

طراحی رویتگر تطبیقی اتفاقی پایدار در احتمال، برای سیستم آشوبی نامعین نویزی

موسی آیتی^۱، حمید خالووزاده^۲

^۱ دانشجوی دکتری مهندسی برق، گروه کنترل، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، ayati@dena.kntu.ac.ir

^۲ دانشیار، دانشکده مهندسی برق، گروه کنترل، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، H_khaloozadeh@kntu.ac.ir

(تاریخ دریافت مقاله ۱۲/۴/۱۳۸۹، تاریخ پذیرش مقاله ۲۵/۹/۱۳۸۹)

چکیده: در این مقاله یک رویتگر مد لغزشی تطبیقی اتفاقی جدید ارایه شده که قادر است حالت‌های سیستم آشوبی نامعین، با نامعین مدل و پارامتر را تخمین بزند. رویتگر ارایه شده نیازی به دانستن کران بالای نامعین مدل ندارد و آن را با استفاده از روش‌های تطبیقی تخمین می‌زند. از طرف دیگر با استفاده از قانون تطبیق ارایه شده، رویتگر قادر به تخمین پارامترهای نامعین است. اثر نویز اندازه‌گیری در معادلات رویتگر در نظر گرفته شده و بنابراین رویتگر توسط معادلات دیفرانسیل اتفاقی مدل شده است. با استفاده از ریاضیات اتفاقی و قضیه پایداری لیپانوف اتفاقی، پایداری در احتمال سیستم خطای حالت‌ها اثبات شده است. علاوه بر این، نشان داده شده که با گذشت زمان حالت‌های رویتگر ارایه شده به حالت‌های سیستم راهانداز میل می‌کنند. مزیت دیگر رویتگر ارایه شده این است که بهره تطبیقی رویتگر همیشه محدود و ناویژه باقی می‌ماند. با توجه به اینکه رویتگر توانایی مقابله با نویز و نامعینی‌های مدل و پارامتر را دارد و همگرایی حالت‌های آن اثبات شده است، رویتگر در یک طرح همزمان‌سازی سیستم‌های آشوبی نویزی استفاده و نتایج شبیه‌سازی آورده شده است.

کلمات کلیدی: رویتگر مد لغزشی، پایداری لیپانوف اتفاقی، همزمان‌سازی سیستم‌های آشوبی و معادلات دیفرانسیل اتفاقی.

Designing a Stochastic Adaptive Stable in Probability Observer, for Noisy Uncertain Chaotic Systems

Moosa Ayati, Hamid Khaloozadeh

Abstract: In this paper a novel stochastic adaptive sliding mode observer is developed which is able to estimate the states of an uncertain chaotic system with model and parametric uncertainties. The type of the model uncertainty could be unknown and its upper bound is estimated by adaptive methods. The unknown parameters are estimated using a proposed adaptation law. In addition, the effects of noise are considered in the observer dynamics and then the response system is modeled via stochastic differential equations. Using stochastic calculus and stochastic Lyapunov stability, the stability in probability of the states' error system is proved. Moreover, it is proved that the states of the proposed observer converge to the drive system states while the adaptation gains of the observer remain non-singular and bounded. Since the observer can suppress the effect of noise and uncertainties and the states' convergence is proved, proposed observer is used in a noisy chaos synchronization system.

Keywords: Sliding mode observer, Stochastic Lyapunov stability, Chaotic systems synchronization, Stochastic differential equation.

-۱- مقدمه

ممکن است. این موضوع از این نظر اهمیت دارد که نامعینی پارامتر در بسیاری از سیستم‌های عملی وجود دارد و حتی در بسیاری از طرح‌های مخابرات امن با استفاده از سیستم‌های آشوبی برای افزایش امنیت سیستم مخابراتی به طور عمده نامعینی پارامتر به سیستم‌ها اضافه می‌شود. برای رفع این مشکل [۱۷] از الگوریتم شناسایی حداقل مرباعات بازگشته برای شناسایی پارامترهای نامعین استفاده کرده است. با این وجود چون اثر نامعینی‌های پارامتری در اثبات پایداری در نظر گرفته نشده، برای برخی از شرایط اولیه و پارامترهای نامعین سیستم همزمانی ناپایدار خواهد بود.

در این مقاله اثر هر دو نوع نامعینی‌ها مدل و پارامتر در سیستم راهانداز در نظر گرفته شده است و از رویتگر مد لغزشی تطبیقی اتفاقی (Stochastic Adaptive Sliding Mode Observer (SASMO) به عنوان سیستم پاسخ استفاده شده است. مزیت مهم رویتگر ارایه شده آن است که نیازی به دانستن کران بالای نامعینی مدل ندارد و این کران بالا توسط رویتگر (سیستم پاسخ) تخمین زده می‌شود. علاوه بر این، با استفاده از قانون تطابق در نظر گرفته شده تخمینی از پارامترهای نامشخص بدست می‌آید و همچنین اثر نامعینی‌های پارامتر در مدل راهانداز، مدل پاسخ و روند اثبات پایداری سیستم کلی در نظر گرفته شده است. اثر نویز که توسط فرآیندهای اتفاقی از نوع حرکت کرت استاندارد (standard Brownian motion) مدل شده نیز در معادلات سیستم پاسخ در نظر گرفته شده است.

بدلیل وجود نویز، سیستم‌های راهانداز و پاسخ با استفاده از معادلات دیفرانسیل اتفاقی (stochastic differential equations) [۱۸] مدل شده‌اند که این معادلات ابزار مناسبی برای توصیف سیستم‌های آشوبی نویزی هستند. برای تحلیل و بررسی پایداری سیستم کلی شامل راهانداز و پاسخ، از ریاضیات ایتو (Ito calculus) [۱۹] و قضایای پایداری اتفاقی (stochastic stability theorems) [۲۰] استفاده شده است. [۲۱] از سیستم آشوبی نویزی در یک طرح همزمان‌سازی استفاده کرده و برای تحلیل اثر نویز در این طرح از هر دو انتگرال ریمان و انتگرال ایتو استفاده و نتایج آنها مقایسه شده است. شبیه‌سازی‌ها نشان داده‌اند که استفاده از ریاضیات ایتو برای تحلیل سیستم‌های آشوبی نویزی ضروری است.

در این مقاله با ارایه یک قضیه و استفاده از قضایای پایداری لیپاونوف اتفاقی، اثبات شده که علی‌رغم وجود نویز و نامعینی‌ها، SASMO پایدار در احتمال است. همچنین نشان داده شده حالت‌های رویتگر به حالت‌های سیستم راهانداز میل می‌کنند. همچنین رویتگر تخمینی از پارامترهای نامعین بدست می‌دهد که این تخمین در بهبود همزمان‌سازی سیستم‌های آشوبی بسیار موثر است. علاوه بر اینها بهره‌های تطبیقی رویتگر همیشه محدود و ناویژه هستند که این مورد از دیگر مزایای SASMO است.

