مجله کنترل
ISSN (print) 2008-8345
ISSN (online) 2538-3752
جلد ۱۳، شماره ۱، بهار ۱۳۹۸، صفحه ۸۰-۷۵

طراحی کنترل مد لغزشی برای سیستم‌های کنترل تصادفی دارای اطلاعات ازدست‌رفته

مهدی اشرفی بافقی [۱]، علی دلاور خلفی [۲]

[۱] دانشجوی دوره دکتری کنترل و بهینه‌سازی، گروه ریاضی کاربردی، دانشگاه یزد، Mahdiashrafi@gmail.com
[۲] دانشیار، دانشکده علوم ریاضی، گروه ریاضی کاربردی، دانشگاه یزد، Delavarkh@yazd.ac.ir

دریافت: ۱۳۹۶/۱۰/۰۱ ویرایش اول: ۱۳۹۷/۰۱/۲۳ ویرایش دوم: ۱۳۹۷/۰۴/۲۷ ویرایش سوم: ۱۳۹۷/۰۶/۰۶ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۶/۱۳

چکیده: در این مقاله طراحی یک کنترل مد لغزشی برای سیستم‌های تصادفی با اطلاعات ازدست‌رفته را موردبررسی قرار می‌دهیم. فرض بر این است که یک ارتباط شبکه‌ای در چرخه فیدبک سیستم وجود دارد و ممکن است بخشی از اطلاعات در هنگام انتقال از دست برود. نوآوری این مقاله در ارایه یک روش جدید با عملکرد مناسب تر است، برای این منظور ابتدا یک روش تخمینی برای جبران اطلاعات ازدست‌رفته در نظر می‌گیریم. سپس یک سطح لغزشی انتگرالی را تعریف کرده، کنترل‌گر سطح لغزشی را طراحی می‌کنیم. به کمک روش لیاپونوف نشان خواهیم داد این روش (با تقریب مربعی) پایدار خواهد بود. در پایان مثال عددی و نتایج شبیه‌سازی انجام‌شده به کمک نرم‌افزار متلب، پایداری و مؤثر بودن روش ارائه‌شده را تائید می‌کنند.

کلمات کلیدی: کنترل مد لغزشی، اطلاعات ازدست‌رفته، سیستم‌های گسسته زمان، پایداری لیاپانوف

Design of Sliding mode control for stochastic systems subject to packet losses

Mahdi Ashrafi Bafghi and Ali Delavarkhalafi

Abstract: In this paper, we examine the design of a sliding mode control for stochastic systems with data packet losses. It is assumed that there is a network connection in the system's feedback loop and that part of the information may be lost during transmission. The innovation of this paper is to peresent a new method with better performance In this paper, we first consider an estimated method to compensate for lost data. Then we define an integral sliding surface and design the slider surface controller. Using the Lyapunov method, we will show that this method (with square approximation) will be stable. In the end, numerical examples and simulation results with the help of the content software confirm the sustainability and effectiveness of the proposed method.

Keywords: sliding mode control (SMC), data packet losses (DPL), Discrete-time system, lyapunov method.

۱-مقدمه:

در چند دهه اخیر، روش کنترل مد لغزشی (SMC[۱]) به سبب کاربردهای فراوان در سیستم‌های خطی و غیرخطی موردتوجه محققان قرارگرفته است. این روش کاربردهای زیادی درزمینه های سیستم‌های مهندسی، سیستم‌های عدم قطعیت [۱و۲]، سیستم‌های پرش مارکوف [۳]، سیستم‌های تأخیر زمانی [۴-۶] و سیستم‌های چند ورودی و چند خروجی [۷] دارد. ایده اصلی این روش طراحی یک سطح لغزشی است که با استفاده از یک قانون کنترل مناسب حالت‌های سیستم به روی این سطح همگرا می‌شوند و روی این سطح باقی‌مانده و به سمت صفر میل می کنند [۸]. در سال‌های اخیر پیشرفت‌های زیادی در خصوص کنترل مد لغزشی بر روی سیستم‌های مختلف انجام‌شده است. البته قابل‌ذکر است، در بیشتر موارد فرض بر این است که سیگنال‌های سیستم با موفقیت توسط کنترل‌گر یا محرک دریافت می‌شوند و روش کنترل مد لغزشی به کار گرفته می‌شود؛ و اگر فرایند از دست رفتن اطلاعات (DPL[۲]) رخ دهد دیگر این روش‌ها مناسب نخواهند بود. از سوی دیگر با توسعه شبکه‌های کامپیوتری و فن‌آوری به علت هزینه کمتر، نصب ساده‌تر و سرعت بالاتر انتقال اطلاعات در این شبکه‌ها، بیشتر اطلاعات از طریق شبکه‌های کامپیوتری منتقل می‌شوند. شبکه‌های ارتباطی در حلقه‌های کنترل برخی مشکلات مانند تأخیر انتقال یا از دست رفتن اطلاعات را پدید می‌آورند (مراجع [۹-۱۴] و [۶] و [۱۵-۱۷] به این مبحث پرداخته‌اند). با توجه به مباحث فوق اهمیت طراحی کنترل‌گر برای سیستم‌های شامل (DPL) مشخص می‌شود.

