



دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
دانشکده مهندسی برق - گروه مهندسی کنترل

دکتر تقی راد
کنترل خطی
پاسخ تمرین سری صفر

نام و نام خانوادگی	محمد امین حری فراهانی
شماره دانشجویی	۴۰۲۱۶۶۷۳
تاریخ	مهرماه ۱۴۰۴



فهرست مطالب

۱	سناریو فیدبک در زندگی	۲
۱.۱	تعریف	۲
۲	تحلیل مفهومی سیستم و اجزای آن	۲
۱.۲	عنصر های تصمیم گیرنده ، حسگر ، محرک ، سیستم کنترلی	۲
۳	چرایی استفاده از فیدبک؟	۳
۱.۳	سیستم های دارای Feedback و Open-Loop	۳
۴	تحلیل ویژگی های کلیدی	۴
۱.۴	ویژگی های ، Stability ، noise tracking ، noise reduction ، reduction sensitivity cancellation	۴
۵	ضمیمه	۵



۱ سناریو فیدبک در زندگی

طی کردن مسیر منزل تا دانشگاه با استفاده از دوچرخه در یک زمان مشخص (قبل از ساعت ۷:۳۰) است. در این فرآیند، فرد باید مسیر خود را طوری مدیریت کند که بدون تأخیر به کلاس درس برسد. این سناریو نمونه‌ای واقعی از یک سیستم کنترل فیدبک انسانی است، زیرا تصمیم‌ها و عملکرد فرد (دوچرخه‌سوار) به‌صورت پیوسته تحت تأثیر بازخوردهای محیطی و وضعیت فعلی تنظیم می‌شوند.

۱.۱ تعریف

هدف (Setpoint) رسیدن به دانشگاه تا ساعت مشخص است، و خروجی واقعی سیستم زمان فعلی رسیدن (ETA) محسوب می‌شود. دوچرخه‌سوار با مشاهده خطا (تفاوت بین زمان فعلی و هدف)، عملکرد خود را اصلاح می‌کند—مثلاً افزایش یا کاهش سرعت، تغییر مسیر یا تصمیم به استراحت کوتاه در صورت خستگی. این سناریو یک سیستم کنترلی حلقه‌بسته انسانی-محیطی است که شامل مؤلفه‌هایی است که در قسمت‌های بعدی به طور کامل توضیح داده می‌شود. پاسخ بخش دوم سوال در این قسمت نوشته می‌شود.

۲ تحلیل مفهومی سیستم و اجزای آن

ساختار کلی یک فرآیند کنترلی بررسی می‌شود تا بتوان رفتار آن را از دیدگاه مهندسی کنترل تحلیل کرد. هدف این بخش، نمایش نحوه تعامل میان تصمیم‌گیری، عمل، و بازخورد در یک سیستم واقعی است.

در این تحلیل، سیستم به اجزای اصلی مانند کنترل‌کننده، حسگر، محرک و سیستم تحت کنترل تقسیم می‌شود تا مسیر اطلاعات از ورودی تا خروجی و بازگشت فیدبک به‌صورت واضح قابل درک باشد. این مدل‌سازی مفهومی به ما کمک می‌کند بفهمیم چگونه انسان یا یک سیستم هوشمند می‌تواند با استفاده از داده‌های محیطی و بازخوردها، عملکرد خود را اصلاح و به هدف تعیین‌شده نزدیک شود. در واقع، تحلیل مفهومی بیانگر یک نگاه ساختاری به کل فرآیند است؛ به این معنا که هر جزء نقشی خاص در اندازه‌گیری وضعیت، تصمیم‌گیری، و اعمال اصلاحات ایفا می‌کند و همه این اجزا با یک حلقه بسته اطلاعاتی در ارتباط‌اند. این دیدگاه باعث می‌شود بتوانیم رفتار سیستم را از نظر پایداری، پاسخ‌دهی و سازگاری بررسی و در صورت نیاز آن را بهبود دهیم.

۱.۲ عنصرهای تصمیم‌گیرنده، حسگر، محرک، سیستم کنترلی

عنصر تصمیم‌گیرنده - Controller

مغز اطلاعات دریافتی از چشم، گوش، سنسورها و تجربه گذشته را دریافت و تحلیل و میزان خطا را محاسبه می‌کند و بر اساس قواعد ذهنی/عقلانی (یا عادت‌ها و هیجانات) تصمیم می‌گیرد چه عملیاتی انجام شود: افزایش تلاش، تغییر مسیر، یا قبول تأخیر. مغز هم می‌تواند کار یک کنترلر ساده قانون‌محور (تلاش بیشتر برای جبران تأخیر احتمالی) را انجام دهد و هم الگوریتم‌های پیچیده‌تری مانند تنظیم تدریجی پارامترها (یادگیری) را پیاده‌سازی کند.

