نقدی بر «طراحی کنترل حالت لغزشی دینامیکی برای سیستم‌های آشوبی با استفاده از رؤیت‌گر حالت لغزشی»

سید سراج حمیدی[۱]، کارشناس ارشد؛ حسین قلی‌زاده نرم[۲]، دانشیار

۱- دانشکده مهندسی برق و رباتیک - دانشگاه صنعتی شاهرود - شاهرود - ایران- seyedseraj.hamidi@gmail.com
۲- دانشکده مهندسی برق و رباتیک - دانشگاه صنعتی شاهرود - شاهرود - ایران - gholizade@shahroodut.ac.ir

چکیده: در این مقاله، درباره «طراحی کنترل حالت لغزشی دینامیکی برای سیستم‌های آشوبی با استفاده از رؤیت‌گر حالت لغزشی» بحث می‌شود که در مجله مهندسی برق دانشگاه تبریز چاپ شده‌است. در مقاله مذکور، یک روش طراحی کنترل مد لغزشی دینامیکی و نیز طراحی رؤیت‌گر مبتنی بر مد لغزشی برای کلاس خاصی از سیستم‌های غیرخطی پیشنهاد شده‌است. در این مقاله، ابتدا خلاصه‌ای درباره روش پیشنهادی طراحی رؤیت‌گر مذکور بیان می‌شود. برای اثبات هم‌گرایی خطای تخمین، قضیه‌ای بیان شده‌است که درباره صحت اثبات آن بحث خواهد شد. در نهایت، با پیشنهاد ایجاد تغییر در رؤیت‌گر، پایداری آن اثبات می‌شود.

واژه‌های کلیدی: کنترل مد لغزشی، طراحی رؤیت‌گر، سیستم‌های غیرخطی، کنترل غیرخطی.

Comments on “Dynamic Sliding Mode Control Design for Nonlinear Systems Using Sliding Mode Observer”

Seyed Seraj Hamidi[1], MSc; Hossein Gholizade-Narm[2], Associate professor

1- Department of Electrical and Robotic Engineering, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran, Email: seyedseraj.hamidi@gmail.com
2- Department of Electrical and Robotic Engineering, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran, Email: gholizade@shahroodut.ac.ir

Abstract: This paper considers the work entitled “Dynamic Sliding Mode Control Design for Nonlinear Systems Using Sliding Mode Observer” that is published in Tabriz Journal of Electrical Engineering where the authors try to design a sliding mode control design with sliding mode observer for a class of nonlinear systems. In this paper, we first give a brief overview of the proposed approach of aforementioned paper to the observer design. For the convergence of the estimation error, there is a proposition that we will discuss the validity of its proof. Finally, with a change in dynamic error equations of observer, its stability is proven.

Keywords: Sliding mode control, observer design, nonlinear systems, nonlinear control.

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۷/۰۴/۳۱
تاریخ اصلاح مقاله: ۱۳۹۷/۰۸/۲۹و ۱۳۹۷/۱۱/۲۳
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۲/۰۹
نام نویسنده مسئول: حسین قلی‌زاده نرم
نشانی نویسنده مسئول: ایران - شاهرود - دانشگاه صنعتی شاهرود - دانشکده مهندسی برق و رباتیک.

۱- مقدمه

در این نو شتار، یکی از ق ضیه‌های مقاله «طراحی کنترل حالت لغز شی دینامیکی برای سیستم‌های آشوبی با استفاده از رؤیت‌گر حالت لغز شی» برر سی خواهد شد. ابتدا خلا صه‌ای از روش طراحی رؤیت‌گر [۱] بیان می‌شود.