این مقاله به این ترتیب سازماندهی شده است که در بخش دوم مفاهیم و تعریف‌های اولیه مورد استفاده در ریاضیات اتفاقی آورده شده است. در بخش سوم روابط سیستم راهانداز بیان شده و در بخش چهارم معادلات SASMO ارایه و پایداری در اختلال آن اثبات شده است. در بخش پنجم نتایج شبیه‌سازی

رفتار آشوبی پدیده‌ای کلی است و در بسیاری از سیستم‌های غیرخطی ظاهر می‌شود. توجه دانشمندان به این پدیده از وقتی جلب شد که لورنز [۱] در ۱۹۶۳ در مقاله‌اش به معرفی و بررسی آشوب پرداخت. آشوب در مهندسی خیلی دیرتر مورد توجه قرار گرفت و در ابتدا اکثر آن را نویز یکسان در نظر می‌گرفتند. برای اولین بار در سال ۱۹۹۰ [۲] نشان داده شد که رفتارهای آشوبی قابل کنترل هستند و در همان سال، دو سیستم آشوبی با هم همزمان شدند [۳]. همچنین در سال ۱۹۹۲ اولین سیستم مخابرات امن بر اساس آشوب توسط مهندسان بر ق بوجود آمد ([۴] و [۵]).

مهمنترین ویژگی سیستم‌های آشوبی حساسیت بسیار شدید به شرایط اولیه و پارامترها است. به این معنی که با تغییر کوچکی در شرایط اولیه دو سیستم آشوبی کاملاً یکسان، مسیرهای حالت این دو سیستم با گذشت زمان بصورت نمایی از هم دور می‌شوند. هرچند این ویژگی در برخی موارد مثل کنترل نوسانگرهای کوپل شده مزاحم است، ولی در بسیاری از کاربردها حساسیت شدید سیستم‌های آشوبی یک مزیت به حساب می‌آید. به عنوان مثال، این ویژگی باعث شد که سیستم‌های آشوبی به منظور ایجاد سیستم‌های مخابراتی با امنیت بالا استفاده شوند که در نتیجه آن چهار نسل مختلف از سیستم‌های مخابرات آشوب بوجود آمد [۶]. مهمنترین مسئله‌ای که در مخابرات امن آشوبی با آن مواجه هستیم همزمان‌سازی فرستنده (سیستم راهانداز) و گیرنده (سیستم پاسخ) است.

در حالت کلی همزمان‌سازی به معنا است که تابعی از حالات‌ها پارامترهای راه انداز و پاسخ با هم یکسان شده و یکدیگر را دنبال کنند. با توجه به حساسیت بسیار زیاد سیستم‌های آشوبی به نظر می‌رسد که این سیستم‌ها بطور ذاتی غیرقابل همزمان‌سازی باشند. بنابراین پیدا کردن روش‌هایی که با استفاده از آنها بتوانیم سیستم‌های آشوبی را همزمان کنیم بسیار مفید خواهد بود. از جمله مناسب‌ترین این روش‌ها استفاده از رویتگر به عنوان سیستم پاسخ در یک طرح همزمان‌سازی آشوبی است.

از جمله موانعی که در ایجاد همزمان‌سازی قابل قبول وجود دارد می‌توان نامعینی‌ها و نویز در سیستم‌های پاسخ و راهانداز را نام برد. برای رفع این موانع راه حل‌های زیادی ارایه شده است به عنوان مثال در [۷] و [۸] تنها اثر نامعینی‌های مدل و در [۹] و [۱۰] و [۱۱] تنها اثر نامعینی‌های پارامتری و در [۱۲] و [۱۳] تنها اثر نویز در نظر گرفته شده است. در [۱۴] و [۱۵] از روش‌های هوشمند برای همزمان‌سازی سیستم‌های آشوبی نامعین استفاده شده است ولی پیاده‌سازی این روش‌ها نیاز به پردازنده‌هایی با توان محاسباتی زیاد دارند. در بسیاری از این مقالات اثر نویز در تحلیل پایداری در نظر گرفته نشده و از روش‌های معمول تحلیل پایداری به کار رفته است.

در [۱۶] اثر نویز و نامعینی مدل هر دو در یک طرح همزمان‌سازی سیستم‌های آشوبی در نظر گرفته شده و با استفاده از قضایای پایداری اتفاقی پایداری سیستم خطای تخمن حالت‌ها اثبات شده است. در مقاله [۱۷] نشان داده شده است که اگر اثر نامعینی پارامتر در نظر گرفته نشود ایجاد همزمانی غیر

ب) نموی $B_t - B_s$ ، $0 \leq s < t < \infty$ ، توزیع نرمال میانگین صفر با واریانس $t - s$ دارد.

ج) نموی $B_t - B_s$ ، $0 \leq s < t < \infty$ ، مستقل از F_s است. \square

سیستم غیرخطی اتفاقی نامعین نویزی با معادلات دیفرانسیل ایتو زیر را در

فضای احتمال کامل (Ω, F, P) در نظر بگیرید

$$\begin{aligned} dx_i &= Ax_i dt + Bu_i dt + f(x, t)dt + g(x, t)dB_i \\ dy_i &= Cx_i dt \end{aligned} \quad (1)$$

که در آن Ω فضای پیشامدها، F یک سیگما جبر روی Ω ، و P اندازه احتمالاتی است. $t \in \mathbb{R}^+$ متغیر زمان، $x_i \in \mathbb{R}^n$ بردار حالت های سیستم، $u_i \in \mathbb{R}^p$ بردار ورودی کنترلی، $y \in \mathbb{R}^m$ بردار خروجی سیستم و $f: \mathbb{R}^n \times \mathbb{R}^+ \rightarrow \mathbb{R}^n$ یکتابع برداری غیرخطی است. $g: \mathbb{R}^n \times \mathbb{R}^+ \rightarrow \mathbb{R}^{n \times b}$ شدت نویز سیستم و A, B, C ماتریس های مشخص با ابعاد مناسب هستند. $dB_i \in \mathbb{R}^b$ یک فرآیند گوسی میانگین صفر با واریانس dt است که نمو فرآیند براوونی استاندارد B را نشان می دهد. قضایا و روابط زیر برای سیستم اتفاقی توصیف شده در (1) برقرار است.

برای هر شرایط اولیه $x_0 \in \mathbb{R}^n$ ، $t_0 \in \mathbb{R}^+$ ، و ورودی اندازه پذیر u_i ، $x(t, t_0, x_0, u)$ معادله (1) که از شرایط اولیه x_0 در زمان t_0 شروع می شود، در فضای احتمال (Ω, F, P) و با پالایش $\{F_t\}_{t \geq 0}$ تعریف می شود. پالایش $\{F_t\}_{t \geq 0}$ پیوسته از راست، تولید شده با فرآیند براوونی B و شامل تمام مجموعه های بوج P است. همچنین بر اساس قضیه وجود و یکتاپی، سیستم (1) کامل است. به این معنا که برای هر ورودی اندازه پذیر u_i ، شرایط اولیه x_0 ، t_0 و تقریبا برای تمام $\omega \in \Omega$ ، سیستم (1) حل یکتاپی به صورت $x(t, t_0, x_0, u)$ دارد که برای تمام t تعریف شده و پیوسته نسبت به t ، پیوسته اتفاقی نسبت به x_0 ، اندازه پذیر در (t, ω) و تطبیق شده $\{F_t\}_{t \geq 0}$ است.

بدلیل وجود نویز پایداری سیستم های اتفاقی متفاوت از پایداری سیستم های قطعی است. در این قسمت قضایا و تعاریف مربوط به پایداری اتفاقی سیستم غیرخطی اتفاقی (1) آورده شده است.

تعریف ۷: [۲۳] مجموعه تمام توابع پیوسته و اکیدا افزایشی $\mu: [0, a] \rightarrow \mathbb{R}^+$ که $\mu(0) = 0$ است را توابع کلاس K می نامند. توابع کلاس K که برای آنها $\lim_{r \rightarrow \infty} \mu(r) \rightarrow \infty$ برقرار باشد را توابع کلاس K_∞ می نامند.