یو انگ نیو و همکاران در [۱۹] یک کنترل‌گر برای سیستم‌های دارای (DPL) در حالت عادی و تینگانگ و همکاران در مرجع [۲۰] یک کنترل‌گر برای سیستم‌های دارای (DPL) همراه با نویز ارائه کرده‌اند. نوآوری این مقاله، ارایه روش جدید در مقایسه با روش ارایه شده در مرجع [۱۹] می باشد که دارای عملکرد بهتری است و این موضوع در مثال نیز نشان داده شده است. همچنین پایداری روش اصلاح شده بصورت ساده تری از مقاله [۱۹] اثبات گردیده است. در این مقاله سیستم ارائه‌شده در مرجع [۱۹] را مدنظر قرار داده و یک کنترل‌گر مد لغزشی جدید برای آن پیشنهاد می‌کنیم که روند اثبات و پیاده‌سازی ساده‌تری دارد ضمن اینکه نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد روش جدید سرعت همگرایی بالاتری دارد.

در این نوشتار، ابتدا یک روش تخمینی برای برطرف کردن معضل (DPL) در زمان انتقال اطلاعات به کنترل‌گر ارائه می‌کنیم. سپس یک سطح لغزشی که شامل (DPL) است را معرفی کرده و با استفاده از روش لیاپانوف همگرایی این سطح را موردبررسی قرار می‌دهیم. نشان خواهیم داد با استفاده از قانون کنترل مد لغزشی ارائه‌شده سیگنال‌های ردگیری‌شده به سمت این سطح لغزشی (به‌صورت تقریب مربعی) میل کرده و روی این سطح باقی می‌مانند تا به سمت صفر میل کنند به‌عبارت‌دیگر به کمک تابع لیاپانوف پایداری مربعی این روش را اثبات خواهیم کرد. در بخش آخر نیز یک مثال عددی به همراه نتایج حاصل از شبیه‌سازی انجام‌شده به کمک جعبه‌ابزار $LMILAB$ نرم‌افزار متلب موارد ذکرشده در این مقاله را تائید می کند.

توجه: در این مقاله از نمادهای استاندارد زیر برای بیان مفاهیم استفاده‌شده است:

$\|.\|$ نشان‌دهنده نرم اقلیدسی برای یک بردار است. برای ماتریس حقیقی مقدار M، $M > 0$ به معنای این است که M متقارن و معین مثبت است. I ماتریس همانی با ابعاد مناسب است و $'*'$ در ماتریس‌های بلوکی متقارن برای جلوگیری از تکرار جملات بر اساس تقارن استفاده‌شده است. (φ, F, pr) یک فضای احتمال با فضای نمونه φ ، σ-جبر F و اندازه تصادفی pr و $\varepsilon\{.\}$ عملگر امید ریاضی متناظر با این فضای احتمال است. همچنین فرض شده است که ماتریس‌هایی که ابعاد آن‌ها به‌صورت مشخص ذکر نشده است دارای ابعاد مناسب هستند.

۲-بیان مسئله و فرمول‌بندی آن

سیستم گسسته زمانی زیر را در نظر بگیرید:

$$x(k+1) = \big(A + \Delta A(k)\big)x(k) + B(u(k) + f(x(k),k)) \quad (۱)$$

که در آن $x(k) \in R^n$ بردار حالت، $u(k) \in R^m$ بردار کنترل و $A \in R^{nn}$ و $B \in R^{nm}$ ماتریس‌های ثابت مشخصی هستند. $\Delta A(k) = EF(k)H$ که در آن E و H ماتریس‌های معلومی هستند و ماتریس مجهول $F(k)$ در شرط $F^T(k)F(k) \le I, \forall\, k \ge 1$ صدق می کند. $f(x(k),k)$ یک اغتشاش بیرونی با کران معلوم است. بدون کاستن از کلیت فرض می کنیم B یک ماتریس با رتبه کامل ستونی است.

