلفی نیز به کار گرفته شده است.



شکل (۲) حرکت یک موشک در آستانه پرتاب



شکل (۱) رفتار بدن انسان به عنوان یک پاندول

به طور مثال پاندول معکوس در زلزله سنج های ابتدایی یک جزء مرکزی است زیرا جسمی کاملا ناپایدار است و با هر ارتعاشی یک جواب قابل اندازه گیری به سیستم میدهد. از کاربردهای دیگر آن میتوان به استفاده در سیستم های حمل و نقل اشاره کرد. به طور مثال ویلچر و وسایل نقلیه ی دو چرخ که قابلیت تحرک زیادی به کاربران خود داده اند از جمله مثال های آن در سیستم های حمل و نقل میباشند.



شکل (۳) موتور سیکلت به عنوان نوعی پاندول

شکل (۴) سامانه دو چرخ به عنوان نوعی
پاندول

۲-۲ مرواری بر ادبیات و تاریخچه و مقالات مرتبط با پاندول معکوس

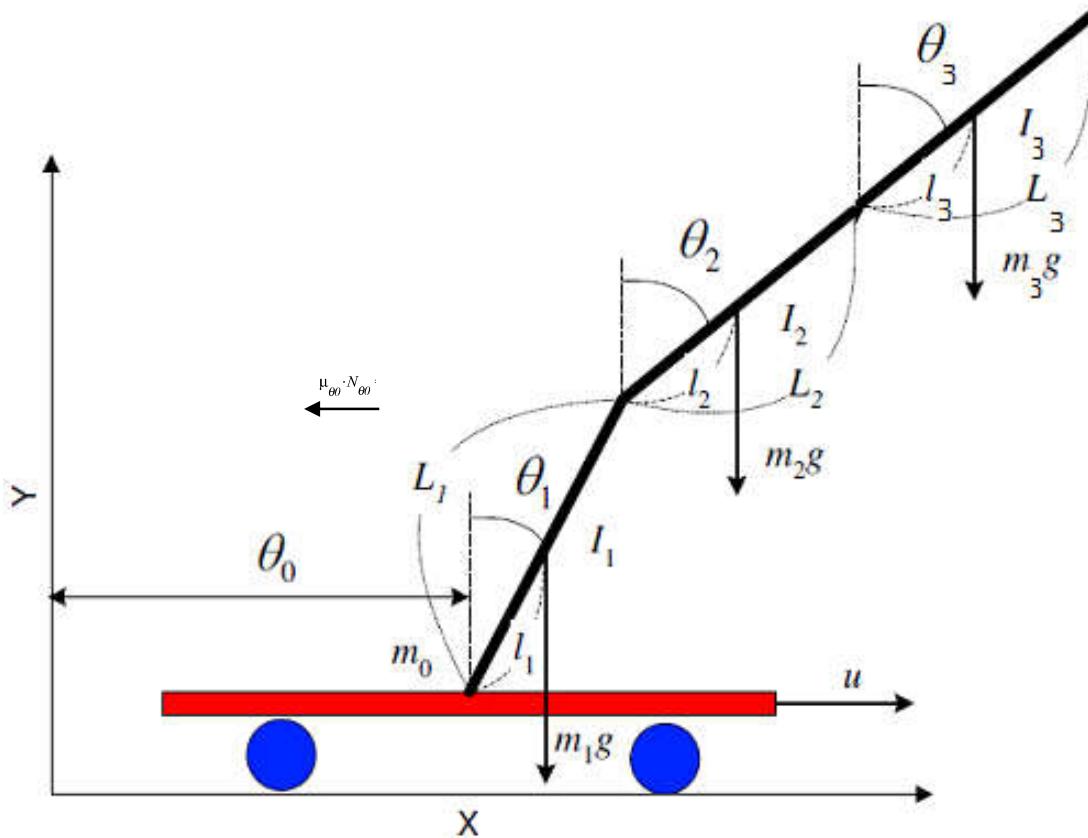
یکی از چالش‌های پیش رو در کنترل مدرن کنترل، پایدارسازی بر خط^۱ سیستم‌های غیر خطی می‌باشد. پاندول معکوس را می‌توان یکی از این سیستم‌های به شدت غیر خطی‌ای دانست که مدل سازی و همچنین ساخت آن راحت است. همچین دارای نمونه‌های بیرونی در طبیعت و ساخته‌های دست انسان‌ها است. به همین دلیل پژوهشگران برای بررسی روش‌های پایدار سازی از پاندول معکوس به گونه‌ای گستردۀ استفاده می‌کنند زیرا با نشان دادن توانایی کنترل و پایدارسازی این نوع پاندول می‌توانند به کارآمد بودن روش و درست بودن کنترل اعمال شده صحه گذارند.