قضیه: پایداری در احتمال (stability in probability) [۱۹] و [۲۰]:

الف) نقطه تعادل $x_e \equiv 0$ مربوط به معادله دیفرانسیل اتفاقی (1) بطور سراسری پایدار در احتمال است اگر برای هر $t_0 \geq 0$ و $\varepsilon > 0$

$$\lim_{x_0 \rightarrow 0} P \left(\sup_{t_0 \leq t} |x(t, t_0, x_0, 0)| > \varepsilon \right) = 0$$

که در آن $x(t, t_0, x_0, 0)$ حل معادله (1) در زمان t است ($t_0 \leq t$)

که از شرایط اولیه x_0 و t_0 شروع می شود.

حاصل از بکار بردن SASMO در یک طرح همزمانسازی بر اساس مدار چوآی نویزی آورده شده است.

۲- مفاهیم اولیه کنترل اتفاقی

در این بخش تعدادی از تعاریف، مفاهیم اولیه و پر کاربرد در نظریه احتمال و ریاضیات اتفاقی که در این مقاله به کار رفته اند بیان شده است. خوانندگان علاقمند برای اطلاعات بیشتر می توانند به مراجع [۱۸] و [۱۹] مراجعه نمایند.

تعریف ۱: [۱۸] F ، که دسته ای از زیر مجموعه های مجموعه Ω است را یک سیگما جبر (σ -algebra) روی Ω می نامیم اگر خواص زیر را داشته باشد:

الف) $\phi \in F$ ، که \emptyset مجموعه تهی است.

ب) اگر مجموعه A متعلق به F باشد آنگاه مکمل $A^c = \Omega - A$ هم متعلق به F باشد.

ج) اگر دنباله ای نامتناهی از مجموعه های مانند A_i ، $A_i \in F$ باشد $\bigcup_{i=1}^{\infty} A_i \in F$.

تعریف ۲: [۱۸] اندازه احتمالاتی (Probability Measure) P روی F (Probability Measure) فضای اندازه پذیر (Ω, F) تابعی است به صورت $P: F \rightarrow [0, 1]$ که

الف) $P(\Omega) = 1$

ب) برای هر مجموعه مجزای $\{A_i\}_{i \geq 1} \subset F$ داشته باشیم $(A_i \cap A_j = \emptyset \text{ if } i = j)$

$$P\left(\bigcup_{i=1}^{\infty} A_i\right) = \sum_{i=1}^{\infty} P(A_i)$$

تعریف ۳: [۱۸] سه تابی (Ω, F, P) یک فضای احتمال نامیده می شود.

اگر $\bar{F} = F$ باشد، فضای احتمال کامل است.

$$\bar{F} = \{A \subset \Omega : \exists B, C \in F \text{ such that}$$

$$B \subset A \subset C, P(B) = P(C)\}$$

تعریف ۴: [۱۸] فضای احتمال (Ω, F, P) را در نظر بگیرید. یک دسته

مانند $\{F_t\}_{t \geq 0}$ از زیر سیگما جبرهای افزایشی روی F را یک پالایش (Filteration) روی فضای احتمال می نامیم.

تعریف ۵: فرآیند اتفاقی x_i را تطبیق شده $\{F_t\}_{t \geq 0}$ (adapted - $\{F_t\}_{t \geq 0}$) می نامیم، اگر برای هر t ، فرآیند x_i ، اندازه پذیر F_t باشد.

تعریف ۶: [۱۹] فرض کنید (Ω, F, P) فضای احتمال با پالایش

باشد. فرآیند براوونی استاندارد $\{B_t\}_{t \geq 0}$ ، فرآیندی با مقادیر حقیقی

و تطبیق شده $\{F_t\}_{t \geq 0}$ است که دارای ویژگی های زیر می باشد:

الف) $B_0 = 0$

همچنین فرض کنید توابع h و f_1 بطور محلی لیپ شیتر و پیوسته در $\Psi \subset \mathbf{R}^n$ هستند

$$\|h(x_1) - h(x_2)\| \leq K_h \|x_1 - x_2\|; \forall x_1, x_2 \in \Psi \quad (5)$$

$$\|f_1(x_1) - f_1(x_2)\| \leq K_{f_1} \|x_1 - x_2\|; \forall x_1, x_2 \in \Psi \quad (6)$$

$$K_h \in \mathbf{R}^+ \text{ و } K_{f_1} \in \mathbf{R}^+$$

این شرایط وجود و یکتایی جواب محلی برای معادله دیفرانسیل اتفاقی (۳) را تضمین می‌کنند. قسمتی از مدل سیستم است که نامعینی‌های محدود با کران بالای نامشخص و یا اغتشاشات غیر قابل اندازه‌گیری را نشان می‌دهد. همچنین، در یک سیستم مخابرات آشوبی f_2 می‌تواند پیام ارسالی از راهانداز به سیستم پاسخ را که در حالت کلی نامعین است مدل کند.

شرط ۲: f_2 باید در شرط

$$f_2(x, t) = P^{-1} C^T \psi(y, t) \quad (7)$$

صدق کرد که P در شرط ۳ معرفی خواهد شد.
 $\psi(y, t) : \mathbf{R}^m \times \mathbf{R}^+ \rightarrow \mathbf{R}^m$

$$\|\psi(y, t)\|_F \leq \sum_{i=1}^N \eta_i \rho_i(y_i, t) \quad (8)$$

$\rho_i(y_i, t) : R^m \times R^+ \rightarrow R^+, i = 1, 2, \dots, N$ و $\eta_i \in R^+$ است. در حالت کلی، η_i و $\psi(y, t)$ می‌توانند نامشخص باشند. به تابع f_2 که در این شرایط صدق کند نامعینی تطابق یافته (matched uncertainty) می‌گویند که تنها به خروجی سیستم وابسته است.

شرط ۳: زوج (A, C) آشکاری‌پذیر و $L \in R^{n \times m}$ بردار بهره رویتگر است که مقادیر ویژه جفت (A, C) را به نیم صفحه چپ تخصیص می‌دهد. $Q \in \mathbf{R}^{n \times n}$ ماتریس متقارن و مثبت معین است. به ازای $P \in \mathbf{R}^{n \times n}$ یک ماتریس مثبت معین $Q \in \mathbf{R}^{n \times n}$ وجود دارد که در رابطه لیپاونوف زیر صدق می‌کند.

(۹)

$$(A - LC)^T P + P(A - LC) = -Q \quad \text{and} \quad B^T P = HC$$

(۱۰)

$$2K_{f_1}\bar{\lambda}(P) + \frac{1}{2}\bar{\lambda}(P)K_g\|C\|^2 + 2K_h K_\theta\|HC\| - \underline{\lambda}(Q) < 0$$

K_g در شرط ۴ معرفی خواهد شد.

