

مدل سازی و شبیه سازی مولد مرکزی الگو جهت تولید حرکات منحنی-خطی در ربات مار

مرتضی واثق* یعقوب پوراسد**

* دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکترونیک، دانشگاه صنعتی ارومیه، ایران
** استادیار دانشکده مهندسی برق، دانشگاه صنعتی ارومیه، ایران
تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۳/۳۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۸/۰۵
نوع مقاله: پژوهشی

چکیده

با پیشرفت علوم و صنایع و اهمیت به کارگیری ربات‌ها، ضرورت استفاده از سیستم‌های خودکار امری ضروری به نظر می‌رسد. از آنجا که بیشتر کاربردهای ربات‌های مار حرکت در محیط‌های ناشناخته و بعضاً پیچیده است، لزوم ایجاد روش‌های کنترلی متفاوت برای آن‌ها احساس می‌شود. ماحصل ادغام دو علم عصب شناسی و رباتیک، تولید کننده‌های عصبی حرکتی هستند که با نام مولدهای مرکزی الگو شناخته می‌شوند که مسئله تولید حرکت در ربات می‌باشد. در این مقاله به بررسی کنترل حرکت ربات مار مانند با مولد مرکزی الگو (CPG) پرداخته شده که قادر به تولید الگوهای هماهنگ سیگنال‌های خروجی با فرکانس‌های مختلف هستند، بدین منظور لازم است که در ابتدا ربات مار مدل شود و پس از آن اعمال کنترلی اعمال شود. در این مقاله بررسی کنترل حرکت ربات در دو حالت حلقه باز و حلقه بسته برای شبکه CPG ارائه شده است. در عین حال این پژوهش با شبیه‌سازی‌های انجام شده نشان می‌دهد که هر چه میزان تحریک کمتر باشد و سطح آن پایین‌تر، منجر به تولید حرکتی با فرکانس پایین‌تر می‌شود و بالعکس. سپس نحوه تاثیر مدل‌های CPG که به عنوان شبکه‌های عصبی استفاده می‌شوند، در کنترل حرکت شبیه‌سازی شده‌اند. در این مقاله نکته قابل توجه در مقایسه با سایر کنترل کننده‌ها این است که در شبکه‌های عصبی مولد مرکزی الگو سیگنال‌های ساده برای تحریک و القای حرکت ربات‌ها کافی می‌باشد که در شبیه‌سازی نشان داده شده است.

واژگان کلیدی: مولد مرکزی الگو، شبیه‌سازی، ربات مار، کنترل کننده عصبی.

۱- مقدمه

محیط‌های ناشناخته و تصادفی کاربردهای بیشتری دارند، الزاماً به کارگیری روش‌های کنترلی جدید برای کنترل آن‌ها نیاز می‌باشد [۱]. یکی از این روش‌ها، ساختار کنترلی مولد مرکزی الگو است که در تحقیقات مختلفی ارائه شده است [۲-۳]. در [۲] مدل دینامیک غیرخطی کنترل کننده بیولوژیکی به وسیله طراحی یک مولد مرکزی الگو انجام شده است که کوپلینگ نوسان‌ها می‌باشد.

پیشرفت روزافزون علوم مختلف کاربرد ربات‌ها را در محیط‌های پیرامون افزایش داده است که در این راستا فضای کاری گسترده هست و نیاز به ربات قابل انعطاف حس می‌شود که از این رو نسل جدیدی از ربات‌های مار مانند به وجود آمدند. اکثر ربات‌های مار شکل درجات آزادی زیادی جهت انجام وظایف جانبی و بهینه کردن کاربردی شاخص‌های اصلی دارند. از آنجا که این نسل از ربات‌ها در

نویسنده مسئول: یعقوب پوراسد y.pourasad@uut.ac.ir

بالا بودن تعداد درجه آزادی باعث افزایش قدرت مانور و درجه مهارت ربات شده است [۱۰].

کوتاهی ابعاد ارتفاعی و عرضی ربات امکان حرکت در مسیرهای باریک مثل لوله و همچنین قابلیت استتار را برای آن فراهم ساخته است. در چنین رباتی مشکل تعادل و پایداری عمودی ربات وجود ندارد. با ثابت کردن جزو انتهایی ربات مار مانند می‌توان از آن به عنوان یک بازوی مکانیکی ماهر با درجه آزادی اضافی استفاده کرد. عامل محرک در چنین رباتی چرخ و یا اجزا دیگر نیست؛ بلکه می‌توان با استفاده از تعدادی راه‌انداز چرخشی، از طریق ایجاد گشتاور در مفاصل عامل محرک را ایجاد کرد. در کنترل و ایجاد حرکت در ربات فقط می‌توان با کنترل موقعیت سر ربات مسیر حرکت آن را تعیین کرد به طوری که دیگر عضوها از آن پیروی کنند. در برنامه‌ریزی حرکت ربات مسئله اساسی پیدا کردن یک حرکت ایمن و انجام پذیر برای رسیدن به هدف، با در نظر گرفتن قیود و ملاحظات خاص که منجر به چنین حرکتی شود، می‌باشد [۱۱].

