نام خانوادگی: آفاقی **نام:** علی

عنوان: کنترل کلاسی از سیستم‌های آشوب نامعین با استفاده از کنترل‌کننده‌ی فازی نوع ۲

استاد راهنما: دکتر سحرانه قائمی

استاد مشاور: دکتر محمدعلی بادامچی‌زاده

مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد **رشته:** برق **گرایش:** کنترل-سیستم

دانشگاه: تبریز **دانشکده:** برق و کامپیوتر **تاریخ فارغ‌التحصیلی:** شهریور ۱۳۹۳ **تعداد صفحه:۹۵**

کلید واژه‌ها: سیستم‌های آشوب، سیستم‌های فازی نوع ۲، کنترل‌کننده مد لغزشی، الگوریتم پرندگان

چکیده: به دلیل کاربردهای بالقوه سیستم‌های آشوب در بسیاری از زمینه‌های ارتباطات محرمانه، مهندسی بیولوژیک، تشخیص الگو و پردازش اطلاعات، اخیرا کنترل و هم‌زمان‌سازی سیستم‌های دینامیکی آشوبناک مورد توجه و علاقه بسیاری قرار گرفته است. سیستم‌های آشوب بسیار حساس به شرایط اولیه بوده و پیش بینی کردن رفتار آن‌ها بسیار سخت است. در فرآیند هم‌زمان‌سازی خروجی سیستم پایه جهت کنترل سیستم پیرو، به طوری که خروجی سیستم پیرو خروجی سیستم پایه را به طور مجانبی دنبال کند مورد استفاده قرار می‌گیرد. بسیاری از نظریه‌ها و روش‌های پیشرفته مانند کنترل بهینه، کنترل تطبیقی، کنترل مد لغزشی و غیره برای کنترل سیستم‌های آشوب گسترش یافته‌اند.

اخیرا، سیستم‌های فازی به طور فزاینده‌ای در مسئله کنترل سیستم‌های غیرخطی و آشوبناک مورد توجه قرار گرفته‌اند. به دلیل توانایی سیستم‌های فازی در تخمین سیستم نامعین، کنترل‌کننده‌های فازی مختلفی برای سیستم‌های غیرخطی و به خصوص برای مواقعی که اطلاعات کاملی از سیستم وجود ندارد، ارائه شده است. کنترل مد لغزشی نیز یک روش موثر برای غلبه بر نامعینی‌های سیستم‌های آشوبناک فراهم کرده و به صورت کارآمدی بر روی این نوع سیستم‌ها اعمال می‌شود. کنترل‌کننده مد لغزشی برای این که مسیرهای حالت سیستم را وادار به ماندن در سطح لغزشی از پیش تعیین‌شده بکند از کنترل ناپیوسته استفاده می‌کند. اگرچه کنترل‌کننده‌های مد لغزشی کنترل‌کننده‌های مقاوم هستند و روش طراحی آسانی دارند ولی یک مسئله اساسی به عنوان مانع موثر استفاده وسیع از این نوع کنترل‌کننده‌ها مطرح می‌شود. این مانع، چگونگی طراحی یک کنترل کننده مد لغزشی بدون اطلاع از دینامیک کامل سیستم است. در اکثر مواقع پارامترهای سیستم به طور دقیق مشخص نیستند و مدل کردن ریاضی یک سیستم عملی به طور کامل امکان‌پذیر نیست و همیشه دینامیک‌های مدل نشده‌ای وجود خواهند داشت.

برای رفع این مشکل، در این پایان‌نامه از ترکیب روش کنترل مد لغزشی و سیستم‌های فازی نوع ۲ فاصله‌ای برای کنترل و هم‌زمان‌سازی سیستم‌های آشوب به فرم نرمال استفاده شده است. این روش یک روش طراحی آسان برای طراحی سیستماتیک یک کنترل کننده مناسب برای پایداری سیستم آشوب نامعین است. در این پایان‌نامه برای تعیین مقدار بهینه پارامترهای سیستم فازی نوع ۲ فاصله ای از روش الگوریتم پرندگان استفاده شده است. طراحی کنترل‌کننده به این روش پایداری سیستم حلقه بسته را تضمین کرده و به دلیل توانایی بالای سیستم‌های فازی نوع ۲ در مدل کردن نامعینی‌ها، مقاومت کنترل‌کننده افزایش یافته است.