۴- رویتگر اتفاقی تطبیقی مدل‌لغزشی

در این مقاله برای تخمین حالت‌های سیستم غیرخطی اتفاقی (۳)، یک Stochastic Adaptive Sliding رویتگر اتفاقی تطبیقی مدل‌لغزشی (SASMO) معرفی شده است. مدل این رویتگر در ادامه این بخش آورده و قسمت‌های مختلف آن شرح داده شده است. رویتگر ارایه شده فقط با استفاده از خروجی سیستم یعنی y که تحت تاثیر وجود نویز

ب) نقطه تعادل $x_e \equiv 0$ مربوط به معادله دیفرانسیل اتفاقی (۱) بطور سراسری پایدار مجانبی در احتمال است اگر پایدار در احتمال باشد و برای هر

$$\lim_{x_0 \rightarrow 0} P\left(\lim_{t \rightarrow \infty} |x_t^{t_0, x_0}| = 0\right) = 1 \text{ رابطه } t_0 \geq 0$$

قضیه ۲: پایداری لیپاونوف اتفاقی (stochastic Lyapunov stability)

[۱۹]

سیستم غیرخطی اتفاقی (۱) را در نظر بگیرید. فرض کنید که تابع $V(x, t) : [0, \infty) \times \mathbf{R}^n \rightarrow \mathbf{R}^+$ متعلق به $C^{2,1}$ و توابع μ_1 و μ_2 از

کلاس K_∞ وجود دارند بطوریکه برای هر $x \in \mathbf{R}^n, t \geq 0$

$$\mu_1(\|x\|) \leq V(x, t) \leq \mu_2(\|x\|)$$

$$LV(x, t) = \frac{\partial V}{\partial t} + f(x, t)^T \frac{\partial V}{\partial x} +$$

$$\frac{1}{2} \operatorname{tr} \left(g(x, t)^T \frac{\partial^2 V}{\partial x^2} g(x, t) \right) \leq -\mu_3(\|x\|)$$

برقرار باشد. $\mu_3 : \mathbf{R}^n \rightarrow \mathbf{R}^+$ تابعی پیوسته و غیرمنفی از کلاس K

است. با این شرایط، حل یکتایی $x_e \equiv 0$ با شرایط اولیه $x_0 \in \mathbf{R}^n$ و $t_0 \in \mathbf{R}^+$ وجود دارد که بطور سراسری پایدار در احتمال است و

$$P\left\{\lim_{t \rightarrow \infty} \mu_3(x, t) = 0\right\} = 1$$

عملگر انتشار (diffusion operator) فرآیند اتفاقی $V(x, t)$ می‌نماید. □

قضیه ۳: فرمول دینکین (Dynkin's Formula)

فرض کنید X فرآیند مارکوف از راست پیوسته و τ یک زمان تصادفی باشد که $E_x \tau < \infty$ است. اگر f در دامنه عملگر \tilde{A} (infinitesimal operator) باشد آنگاه

$$E_{x, s} f(x_\tau, t + \tau) - f(x_0, t_0) = E_{x, s} \int_0^\tau \tilde{A} f(x_s, t + s) ds$$

برقرار خواهد بود. □

۳- توصیف سیستم راه انداز

سیستم غیرخطی اتفاقی نامعین تعریف شده با معادلات دیفرانسیل ایتو زیر را به عنوان سیستم راه انداز در نظر بگیرید

$$dx_i = (Ax_i + Bu_i)dt + Bh(x_i)\theta dt + f(x_i, t)dt \quad (3)$$

که در آن $\theta \in \mathbf{R}^q$ بردار پارامترهای نامعین $f : \mathbf{R}^n \times \mathbf{R}^+ \rightarrow \mathbf{R}^{n \times q}$ و $h : \mathbf{R}^n \rightarrow \mathbf{R}^{n \times q}$ تابع‌های برداری غیرخطی هستند. همانطور که مشاهده می‌شود در معادلات سیستم راه انداز، نامعینی‌های مدل و پارامتری در نظر گرفته شده‌اند و از این نظر مدل بکار گرفته شده کلی‌تر از مدل بکار رفته در [۲۲] است. همچنین برای مدل (۳) شروطی در نظر گرفته شده که در ادامه آورده شده است.

شرط ۱: فرض کنید f قابل تقسیم به دو بخش است

$$f(x, t) = f_1(x) + f_2(x, t) \quad (4)$$

بزند بطوریکه سیستم خطای حالت‌ها پایدار سراسری در احتمال بوده و میانگین حالت‌های رویت‌گر به سمت میانگین حالت‌های سیستم میل کند.

بهره‌ی مدل لغزشی رویت‌گر بدست آمده از این قضیه همیشه، حتی هنگامکه میانگین خطای حالت‌ها به سمت صفر می‌رود، کران‌دار و ناویژه باقی می‌ماند.

اثبات: برای بررسی پایداری، سیستم خطای حالت‌ها را تشکیل می‌دهیم که به صورت زیر خواهد بود

$$de_t = A_C e_t dt + \tilde{f}^1 dt + \tilde{f}^2 dt + \tilde{h} dt - gdW_t, \quad (18)$$

که $\tilde{f}^2 = f_2 - S$ ، $\tilde{f}^1 = f_1(x_t) - f_1(\hat{x}_t)$ ، $A_C = A - LC$ است. باید پایداری در احتمال نقطه تعادل $\tilde{h} = Bh(x_t)\theta - Bh(\hat{x}_t)\hat{\theta}$ وجود دارد که برای آن رابطه زیر برقرار است.

$$\tilde{f} = \tilde{f}^1 + \tilde{f}^2 + \tilde{h} \quad \text{و} \quad G = [-g] \quad \text{و} \quad e \equiv 0$$

رابطه (18) را می‌توان بصورت

$$de_t = A_C e_t dt + \tilde{f} dt + GdW_t \quad (19)$$

باز نویسی کرد. با انتخاب کاندید تابع لیپاچوف مناسب

(20)

$$V(e_t, \hat{\theta}, \hat{\eta}_i(t), t) = e_t^T P e_t + \sum_{i=1}^N \frac{1}{z_i} (\hat{\eta}_i(t) - \eta_i)^2 + (\hat{\theta} - \theta)^T \phi (\hat{\theta} - \theta) + h_i(t)$$

شرط کافی برای صحت قضیه ۴ را بررسی می‌کیم.

(۲۰) متعلق به $V: R^{n+3} \rightarrow R^+$ است. با اعمال عملگر انتشار L ، به

داریم

(21)

$$\begin{aligned} LV(e_t, \hat{\theta}, \hat{\eta}_i(t), t) &= e_t^T (A_C e_t + \tilde{f})^T P e_t \\ &+ e_t^T P (A_C e_t + \tilde{f}) + \hat{\theta}^T \phi (\hat{\theta} - \theta) + (\hat{\theta} - \theta)^T \phi \hat{\theta} \\ &\sum_{i=1}^N \frac{2}{z_i} (\hat{\eta}_i(t) - \eta_i) \dot{\hat{\eta}}_i(t) + \frac{1}{2} \operatorname{tr}(G^T G P) + \dot{h}_i(t) \end{aligned}$$

با استفاده از (۹) و جایگذاری $\tilde{f} = \tilde{f}^1 + \tilde{f}^2 + \tilde{h}$ در (۲۱) بدست

می‌آید

$$\begin{aligned} LV(e_t, \hat{\theta}, \hat{\eta}_i(t), t) &= -e_t^T Q e_t + \hat{\theta}^T \phi (\hat{\theta} - \theta) + (\hat{\theta} - \theta)^T \phi \hat{\theta} \\ &+ \phi \dot{\hat{\theta}} + (\tilde{f}^{1T} P e_t + e_t^T P \tilde{f}^1 + \tilde{f}^{2T} P e_t + e_t^T P \tilde{f}^2 + \\ &\tilde{h}^T P e_t + e_t^T P \tilde{h}) + \sum_{i=1}^N \frac{2}{z_i} (\hat{\eta}_i(t) - \eta_i) \dot{\hat{\eta}}_i(t) \\ &+ \frac{1}{2} \operatorname{tr}(G^T G P) + \dot{h}_i(t) \end{aligned} \quad (22)$$