اجرای عملی CPG در رشد اندام‌های پروتز فعال زانو در [۱۲] پیشنهاد شد. در برخی از پژوهش‌ها، شبیه‌سازی مدل CPG در متلب برای کنترل رفتار ربات با استفاده از دینامیک غیرخطی هست [۱۳ و ۱۴]. در [۱۵] روشی سریع جهت حل سینماتیک معکوس بازوهای مکانیکی با درجه آزادی بالا ارائه گردیده است که قادر به کمینه کردن مسیر حرکت مفاصل، انرژی مصرفی و گشتاور محرک‌ها در حین رسیدن به هدف با استفاده از الگوریتم ژنتیک می‌باشد.

در این مقاله کنترل حرکت ربات مار مانند با مولد مرکزی الگو (CPG) ارائه شده است که قادر به تولید الگوهای هماهنگ سیگنال‌های خروجی با فرکانس‌های مختلف می‌باشد. حرکت ربات در دو حالت حلقه باز و مقایسه شده و با توجه به استفاده از سیگنال‌های ساده برای تحریک و القای حرکت ربات‌ها، سیستم سریع و دقیق ارائه شده است.

۲- فرمول‌بندی مساله

۲-۱- ساختار CPG

ساختار اصلی CPG ارائه شده، بر اساس نوسانگر فرکانس تطبیقی Hopf است که در شکل (۱) ارائه شده است. ساختار CPG از نوسان‌سازهای فرکانس سازگار Hopf ساخته شده است، که نوسان‌سازهای Hopf اصلاح شده هستند که بر اساس [16] توسعه داده شده‌اند. این نوسان‌سازها این خاصیت را دارند

تحقیقات متعددی در زمینه بهینه‌سازی حرکت پیچشی ربات خزندگان با طراحی یک کنترل کننده ارائه شده است [۴-۶].

مسئله تولید حرکت در ربات مسئله‌ای است که در آن دو علم عصب‌شناسی و رباتیک با یکدیگر ملاقات می‌کنند. وجه مشترک این دو علم تولیدکننده‌های عصبی حرکتی هستند که با نام مولد مرکزی الگو شناخته می‌شوند. مولد مرکزی الگو مدارهای عصبی هستند که معمولاً در بین انتهایی مغز تا نخاع قرار گرفته‌اند و قادر هستند الگوهای هماهنگی را جهت حرکت‌های مختلف تولید کنند. ورودی این شبکه‌های عصبی اطلاعات حسگری ساده و خروجی آن‌ها الگوهای پیچیده، هماهنگ و دارای نظم برای حرکت می‌باشند. با توجه به [۷] اساس بسیاری از حرکات ریتمیک در حیوانات (مهره-داران و بی‌مهره) مولد مرکزی الگو می‌باشد. در حالت کلی مراحل تولید حرکت در یک ربات را می‌توان به سه لایه تقسیم کرد [۸]. لایه اول که لایه استراتژی کنترل نام دارد مقاصد سطح بالای ربات جهت حرکت به سمت یک نقطه مشخص و از روی یک منحنی معین را تعیین می‌کند. این لایه وظیفه تولید سیگنال‌های مرجع برای حرکت را نیز بر عهده دارد. لایه دوم، لایه برنامه‌ریزی و مولفه‌های میانی نام دارد. در این لایه شکل سیگنال‌های مرجع جهت حرکت به مقصدی از قبل تعیین شده و از مسیری معین تولید می‌شود.

لایه سوم ربات شامل کنترل کننده‌هایی است که برای تطبیق سیگنال‌های مورد نیاز خروجی محرک‌ها استفاده می‌شود و تضمین‌کننده تعقیب شدن سیگنال‌های مرجع تولید شده در لایه بالایی می‌باشد و مسئله اصلی حرکت در ربات‌ها شیوه تولید سیگنال‌های مرجع حرکتی با توجه به مقاصد سطح بالای ربات یا در حقیقت لایه دوم می‌باشد. ربات مار مانند که با الهام از طبیعت و حرکت خزشی مار طراحی می‌شود جزو ربات‌های خزنده محسوب می‌شود که بدون استفاده از محرک‌هایی قادر به حرکت است. حرکت خزشی به عنوان یک مدل حرکتی که در طبیعت در برخی جانوران از جمله مارها دیده می‌شود از تحلیل سینماتیکی و دینامیکی خاص برخوردار است.

در طبیعت مار با حرکات گوناگون خود می‌تواند در محیط‌های مختلفی نظیر آب و خاک، زمین‌های سفت و حتی ناهموار حرکت کنند. این جانور حتی قادر است از اجسام یا درختان بالا رود، از موانع عبور کند و یا در محیط‌های شنی و لغزنده نیز به حرکت خود ادامه دهد؛ بنابراین یک ربات خزنده می‌تواند از قابلیت‌های بالایی برخوردار باشد. بند بند بودن ربات، افزایش و یا کاهش طول بدنه، موتورها عضوها به یکدیگر را به سادگی امکان‌پذیر ساخته است [۹].

عنوان یک سیستم دینامیکی قابلیت‌هایی مانند سنکرون کردن و یا قفل کردن فاز و فرکانس آن‌ها را دارند.