به طور مثال در ایور[۱] به طراحی ساخت و کنترل آونگ یک و دو درجه آزادی پرداخته است. یادا و [۲] به بررسی عملکرد و طراحی یک آونگ معکوس دوگانه پرداخته است و سپس بوسیله رگولاتور خطی به کنترل بهینه‌ی آن پرداخته است. زارع[۳] به ارائه‌ی روش جدیدی برای کنترل آونگ معکوس دارای دو بازو پرداخته است. بوگدانو[۴] به کنترل بهینه آونگ معکوس دو بازویی از طریق رگولاتور خطی و سپس شبکه‌ی عصبی و در نهایت ترکیب این دو روش پرداخته است. التوهامی [۵] به کنترل بر خط و بررسی پاندول معکوس سه بازویی همراه با دمپینگ پرداخته است همچنین او در[۶] به ارائه‌ی روشی کنترل بهینه‌ی جدیدی برای کنترل برخط آونگ معکوس سه بازویی پرداخته است. گریچن[۷] کنترل مقید غیر خطی آونگ سه بازویی را در مقاله خود بدست آورده است. سگال [۸] به کنترل و پایدار سازی آونگ سه بازویی با استفاده از رگولاتور خطی پرداخته است. جدالوسکی[۹] آونگ معکوس کلاسیک و آونگ معکوس چرخان را با تعداد بازوی دلخواه مدل سازی کرده و فرمول کلی را برای مدل سازی هر دو در آورده است. گراسمن[۱۰] کنترل رگولاتور خطی را برای آونگ معکوس با تعداد بازوی دلخواه بدست آورده است. لم [۱۱] برای یک آونگ با تعداد بازوی دلخواه به کنترل پایدار کننده‌ی بر خط آن با اعمال گشتاور به اولین بازو آن پرداخته است.

^۱ Real time Stabilization

فصل ۳: مدلسازی و خطی سازی مسئله پاندول معکوس

۱-۳ مدلسازی کامل با در نظر گرفتن اصطکاک و وجود موتور یا دمپر بیچشی



شکل (۵) نمای شماتیک از سامانه پاندول سه بازویی

با استفاده از معادلات لاغرانژ (انرژی) معادلات حاکم بر پاندول سه گانه‌ی فوق را بدست می‌آوریم.

برای بدست آوردن این معادلات ابتدا از نرم افزار Maple استفاده شده (به بخش کدها و همچنین انتهای گزارش رجوع شود) و سپس معادلات در برنامه‌ی Matlab شبیه سازی و خطی سازی می‌گرند.

ابتدا معادلات انرژی جنبشی را محاسبه می‌کنیم:

$$T0 := \frac{1}{2}m_0 \cdot \left(\left(\frac{d}{dt} \theta_0(t) \right)^2 \right) : \quad (1)$$

$$TI := \frac{1}{2} \cdot m_1 \cdot \left(\left(\frac{d}{dt} \theta_0(t) + l_1 \cdot \frac{d}{dt} \theta_1(t) \cdot \cos(\theta_1(t)) \right)^2 + \left(l_1 \cdot \frac{d}{dt} \theta_1(t) \cdot \sin(\theta_1(t)) \right)^2 \right) + \frac{1}{2}I1 \cdot \left(\frac{d}{dt} \theta_1(t) \right)^2 : \quad (2)$$

$$T2 := \frac{1}{2} \cdot m_2 \cdot \left(\left(\frac{d}{dt} \theta\theta(t) + L1 \cdot \frac{d}{dt} \theta I(t) \cdot \cos(\theta I(t)) + l2 \cdot \frac{d}{dt} \theta 2(t) \cdot \cos(\theta 2(t)) \right)^2 + \left(L1 \cdot \frac{d}{dt} \theta I(t) \cdot \sin(\theta I(t)) + l2 \cdot \frac{d}{dt} \theta 2(t) \cdot \sin(\theta 2(t)) \right)^2 \right) + \frac{1}{2} I2 \cdot \left(\frac{d}{dt} \theta 2(t) \right)^2 : \quad (3)$$

$$T3 := \frac{1}{2} \cdot m_3 \cdot \left(\left(\frac{d}{dt} \theta\theta(t) + L1 \cdot \frac{d}{dt} \theta I(t) \cdot \cos(\theta I(t)) + l2 \cdot \frac{d}{dt} \theta 2(t) \cdot \cos(\theta 2(t)) + l3 \cdot \frac{d}{dt} \theta 3(t) \cdot \cos(\theta 3(t)) \right)^2 + \left(L1 \cdot \frac{d}{dt} \theta I(t) \cdot \sin(\theta I(t)) + L2 \cdot \frac{d}{dt} \theta 2(t) \cdot \sin(\theta 2(t)) + l3 \cdot \frac{d}{dt} \theta 3(t) \cdot \sin(\theta 3(t)) \right)^2 \right) + \frac{1}{2} I3 \cdot \left(\frac{d}{dt} \theta 3(t) \right)^2 : \quad (4)$$

$$T := T0 + T1 + T2 + T3 \quad (5)$$

سپس معادلات پتانسیل جسم را محاسبه می‌کنیم.

$$p0 := 0 \quad (6)$$

$$p1 := m_1 \cdot g \cdot l1 \cdot \cos(\theta I(t)) : \quad (7)$$

$$p2 := m_2 \cdot g \cdot (L1 \cdot \cos(\theta I(t)) + l2 \cdot \cos(\theta 2(t))) \quad (8)$$

$$p3 := m_3 \cdot g \cdot (L1 \cdot \cos(\theta I(t)) + L2 \cdot \cos(\theta 2(t)) + l3 \cdot \cos(\theta 3(t))) \quad (9)$$

$$p := p3 + p2 + p1 + p0 \quad (10)$$

سپس با استفاده از رابطه‌ی زیر L را به عنوان انرژی کل محاسبه مینماییم. (هر یک از پارامترها باید تعریف شوند)
 $L := T - p$ (11)