



پروژه درسی

درس مبانی سیستم های نهفته و بی درنگ
نیم سال اول ۱۴۰۱-۱۴۰۰

هدف این پروژه، مدل سازی یک سیستم گرمایش اتاق های خانه است. خانه ای با ۴ اتاق را در نظر بگیرید که با ۲ بخاری گرم می شود. دمای هر اتاق هم در صورت وجود بخاری توسط بخاری کنترل می شود و هم به دمای اتاق های مجاور و نیز دمای بیرون بستگی دارد. هر اتاق حداکثر می تواند یک بخاری داشته باشد. بنابراین در هر زمان، تنها دو اتاق بخاری دارند. فرض کنید x_i دمای اتاق i باشد ($i = 1, 2, 3, 4$) و u دمای بیرون باشد. دمای یک اتاق به صورت خطی با (۱) تفاوت دما با اتاق های دیگر، (۲) تفاوت با دمای بیرون و نیز (۳) قدرت بخاری در صورت وجود بخاری در آن، تغییر می کند. به طور دقیق تر، دینامیک سیستم توسط رابطه زیر معین می شود که در آن $a_{i,j}$ ، b_i و c_i ثوابت معادله هستند.

$$\dot{x}_i = c_i h_i + b_i (u - x_i) + \sum_{j \neq i} a_{i,j} (x_j - x_i)$$

در این معادله، $h_i \in \{0, 1\}$ وضعیت بخاری در اتاق است: اگر در اتاق بخاری وجود نداشته باشد یا بخاری خاموش باشد h_i برابر صفر است و $h_i = 1$ است اگر بخاری وجود داشته باشد و روشن باشد. فرض کنید تمام بخاری ها یکسان هستند. ضمناً اگر $a_{i,j} > 0$ باشد به این معنی است که اتاق های i و j مجاور هستند.

روند طراحی

- این پروژه باید مطابق روند طراحی معرفی شده در درس (مدل V) و با رویکرد مدل بنیان با استفاده از ابزار Simulink و جعبه ابزارهای مرتبط انجام شود.
- حتماً گام های استخراج نیازمندی ها و اختصاص آن به اجزاء مدل (Simulink Requirements)، توصیف معماری (System Composer)، طراحی تفصیلی (Simulink/Stateflow)، پیاده سازی (Embedded Coder)، آزمون و بررسی پوشش آزمون (Simulink Test) باید به درستی و با استفاده از ابزار مربوطه انجام شوند.

توضیح اجزاء سیستم

گرمایش اتاق

مدل سیمولینک (در قالب subsystem block) سیستم گرمایش اتاق فوق را طراحی کنید. طرح خود را به طور خلاصه در گزارش شرح دهید. سیستم باید h_i و u را به عنوان ورودی خود داشته باشد. این بلوک باید با ثابت های $a_{i,j}$ در قالب یک ماتریس $A = [a_{i,j}] \in \mathbb{R}^{4 \times 4}$ ، ثابت های b_i در قالب یک بردار $b = [b_i] \in \mathbb{R}^4$ ، ثابت های c_i در قالب یک بردار $c = [c_i] \in \mathbb{R}^4$ و نیز دمای اولیه هر اتاق در قالب یک بردار $x_0 \in \mathbb{R}^4$ پارامتری شود.

ترموستات

بخاری ها با یک ترموستات معمولی کنترل می شوند، یعنی اگر دما زیر یک آستانه خاص باشد، بخاری ها با حداکثر توان خود روشن می شوند ($h_i = 1$) و اگر فراتر از آستانه بالاتر دیگری باشند، خاموش ($h_i = 0$) می شوند. برای هر اتاق i آستانه های on_i و off_i تعریف می شوند که بخاری در اتاق i (در صورت وجود) روشن است اگر $x_i < on_i$ باشد و اگر $x_i \geq off_i$ خاموش است.

همچنین نحوه قرارگیری بخاری‌ها در اتاق‌ها را نیز کنترل خواهیم کرد (به یاد داشته باشید که تعداد بخاری‌های از اتاق‌ها کمتر است) که این کار طبق قانون زیر انجام می‌شود: بخاری از اتاق j به اتاق i منتقل می‌شود ($i \neq j$) اگر همه موارد زیر رعایت شود

- اتاق i بخاری نداشته باشد (هر اتاق حداکثر می‌تواند یک بخاری داشته باشد)
- اتاق j بخاری داشته باشد
- دما $x_i \leq get_i$ باشد
- اختلاف $x_j - x_i \geq dif_j$ باشد

ثوابت dif_i و get_i ممکن است برای هر اتاق متفاوت باشد. هنگامی که با وجود برقراری شرایط فوق بتوان یک بخاری را به دو اتاق مختلف منتقل کرد یا دو بخاری را بتوان به یک اتاق منتقل کرد، می‌توانید هر انتخابی را که دوست دارید انجام دهید (مثلاً همیشه اتاق با اندیس بالاتر را اولویت دهید یا همیشه اولویت با اتاق با دمای پایین‌تر باشد).

