



۱. (۲۰ نمره) یک ربات هدایت تفاضلی در موقعیت  $\xi_1 = \begin{bmatrix} 1m \\ 2m \\ \frac{\pi}{2}rad \end{bmatrix}$  قرار گرفته است. می‌خواهیم این ربات را به موقعیت

$\xi_2 = \begin{bmatrix} 1.5m \\ 2m \\ \frac{\pi}{2}rad \end{bmatrix}$  برسانیم. حرکت این ربات به وسیله سه تایی<sup>۱</sup>هایی به شکل  $(\dot{\varphi}_1, \dot{\varphi}_2, t)$  تعیین می‌شود که در آن  $\dot{\varphi}_1$  سرعت چرخش چرخ راست،  $\dot{\varphi}_2$  سرعت چرخش چرخ چپ و  $t$  زمان هدایت است.

۱. کمترین دستورات مورد نیاز برای رساندن ربات به موقعیت مورد نظر چند تاست؟ چرا؟
  ۲. طول کوتاه‌ترین مسیر<sup>۲</sup> طبق شرط ذکر شده در بخش قبلی چقدر است؟
  ۳. با چه دنباله‌ای از دستورات با تعداد دلخواه می‌توان ربات را از موقعیت اولیه به موقعیت نهایی رساند؟ حداکثر سرعت هر چرخ را  $v$  و فاصله بین دو چرخ را  $l$  در نظر بگیرید.
  ۴. طول مسیر به دست آمده در بخش قبلی چقدر است؟
۲. (۱۵ نمره) سرعت‌های زیر را به چرخ‌های ربات e-puck<sup>۳</sup> اعمال کرده و در هر مورد، نمودار مسیر حرکت  $(X - Y)$  و جهت سر ربات نسبت به زمان  $(\theta - t)$  را رسم کنید:

$$1. \dot{\varphi}_1 = 1rad/s, \dot{\varphi}_2 = 1rad/s$$

$$2. \dot{\varphi}_1 = 1rad/s, \dot{\varphi}_2 = -1rad/s$$

$$3. \dot{\varphi}_1(t) = \sin t rad/s, \dot{\varphi}_2(t) = -\cos t rad/s$$

منظور از  $t$ ، گام زمانی در شبیه‌ساز است.

برای دسترسی به موقعیت ربات، از حسگرهای GPS<sup>۴</sup> و Compass<sup>۵</sup> استفاده کنید.  
برای رسم نمودارها، استفاده از هر ابزار دلخواهی مجاز است.

<sup>1</sup>Triplet (3-Tuple)

<sup>2</sup>Trajectory

<sup>3</sup><https://www.cyberbotics.com/doc/guide/epuck?version=cyberbotics:R2019a>

<sup>4</sup><https://cyberbotics.com/doc/reference/gps>

<sup>5</sup><https://cyberbotics.com/doc/reference/compass>

۳. (۲۰ نمره) تابعی برای سینماتیک مستقیم ربات هدایت تفاضلی پیاده‌سازی کنید. پارامترهای ورودی:

- $x$ : مؤلفه افقی موقعیت فعلی ربات
- $y$ : مؤلفه عمودی موقعیت فعلی ربات
- $\theta$ : زاویه سر ربات
- $v_1$ : سرعت چرخ راست
- $v_2$ : سرعت چرخ چپ
- $t$ : زمان هدایت
- $l$ : فاصله بین دو چرخ ربات

مقادیر خروجی:

- $x_n$ : مؤلفه افقی موقعیت نهایی ربات
- $y_n$ : مؤلفه عمودی موقعیت نهایی ربات
- $\theta_n$ : زاویه نهایی سر ربات