در این مقاله فرض می کنیم فرایند از دست رفتن اطلاعات از یک توزیع برنولی با پارامتر $1 \le \bar{\theta} \le 0$ پیروی می کند یعنی:

$$pr\{\theta = 1\} = \bar{\theta}\,, pr\{\theta = 0\} = 1 - \bar{\theta} \quad (۲)$$

که در آن $\bar{\theta}$ به میزان احتمال از دست دادن اطلاعات اشاره می کند و فرض می‌شود که $\bar{\theta} \neq 1$.

برای جبران اطلاعات ازدست‌رفته، تابع تخمین زیر را که جبران‌کننده[۳] نامیده می‌شود معرفی می‌کنیم:

$$x_s(k) = \begin{cases} x(k) & , data\ packet\ is\ recived\ sucesfully \\ x(k-1) & , data\ packet\ is\ loss \end{cases} \quad (۳)$$

همچنین می‌توان آن را به فرم زیر نمایش داد:

[۱] Sliding Mode control
[۲] Data packet losses
[۳] compensator

$$x_s(k) = (1-\theta)x(k) + \theta x(k-1) \quad (۴)$$

۳- طراحی کنترل مد لغزشی در حالت DPL

تابع مد لغزشی گسسته زمانی را به‌صورت زیر تعریف می‌کنیم:

$$s(k) = (1-\bar{\theta})Gx(k) + \bar{\theta}GAx(k-2) \quad (۵)$$

که در آن $\bar{\theta}$ در (۲) تعریف‌شده است و G یک ماتریس با ابعاد مناسب است که بعداً به گونه‌ای محاسبه می‌شود که GB وارون‌پذیر باشد. می‌دانیم تابع مد لغزشی باید در رابطه زیر صدق کند:

$$s(k+1) = s(k) = 0\,, \forall k \geq k^* \quad (۶)$$

که در آن k^* یک مقدار ثابت مثبت است.

بنابراین وقتی‌که ردگیری سیستم حالت روی این سطح مد لغزشی قرار می‌گیرد قانون کنترل معادل با استفاده از (۱)، (۵) و (۶) به‌صورت زیر به دست می‌آید:

از (۵) و (۶) داریم:

$$0 = s(k+1) = (1-\bar{\theta})Gx(k+1) + \bar{\theta}GAx(k-1) \quad (۷)$$

با قرار دادن $x(k+1)$ از (۱) در رابطه بالا خواهیم داشت:

$$0 = (1-\bar{\theta})G\big[\big(A+\Delta A(k)\big)x(k) + B(u(k) + f(x(k),k))\big] + \bar{\theta}GAx(k-1) \quad (۸)$$

درنتیجه قانون کنترل $u(k)$ برابر است با:

$$u(k) = -\frac{1}{(1-\bar{\theta})}(GB)^{-1}\big[(1-\bar{\theta})G\big(A + \Delta A(k)\big)x(k) + \bar{\theta}GAx(k-1)\big] - f(x(k),k) \quad (۹)$$

با قرار دادن رابطه (۹) در (۱) معادله دینامیکی سطح لغزشی $s(k) = 0$ به‌صورت زیر خواهد بود:

$$x(k+1) = \big(A+\Delta A(k)\big)x(k) + B\big(u(k) + f(x(k),k)\big) \quad (۱۰)$$

$$= \big(A+\Delta A(k)\big)x(k) + B\left[-\frac{1}{(1-\bar{\theta})}(GB)^{-1}\big[(1-\bar{\theta})G\big(A + \Delta A(k)\big)x(k) + \bar{\theta}GAx(k-1)\big] - f(x(k),k) + f(x(k),k)\right] \quad (۱۱)$$

به عبارت ساده‌تر:

$$x(k+1) = (A + \Delta A(k) - \overline{\Delta A})x(k) - \emptyset B(GB)^{-1}GAx(k-1) \quad (۱۲)$$

که در آن $\emptyset = \frac{\bar{\theta}}{(1-\bar{\theta})}$ و $\overline{\Delta A} = B(GB)^{-1}G(A+\Delta A)$.