این کنترل‌کننده را در Stateflow طراحی کنید (در قالب subsystem block)، که با ثابت‌های on_i در قالب یک بردار نظیر $get = [get_i] \in \mathbb{R}^4$ ، $on = [on_i] \in \mathbb{R}^4$ ، ثابت‌های off_i در قالب یک بردار $off = [off_i] \in \mathbb{R}^4$ و ثابت‌های dif_i در قالب بردار $dif = [dif_i] \in \mathbb{R}^4$ پارامتری شده باشد. ورودی‌های کنترلر دماهای x_i است. برای هر اتاق i خروجی‌ها h_i است، با توجه به این که $h_i \in \{0, 1\}$ است و در هر لحظه از زمان حداکثر دو عدد از این خروجی‌ها می‌تواند ۱ باشد (چون فقط دو بخاری وجود دارد). طراحی خود را به‌طور دقیق و مختصر در گزارش شرح دهید.

تجمیع، شبیه‌سازی و آزمون

- مدل کنترلر را به مدل اتاق‌ها متصل کنید و سیستم خود را با داده‌های زیر شبیه‌سازی کنید. سیستم باید برای مدت زمان معقولی شبیه‌سازی شود، یعنی زمانی که اتفاقات قابل توجهی مانند جابجایی بخاری‌ها رخ می‌دهد. دمای x_i هر اتاق، عمل کنترلی h_i و محل استقرار بخاری‌ها را در نمودارهایی رسم کنید.

$$A = \begin{bmatrix} 0.00 & 0.30 & 0.40 & 0.30 \\ 0.30 & 0.00 & 0.50 & 0.00 \\ 0.40 & 0.50 & 0.00 & 0.30 \\ 0.30 & 0.00 & 0.30 & 0.00 \end{bmatrix}, b = \begin{bmatrix} 0.30 \\ 0.20 \\ 0.50 \\ 0.40 \end{bmatrix}, c = \begin{bmatrix} 9.00 \\ 7.00 \\ 11.00 \\ 7.00 \end{bmatrix}$$

$$u = 6, x_0 = [16.5 \quad 16.5 \quad 16.5 \quad 16.5]^T$$

$$off = [20 \quad 20 \quad 20 \quad 20]^T, on = [19 \quad 19 \quad 19 \quad 19]^T$$

$$get = [17 \quad 16 \quad 16 \quad 17]^T, dif = [1 \quad 1 \quad 1 \quad 1]^T$$

در ابتدا دو بخاری در اتاق‌های ۲ و ۳ قرار دارند.

- هدف این بوده که دمای هر اتاق بین ۱۵ تا ۲۰ درجه نگه داشته شود. آیا در شبیه‌سازی شما این نیاز برآورده شده است؟
- پارامترهای کنترلر نظیر on_i ، get_i و dif_i را تغییر دهید در حالی که off_i را ثابت نگه می‌دارید. سیستم خود را مجدداً شبیه‌سازی کنید و در مورد اثرات این تغییرات بحث کنید. آیا دمای مورد نیاز در هر مورد برآورده می‌شود؟
- معیارهای پوشش مناسب جعبه سیاه (روی نیازمندی‌ها) و جعبه سفید (حالت‌ها و گذارها و ...) را روی مدل خود پس از آزمون گزارش کنید و به‌هنگام تحویل نشان دهید.

توسعه سیستم (اختیاری)

- گروه‌ها در صورت تمایل می‌توانند قابلیت‌های دیگری نظیر موارد زیر را به سیستم اضافه کنند و از نمره اضافه برخوردار شوند.
- تولید کد توسط Embedded Coder و پیاده‌سازی عملی روی برد Arduino و تست با مدل اصلی سیستم گرمایش به‌صورت processor-in-the-loop.

گزارش

- گزارش نهایی که توسط گروه‌ها تحویل داده می‌شود باید شامل موارد زیر باشد:
 - توضیح دقیق مراحل توصیف، طراحی و پیاده‌سازی سیستم و چالش‌هایی که با آن برخورد کردید.
 - مدل‌هایی که برای توصیف اجزای مختلف سیستم استفاده کردید.
 - خروجی‌های پوشش آزمون‌های جعبه سفید و جعبه سیاه با Simulink Test.
 - فایل‌های سورس تولید شده، لینک‌های ویدیوی کوتاه و نیز طرح PIL (در صورت انجام).
- متن گزارش به صورت یک فایل PDF است که به شکلی مناسب حروف‌چینی شده است و مدل‌ها و کدهای نوشته شده برای پروژه پیوست آن شده است.
- گزارش روز پیش از تحویل پروژه باید ارسال شده باشد.

تحویل

در روز تحویل اعضای گروه با به همراه داشتن یک نسخه از گزارش پروژه و همچنین نمونه سخت‌افزاری پیاده‌سازی شده برای تحویل مراجعه می‌کنند (و یا به صورت مجازی با آن‌ها هماهنگ می‌شود).

اعضای گروه در ابتدا یک گزارش شفاهی کوتاه (در حد ۳-۴ دقیقه) در مورد پروژه ارائه می‌کنند که شامل نکات مهم، چالش‌ها، شیوه انجام کار و انتخاب پارامترها می‌باشد.

پس از آن گروه سیستم در حال کار را نمایش خواهند داد و توضیحات لازم را ارائه خواهد نمود.

در مرحله بعد در صورتی که گروه پیاده‌سازی بخش‌های اختیاری را نیز انجام داده باشد، آن را نمایش می‌دهند.

دقت کنید که وظیفه تک تک اعضای گروه است که کیفیت کار انجام شده و میزان مشارکت خود را به هنگام تحویل اثبات کنند.

در صورت سکوت هر یک از اعضا هنگام جلسه تحویل طبیعی است که نمره‌ای به آن‌ها تعلق نخواهد گرفت.

موفق باشید

عطارزاده