

ربات متحرک چرخ‌دار از متداول‌ترین ربات‌هایی است که در مهندسی کنترل کاربردهای آزمایشگاهی و عملی فراوانی دارد (شکل 1). معادله دینامیکی حاکم بر این سیستم برابر است با

$$\mathbf{M}(\mathbf{q})\ddot{\mathbf{q}} + \mathbf{V}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}) + \mathbf{G}(\mathbf{q}) = \mathbf{B}(\mathbf{q})\boldsymbol{\tau} + \mathbf{A}(\mathbf{q})$$

که در آن $\mathbf{M}(\mathbf{q}) \in \mathbb{R}^{n \times n}$ ماتریس متقارن و مثبت جرم و اینرسی، $\mathbf{V}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}) \in \mathbb{R}^{n \times n}$ ماتریس نیروهای کوریولیس و گریز از مرکز، $\mathbf{G}(\mathbf{q}) \in \mathbb{R}^{n \times 1}$ ماتریس نیروهای گرانش، $\mathbf{B}(\mathbf{q}) \in \mathbb{R}^{n \times r}$ ماتریس تبدیل ورودی، $\boldsymbol{\tau} \in \mathbb{R}^{r \times 1}$ بردار گشتاور ورودی، $\mathbf{A}(\mathbf{q}) \in \mathbb{R}^{n \times n}$ بردار مرتبط با قیود به صورت زیر می‌باشد:

$$\mathbf{M}(\mathbf{q}) = \begin{bmatrix} m & 0 & md \sin \theta \\ 0 & m & -md \cos \theta \\ md \sin \theta & -md \cos \theta & I \end{bmatrix}, \mathbf{V}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}) = \begin{bmatrix} md\dot{\theta}^2 \cos \theta \\ md\dot{\theta}^2 \sin \theta \\ 0 \end{bmatrix}, \mathbf{G}(\mathbf{q}) = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix},$$

$$\mathbf{B}(\mathbf{q}) = \frac{1}{r} \begin{bmatrix} \cos \theta & \cos \theta \\ \sin \theta & \sin \theta \\ R & -R \end{bmatrix}, \boldsymbol{\tau} = \begin{bmatrix} \tau_r \\ \tau_l \end{bmatrix}, \mathbf{A}(\mathbf{q}) = \begin{bmatrix} -m \sin \theta (\dot{x}_c \cos \theta + \dot{y}_c \sin \theta) \dot{\theta} \\ +m \cos \theta (\dot{x}_c \cos \theta + \dot{y}_c \sin \theta) \dot{\theta} \\ -d m (\dot{x}_c \cos \theta + \dot{y}_c \sin \theta) \dot{\theta} \end{bmatrix}$$

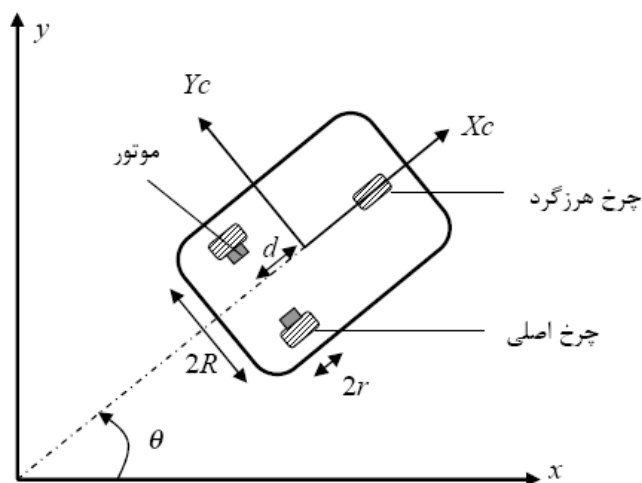
که در آن m جرم ربات، d فاصله مرکز ثقل ربات از محور واصل چرخ‌ها، R نصف فاصله دو چرخ، r شعاع هریک از چرخ‌ها، $[x_c, y_c]$ مختصات مرکز جرم ربات، $\mathbf{q} = [x_c, y_c, \theta]^T$ و I ممان اینرسی بدنه ربات حول محور عمود بر سطح زمین و گذرنده از مرکز ثقل ربات می‌باشد. مقدار پارامترهای ربات در جدول 1 داده شده است. معادلات سینماتیکی این ربات نیز عبارتند از