در [۱] یک سیستم غیرخطی تک‌ورودی با رابطه (۱) درنظر گرفته شده‌است:

$$\begin{cases}\dot{x}_1 = x_2\\ \vdots\\ \dot{x}_{n-1} = x_n\\ \dot{x}_n = f(x,t) + r\end{cases} \quad (۱)$$

که در آن $x = [x_1 \ \cdots \ x_n]^T$ بردار حالت‌های در دسترس، r ورودی کنترل و $f(x,t)$ یک تابع نامعین و کران‌دار به‌صورت زیر است:

$$|f(x,t)| \le \rho \quad (۲)$$

و در آن ρ یک عدد ثابت مثبت است. سپس فیدبک حالت $r = \sum_{i-1}^{n} a_i x_i + u$ به سیستم اعمال شده که در آن u یک ورودی جدید است.

سیستم (۱) به‌صورت زیر بازنویسی شده‌است:

$$\begin{cases}\dot{y}_1 = A_1 y_1 + A_{12} y_2\\ \dot{y}_2 = A_{21} y_1 + A_{22} y_2 + (u + f)\end{cases} \quad (۳)$$

به‌طوری‌که

$$A_1 = \begin{bmatrix}0 & 1 & 0 & \cdots & 0\\ 0 & 0 & 1 & \ddots & \vdots\\ \vdots & \vdots & \ddots & \ddots & 0\\ 0 & 0 & \cdots & 0 & 1\\ 0 & 0 & \cdots & 0 & 0\end{bmatrix},\ A_{12} = \begin{bmatrix}0\\0\\\vdots\\0\\1\end{bmatrix},$$
$$A_{21}^T = \begin{bmatrix}a_1\\a_2\\\vdots\\a_{n-2}\\a_{n-1}\end{bmatrix},\ A_{22} = [a_n] \quad (۴)$$

در معادلات (۳) $y_1 = [x_1 \ \ x_2 \ \cdots \ x_{n-1}]^T$ ، $y_2 = [x_n]$ و a_i ها ($i = 1,2,\ldots,n$) مقادیر ثابت دلخواه هستند.

سپس نویسندگان، یک سطح لغزش برای کنترل سیستم ارائه کرده‌اند که تنها مشکل آن، نامعین‌بودن f بیان شده و برای حل آن، یک رؤیت‌گر مد لغز شی جهت تخمین مدل سیستم پیشنهاد کرده‌اند. روند طراحی رؤیت‌گر، پس از انجام چند عملیات جبری به معادلات دینامیک خطای زیر منجر شده‌است [۱]:

$$\begin{cases}\dot{e}_1 = A_{11} e_1\\ \dot{e}_2 = A_{21} e_1 + A_{22} e_2 + v - f\end{cases} \quad (۵)$$

که‌درآن $e_1 = \hat{y}_1 - y_1$ و $e_2 = \hat{y}_2 - y_2$ خطاهای تخمین سیستم و $\hat{y}_1$ و $\hat{y}_2$ به‌ترتیب تخمین y_1 و y_2 هستند. همچنین $A_{11} = A_1 + P$ بوده و ماتریس P طوری انتخاب می شود که A_{11} هرویتز با شد. یعنی برای هر ماتریس مثبت معین و متقارن دلخواه Q، یک ماتریس مثبت معین و متقارن P_1 وجود دا شته‌با شد که در معادله لیاپانوف زیر صدق کند [۱]:

$$P_1 A_{11} + A_{11}^T P_1 = -Q \quad (۶)$$

قضیه [۱]: اگر ورودی ناپیوسته v در رؤیت‌گر به‌صورت رابطه (۷) انتخاب شود، آن‌گاه خطای تخمین رؤیت‌گر لغزشی به صفر همگرا می‌شود.

$$v = \rho \,\mathrm{sgn}(e_2) = \begin{cases}+\rho & : e_2 > 0\\ 0 & : e_2 = 0\\ -\rho & : e_2 < 0\end{cases} \quad (۷)$$