قوانین یا الگوریتم‌ها: هر ۵ دقیقه با مشاهده ساعت و اندازه‌گیری مسافت باقیمانده میزان خطای (تأخیر) احتمالی در رسیدن به موقع محاسبه نموده و: اگر میزان خطا (تأخیر) بزرگتر از صفر است آنگاه افزایش تلاش بیشتر و افزایش سرعت دوچرخه اگر میزان خطا (تأخیر) صفر است آنگاه ادامه مسیر با حفظ شرایط موجود اگر میزان خطا (تأخیر) کوچکتر از صفر است و ضربان قلب بالا است آنگاه کاهش سرعت ... (حسگرها Sensors) / (Observer): چشم‌ها، حس بدنی، حس فشار در پا، فشار باد در صورت حسگرها هستند



که ورودی‌های حسی‌اند و وضعیت فعلی را می‌بینند و احساس می‌کنند. • چشم مکان فعلی، وضعیت ترافیک مسیر، سرعت دوچرخه، ساعت فعلی و ... را می‌بیند و نشان می‌دهد. • حس فشار در پا شرایط مسیر (سربالایی، سرازیری و ...) را حس می‌کند و نشان می‌دهد. • حس فشار باد در صورت شرایط محیطی (نویز) را حس می‌کند و نشان می‌دهد. • همچنین ابزارهای خارجی مانند GPS گوشی، حسگر سرعت چرخ، ساعت و ساعت هوشمند هم حسگر دیجیتال ما هستند.

محرك‌ها (Actuators): • پاها، دست‌ها، عضلات برای رکاب‌زدن، دست‌ها برای هدایت، /ترمز، چشم‌ها برای دیدن موانع احتمالی محرك‌ها هستند. ترمز دوچرخه، زنگ دوچرخه و ... نیز محرك‌های دیگر محسوب می‌شوند. از دست‌ها برای هدایت و تعادل، از پاها و عضلات برای حرکت و افزایش و کاهش سرعت، از ترمز برای کاهش یا توقف هنگام دیدن مانع، از زنگ برای اعلام هشدار و ... استفاده می‌شود. سیستم تحت کنترل (Plant):

ترکیب من، دوچرخه، مسیر همان سیستم تحت کنترل است. نمونه ورودی‌ها: میزان قدرت رکاب‌زنی، انتخاب مسیر، زمان خروج از خانه، خروجی‌های محسوس: مکان فعلی، سرعت، زمان پیمایش باقیمانده، خطا (تاخیر) اغتشاشات: سرعت باد، ترافیک خیابان و ... عواملی هستند که بر عملکرد ما اثر می‌گذارند.

۳ چرایی استفاده از فیدبک؟

فیدبک باعث می‌شود سیستم بتواند خود را تصحیح کند، نوسانات را کاهش دهد و عملکرد دقیق‌تر و پایدارتری داشته باشد.

۱.۳ سیستم‌های دارای Open-Loop و Feedback

حلقه باز (رفتار صرفاً طبق برنامه از پیش تعیین‌شده) در دنیای واقعی شهری ناکافی است، چون مسیر و وضعیت بدن و شرایط محیطی متغیرند. فیدبک اجازه می‌دهد «مشاهده تصمیم عمل» را پیوسته اجرا کرد تا همواره عملکرد را به سمت هدف برد. چرا حلقه باز کافی نیست؟ • تغییرات ناگهانی محیط: باد، باران، تعمیرات، بسته شدن مسیر و پنچری ممکن است زمان رسیدن را غیرقابل پیش‌بینی کند — برنامه ثابت این‌ها را پوشش نمی‌دهد. • خطای مدل ذهن: ممکن است میانگین سرعت رسیدن به دانشگاه را اشتباه برآورد کرده باشیم در این صورت حلقه باز نمی‌تواند خودش را اصلاح کند. • خطر واکنش‌های غیر منطقی: در شرایط اضطراری ترجیح دادن «فشار بیشتر برای رسیدن» ممکن است ایمنی را به خطر بیندازد — فیدبک امکان محدود کردن این واکنش‌ها را می‌دهد.