۳-۲- معادلات نوسانگر دینامیکی مولدهای مرکزی الگو

با توجه به نوسانگر دینامیکی غیرخطی، معادله دارای یک حلقه f دو شاخه است که با معادلات متفاوتی ارائه می‌شود [۱۶] که در اینجا در معادله ۴ نشان داده شده است.

$$\begin{aligned} x &= \alpha(\mu v - r^2)(x - 0) - \omega l \\ y &= \alpha(\mu v - r^2)y + \omega l(x - 0) \end{aligned} \quad (4)$$

که $r = \sqrt{x^2 + y^2}$ است، x, y متغیرهای ثابت هستند. نوسانگر غیرخطی دارای یک حلقه دو شاخه f است که راه‌حل دو شاخه‌ای یا دارای نقطه ثابت در $(x, y) = (0, 0)$ برای $(\mu v < 0)$ است، یا به شکل ساختاری نوسان هارمونیک ثابتی در حدود $(x, y) = (0, 0)$ برای $(\mu v > 0)$ دارد.

۴-۲- کنترل مستقل نوسان‌گرهای دینامیکی

نوسان‌گر به وسیله معادله ۴ ایجاد شده در مسیر نوسانی x توصیف می‌شود که بخش‌های صعودی و نزولی دارای مدت یکسانی هستند. برای به دست آوردن کنترل مستقل در مدت این بخش‌ها، از معادله پیشنهاد شده در [۱۷] استفاده می‌شود (معادله ۵).

$$\omega = \frac{1 - \beta}{\beta} \frac{\omega_{sw}}{e^{-az} + 1} + \frac{\omega_{sw}}{e^{az} + 1} \quad (5)$$

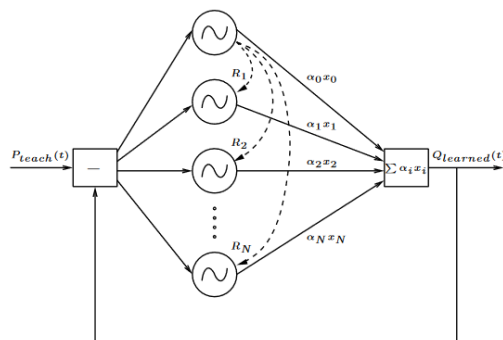
مقدار رابطه در این حالت بین دو مقدار $\frac{1-\beta}{\beta} \omega_{sw}$ و ω_{sw} است و به مقدار متغیر Z وابسته است. متغیر β فاکتور وظیفه است و سهم فاز حمایتی برای حرکت است. اگر $Z < 0$ باشد، می‌تواند راه حل x در بخش کاهش حرکت باشد. با تغییر مقدار فرکانس در هر مرحله از راه حل x ، به طور مستقل طول مدت هر بخش را می‌توان کنترل کرد. تغییر سرعت بین این دو مقدار به وسیله a کنترل می‌شود.

۵-۲- نوسان‌گر دینامیکی مولد مرکزی الگو برای خزش‌های

مفاصل ربات

یکی از ویژگی مهم نوسان‌کننده دینامیکی این است که آن‌ها برای سازماندهی توزیع شده مناسب هستند. توجه شود که واحد مولد مرکزی الگو کنترل‌کننده مفصل است، مختصات DOF درون مفاصل شکم به وسیله جفت شدن به دست می‌آید. در رفتار ارائه

که می‌توانند فرکانس یک سیگنال ورودی تناوبی را بدون هیچ‌گونه فرآیند بهینه‌سازی بیرونی ثابت نگه دارند.



شکل ۱: ساختار اصلی CPG بر اساس نوسانگر فرکانس تطبیقی [۱۶].

۲-۲- طراحی شبکه مرکزی ایجاد الگو با روش سیستم‌های دینامیکی برای ایجاد گیت‌های حرکتی

در ابتدا برای طراحی کنترل‌کننده نیاز به دانستن دینامیک ربات و نحوه حرکت آن هست که این دینامیک‌ها به صورت معادلات ۱ و ۲ به دست می‌آید.

$$\begin{bmatrix} \mathcal{S} & 0 \\ 0 & ml \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \ddot{\theta} \\ \ddot{\omega} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} C\dot{\theta}^2 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathcal{R} & S \\ \mathcal{S} & Q \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \dot{\theta} \\ \dot{\omega} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{D} \\ 0 \end{bmatrix} u \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} \mathcal{R} & S \\ \mathcal{S} & Q \end{bmatrix} := \begin{bmatrix} D_\tau & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \dot{\mathcal{L}} \\ \dot{E} \end{bmatrix} \Omega_\theta D_f \Omega_\theta \begin{bmatrix} \mathcal{L} & E \end{bmatrix} \quad (2)$$

نوسانگرها به عنوان زیرمجموعه مهمی در سیستم‌های دینامیکی می‌باشند که دارای ساختارهای پایداری مانند سیکل حدی می‌باشند. به طور کلی یک سیستم دینامیکی به صورت مجموعه‌ای از معادلات دیفرانسیل مدل‌سازی می‌شود که نرخ تغییرات برخی از متغیرهای آن توسط تعدادی از پارامترها تنظیم و تغییر می‌یابد. این مدل‌سازی کلی در معادله ۳ نشان داده شده است:

$$\dot{\vec{X}} = F(\vec{X}, \vec{P}) \quad (3)$$

که $\vec{X} = \{X_1, \dots, X_n\}$ متغیر سیستم دینامیکی و بردار پارامترهای مدل‌سازی $\vec{P} = \{P_1, \dots, P_n\}$ می‌باشد.