۲- بحث درباره قضیه

برای اثبات قضیه، تابع $V(e_1,e_2) = e_1^T P_1 e_1 + e_2^2$ به‌عنوان تابع لیاپانوف پیشنهاد شده که مشتق زمانی آن به‌صورت زیر است [۱]:

$$\begin{aligned}\dot{V} &= -e_1^T Q e_1 + 2e_2 A_{21} e_1 + 2A_{22} e_2^2 + 2e_2 v - 2e_2 f\\ &= -e_1^T Q e_1 + 2e_2 A_{21} e_1 + 2A_{22} e_2^2 + 2e_2 \rho \,\mathrm{sgn}(e_2) - 2e_2 f\end{aligned} \quad (۸)$$

در ادامه، نویسندگان نامعادله (۹) را بیان کرده‌اند [۱]:

$$\begin{aligned}\dot{V} &\le -e_1^T Q e_1 + 2e_2 A_{21} e_1 + 2A_{22} e_2^2 + 2\rho|e_2| - 2|e_2||f|\\ &\le -e_1^T Q e_1 + 2e_2 A_{21} e_1 + 2A_{22} e_2^2\end{aligned} \quad (۹)$$

باتوجه‌به فر ضیات م سئله، نامعادله (۹) صحیح نی ست. برای مثال، فرض کنید $f = \sin(t)$؛ واضح است که اگر t به‌گونه‌ای باشد که f منفی شود، نامعادله (۹) برقرار نیست.

ادامه اثبات قضیه در [۱] براساس نامعادله (۹) بیان شده و بنابر آن چه گفته شد، اثبات کلی قضیه مذکور نادرست است و درنتیجه تضمینی برای همگرایی خطای تخمین رؤیت‌گر به صفر وجود ندارد.

۳- پیشنهاد اصلاح رؤیت‌گر

برای آنکه رؤیت‌گر همگرا شود، پیشنهاد می‌شود ورودی ناپیوسته v در به‌صورت رابطه (۱۰) انتخاب گردد:

$$v = -\rho \,\mathrm{sgn}(e_2) = \begin{cases}-\rho & : e_2 > 0\\ 0 & : e_2 = 0\\ +\rho & : e_2 < 0\end{cases} \quad (۱۰)$$

بنابراین، مشتق زمانی تابع لیاپانوف $V(e_1,e_2) = e_1^T P_1 e_1 + e_2^2$ به‌صورت زیر خواهدبود:

$$\begin{aligned}\dot{V} &= -e_1^T Q e_1 + 2e_2 A_{21} e_1 + 2A_{22} e_2^2 + 2e_2 v - 2e_2 f\\ &= -e_1^T Q e_1 + 2e_2 A_{21} e_1 + 2A_{22} e_2^2 - 2e_2 \rho \,\mathrm{sgn}(e_2) - 2e_2 f\end{aligned} \quad (۱۱)$$

درنتیجه، می‌توان نامعادله زیر را نوشت:

$$\dot{V} \le -e_1^T Q e_1 + 2e_2 A_{21} e_1 + 2A_{22} e_2^2 - 2\rho|e_2| + 2|e_2||f|$$

یا

$$\dot{V} \le -e_1^T Q e_1 + 2e_2 A_{21} e_1 + 2A_{22} e_2^2 - 2|e_2|(\rho - |f|) \quad (۱۲)$$

باتوجه‌به رابطه (۲)، نامعادله زیر برقرار است:

$$\dot{V} \le -e_1^T Q e_1 + 2e_2 A_{21} e_1 + 2A_{22} e_2^2 \quad (۱۳)$$

همان‌گونه که مشـــاهده می‌شـــود، با تعریف رابطه (۱۰)، همگرایی رؤیت‌گر اثبات شده‌است. بنابراین، سایر روابط [۱] که براساس نامعادله (۱۳) تعریف شده‌اند، برقرار و صحیح هستند.

مراجع

[۱] احسان رجبی و علی کرمی ملائی، «طراحی کنترل حالت لغزشی دینامیکی برای سیستم‌های آشوبی با استفاده از رؤیت‌گر حالت لغزشی»، مجله مهندسی برق دانشگاه تبریز، جلد ۴۷، شماره ۱، صفحات ۲۴۸-۲۳۹، ۱۳۹۶.