در نظر گرفتن رابطه (۶) نتیجه می‌دهد:

اندازه‌گیری و نامعینی‌ها هم می‌باشد، حالت‌های سیستم راه انداز را تخمین می‌زند. مدل رویت‌گر (سیستم پاسخ) بصورت زیر است

$$d\hat{x}_i = (A \hat{x}_i + Bu_i + f_i(\hat{x}_i))dt + L(dy_i - d\bar{y}_i) +$$

$$Bh(\hat{x}_i)\hat{\theta} + S(\hat{x}_i, x_i, y_i, \rho_i(y_i, t), \hat{\eta}_i(t), t)dt$$

$$+ g(dy_i - d\bar{y}_i, t)dW_i$$

$$d\bar{y}_i = C\hat{x}_i dt$$

با استفاده از بردار L ماتریس $(A - LC)$ هرویتز خواهد بود. در این

مدل شدت نویز، تابعی از خروجی سیستم راهانداز و سیستم پاسخ است [۲۴]

می‌توان با استفاده از آن نویز اندازه‌گیری را مدل کرد.

شرط ۴: ثابت $K_g > 0$ وجود دارد که برای آن رابطه زیر برقرار است.

(۱۲)

$$\operatorname{tr}(g(dy_i - d\bar{y}_i, t)^T g(dy_i - d\bar{y}_i, t)) \leq K_g \|dy_i - d\bar{y}_i\|^2$$

بردار پارامترهای تخمین زده شده است و از رابطه زیر بدست می‌آید

$$\hat{\theta} = \phi^{-1} h^T(\hat{x}_i) H C e_i \quad (13)$$

که ϕ ماتریس مثبت معین دلخواه است. سیستم خطای حالت‌ها حاصل از

معادلات (۳) و (۱۱)، $e_i = x_i - \hat{x}_i$ ، با استفاده از بهره مدل لغزشی زیر پایدار

خواهد بود

(۱۴)

$$S(\hat{x}_i, x_i, y_i, \rho_i(y_i, t), \hat{\eta}_i(t), t) =$$

$$\frac{P^{-1} C^T (C e_i) \sum_{i=1}^N \hat{\eta}_i \rho_i(y_i, t)}{\|C e_i\| - \dot{h}_i(t) h_2(t) \sum_{i=1}^N \hat{\eta}_i \rho_i(y_i, t)}$$

$\eta_i, \hat{\eta}_i(t) \in \mathbb{R}^+$ است و با استفاده از رابطه (۱۵) محاسبه

می‌شود،

(۱۵)

$$d\hat{\eta}_i = z_i \|C e_i\| \rho_i(y_i, t) dt, \hat{\eta}_i(0) \in R^+, i = 1, 2, \dots, N$$

که $h_1(t): \mathbb{R}^+ \rightarrow \mathbb{R}^+$ ، $\hat{\eta}_i(t) \in \mathbb{R}^+$ ، $z_i \in \mathbb{R}^+$ متعلق به

است. همچنین $\sup_{t \in \mathbb{R}^+} h_1(t) < M < \infty$ و $\sup_{t \in \mathbb{R}^+} \dot{h}_i(t) < 0$ می‌باشد.

C^1 متعلق به $h_2(t): \mathbb{R}^+ \rightarrow \mathbb{R}^+$ بوده و شرط زیر برقرار هستند

(۱۶)

$$h_2(t) < \frac{1}{2 \left(\sum_{i=1}^N \hat{\eta}_i \rho_i(y_i, t) \right)^2}$$

(۱۷)

$$\dot{h}_i(t) \left(1 + 2h_2(t) \left(\sum_{i=1}^N \hat{\eta}_i \rho_i(y_i, t) \right)^2 \right) < 0$$

وجود توابع $(t, h_1(t), h_2(t))$ و شرط بالاروی این توابع، باعث می‌شود

محرج (۱۴) همیشه مثبت باقی بماند و بهره مدل لغزشی کران دار باشد.

قضیه ۴: اگر شرط ۱ تا ۴ برقرار باشند، SASMO که مدل آن با

معادلات (۱۱) تا (۱۵) داده شده، قادر است حالت‌های سیستم (۳) را تخمین

$$\begin{aligned} LV \leq -N \|e_t\|^2 \leq 0 &\Rightarrow \\ E_{e,t} V(e_\tau, \tilde{\eta}_{\tau}, \tilde{\theta}_\tau, t + \tau) - V(e_0, \tilde{\eta}_0, \tilde{\theta}_0, t_0) &\leq \\ E_{e,t} \int_0^\tau -N \|e_s\|^2 ds &< \infty \\ \Rightarrow 0 < N E_{e,t} \int_0^\tau \|e_s\|^2 ds = N \int_0^\tau E_{e,s} \|e_s\|^2 ds & \\ \leq V(e_0, \tilde{\eta}_0, \tilde{\theta}_0, t_0) - E_{e,t} V(e_\tau, \tilde{\eta}_\tau, \tilde{\theta}_\tau, t + \tau) &< \infty \end{aligned}$$

چون $E_{e,s} \|e_s\|^2 > 0$ است، طبق لم باربالت [۲۵] نتیجه می شود که میانگین نرم خطای تخمین حالت ها به سمت صفر میل می کند که به معنای همگرایی میانگین حالت های تخمین زده شده به حالت های اصلی است،

$$\square, \lim_{t \rightarrow \infty} E_x \hat{x}_t \rightarrow E_x x_t$$

نتکته ۱: یکی از ویژگی های سیگنال های آشوبی پیوسته بودن طیف فرکانسی است، بنابراین طیف سیگنال $Bh(x)$ که تابعی از حالت های آشوبی است پیوسته بوده و در نتیجه این سیگنال پایا از مرتبه بالا است [۲۶]. بنابراین شرایط قضیه تحریک پایا در مرجع [۲۵] برقرار است و در نتیجه طبق قضیه ۲ شرایط قضیه همگرایی پارامترها تضمین شده است. \square

مزیت قضیه ارایه شده اثبات پایداری در احتمال سیستم خطای حالت ها است. همچنین علی رغم وجود نویز و نامعینی در مدل، SASMO ارایه شده قادر است تنها با استفاده از بردار خروجی، حالت های سیستم را تخمین بزند. مهمتر اینکه بهره مد لغزشی رویت گر همیشه کران دار است و حتی هنگامیکه خطای تخمین حالت ها کوچک می شود ناویژه باقی می ماند.

۵- نتایج شبیه سازی

در این قسمت نتایج شبیه سازی SASMO آورده شده است. با توجه به مزایای SASMO در تخمین حالت ها می توان موارد کاربرد مختلفی برای آن در نظر گرفت. بدليل توانایی رویت گر در تخمین حالت های سیستم بسیار غیرخطی، SASMO در یک طرح همزمان سازی بر اساس مدار آشوبی چوآ بکار رفته است. لازم به ذکر است که این مدار در ابتدا توسط لغزشی چوآ ارایه شد و در حال حاضر تحقیقات مداری مختلف آن [۲۷] دارای کاربردهای بسیاری در نظریه آشوب است [۲۸]. همانطور که قبل اشاره شد سیستم اصلی را راه انداز (بر اساس مدار چوآ) و رویت گر را پاسخ (بر اساس مدار چوآ) نامیده ایم.

معادلات راه انداز بصورت زیر است.

