

* جهت تحویل، یک فایل زیپ با محتویات زیر ایجاد کنید:

- فایل‌های شبیه سازی نرم افزار متلب با قابلیت اجرا روی نسخه ۲۰۱۶ به قبل.
- فایل‌های نرم افزار میپل.
- فایل گزارش کار بصورت word یا latex و همچنین PDF آن.
- نام فایل زیپ شده را نام خانوادگی خود به زبان انگلیسی قرار دهید.

یک سیستم توان‌بخشی^۱ رباتیکی جهت عملیات از دور^۲ (به اختصار توان‌بخشی از دور^۳)، شامل یک ربات راهبر^۴ و یک ربات رهرو^۵ است. ربات راهبر در دست درمانگر^۶ و ربات رهرو در دست بیمار^۷ قرار دارد. معادلات رباتی که در دست درمانگر است، در فضای کارترزین^۸ بصورت ذیل می باشد:

$$M_{x,m}(q_m)\ddot{x}_m + C_{x,m}(q_m, \dot{q}_m) + G_{x,m}(q_m) + F_{x,m}(\dot{q}_m) = f_m + f_{th} \quad (۱)$$

و معادلات رباتی که در دست بیمار است، در فضای کارترزین، بصورت ذیل می باشد:

$$M_{x,s}(q_s)\ddot{x}_s + C_{x,s}(q_s, \dot{q}_s) + G_{x,s}(q_s) + F_{x,s}(\dot{q}_s) = f_s - f_{pa} \quad (۲)$$

که در آن M ماتریس جرم، C ماتریس کوریولیس و گریز از مرکز، G ماتریس جاذبه و F ماتریس اصطکاک می باشد f_m و f_s نیروهای کنترلی و f_{th} و f_{pa} نیروی دست درمانگر و بیمار هستند و همگی در فضای کارترزین می‌باشند. هدف آنست که کنترل امپدانس در توان‌بخشی از دور، برای راهبر بصورت ذیل انجام شود:

$$m_m\ddot{x}_{mod_m} + c_m\dot{x}_{mod_m} + k_mx_{mod_m} = f_{th} - k_f f_{pa} \quad (۳)$$

که در آن x_{mod_m} پاسخ موقعیت برای مدل امپدانی می‌باشد و k_f یک ضریب معقول جهت مقیاس نیروی بیمار است. همچنین معادله امپدانس برای رهرو بصورت ذیل در نظر گرفته می شود:

$$m_s\ddot{x}_{mod_s} + c_s\dot{x}_{mod_s} + k_s x_{mod_s} = -f_{pa} \quad (۴)$$

که در آن $\tilde{x}_{mod_s} = x_{mod_s} - k_px_m$ می‌باشد.

¹ Rehabilitation
² Teleoperation
³ Tele-rehabilitation
⁴ Master Robot
⁵ Slave Robot
⁶ Therapist
⁷ Patient
⁸ Cartesian Space

- ا. رابطه بین معادلات فضای مفصلی^۹ با معادلات فضای کارترین اشاره شده در معادلات (۱) و (۲) را محاسبه نمایید.
- ب. امیدانس مطلوب در معادلات (۳) و (۴) را تفسیر نمایید و تحقیق کنید مقادیر مناسب برای ضرایب امیدانس آن‌ها چقدر است.
- ت. با استفاده از روش FAT^{۱۰} کنترل‌کننده مناسب برای سمت راهبر طوری طراحی نمایید که معادله امیدانس مطلوب (۳) ارضا شود.
- ث. با استفاده از روش FAT و همزمان روش کنترل سطح‌لغزشی برای سمت رهرو کنترل‌کننده‌هایی طراحی نمایید که به امیدانس مطلوب دست پیدا کنیم.
- ج. با استفاده از تابع لیاپانف مناسب برای سمت راهبر و رهرو، پایداری سیستم در حضور کنترل‌کننده‌های طراحی شده قسمت قبل را نشان دهید. بیان کنید که پایداری از چه نوعی است؟
- ح. در صورت عدم وجود سنسور نیرو، کنترل‌کننده‌های راهبر و رهرو چه تفاوتی می‌کند؟ پایداری چه تفاوتی می‌کند؟
- خ. یک ربات سه درجه آزادی دلخواه در نظر بگیرید و با استفاده از نرم افزار میپیل معادلات دینامیکی فضای کارترین آن را مطابق قسمت (الف) محاسبه نمایید.
- د. با استفاده از معادلات دینامیکی و مقادیر بدست آمده در قسمت‌های قبلی، شبیه سازی با مشخصات ذیل را انجام دهید:
- تعداد پایه‌های سری فوریه برای روش FAT را ابتدا سه در نظر بگیرید و سپس به چهار افزایش دهید و نتیجه را مقایسه نمایید.
 - فرکانس سری فوریه را با سه مقدار مناسب مقایسه نمایید.
 - مسیر مطلوب را یک مسیر دایره‌ای صفحه‌ای با شعاع ۲۰ سانتی متر در نظر بگیرید که قرار است در مدت یک دقیقه ۱۰ دور زده شود.
 - در یک نمودار خطای موقعیت در راستای X و Y را با زمان نمایش دهید.
 - در یک نمودار نیروی تعاملی درمانگر با ربات و مقیاس شده‌ی نیروی تعاملی بیمار با ربات را نمایش دهید.
 - موقعیت ربات راهبر و ربات رهرو، موقعیت امیدانس راهبر و رهرو و در نهایت مسیر مطلوب را روی یک نمودار دو-بعدی نمایش دهید.

راهنمایی: می‌توانید از مقاله زیر کمک بگیرید:

- [1] Sharifi, M., Behzadipour, S., Salarieh, H., & Tavakoli, M. (2017). Cooperative modalities in robotic tele-rehabilitation using nonlinear bilateral impedance control. Control Engineering Practice, 67, 52-63.

در راه حق موفق باشید
شریفی

⁹ Joint Space

¹⁰ Function Approximation Technique