در این مقاله مولد مرکزی الگو به عنوان شبکه‌ای متشکل از نوسانگرهای غیرخطی مدل‌سازی می‌شود که با یکدیگر در یک توپولوژی مفروض کوپل شده‌اند و گذار این سیستم دینامیکی در طول زمان، توسط تعدادی پارامتر تعیین می‌شود. خروجی رفتار این سیستم دینامیکی یا مولد مرکزی الگو به صورت متناوب دارای فرکانس مشخص می‌باشد. با تغییر دادن پارامترهای اصلی در معادلات نوسانگرها می‌توان دامنه، فاز و کوپلینگ بین نوسانگرها را تغییر داد. علت اصلی این توانایی هم این می‌باشد که نوسانگرها به

۷-۲- طراحی ساختار شبکه‌ی دو لایه ای برای ایجاد گیت‌های حرکتی و کنترل آن

ویژگی‌های کلی به دست آمده با این روش به صورت زیر فهرست شده است [۱۲]:

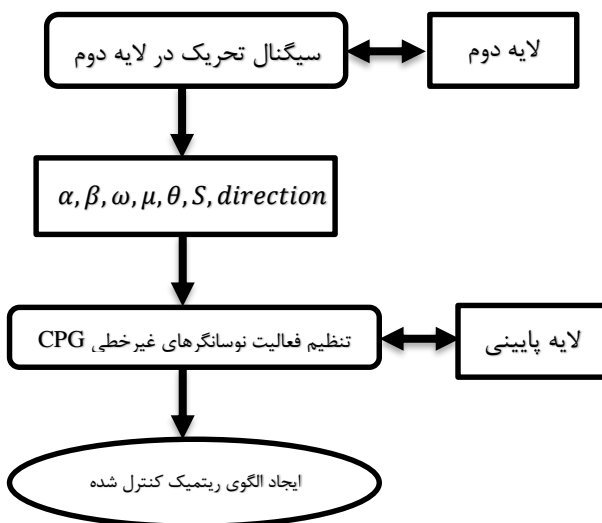
- ایجادکننده الگوهای حرکتی خودکار در هر مفصل که توسط فرمان‌های ساده بتوان فعالیت‌های ریتمیک، فرکانس و دامنه آن‌ها را تنظیم نمود.
- کنترل مستقل قسمت فراز و نشیب الگوها CPG، یعنی بتوان به صورت مستقل زمان فاز SWING و STANCE را برای ایجاد سرعت‌های مختلف در ربات ایجاد کرد.

- ایجاد هماهنگی زمانی بین مفاصل، تا به درستی حرکت و گیت مورد نظر را ایجاد کند.

- فاز نسبی بین مفاصل در گذار گیت‌ها به تدریج به حالت سنکرون با افزایش سرعت تغییر پیدا بکند تا باعث پایداری حرکتی ربات شود.

- تنظیم الگوها و فعالیت‌های CPG با فرمان‌ها یا سیگنال‌های ساده از بخش‌های دیگر، تا به این شبکه ارسال و متناسب با زمان بندی دقیق آنها فعالیت شبکه CPG تنظیم شود.

برای به دست آوردن ویژگی‌های بالا بایستی سیگنال تحریک در زمان بندی مشخص، پارامترهای اصلی نوسانگرها را تنظیم کرد که شکل ۲ این پارامترهای اصلی را نشان می‌دهد.



شکل ۲: بلوک دیاگرام ساختار دو لایه‌ای جهت تولید الگوهای ریتمیک و قابل تنظیم.

۳- نتایج شبیه سازی

۱-۳- شبیه سازی کنترل کننده در حالت حلقه باز

در گام اول کنترل کننده CPG به شکل حلقه باز شبیه سازی شده است. در حالت حلقه باز جهت تنظیم حرکت ربات لازم است

شده، دینامیک هر واحد مولد مرکزی الگو درون همان شکم است. با این جفت شدگی اطمینان حاصل می‌شود که مفصل همگام باقی می‌ماند. به ویژه، در زمانی که مفصل نوسانی در فاز نوسانی قرار دارد، مفصل در حال حرکت مرتبط باید در فاز نوسانی قرار داشته باشد، هر واحد مولد مرکزی الگو به شکل یک طرفه جفت می‌شود که به نوسان شکم واحد مولد مرکزی الگو مرتبط است و به وسیله تغییر معادلات دیفرانسیلی Z انجام می‌شود بر اساس معادله ۶ انجام می‌شود.

$$Z_f = k \frac{Z_s}{r_s} \quad (6)$$

که در آن K شدت اتصال (جفت شدن) مفاصل است. واحدهای مولد مرکزی الگو از طریق Z جفت می‌شوند، زیرا این روش ساده ترین روش جفت شدگی است.