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{G}{C_1} - \frac{G_b}{C_1} & \frac{G}{C_1} & 0 \\ \frac{G}{C_2} & -\frac{G}{C_2} & \frac{1}{C_2} \\ 0 & -\frac{1}{L} & -\frac{R_0}{L} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} \quad (۲۹)$$

$$\begin{aligned} LV(e_t, \hat{\eta}_i(t), t) &= -e_t^T Q e_t + 2K_{f1} \|e_t\|^2 \bar{\lambda}(P) \\ &+ \frac{1}{2} \text{tr}(G^T G P) + \dot{\theta}^T \phi (\bar{\theta} - \theta) + (\bar{\theta} - \theta)^T \phi \dot{\theta} \\ &+ (\tilde{f}^{2T} P e_t + e_t^T P \tilde{f}^{2T} + \tilde{h}^T P e_t + e_t^T P \tilde{h}) + \\ &\sum_{i=1}^N \frac{2}{z_i} (\hat{\eta}_i(t) - \eta_i) \dot{\eta}_i(t) + \dot{h}_i(t) \end{aligned} \quad (۲۳)$$

با اعمال شرط ۴، استفاده از خواص ماتریس ها، و جایگذاری معادلات (۷) و (۱۵) در (۲۳) بدست می آید.

$$\begin{aligned} LV(e_t, \hat{\eta}_i(t), t) &\leq (2K_{f1} \bar{\lambda}(P) - \underline{\lambda}(Q)) \|e_t\|^2 \\ &+ \frac{1}{2} \bar{\lambda}(P) K_g \|C\|^2 \|e_t\|^2 + \tilde{h}^T P e_t + e_t^T P \tilde{h} \\ &+ \dot{\theta}^T \phi (\bar{\theta} - \theta) + (\bar{\theta} - \theta)^T \phi \dot{\theta} + \dot{h}_i(t) \end{aligned} \quad (۲۴)$$

$$\begin{aligned} &\sum_{i=1}^N 2(\hat{\eta}_i(t) - \eta_i) \|Ce_t\| \rho_i(y_i, t) + \\ &(P^{-1} C^T \psi(y, t) - S)^T P e_t + e_t^T P (P^{-1} C^T \psi(y, t) - S) \end{aligned}$$

با جایگذاری \tilde{h} و استفاده از (۱۳) و (۵) نامساوی (۲۴) بصورت زیر خواهد بود:

$$\begin{aligned} LV(e_t, \hat{\eta}_i(t), t) &\leq \\ &\left(2K_{f1} \bar{\lambda}(P) - \underline{\lambda}(Q) + \frac{1}{2} \bar{\lambda}(P) K_g \|C\|^2 \right) \|e_t\|^2 + \\ &\sum_{i=1}^N 2(\hat{\eta}_i(t) - \eta_i) \|Ce_t\| \rho_i(y_i, t) + \\ &2K_h K_\theta \|HC\| \|e_t\|^2 + \dot{h}_i(t) \\ &+ (P^{-1} C^T \psi(y, t) - S)^T P e_t + e_t^T P (P^{-1} C^T \psi(y, t) - S) \end{aligned} \quad (۲۵)$$

با اعمال نامساوی (۷) و جایگذاری بهره مد لغزشی (۱۴) خواهیم داشت:

$$\begin{aligned} LV(e_t, \hat{\eta}_i(t), t) &\leq \left(2K_{f1} \bar{\lambda}(P) - \underline{\lambda}(Q) + \frac{1}{2} \bar{\lambda}(P) K_g \|C\|^2 \right. \\ &\left. + 2K_h K_\theta \|HC\| \|e_t\|^2 + 2\|Ce_t\| \sum_{i=1}^N \hat{\eta}_i(t) \rho_i(y_i, t) - \right. \\ &\left. 2\|Ce_t\|^2 \sum_{i=1}^N \hat{\eta}_i(t) \rho_i(y_i, t) \right. \\ &\left. + \dot{h}_i(t) \right) \end{aligned} \quad (۲۶)$$

اگر نامساوی های (۱۶) و (۱۷) در رابطه (۲۶) جایگذاری شوند بدست می آید

$$\begin{aligned} LV(e_t, \hat{\eta}_i(t), t) &\leq \left(2K_{f1} \bar{\lambda}(P) - \underline{\lambda}(Q) + \frac{1}{2} \bar{\lambda}(P) K_g \|C\|^2 \right. \\ &\left. + 2K_h K_\theta \|HC\| \|e_t\|^2 \right) \end{aligned} \quad (۲۷)$$

با توجه به قضیه ۲ (پایداری لیپانوف اتفاقی) ارایه شده در بخش ۲ و رابطه (۱۰) نتیجه می شود که سیستم خطای حالت ها بطور سراسری پایدار در احتمال است. از طرف دیگر چون با توجه به (۲۷) داریم $N \geq 0$ ، پس $LV(e_t, \hat{\eta}_i(t), t) \leq -N \|e_t\|^2$ نتیجه می دهد.

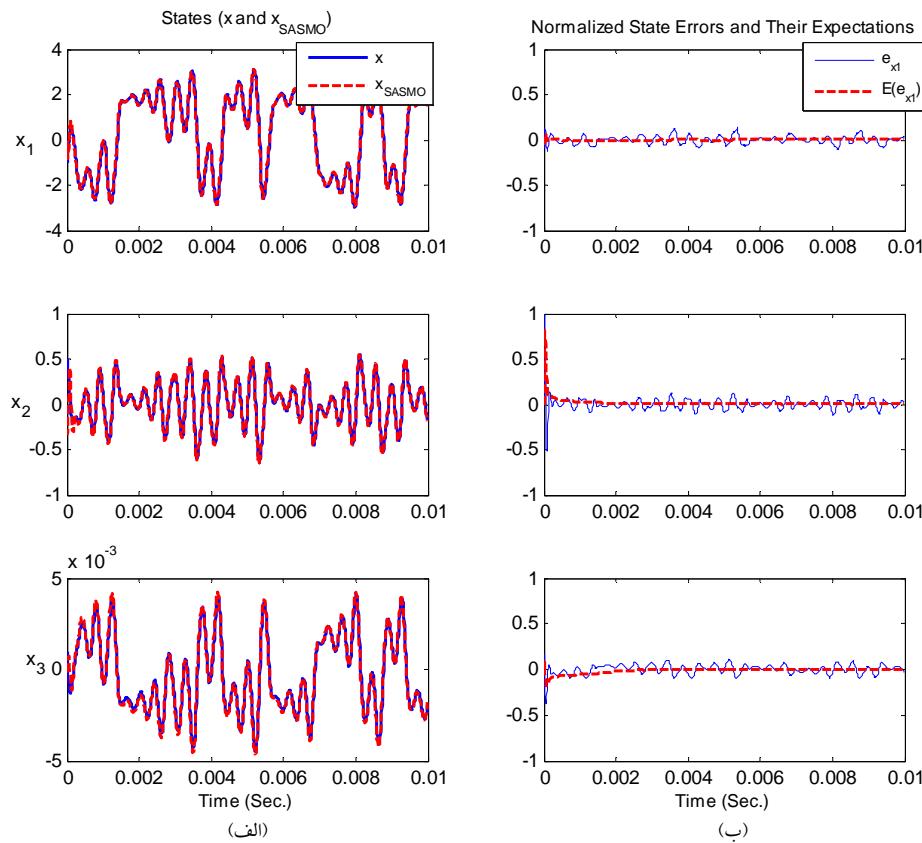
کل سیستم راهانداز-پاسخ با شرایط اولیه متفاوت و برای $0/0/1$ ثانیه شبیه‌سازی شده است. شکل ۱ رفتارهای آشوبی مدار چوآ را نشان می‌دهد. در قسمت (الف) شکل ۱) حالتهای راهانداز به رنگ آبی (خط توپر) و حالتهای پاسخ به رنگ قرمز (خط چین) آورده شده است. در قسمت (ب) خطای تخمین حالت‌ها به رنگ آبی (خط توپر) و میانگین خطای تخمین به رنگ قرمز (خط چین) آورده شده است. با توجه به شکل مشاهده می‌شود خطای تخمین حالت‌ها و میانگین خطای تخمین حالت‌ها با گذشت زمان کران دار باقی می‌مانند. میانگین خطای تخمین حالت‌ها $E\{e\} = [1.832E-2, 2.32E-3, 5.24E-8]^T$ و انحراف از معیار آن $Var\{e\} = [-4.67E-4, -1.202E-3, 3.63E-6]^T$ است که در مدت زمان شبیه‌سازی محاسبه شده‌اند. مشاهده می‌شود که میانگین و انحراف از معیار خطای گذشت زمان به سمت صفر میل می‌کنند که یا نیکر تخمین مناسب حالت‌های راهانداز توسط SASMO است. شکل ۲) جاذب آشوبی راهانداز و پاسخ را نشان می‌دهد. در شکل ۳) خروجی راهانداز و خطای تخمین خروجی آورده شده که بسیار کوچک است.