لم ۱-[۲۱]: برای هر بردار دلخواه a و b و ماتریس $X > 0$ از ابعاد مناسب داریم:

$$a^Tb + b^Ta \leq a^TXa + b^TXb \quad (۱۳)$$

لم ۲-[۱۹]: فرض کنید ماتریس های F و E و H ماتریس های حقیقی با ابعاد مناسب باشند و $F(t)$ در شرط $F(t^TF(t) \leq I$ صدق کند. در اینصورت برای هر ماتریس حقیقی و متقارن Q داریم:

$$Q + EF(t)H + H^TF(t)^TE < 0 \quad (۱۴)$$

اگر وتنها اگر اسکالر $\varepsilon > 0$ وجود داشته باشد بطوریکه

$$Q + \varepsilon EE^T + \varepsilon^{-1}H^TH < 0$$

لم ۳- (متمم شور) [۲۲]: فرض کنید ماتریس‌های Ω_1 و Ω_2 و Ω_3 ماتریس‌های حقیقی با ابعاد مناسب باشند و $\Omega_1 = {\Omega_1}^T$ و $\Omega_2 > 0$. در اینصورت $\Omega_1 + \Omega_3\Omega_2{\Omega_3}^T < 0$ اگر و تنها اگر

$$\begin{bmatrix} \Omega_1 & \Omega_3 \\ {\Omega_3}^T & -{\Omega_2}^{-1} \end{bmatrix} < 0 \quad (۱۵)$$

تعریف ۱:[۱۹](پایدار مجانبی مربعی)

برای سیستم تصادفی (۱) فرض کنید $\tilde{x}(k)$ یک جواب معادله با نقطه اولیه $\tilde{x}(0)$ باشد در اینصورت اگر $\alpha > 0$ و $\tau \epsilon (0,1)$ وجود داشته باشد بطوریکه

$$\varepsilon\{\|\tilde{x}(k)\|^2\} \leq \alpha\,\tau^k \varepsilon\{\|\tilde{x}(0)\|^2\} \quad (۱۶)$$

گوییم سیستم تصادفی (۱) بصورت مجانبی پایدار است.

قضیه ۱- سیستم (۱) با DPL (۲) و سطح لغزشی (۵) را درنظر بگیرید. اگر $\varepsilon > 0$ و ماتریس های متقارن و معین مثبت P و Q وجود داشته باشند که در نامساوی های ماتریسی زیر صدق کنند آنگاه دینامیک مد لغزشی (۱۲) با $G = B^TP$ بصورت مجانبی پایدار است.

$$\begin{bmatrix} -Q & \emptyset A^TG^T \\ \emptyset GA & -GB \end{bmatrix} < 0 \quad (۱۷)$$

$$\begin{bmatrix} -P + Q + \varepsilon HH^T & * & * & * \\ A^TP & -P & * & * \\ A^TPB & 0 & E^TPB & * \\ PE & 0 & 0 & -\varepsilon I \end{bmatrix} < 0 \quad (۱۸)$$

اثبات قضیه ۱- برای اثبات از قضیه پایداری لیاپانوف استفاده خواهیم کرد. تابع لیاپانوف زیر را برای سیستم (۱۲) درنظر بگیرید:

$$V\big(\tau(k)\big) = x(k)^T P x(k) + x(k-1)^T Q x(k-1) \tag{۱۹}$$

که در آن $\tau(k) = [x(k)^T, x(k-1)^T]^T$. با جایگزین کردن $G = B^T P$ در (۱۲) داریم:

$$\Delta V\big(\tau(k)\big) = V\big(\tau(k+1)\big) - V\big(\tau(k)\big) = x(k)^T[A + \Delta A - \overline{\Delta A}]^T P[A + \Delta A(k) - \overline{\Delta A}]x(k) - 2\emptyset x(k)^T[A + \Delta A]PB(GB)^{-1}GAx(k-1) + 2\emptyset x(k)^T[A + \Delta A]G^T(GB)^{-1}GAx(k-1) + \emptyset^2 x(k-1)^T A^T G^T (GB)^{-1} GAx(k-1) + x(k)^T Q x(k) - x(k)^T P x(k) - x(k-1)^T Q x(k-1) \tag{۲۰}$$