۶-۲- مدل سازی مولد مرکزی الگو

۱-۶-۲- شروع و توقف حرکت

از نظر کیفی، به وسیله اصلاح پارامتر ν ، سیستم ۱ بین نقطه ثابت ساکن در $x = 0$ (برای $\nu = -1$) و حرکت مناسب ($\nu = 1$) قرار دارد؛ بنابراین، پارامتر ν کنترل می‌کند که آیا نوسان گرها به وسیله واحد مولد مرکزی الگو تولید شده است یا نه و در نهایت، حرکت ایجاد می‌شود. باید توجه شود که برای $\nu = 1$ ، حرکت ایجاد شده یک حرکت گسسته است. در این حالت نقطه ثابت می‌تواند تغییرات را جبران کند. پارامتر $\nu_{p,i}$ مجموعه‌ای است از m تا $A_{p,i}$ که به صورت ν است:

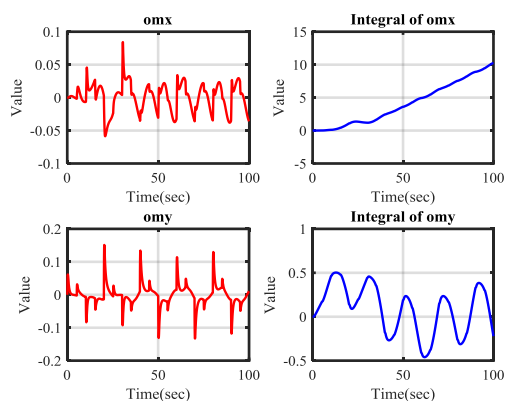
$$\nu_{p,i} = \begin{cases} -1, & m < m_{low} \vee |A_{p,i}| \leq 0.5 \\ 1, & m \geq m_{low} \wedge |A_{p,i}| > 0.5 \end{cases} \quad (7)$$

۲-۶-۲- مدل سازی سرعت ربات

سرعت ربات به وسیله تغییر فاکتور وظیفه β تغییر می‌کند که منجر به کنترل مدت فاز ایستادن می‌شود، مدت فاز ایستادن کوچکتر منجر به سرعت بالاتر می‌شود. همانطور که تعدیل راندن در شدت افزایش پیدا می‌کند، فاکتور وظیفه β ، به شکل خطی از 0.89 (برای حرکت خزیدن) تا 0.5 کاهش پیدا می‌کند. فاکتور وظیفه به شکل ریاضی به عنوان یک تابع خطی تکه‌ای است که در ۸ نشان داده شده است.

$$\beta = \begin{cases} 0.89 & m < m_{low} \\ 0.5 & m \geq 2.5 \end{cases} \quad (8)$$

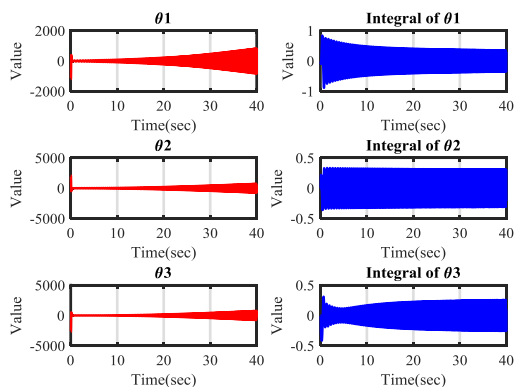
این عملکرد برای $\beta = 0.5$ اشباع را نشان می‌دهد؛ زیرا شکم ربات نمی‌تواند سریعتر از راه رفتن عمل کند.



شکل ۵: مسیر حرکت ربات در راستای XY.

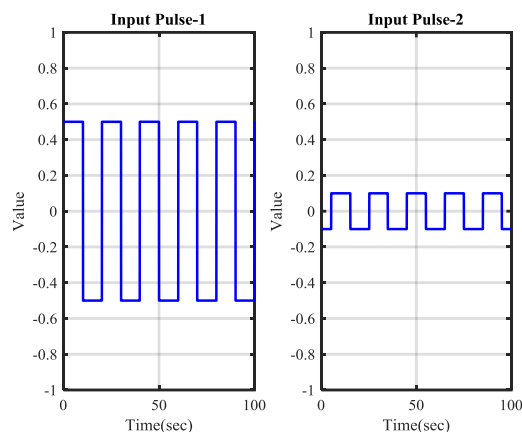
۲-۳- حرکت در راستای محور x با سرعت معین

در این حالت پارامتر کنترل جهت حرکت در زاویه صفر درجه تنظیم می‌شود که هدف حرکت در راستای محور X است که در این حالت سرعت حرکت ربات که قابل تغییر با پارامتر Speed است، به اندازه ۲ واحد انتخاب می‌شود. همانطور که در شکل‌های ۷ و ۸ مشخص است، در لحظات اولیه شبیه‌سازی به علت زیاد بودن زمان نشست سیگنال کنترلی در راستای Y در لحظات اولیه حرکت ربات در راستای محور Y نوسان سینوسی خواهد داشت. پس از حدود ۲۰ ثانیه حرکت در راستای محور Y پایدار خواهد بود و در مجموع حرکت پایداری را از ربات خواهیم دید.