فرض کنید رباتی در موقعیت  $\xi = \begin{bmatrix} 1.5m \\ 2m \\ \frac{\pi}{2}rad \end{bmatrix}$  قرار گرفته است. دنباله زیر از دستورات را بر روی آن اجرا می‌کنیم:

$$c_1 = (v_1 = 0.3m/s, v_2 = 0.3m/s, t = 3s) \quad ۱.$$

$$c_2 = (v_1 = 0.1m/s, v_2 = -0.1m/s, t = 1s) \quad ۲.$$

$$c_3 = (v_1 = 0.2m/s, v_2 = 0m/s, t = 2s) \quad ۳.$$

به کمک تابعی که پیاده‌سازی کردید، موقعیت ربات را پس اعمال هر دستور محاسبه کنید. فاصله بین دو چرخ ربات را  $l = 0.5m$  در نظر بگیرید.

۴. (۱۵ نمره) مدل سینماتیک معکوس ربات هدایت تفاضلی<sup>۶</sup> را در قالب تابعی به‌دست آورید که با دریافت سرعت خطی و سرعت زاویه‌ای ربات، سرعت چرخش چرخ‌های ربات را محاسبه کرده و برگرداند. سپس، حالت‌های زیر را با استفاده از آن شبیه‌سازی کرده و در هر مورد، نمودار مسیر حرکت ربات ( $X - Y$ ) و جهت سر ربات نسبت به زمان ( $\theta - t$ ) را رسم کنید:

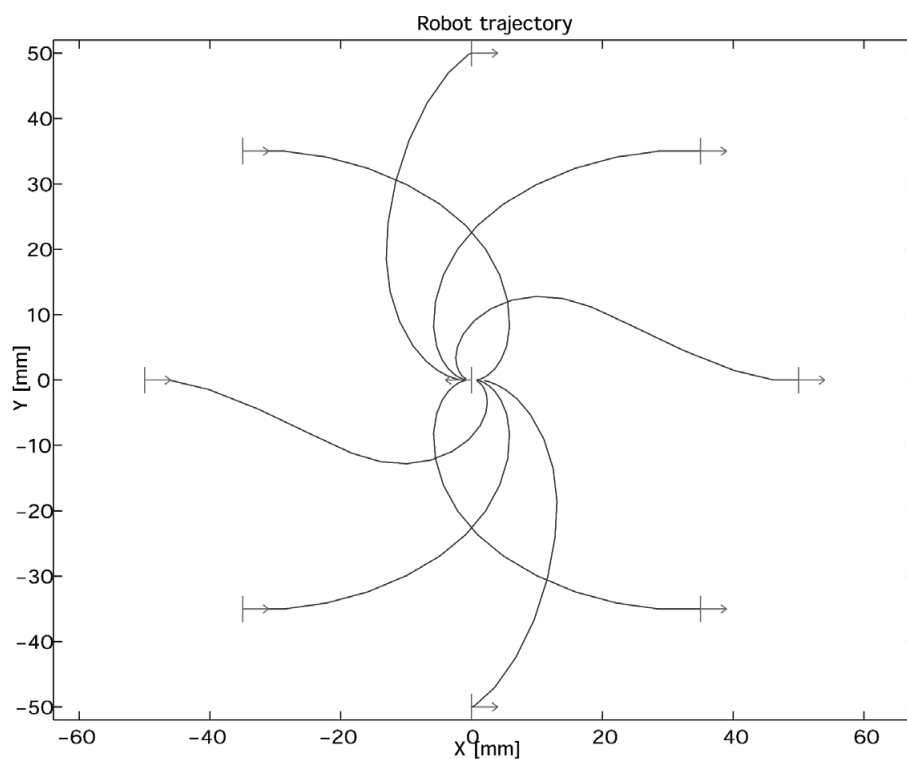
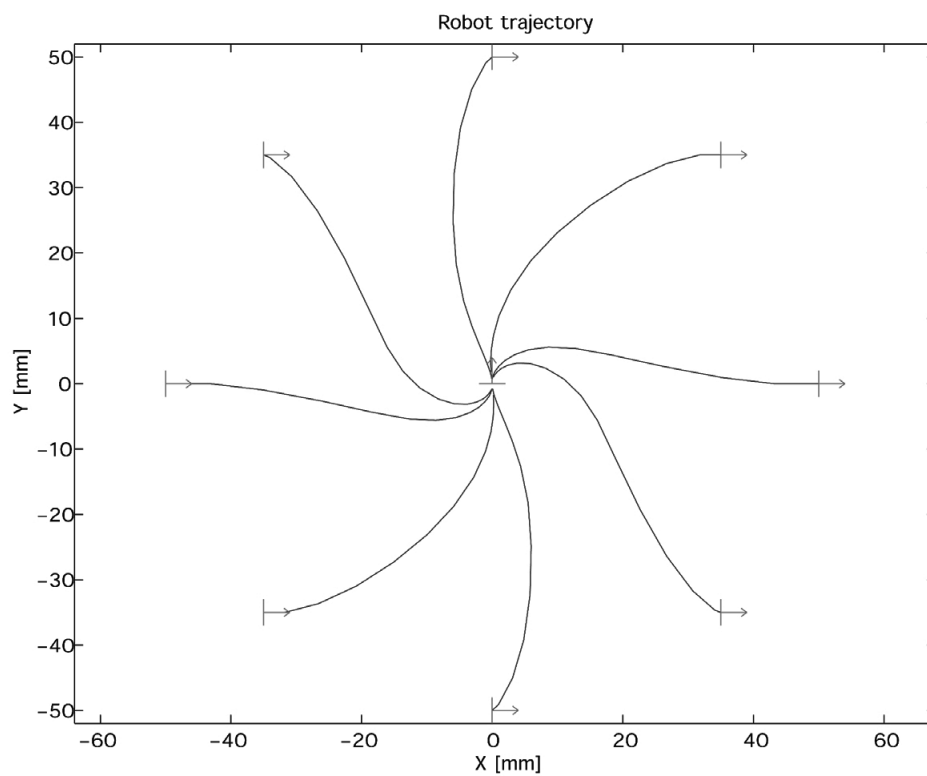
$$v = 3m/s, \omega = 0.1rad/s \quad ۱.$$

