



تمرین سری ۱

درس مبانی سیستم‌های نهفته و بی‌درنگ

نیم سال دوم ۱۴۰۱-۱۴۰۲

۱. هدف از این تمرین مدل‌سازی و شبیه‌سازی یک مدل زمان پیوسته از یک سیستم کنترلی شامل یک کوادکوپتر و کنترلر آن است. دینامیک ساده فیزیکی یک کوادکوپتر توسط مجموعه معادلات دیفرانسیل زیر بیان می‌شود.

$$\left\{ \begin{array}{l} m \frac{d^2 x}{dt^2} = -k_1 \frac{dx}{dt} + k_2 F \cos(\theta) \\ m \frac{d^2 y}{dt^2} = -k_1 \frac{dy}{dt} + k_2 F \sin(\theta) \\ m \frac{d^2 z}{dt^2} = -mg + k_2 F \cos(\phi) \cos(\theta) \\ I_{xx} \frac{d^2 \phi}{dt^2} = L k_2 F \sin(\theta) \\ I_{yy} \frac{d^2 \theta}{dt^2} = L k_2 F \cos(\phi) \cos(\theta) \\ F = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 \\ F_i = k_3 * \omega_i^2; \quad 1 \leq i \leq 4 \\ I_{zz} \frac{d^2 \psi}{dt^2} = M_1 - M_2 + M_3 - M_4 \\ M_i = k_4 \omega_i^2; \quad 1 \leq i \leq 4 \end{array} \right.$$

که در آن

- x, y, z مکان کوادکوپتر در فضا؛
- ϕ, θ, ψ و زوایای غلت (roll)، تاب (pitch) و سمت (yaw) کوادکوپتر؛
- $m = 1.0 \text{ kg}$ جرم کوادکوپتر؛
- $k_1 = 0.1 \text{ Ns/m}$ ضریب میرایی؛
- $k_2 = 2.0 \text{ N/s}^2$ ضریب رانش؛
- F برآیند نیروی رانش تولید شده توسط هر یک از چهار چرخانه (روتور) F_i ؛
- $k_3 = 0.0001 \text{ Ns}^2/\text{rad}^2$ ضریب رانش یک کوادکوپتر کوچک؛
- $k_4 = 0.00001 \text{ Nm}^2/\text{rad}^2$ ضریب گشتاور یک کوادکوپتر کوچک؛
- ω سرعت چرخش روتور rad/s ؛
- $L = 0.2 \text{ m}$ طول بازوی روتور؛
- $I_{xx} = I_{yy} = 0.01 \text{ kgm}^2$ و $I_{zz} = 0.02 \text{ kgm}^2$ گشتاور لختی (moment of inertia) کوادکوپتر؛
- $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ شتاب جاذبه زمین؛ و
- M_1, M_2, M_3, M_4 گشتاورهای تولید شده توسط هر یک از چهار روتور هستند.

ورودی‌های مدل کوادکوپتر سرعت‌های چهار موتور آن و خروجی‌های مدل کوادکوپتر نیز مکان و سوی واقعی کوادکوپتر که توسط حسگرهایش گزارش می‌شود است. ورودی‌های سیستم کنترلی که ساختاری حلقه بسته دارد، موقعیت و سوی مطلوب کوادکوپتر است. بنابراین، خروجی‌های کنترلر فرمان‌های سرعت موتورها است که به کوادکوپتر ارسال می‌شوند.

ا. با اعمال ورودی‌های مناسب به مدل کوادکوپتر، آن را شبیه‌سازی کنید و از صحت آن اطمینان یابید.
ب. یک سیستم کنترل حلقه بسته با یک کنترلر ساده P طراحی کنید. دقت کنید که بیش از یک سیگنال فرمان ورودی و فیدبک داریم. برای هر سیگنال باید سیگنال خطا محاسبه شود و ضریب مناسب آن برای اعمال به کوادکوپتر را با سعی و خطا پیدا کنید. با اعمال ورودی‌های مطلوب متناسب، سیستم کلی را در سناریوهای زیر شبیه‌سازی کنید.

- برخاستن و فرود
- معلق در جای خود
- پرواز در یک خط مستقیم
- پرواز به شکل دایره‌ای یا شکل ∞ (اختیاری/امتیازی)
- واکنش به اختلالاتی مانند باد یا تلاطم (اختیاری/امتیازی)

اختیاری: کنترل کننده خود را با یک کنترلر PID جایگزین کنید. برای این منظور از بلوک آماده PID Controller کتابخانه Simulink استفاده کنید¹. با استفاده از امکان تنظیم خودکار پارامترهای کنترلر (PID Tuner)، پارامترهای کنترل کننده را برای بهبود زمان پاسخ‌دهی و اضافه جهش اصلاح کنید و سیستم را مجدداً شبیه‌سازی کنید.

گزارش نهایی شامل یک گزارش در قالب PDF است که اولاً پاسخ مسائل تحلیلی را به‌طور کامل دربرگرفته باشد و ثانیاً مدل‌سازی‌ها و شبیه‌سازی‌های انجام شده در ابزارها را به همراه تصویر به‌شکل واضح نمایش دهد.

- تمرین‌های درس به صورت گروه‌های دو نفره انجام داده شده و تحویل می‌شوند.
- نکته مهم این است تمامی افراد گروه باید به همه جوانب و جزئیات تمرین‌ها مسلط باشند که این نکته توسط دستیاران آموزشی موقع تحویل به دقت بررسی خواهد شد.
- هر گروه باید به صورت مجزا تمرین را انجام داده و از کپی تمرینات گروه‌های دیگر خودداری کند.
- به منظور ایجاد شرایط یکسان برای تمامی گروه‌ها و فاصله داشتن زمان آپلود و تحویل، به هنگام تحویل، ممکن است از اعضای گروه خواسته شود در همان زمان تمرین خود را از درس‌افزار دانلود کرده و روی سیستم خود تحویل دهند.

موفق باشید

عطارزاده

¹ <https://se.mathworks.com/help/simulink/slref/pidcontroller.html>