از طرف دیگر با قرار دادن $\overline{\Delta A} = B(GB)^{-1}G(A + \Delta A)$. داریم:

$$[A + \Delta A - \overline{\Delta A}]^T P[A + \Delta A(k) - \overline{\Delta A}] \le [A + \Delta A]^T P[A + \Delta A] - [A + \Delta A]^T P\overline{\Delta A} - \overline{\Delta A}P[A + \Delta A] + \overline{\Delta A}^T P\overline{\Delta A} = [A + \Delta A]^T P[A + \Delta A] - [A + \Delta A]^T PB(GB)^{-1}G[A + \Delta A] - [A + \Delta A]^T G^T (GB)^{-T} B^T P[A + \Delta A] + [A + \Delta A]^T G^T (GB)^{-T} B^T PB(GB)^{-1}G[A + \Delta A] \tag{۲۱}$$

با توجه به $G = B^T P$ داریم:

$$[A + \Delta A - \overline{\Delta A}]^T P[A + \Delta A(k) - \overline{\Delta A}] \le [A + \Delta A]^T P[A + \Delta A] - [A + \Delta A]^T PG^T(GB)^{-1}G[A + \Delta A] \tag{۲۲}$$

با قرار دادن نامساوی‌های (۲۱) و (۲۲) در (۲۰) داریم:

$$\Delta V\big(\tau(k)\big) \le x(k)^T[A + \Delta A - \overline{\Delta A}]^T P[A + \Delta A(k) - \overline{\Delta A}]x(k) - x(k)^T Q x(k) - x(k)^T P x(k) + \emptyset^2 x(k-1)^T[A^T G^T (GB)^{-1} GA]x(k-1) - x(k-1)^T Q x(k-1) \tag{۲۳}$$

و به‌عبارت‌دیگر:

$$\Delta V\big(\tau(k)\big) \le \tau(k)^T M\, \tau(k) \tag{۲۴}$$

که در آن $M = diag\{\Theta_1, \Theta_2\}$ و

$$\Theta_1 = [A + \Delta A]^T P[A + \Delta A] - [A + \Delta A]^T PB(GB)^{-1}G[A + \Delta A] + Q - P \tag{۲۵}$$

و

$$\Theta_2 = \emptyset^2[A^T G^T (GB)^{-1} GA] - Q \tag{۲۶}$$

واضح است که اگر $\Theta_1 < 0$ و $\Theta_2 < 0$ آنگاه $M < 0$ و برای $\tau(k) \ne 0$ خواهیم داشت: $\Delta V\big(\tau(k)\big) < 0$.

با توجه به لم۳ (متمم شور) برقراری شرط‌های $\Theta_1 < 0$ و $\Theta_2 < 0$ به ترتیب با برقراری نامساوی‌های ماتریسی خطی (۱۷) و (۱۸) معادل هستند. پس با توجه به قضیه پایداری لیاپانوف می‌توان نتیجه گرفت که اگر ماتریس‌های مثبت معین $P > 0$ و $Q > 0$ و اسکالر اکیداً مثبت $\varepsilon > 0$ وجود داشته باشند که در روابط (۱۷) و (۱۸) صدق کنند سیستم دینامیکی (۱۰) با $G = B^T P$ به‌صورت مجانبی پایدار خواهد بود.

٤-شبیه‌سازی و مثال‌های عددی

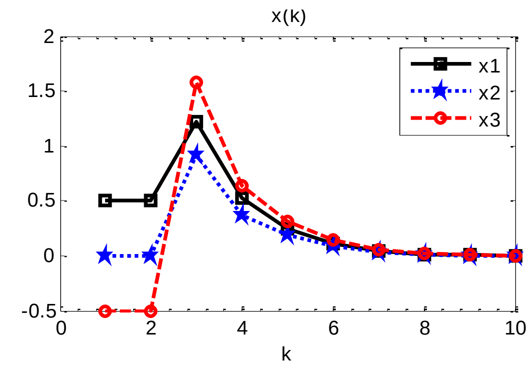
مثال ۱: [۱۹] سیستم (۱) را با ماتریس‌های زیر در نظر بگیرید:

$$A = \begin{bmatrix} -0.1 & 0 & 0.1 \\ 0.1 & 0.3 & -0.2 \\ 0.3 & 0.1 & -0.2 \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} 1.3 & 2.1 \\ 0.8 & 0.4 \\ 1.3 & 2.4 \end{bmatrix}$$

$$f\big(x(k)\big) = \begin{bmatrix} 0.6|x_1(k)x_2(k)|^{\frac{1}{2}} \\ 0.5x_1(k) \end{bmatrix}$$

همچنین فرض کنید: $F(t) = 0.2\,sin(k)$, $\bar{\theta} = 0.2$.