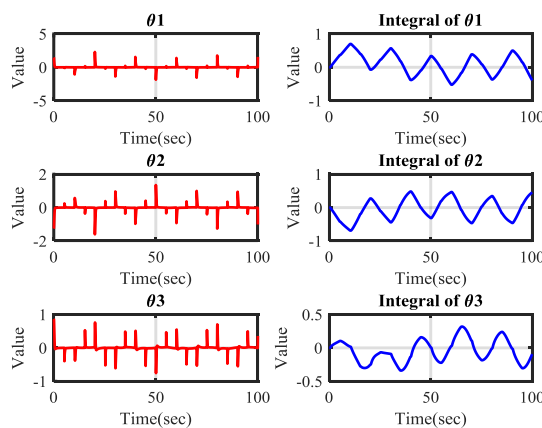
شکل ۶: تغییرات فازها در حالت حلقه بسته.

سیگنال ورودی به واحد CPG اعمال شود. به همین منظور سیگنال پالس مربعی با دامنه واحد و آفست DC برابر با -0.5 به ورودی کنترل کننده وارد می‌شود. به علت اینکه ساختار اولیه شبیه‌سازی حلقه بسته نیست؛ بنابراین نوسانگر پالس مربعی به عنوان سیگنال ورودی تحریک وارد می‌شود (شکل ۳).

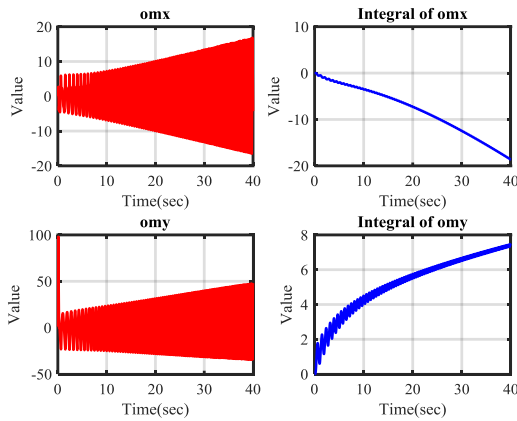


شکل ۳: سیگنال‌های تحریک کننده ورودی کنترل‌گر در حالت حلقه باز.

جهت تسریع سرعت حرکت ربات لازم است، دو سیگنال تحریک به ورودی وارد شده به طوری که تاخیری به اندازه ۵ ثانیه بین دو سیگنال تحریک ورودی وجود دارد. با اعمال این سیگنال تحریک خروجی‌های کنترل کننده به صورت شکل‌های ۴ و ۵ به دست آمده است.



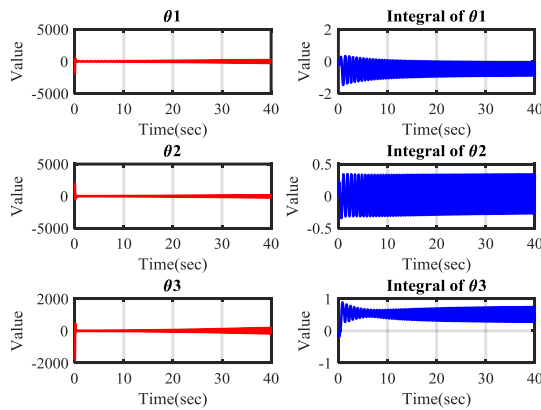
شکل ۴: تغییرات فازهای θ_1 ، θ_2 و θ_3 در حالت حلقه باز.



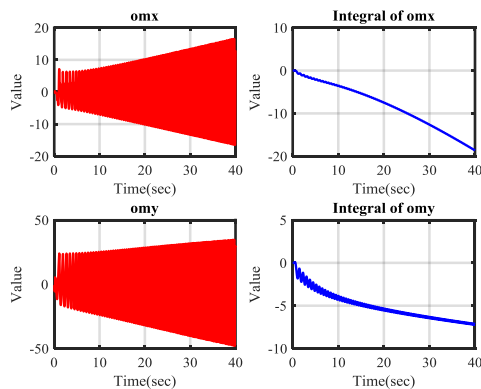
شکل ۹: مسیر حرکت ربات در راستای XY در حالت حلقه بسته.

۳-۴- حرکت در راستای منفی محور y و مثبت محور x در سرعت معین

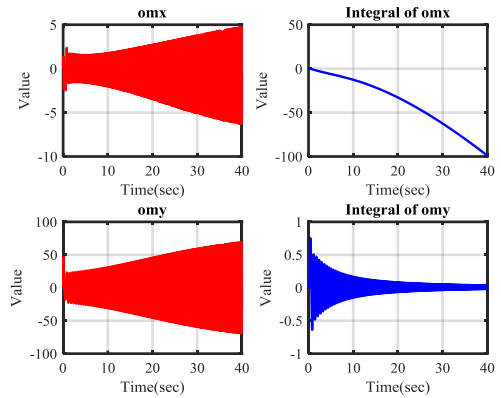
مشابه حالت دوم، در این حالت به ازای تغییر پارامتر جهت مسیر حرکت ربات در راستای منفی محور Y تغییر یافته است. با توجه به شکل‌های ۱۰ و ۱۱ می‌توان دریافت که فرکانس تغییرات فاز نسبت به نتایج حالت اول کاهش یافته است. در شکل ۱۰ به ازای ۴۰ ثانیه شبیه‌سازی تنها ۲۰ واحد حرکت در راستای محور X و ۸ واحد حرکت در راستای منفی محور Y وجود دارد.