$$\begin{aligned} & \left[\begin{array}{c} -\frac{G_a - G_b}{2C_1} (|X_1 + E| - |X_1 - E|) \\ 0 \\ 0 \end{array} \right] \\ z(t) = & \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

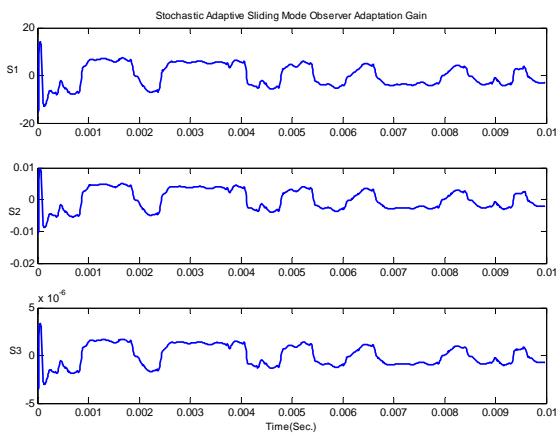
که برای پارامترهای

$R_0 = 20$ ، $G = -1.139 \times 10^{-3}$ ، $G_b = -0.711 \times 10^{-3}$ آشوبی $C_2 = 178 \times 10^{-9}$ ، $E = 1$ ، $C_1 = 17 \times 10^{-9}$ ، $R = 1000$ است معادلات رویتگر با توجه دینامیک‌های مدار چوآ (۴۹)، ایجاد و به صورت (۱) بازنویسی شده است. با توجه به اینکه دامنه تغییرات حالت‌های سیستم به دلیل آشوبی بودن حتماً کران دار و متعلق به جاذب آشوبی محدود Ψ هستند، ثابت‌های لیپشیتز محلی (در جاذب آشوبی) زیر برای طراحی رویتگر در نظر گرفته شده‌اند.

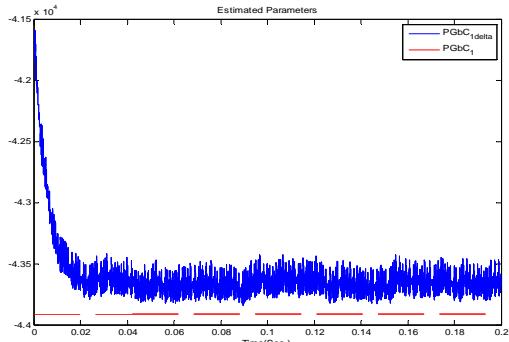
$$K_g = 3, K_{f1} = 500$$



شکل ۱: (الف) حالتهای راهانداز آبی، خط توپر و پاسخ قرمز، خط چین. (ب) خطای نرمالیزه شده تخمین حالت‌ها آبی، خط توپر و میانگین خطای تخمین نرمالیزه شده قرمز، خط چین.

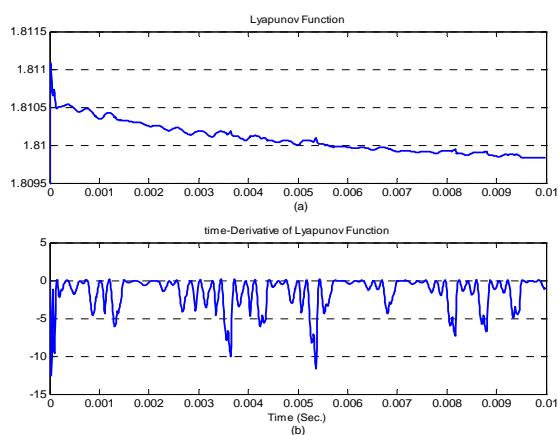


شکل (۴): بردار بهره مدل لغزشی رویت گر.

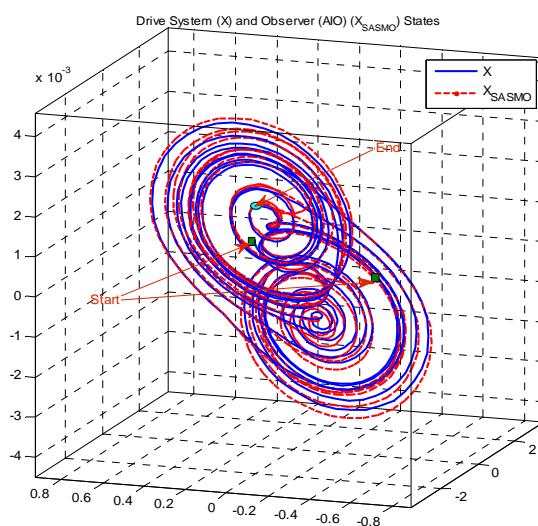


شکل (۵): پارامتر تخمین زده شده (آبی، خط توپر) و پارامتر واقعی (قرمز، خط چین).

با توجه به اینکه سیستم آشوبی نسبت به تغییر پارامترها حساسیت شدیدی دارد، تخمین پارامتر مجھول می‌تواند در کاهش خطای تخمین حالت‌ها و بهبود همزمانی بین راهانداز و پاسخ تاثیر به سزایی داشته باشد به طوریکه بدون تخمین پارامترها ایجاد همزمانی غیر ممکن است. شکل (۶) هم تابع لیپانوف و مشتق زمانی اتفاقی تابع لیپانوف با اعمال عملکر انتشار را نشان می‌دهد. مقدار تابع لیپانوف همیشه مثبت و مقدار مشتق زمانی تابع لیپانوف همیشه منفی بوده و برقراری شرایط کافی قضیه ۲ را نشان می‌دهد.