نقش فیدبک: • تشخیص لحظه‌ای وضعیت: با مشاهده زمان تقریبی رسیدن به مقصد (ETA) و ضربان قلب میتوان متوجه شد که آیا در مسیر اپتیمم برای رسیدن به هدف هستیم یا نه. • تصمیم‌های فوری و ایمن: در صورت نیاز افزایش تلاش، تغییر مسیر یا استفاده از وسیله جایگزین پیشنهاد و اجرا می‌شود. • پیش‌آگاهی + واکنش: ترکیب feedforward (مثلاً چک هوا یا ترافیک قبل از خروج) و feedback (واکنش در حین مسیر) باعث سازگاری بهتر می‌شود. • قبل از حرکت: وضعیت دوچرخه و آپ‌های مسیر/هوا را بررسی کنیم (feedforward).

$$Class - time - ETA = error(t) \quad (1)$$



۴ تحلیل ویژگی‌های کلیدی

در این تحلیل معمولاً به عواملی مثل پایداری، دقت، سرعت پاسخ، و بهره سیستم توجه می‌شود. این کار کمک می‌کند بفهمیم سیستم در برابر تغییرات ورودی یا شرایط محیطی چه واکنشی نشان می‌دهد و آیا می‌تواند هدف مورد نظر را با عملکرد مناسب و بدون نوسان برآورده کند یا نه.

۱.۴ ویژگی‌های، Stability، noise tracking، noise reduction، reduc-sensitivity cancellation

الف) پایداری (Stability) تعریف: سیستم (رفتار ما) بعد از هر اغتشاش به وضعیتی برمی‌گردد که خطا کوچک یا صفر شود و از نوسان‌های بزرگ در تصمیم‌گیری جلوگیری می‌کند. چگونه؟: قوانین تصمیم‌گیری باید از «بیش تصحیح» جلوگیری کنند (مثلاً افزایش تلاش بسیار زیاد یکباره منجر به خستگی و کاهش عملکرد روزهای بعد می‌شود). استفاده از حدود ایمنی: سقف افزایش تلاش در هر تصمیم معیارهای اندازه‌گیری پایداری:

میانگین خطا در هفته (e) باید به صفر میل کند

ب) ردیابی (Tracking) تعریف: توانایی دنبال کردن Setpoint یا تغییرات آن. چگونه؟: اگر Setpoint تغییر کند (مثلاً کلاس ۰۷:۰۰ شروع شود به جای ۰۷:۳۰) سیستم باید سریعاً policy را تغییر دهد: ترکیبی از feedforward (خروج زودتر) و اصلاح در حین حرکت (افزایش تلاش یا تغییر مسیر).

پ) کاهش اغتشاش (Disturbance Rejection) تعریف: پاسخ مناسب و مؤثر زمانی که عوامل خارجی (مانند پنچری، باد، باران، ترافیک) بر عملکرد اثر می‌گذارند. پیشگیری: feedforward قبل از حرکت وضعیت هوا یا گزارش مسیر را چک کردن. واکنش مرحله‌ای: اغتشاش کوچک (مثلاً باد ضعیف): افزایش سرعت اغتشاش متوسط (مثلاً ترافیک غیرمنتظره): تغییر مسیر کوتاه یا کاهش توقف‌ها. اغتشاش بزرگ (پنچری/خرابی): سوئیچ سریع به وسیله جایگزین.

ت) حذف نویز (Noise Rejection) تعریف: عدم تأثیر تصمیمات ناخواسته از داده‌های پرنوسان مثلاً پیک‌های GPS و راهکارها: میانگین متحرک: از میانگین ۳ نمونه ETA برای تصمیم‌گیری استفاده می‌کنیم تا نویز لحظه‌ای اثر نکند. وزن‌دهی حسگرها: در شرایط GPS ناپایدار به حسگر چرخ (speed sensor) وزن بیشتری بدهید. آستانه تغییر معنی‌دار: فقط اگر تغییر ETA بیش از X ثانیه (مثلاً ۶۰-۹۰ ثانیه) باشد به آن واکنش نشان می‌دهیم تا پالس‌های کوتاه‌مدت باعث تصمیم‌گیری نشوند.

ث) کاهش حساسیت به عدم قطعیت مدل (Robustness Model / Uncertainty) تعریف: کارایی حفظ می‌شود حتی اگر مدل ذهنی ما از مسیر یا بدن ناقص یا تغییر کند. راهکارهای پیشنهادی: حاشیه‌ای ایمنی: همیشه بافر ۵-۱۰ دقیقه در Setpoint در نظر می‌گیریم تا موارد ناشناخته را پوشش دهد. قوانین تطبیقی ساده: اگر افزایش تلاش به صورت مکرر تأثیر کمی دارد، فرض کنید مانع دائمی است و به جای تلاش بیشتر، تغییر مسیر را اولویت قرار می‌دهیم. صریح Fallback: اگر مطمئن نیستیم یا شرایط نامعمول است از اقدام‌های کم ریسک‌تر استفاده می‌کنیم

¹ Estimated Time of Arrival

۵ ضمیمه

مخزن گیت هاب

منابع

- [1] Ogata, K. (2010). Modern Control Engineering (5th ed.). Prentice Hall.
- [2] Nise, N. S. (2020). Control Systems Engineering (8th ed.). John Wiley , Sons