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_c \\ \dot{y}_c \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & -d \sin \theta \\ \sin \theta & -d \cos \theta \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ \omega \end{bmatrix}$$

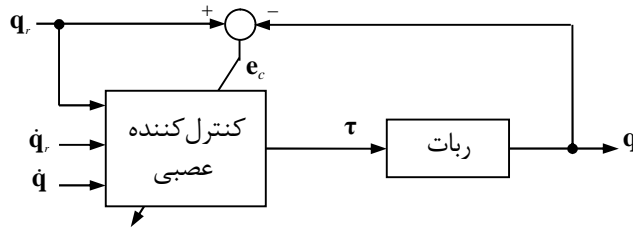
که در آن v سرعت خطی و ω سرعت زاویه‌ای ربات است.

جدول 1: مقدار عددی پارامترهای ربات

واحد	مقدار عددی	علامت
Kg	15	m
Kgm ²	5	I
m	0,15	R
m	0,05	r
m	0,1	d



شکل 1: ربات متحرک غیرهولونومیک با دو چرخ محرک و یک چرخ هرزگرد



شکل 2: دیاگرام بلوکی کنترل عصبی ربات چرخدار

هدف از حل این مساله، کنترل ربات با استفاده از شبکه‌های عصبی به صورت برخط (on-line) است (شکل 2). تابع هزینه برای آموزش کنترل کننده برابر است با

$$E_c = \frac{1}{2} \mathbf{e}_c^2(k) = \frac{1}{2} (\mathbf{q}_r(k) - \mathbf{q}(k))^2$$

که در آن $\mathbf{q}_r(k)$ ورودی مرجع و $\mathbf{q}(k)$ خروجی ربات است. به منظور تنظیم وزن‌های کنترل کننده عصبی، نیاز به مشتق تابع هزینه نسبت به وزن مورد نظر است

$$\frac{\partial E}{\partial w} = -\mathbf{e}_c \frac{\partial \mathbf{q}}{\partial w} = -e \frac{\partial \mathbf{q}}{\partial \tau} \frac{\partial \tau}{\partial w}$$

برای تعیین $\partial \mathbf{q} / \partial \tau$ (یعنی مشتق خروجی ربات نسبت به ورودی آن) که به آن حساسیت یا ژاکوبی سیستم نیز گفته می‌شود، می‌توان به روش‌های مختلفی عمل کرد:

(1) محاسبه آن با استفاده از معادلات سیستم.

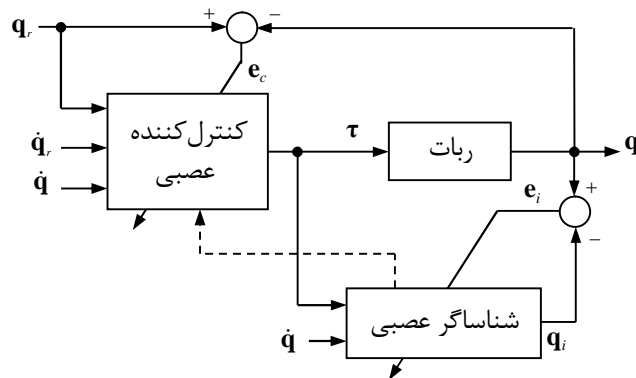
(2) استفاده از علامت مشتق

$$\frac{\partial \mathbf{q}}{\partial \tau} = \text{sgn} \left(\frac{\partial \mathbf{q}}{\partial \tau} \right)$$

که معمولاً برای بسیاری از سیستم‌ها (منجمله ربات چرخدار) می‌توان ثابت در نظر گرفت. سپس، جبران اندازه آن با تنظیم مناسب ضریب آموزش شبکه (η).