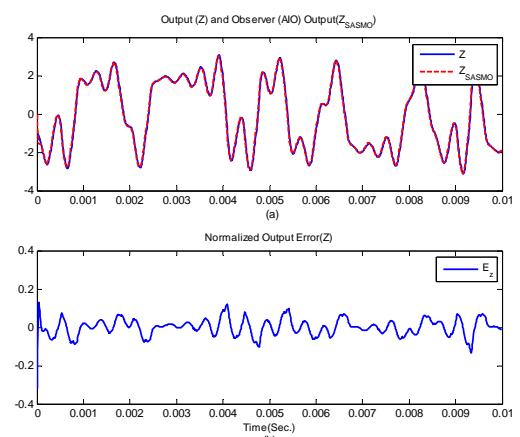


شکل (۶): (a) تابع لیپانوف. (b) مشتق زمانی تابع لیپانوف با اعمال عملکر انتشار



شکل (۲): جاذب آشوبی راهانداز (آبی، خط توپر) و پاسخ (قرمز، خط چین).

SASMO با استفاده از تنها یک خروجی نویزی تک بعدی توانسته است حالت‌های مدار چوآ آشوبی با نامعینی پارامتر و مدل را بطور مناسب تخمین بزنند. در شکل (۴) بهره مدل لغزشی رویت گر آورده شده است. بهره مدل لغزشی رویت گر طوری تغییر می‌یابد که در حین حفظ پایداری، اثر نویز و نامعینی‌ها در تخمین حالت‌ها کاهش یابد. علاوه بر این، بهره مدل لغزشی رویت گر همیشه محدود باقی می‌ماند. شکل (۵) تخمین پارامتر را نشان می‌دهد.



شکل (۳): (a) خروجی راهانداز (آبی، خط توپر) و خروجی SASMO (قرمز، خط چین). (b) خطای تخمین خروجی.

- [10] Zhu, F., 2008, "Full-Order and reduced-Order Observer-based Synchronization for Chaotic Systems with unknown Disturbances and Parameters", *Physics letters A*, 372, 223-232.
- [11] Stamnes, Ø.N., Aamo, O.M., Kaasa, G.O., 2011, "Redesign of adaptive observers next term for improved previous term parameter next term identification in nonlinear systems star", *Automatica*, 47, 2, 403-410.
- [12] Kakmeni, F.M., Bowong S., Tchawoua C., 2006, "Nonlinear Adaptive Synchronization of a Class of Chaotic Systems", *Physics Letters A*, 355, 47-54.
- [13] Morgul, O., Solak, E., Akgul, M., 2003, "Observer based Chaotic Message transmission", *International journal of Bifurcation & Chaos*, 13, 4, 1003-1017.
- [14] Hyuna, C.H., Parkb, C.W., Kima, J.H., Parka, M., 2007, "Synchronization and secure communication of chaotic systems via robust adaptive high-gain fuzzy observer", *Chaos, Solitons & Fractals*, 40, 5, 2200-2209.
- [15] Sunga, W.J., Leea, S.C., You, K.H., 2010, "Ultra-precision positioning using adaptivenext term fuzzy-Kalman filter observer", *Precision Engineering*, 34, 1, 195-199.
- [16] Ayati, M., Khaloozadeh, H., 2010, "A Stable Chaos Synchronization Scheme for Nonlinear Uncertain Systems", *IET Control Theory and Applications*, 4, 3, 437-447.
- [17] Ayati, M., Khaloozadeh, H., 2009, "A stable adaptive synchronization scheme for uncertain chaotic systems via observer", *Chaos, Solitons and Fractals*, 42, 2473-2483.
- [18] Oksendal, B., *Stochastic differential equations an introduction with applications*, 6th Edition, Springer Verlag, 2007.
- [19] X., Mao, *Stochastic differential equations and their applications*. Horwood Publishing, Chechester, 1997.
- [20] Kushner, H.J., *Stochastic stability and control*, Academic Press, New York, 1967.
- [21] Chen, C.C., Yao, K., 2000, "Stochastic-calculus-based numerical Evaluation and performance analysis of chaotic communication systems", *IEEE Transaction on Circuits and systems-I: Fundamental Theory and Applications*, 47, 12, 1663-1672.
- [22] Raoufi, R., and Khaloozadeh, H., 2004, "A modified robust adaptive chaos synchronization", *International Conference on Signal Processing & Communication*, Bangalore, India, 76-80.
- [23] Khalil, H., *Nonlinear systems*, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, Ed. 3, 2002.
- [24] Sun, Y., Cao, J., 2007, "Adaptive synchronization between two different noise-perturbed chaotic systems with fully unknown parameters", *Physica A*, 376, 253-265.

۶- نتیجه‌گیری

در این مقاله یک رویتگر تطبیقی اتفاقی جدید تحت عنوان SASMO ارایه شده است. از جمله قابلیت‌های SASMO, عدم نیاز به دانستن مدل دقیق سیستم است بطوریکه سیستم می‌تواند شامل نامعینی‌های مدل و پارامتر باشد. کران بالای نامعینی مدل توسط SASMO تخمین زده می‌شود و برای تخمین پارامترهای نامعین هم قانون تطبیق مناسبی در نظر گرفته شده است. نویز اندازه‌گیری توسط حرکت براونی مدل شده و برای توصیف مناسب‌تر، رویتگر توسط معادلات دیفرانسیل اتفاقی مدل‌سازی و پایداری سیستم خطای حالات‌ها توسط قبیه پایداری لیابانوف اثبات شده است. بهره مدل‌گزشی رویتگر ارایه شده همیشه حتی وقتی خطای تخمین حالات‌ها به سمت صفر می‌کند، ناویژه و محدود است. با توجه به قابلیت‌های SASMO, از آن در یک طرح همزمان سازی سیستم‌های آشوبی بر اساس مدار چوآ با سیگنال کوپل یک‌طرفه نویزی اسکالار استفاده و توانایی رویتگر در تخمین حالات‌های سیستم را انداز نامعین با استفاده از شیوه‌سازی نشان داده شده است.

سپاسگزاری

این تحقیق توسط مرکز تحقیقات مخابرات ایران حمایت شده است.

مراجع

- [1] Lorenz, E.N., 1963, "Deterministic non periodic flow", *Journal of Atmos. Science*, 20, 130-141.
- [2] Ott, E., Grebogi, C., Yorke, J.A., 1990, "Controlling chaos," *Physical Review Letters*, 64, 11, 1196-1199.
- [3] Cuomo K.M., Oppenheim, A.V., 1993, "Circuit implementation of synchronized chaos with applications to communications", *Physics Review Letters*, 71, 65-68.
- [4] Cuomo, K.M., Oppenheim, A.V., Strogatz, S.H., 1993, "Synchronization of Lorenz based chaotic circuits with applications to communications", *IEEE Transaction on Circuits and Systems-I: Fundamental theory and applications*, 40, 626-633.
- [5] Pecora L.M., Carroll, T.L., 1990, "Synchronization in chaotic systems," *Physics Review Letters*, 64, 821-824.
- [6] Yang, T., 2004, "A survey of chaotic secure communication systems", *International Journal of Computational Cognition*, vol. 2, no. 2, pp. 81-130.
- [7] Azemi A., Yaz, E.E., 2000, "Sliding-mode adaptive observer approach to chaotic synchronization", *Transaction of ASME*, 122, 758-765.
- [8] Rodriguez, A., Leon, D.J., Femat, R., 2007, "Chaos suppression based on adaptive observer for a P-class of chaotic systems", *Chaos, Solitons and Fractals*, vol. 32, pp. 1345-1356.
- [9] Arefi M.M., Jahed-Motlagh M.R., 2010, "Adaptive robust synchronization of Rossler systems in the presence of unknown matched time-varying parameters", *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, vol. 15, no. 12, pp. 4149-4157.