$$v = 0m/s, \omega = 0.5rad/s \quad ۲.$$

۵. (۱۵ نمره) یک ربات هدایت تفاضلی را در نظر بگیرید که بر روی نقطه‌ای از دایره‌ای با شعاع  $r = 0.5m$  با زاویه دلخواه قرار گرفته است. می‌خواهیم به سمت مرکز دایره حرکت کنیم. یک کنترل‌کننده<sup>P</sup> برای این ربات طراحی کنید و این حرکت را با استفاده از این کنترل‌کننده به ازای موقعیت‌های اولیه مختلف انجام دهید. نمودار مسیرهای موردانتظار و مسیرهای پیموده‌شده را نیز رسم کنید.

تصاویری از مسیرهای پیموده‌شده توسط ربات (با فرض این که شعاع دایره برابر با  $r = 50mm$  است) در شکل‌های زیر آمده است:

<sup>۶</sup>Differential-Drive Robot



برای حل این سؤال، مطالعه بخش ۳-۶ (صفحات ۹۱ تا ۹۹) کتاب مرجع درس<sup>۷</sup> توصیه می شود.

<sup>7</sup>Introduction to Autonomous Mobile Robots, second edition

**نکات مهم:**

- علاوه بر موارد خواسته شده در سؤالات، تمامی کدهای نوشته شده را نیز در فایل ارسالی خود قرار دهید.
- تمامی افراد گروه باید به جزئیات تمرین ها مسلط باشند. در صورت عدم رعایت این موضوع، نمره از تمامی اعضای گروه کسر خواهد شد.
- از کپی کردن پاسخ های سایر گروه ها خودداری کنید.
- در نام و محتوای فایل ارسالی در درس افزار، حتماً نام، نام خانوادگی و شماره دانشجویی خود را ذکر کنید.
- سؤالات خود را در گروه تلگرامی مطرح کنید.