از حل نامعادلات ماتریسی (۱۷) و (۱۸) با استفاده از جعبه‌ابزار $LMILAB$ در نرم‌افزار متلب قانون کنترل (۱۰) و نقطه اولیه $x(0) = [0.5\ 0\ -0.5]^T$ نتایج شبیه‌سازی برای بردار حالت به‌صورت زیر است.



شکل ۱: مسیرهای بردار حالت $x(k)$

شکل (۱) نشان می‌دهد الگوریتم پس از هفت مرحله به سطح صفر رسیده و در آن پایدار باقی می‌ماند. شایان‌ذکر است این مثال در مرجع [۱۹] با روش ارائه‌شده در آن مرجع پس از ۲۰ تکرار به نتیجه می‌رسد اما در روش ارائه‌شده در این مقاله پس از هفت تکرار به نتیجه رسیده است. جدول‌های زیر خروجی‌های هر دو شبیه‌سازی را با استفاده از جعبه‌ابزار $LMILAB$ در برنامه متلب نمایش می‌دهد.

N	$x_1(k)$	$x_2(k)$	$x_3(k)$
0	0.5	0.0	-0.5
5	-0.006	-0.0017	0.0132
7	0.0000	0.0000	0.0000

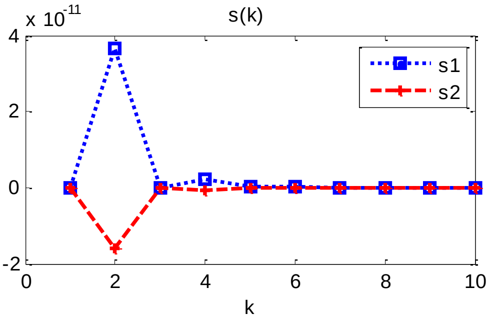
جدول ۱: بردار حالت برای مثال ۱ با روش پیشنهادی

k	$x_1(k)$	$x_2(k)$	$x_3(k)$
0	0.5	0.0	-0.5
5	-0.10806	-0.03981	0.06524
10	0.00141	0.00038	-0.00110
15	-0.00002	0.000005	0.00001
20	0.00000	0.00000	0.00000

جدول ۲: بردار حالت برای مثال ۱ با روش مرجع [۱۹]

همان‌طور که در جدول شماره ۲ دیده می‌شود الگوریتم ارائه‌شده توسط یوانگ نیو و همکاران در مرجع [۱۹] در تکرار بیستم به صفر رسیده است اما الگوریتم ارائه‌شده در این مقاله (جدول شماره ۱) در تکرار هفتم به صفر رسیده است.

در شکل ۲ نیز نمودار سطح مد لغزشی نشان داده‌شده است.



شکل ۲: مسیرهای متغیر مد لغزشی $s(k)$

نتیجه‌گیری:

در این مقاله یک روش جدید برای طراحی کنترل مد لغزشی در حالت (DPL) طراحی و به کمک قضیه پایداری لیاپانوف همگرایی آن را اثبات کرده‌ایم. روند اثبات و شیوه محاسبه این کنترل‌گر در مقایسه با روش ارائه‌شده در مرجع [۱۹] ساده‌تر است ضمن اینکه هر دو الگوریتم توسط نویسندگان مقاله توسط نرم‌افزار متلب پیاده‌سازی شده و نتایج به‌صورت مجزا در جدول‌های ۱ و ۲ بیان‌شده‌اند. مقایسه این دو جدول به‌خوبی نشان می‌دهد روش ارائه‌شده بسیار سریع‌تر از روش مذکور همگرا خواهد بود. همچنین نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد الگوریتم پیشنهادی بعد از چند تکرار متناهی همگرا بوده و در مسائل عددی حل‌شده ، سریع‌تر از آن به صفر همگرا می‌شود.

مراجع:

[1] Y. Niu and X. Wang, “Sliding mode control design for uncertain delay systems with partial actuator degradation,” Int. J. Syst. Sci., vol. 40, pp. 403–409, 2009.