(3) شناسایی سیستم با استفاده از شبکه عصبی شناساگر. با فرض آموزش مناسب شبکه شناساگر، می‌توان گفت

$$\frac{\partial \mathbf{q}}{\partial \tau} \approx \frac{\partial \mathbf{q}_i}{\partial \tau}$$



شکل 3: استفاده از کنترل کننده و شناساگر

یکی از روش‌های بالا را انتخاب و به کار ببرید.

از شبکه RBF برای کنترل کننده (و شناساگر) استفاده کنید. برای مسیر دلخواه از یک مسیر دایره‌ای، مثلاً

$$\begin{cases} x_r(t) = a + b \cos(\omega_r t) \\ y_r(t) = c + b \sin(\omega_r t) \\ \theta_r(t) = \omega_r t \end{cases}$$

و یک مسیر مربعی استفاده کنید. سرعت‌های خطی (v_r) و زاویه‌ای (ω_r) را به‌طور مناسب تعیین کنید. موقعیت اولیه ربات را با فاصله از مسیر دلخواه قرار دهید.

عملکرد کنترل کننده و شناساگر را از جنبه‌های مختلف منجمله موارد ذیل بررسی کنید:

1- قوام در مقابل

آ) تغییر پارامترهای سیستم، ب) نویز اندازه‌گیری، پ) اشباع در سیگنال کنترلی، ت) اغتشاش خارجی

2- حجم محاسباتی شبکه‌های عصبی و امکان پیاده‌سازی بی‌درنگ آنها

لطفاً در نگارش گزارش، به نکات زیر توجه کنید:

- 1- گزارش باید به‌صورت کتبی (چاپ شده) شامل موارد ذیل باشد:
چکیده، فهرست مطالب، متن اصلی، نتیجه‌گیری و مراجع (چنانچه از مرجعی غیر از کتاب درسی استفاده کرده باشید).
- 2- گزارش باید حتماً به زبان فارسی نگارش شود. لطفاً از به‌کاربردن زبان انگلیسی خودداری کنید.
- 3- توجه داشته باشید که تمامی متن و نمودارها باید بر روی کاغذ چاپ‌شده باشند. متن یا نمودار بر روی CD قابل قبول نیست. لطفاً از ارسال فایل گزارش یا برنامه‌ها با ایمیل خودداری کنید.
- 4- تمامی معادلات باید دارای شماره باشند. تمامی شکل‌ها (جداول) باید دارای شماره و توضیح زیر شکل (بالای جدول) بوده و به آن‌ها به‌طور مناسب در متن ارجاع داده شود.
- 5- توضیحات کافی در مورد نتایج به‌دست آمده ارائه کنید.
- 6- نمودارها خوانا بوده به‌طوری‌که حروف و اعداد به راحتی قابل تشخیص بوده و خطوط با نوع‌های مختلف (خط پر، خط چین، خط نقطه، ...) رسم‌شده و با کمک راهنما (legend) متغیر هر نمودار مشخص شود.
- 7- برنامه‌های چاپ‌شده را در انتهای گزارش ضمیمه کنید.
- 8- هر دانشجو باید برنامه‌های کامپیوتری خود را بنویسد. به‌اشتراک گذاشتن برنامه‌ها مجاز نمی‌باشد. استفاده از دستورات آماده متلب در جعبه‌ابزارها مجاز نیست. باید خودتان برنامه‌ها را در m-فایل بنویسید.
- 9- یک CD که شامل برنامه کامپیوتری تکلیف شماره 1 و تکلیف شماره 2 باشد، را نیز به گزارش خود ضمیمه کنید.
- 10- امتیاز اضافی می‌تواند به این موارد ذیل تعلق گیرد:

آ) استفاده از شبکه SVM

ب) در نظر گرفتن اصطکاک سطح تماس چرخ‌ها با زمین

پ) اضافه کردن معادلات دینامیکی سرووموتورها (که در این صورت سیگنال کنترلی، ولتاژ اعمالی به سرووموتورها خواهد بود)

آخرین مهلت تحویل: شنبه 1403/04/23