شکل ۱۰: تغییرات فازهای θ_1 ، θ_2 و θ_3 در حالت حلقه بسته با $Speed=2$



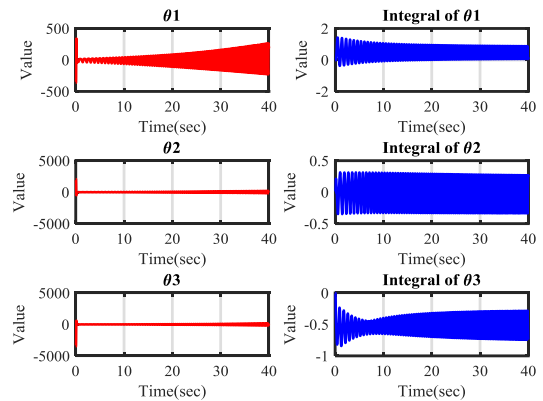
شکل ۱۱: مسیر حرکت ربات در راستای XY در حالت حلقه بسته.



شکل (۷): مسیر حرکت ربات در راستای XY در حالت حلقه بسته.

۳-۳- حرکت در راستای مثبت محور y و مثبت محور x با سرعت معین

در این حالت به ازای تغییر پارامتر جهت مسیر حرکت ربات در راستای مثبت محور Y تغییر یافته است. با توجه به شبیه‌سازی‌های انجام شده که در شکل‌های ۸ و ۹ نشان داده شده، می‌توان دریافت که فرکانس تغییرات فاز نسبت به نتایج حالت اول کاهش یافته است. با دقت در شبیه‌سازی شکل ۹ به ازای ۴۰ ثانیه شبیه‌سازی تنها ۲۰ واحد حرکت در راستای محور X و ۸ واحد حرکت در راستای محور Y وجود دارد.



شکل ۸: تغییرات فازها در حالت حلقه بسته.

۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله یک معماری معرفی شده است که این ساختار از مولدهای مرکزی الگو (نخاع حیوان) الهام گرفته و حالت‌های زیر را پیشنهاد می‌دهد که نسبت به کارهای قبلی دارای برتری هست:

-مختصات مورد نیاز مسیره‌ها را برای حرکت ایجاد می‌کند.
-الگوهای موتور را مطابق با افزایش سرعت مدل‌سازی تغییر می‌دهد.
-برای به دست آوردن حرکت در جهت مناسب در سرعت راه رفتن، مسیر و زاویه سرعت مناسب ارائه شده است.

- به علاوه در این مقاله، CPG با استفاده از نوسانگر غیرخطی طراحی می‌شود که چندین مزیت دلخواه را در کاربردهای ربات نشان می‌دهد که از آن جمله می‌توان به امکان فراهم کردن یکپارچه‌سازی مکانیسم بازخورد حسی اشاره کرد.

-همچنین این کاربردها اجازه می‌دهند تا مختصات همه مفصل‌ها در تمام جهت‌های مناسب قرار گیرد. در این حالت همچنین یک روش برای مدل‌سازی همه پارامترهای CPG، نشان داده شده است که فقط در تعداد کمی از پارامترها به تبدیل دستی نیاز دارد.

-به علاوه در این مقاله، دستورات هدایت کردن در فعالیت‌های هدایت رفتارهای موتور مدل‌سازی می‌شود که از طریق مدل‌سازی دامنه‌های نوسانی و در حال حرکت انجام می‌شود.

- حرکت ایجاد شده از طریق دستورات سطح بالاتر مدل‌سازی می‌شود و حرکت راه رفتن مطلوب در سرعت انتقالی، جهت راه رفتن در سرعت زاویه‌ای کدگذاری می‌شود؛ بنابراین، ابعاد کنترل مسئله کاهش پیدا می‌کند. که این مورد یکی از مزیت‌های مهم این مقاله هست.

نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که کنترل‌گر ارائه شده بر اساس [۷] می‌تواند جهت حرکت مفصل مورد نیاز را ایجاد کند که شامل حرکت در جهت مناسب و تغییر حرکت است. همچنین نتایج نشان می‌دهد که محاسبات دامنه حرکت و مسیر هر مفصل، بر خلاف مقدار سرعت تقریبی، می‌تواند به شکل موفقیت آمیزی در پارامترهای CPG در سرعت انتقالی دلخواه مدل شود و همچنین دامنه حرکت می‌تواند با سرعت زاویه‌ای و جهت راه رفتن مدل‌سازی شود و ربات می‌تواند حرکت در جهت مناسبی را اجرا کند.