[2] K.-C. Hsu, W.-Y. Wang, and P.-Z. Lin, “Sliding mode control for uncertain nonlinear systems with multiple inputs containing sector nonlinearities and deadzones,” IEEE Trans. Syst., Man Cybern. B, vol. 34, no. 1, pp. 374–380, Feb. 2004.

[3] B .chen, Y . Niu, Y. Zou," Sliding mode control for stochastic Markovian jumping systems subject to successive packet losses", Journal of the Franklin institute ,Vol.351, pp 2169–2184, 2014

[4] L. Wu and J. Lam, “Sliding mode control of switched hybrid systems with time-varying delay,” Int. J. Adaptive Control Signal Processing, vol. 22, pp. 909–931, 2008.

[5] L. Wu and W. Zheng, “Passivity-based sliding mode control of uncertain singular time-delay systems,” Automatica, vol. 45, pp. 2120–2127, 2009.

[6] S. Janardanan and B. Bandyopadhyay, “Discrete-time output feedback sliding mode control for time-delay systems with uncertainty,” International Conference on Control Applications, Taipei, Taiwan, September 2-4, vol .2 , pp. 1358-1364,2004

[7] X. Chen, “Adaptive sliding mode control for discrete-time multi-input multi-output systems,” Automatica, vol. 42, pp. 427–435, 2006.

[8] K. Abidi, J.-X. Xu, and X. Yu, “On the discrete-time integral sliding-mode control,” IEEE Transactions on Automatic Control, vol. 52, no. 4, pp. 709–715, Apr. 2007

[9] F. Yang, Z. Wang, Y.S. Huang, M. Gani, "Robust H1 control with missing measurements and time delays", IEEE Transactions on Automatic Control Vol .52,pp 1666–1672 ,2007

[10] F. Yang, Z. Wang, Y. S. Huang, and M. Gani, “Robust control with missing easurements and time delays,” IEEE Transactions on Automatic Control,vol. 52, no. 9, pp. 1666–1672, Sep. 2007.

[11] G. C. Walsh and H. Ye, “Scheduling of networked control systems”, IEEE Control Syst. Mag., vol. 21, pp. 57–65, 2001.

[12] H. Gao and T. Chen, “estimation for uncertain systems with limited communication capacity,” IEEE Trans. Autom. Control, vol. 52, no. 11, pp. 2070–2084, Nov. 2007.

[13] J. Xiong and J. Lam, “Stabilization of networked control systems with a logic ZOH,” IEEE Transactions on Automatic Control, vol. 54, no. 2, pp. 358–363,Feb. 2009.

[14] J. Xiong and J. Lam, “Stabilization of linear systems over networks with bounded packet loss,” Automatica, vol. 43, pp. 80–87, 2007.

[15] P. Seiler and P. Sengupta, “Analysis of communication losses in vehicle control problems”, in Proc. Amer. Contr. Conf., Arlington, pp. 1491–1496, 2001.

[16]W. Zhang, L. Yu, “ Output feedback stabilization of networked control systems with packet dropouts”, IEEE Transactions on Automatic Control Vol.52 , pp.1705–1710 ,2007

[17] W. Zhang, M. S. Branicky, and S. M. Phillips, “Stability of networked ontrol systems”, IEEE Control Syst. Mag., vol. 21, pp. 84–99, 2001.

[18] Z. Wang, D. W. C. Ho, F. Yang, and X. Liu, “Robust control for networked systems with random packet losses,” IEEE Trans. Syst., Man Cybern. B, vol. 37, no. 4, pp. 916–924, Aug. 2007.

[19] Y. Niu, D.W.C. Ho, “Design of sliding mode control subject to packet losses,” IEEE Transactions on Automatic Control, Vol.55, pp 2623–2628 , 2010.

[20] T. Jia, Y. Niu and Y. Zou “Sliding mode control for stochastic systems subject to packet losses,” An International Journal archive, Volume 217, December, 2012 Pages 117-126.

[۲۱] - خسرو خاندانی، جوهری طهماسبی،" طراحی یک کنترل‌گر مد لغزشی برای سامانه‌های تصادفی کسری دارای تأخیر حالت" ،مجله کنترل، جلد ۱۰، شماره ۲، تابستان ۹۵، صفحه ۱۳ الی ۲۲

[22] Boyd Stephen, Laurent El Ghaoui, Eric Feron and Venkataramanan Balakrishnan, “ Linear Matrix Inequalities in Systems and Control Theory”, Philadelphia, PA, USA, SIAM, 1994.