مراجع

- Computer and Information Science. 2011, 168, 289-300. 10.1007/978-3-642-22606-9_31.
۳. شهبازی ح، جمشیدی ا، و منجمی ا، ۱۳۹۰، مدل‌سازی مولد مرکزی الگو در نخاع جهت تولید حرکات منحنی - خطی در ربات انسان نما، یازدهمین کنفرانس سیستم‌های فازی ایران، زاهدان، دانشگاه سیستان و بلوچستان.
4. Atoofi P., Hamker F., Nassour J., Learning of Central Pattern Generator Coordination in Robot Drawing, Front. Neurobot., 23, 2018, 13-22.
۵. تقی راد ح، ظریف لولویی آ، خسروی م، رباتهای موازی کابلی: سینماتیک، دینامیک و کنترل، مجله کنترل، جلد ۸، شماره ۳، ۱۳۹۳، ۸۷-۱۱۷.
6. Komarov M., Pikovsky A., The Kuramoto model of coupled oscillators with a bi-harmonic coupling function, Physica D: Nonlinear Phenomena, 289, 2014, 18-31.
7. Ijspeert A.J., Central pattern generators for locomotion control in animals and robots: a review, Journal of Neural Networks, 21, 4, 2008, 642-653.
۸. صفایی سیف د، فرشاد ب، ارایه روش جدید برای حل سینماتیک معکوس و بهینه کردن عملکرد بازوهای مکانیکی ماهر با درجه آزادی بالا توسط الگوریتم ژنتیک، کنترل، شماره ۱ دوره ۲، ۱۳۸۷، ۶۵-۷۳.
9. Transteth A., Ytterstad K., Developments in snake robot modeling and locomotion, ICARCV, 2006. 156-164.
10. Ijspeert J., Crespi A., Ryczko D., Cabelguen J. M., From swimming to walking with a salamander robot driven by a spinal cord model, Journal of Science, 315 (5817), 2017, 1416-1420.
- A. Ijspeert J., Crespi A., Cabelguen J. M., Simulation and robotics studies of salamander locomotion: Applying neurobiological principles to the control of locomotion in robots, Journal of NeuroInformatics, Vol 3(3), 2015, pp. 171-196.
11. Ludovic R., Auke Jan J., Programmable Central Pattern Generators: an application to biped locomotion control, Proceedings of the 2006 IEEE International Conference on Robotics and Automation Orlando, Florida - May 2006.
۱۲. خدابنده ب، شهبازی ح، منجمی ا، آموزش تقلیدی حرکات پیچیده به رباتهای انسان نما به کمک بهینه‌سازی تکاملی شبکه عصبی مولد الگوی واحد، نشریه مهندسی مکانیک امیرکبیر، ۱۳۹۷، ۵۰، ۱۱۲۳-۱۱۳۶.
13. Chang H., Vela Patricio A., Shape-centric modeling for control of traveling wave rectilinear locomotion on snake-like robots, Robotics and Autonomous Systems, 124, 2020, 103406.
14. Ludovic R., & Jonas B., Ijspeert, A.J., Dynamic Hebbian learning in adaptive frequency oscillators. Physica D: Nonlinear Phenomena. 216, 2016, 269-281. 10.1016/j.physd.2016.02.009.
15. Castañós F., Franci A., Implementing robust neuromodulation in neuromorphic circuits, Neurocomputing, 233, 12, 2017, 3-13.
16. Dutta, S., Parihar, A., Khanna, A. Programmable coupled oscillators for synchronized locomotion. Nat Commun 2019, 10, 3299. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-11198-6>.

1. Bamdad M., Mardany A., Motion analysis of continuum robots structures with cable actuation, Modares Mechanical Engineering, 14, 14, 2015, 67-87.
2. Mondal S., Nandy A., Verma, C., Shukla S., & Saxena, N., Chakraborty P., Nandi, G. Modeling a Central Pattern Generator to Generate the Biped Locomotion of a Bipedal Robot Using Rayleigh Oscillators. Communications in

Modeling and simulation of the central generator of the pattern to produce curved-linear motions in the snake robot

Abstract

With the advancement of science and technology and the importance of using robots, the need to use automated systems seems essential. Since most applications of snake robots move in unfamiliar and sometimes complex environments, there is a need to develop different control methods for them. The product of the integration of the two sciences of neuroscience and robotics, are motor neuron producers known as model central generators, which is the problem of producing motion in the robot. In this paper, we control the movement of a snake-like robot with a central pattern generator (CPG) that is able to produce coordinated patterns of output signals with different frequencies. For this purpose, it is necessary to model the snake robot first and then apply control. In this paper, the control of robot motion in two modes of open loop and closed loop for CPG network is presented. At the same time, this study with simulations shows that the lower the level of stimulation and the lower its level, the lower the frequency of motion production and vice versa. Then, the effect of CPG models, which are used as neural networks, is simulated in motion control. In this paper, the remarkable point in comparison with other controllers is that in the central generating neural networks, the pattern of simple signals is sufficient to stimulate and induce the movement of robots, which is shown in the simulation.

Keywords: Central pattern generator, simulation, snake robot, neural control.