فهرست مطالب

عنوان .....صفحه

پیشگفتار ۱

فصل اول: پایه‌های نظری و پیشینه پژوهش

۱-۱ مقدمه ٤

۱-۲ سیستم‌های آشوبناک ٤

۱-۳ مفهوم هم‌زمان‌سازی ۸

۱-٤ مروری بر کارهای انجام‌شده قبلی برای کنترل و هم‌زمان‌سازی سیستم‌های آشوبناک ۱۰

۱-۵ نتیجه گیری فصل اول.....۲۳

فصل دوم: مواد و روش‌ها

۲-۱ مقدمه.....۲۵

۲-۲ مجموعه‌های فازی نوع ۲ .....۲۵

۲-۲-۱ مجموعه‌های فازی نوع ۲ کلی ۲٦

۲-۲-۲ مجموعه‌های فازی نوع ۲ فاصله‌ای ۲۸

۲-۳ سیستم فازی نوع ۲ .....۳۰

۲-۳-۱ به دست آوردن خروجی در سیستم‌های فازی نوع ۲ فاصله‌ای.....۳۱

۲-٤ روش بهینه سازی الگوریتم پرندگان ۳٦

۲-٥ روش پیشنهادی برای کنترل و هم‌زمان‌سازی کلاسی از سیستم‌های آشوب نامعین.....۳۸

۲-٥-۱ روش کنترل مدلغزشی برای ردیابی مدل مرجع کلاس خاصی از سیستم‌های آشوب نامعین.....۳۸

۲-٥-۲ روش کنترل مدلغزشی برای هم‌زمان‌سازی کلاس خاصی از سیستم‌های آشوب نامعین.....٤۱

۲-٥-۳ آنالیز پایداری.....٤٤

۲-٥-٤ روش پیشنهادی برای تخمین تابع نامعین و اغتشاش خارجی و ترکیب آن با کنترل‌کننده

مد لغزشی ٤٦

۲-٥-٤-۱ تخمین تابع نامعین با استفاده از سیستم فازی نوع ۲ .....٤٦

۲-٥-٤-۲ روش PSO برای پیدا کردن پارامترهای مجهول سیستم فازی نوع ۲ .....٤۸

۲-٦ نتیجه‌گیری فصل دوم.....٥۰

فصل سوم: نتایج و بحث

۳-۱ مقدمه ٥۲

۳-۲ اعمال کنترل‌کننده ارائه شده با هدف کنترلی بر روی سیستم ژیرو ٥۲

۳-۳ اعمال کنترل‌کننده ارائه شده با هدف هم‌زمان‌سازی بر روی مدارهای chua.....٦۰

۳-٤ اعمال کنترل‌کننده ارائه شده با هدف هم‌زمان‌سازی بر روی سیستم آشوب BEC ۷۳

فصل چهارم: نتیجه‌گیری

نتیجه‌گیری.....۸۶

پیشنهادهایی در مورد ادامه پایان‌نامه حاضر ۸۷

منابع ۸۹

واژه‌نامه انگلیسی به فارسی.....۹۵

فهرست شکل‌ها

عنوان ..... صفحه

شکل(۲-۱): مجموعه فازی نوع ۲ گوسی..... ۲۷

شکل(۲-۲): نمای سه‌بعدی از مجموعه فازی نوع ۲ گوسی ۲۷

شکل(۲-۳): مجموعه‌ی فازی نوع ۲ فاصله‌ای با نامعینی در انحراف از میانگین(عرض)..... ۲۹

شکل(۲-٤): مجموعه‌های فازی نوع ۲ فاصله‌ای با نامعینی در میانگین..... ۲۹

شکل(۲-۵): ساختار سیستم منطق فازی نوع ۲..... ۳۰

شکل(۲-٦): شماتیک کلی روش پیشنهادی برای کنترل و هم‌زمان‌سازی کلاسی از سیستم‌های آشوب ۵۰

شکل(۳-۱): مسیر حالت x_1 در سیستم ژیرو..... ٥٤

شکل(۳-۲): مسیر حالت x_2در سیستم ژیرو..... ٥٤

شکل (۳-۳): صفحه فاز سیستم ژیرو..... ٥٤

شکل(۳-٤): توابع عضویت $\tilde{F}_{11}$ و $\tilde{F}_{12}$..... ٥٦

شکل(۳-۵): توابع عضویت $\tilde{F}_{21}$ و $\tilde{F}_{22}$..... ٥٧

شکل(۳-٦): بلوک دیاگرام کلی سیستم کنترلی برای سیستم ژیرو..... ٥٨

شکل(۳-۷): سیگنال کنترلی اعمال شده به سیستم ژیرو..... ٥٩

شکل(۳-۸): ردیابی مدل مرجع سیستم ژیرو..... ٥٩

شکل(۳-۹): خطای ردیابی ورودی مرجع در روش پیشنهادی..... ٦٠

شکل(۳-۱۰): مسیر حالت x_1 مدار پایه در سیستم chua..... ٦١

شکل(۳-۱۱): مسیر حالت x_2 مدار پایه سیستم chua.....۶۲

شکل(۳-۱۲): مسیر حالت x_3 مدار پایه سیستم chua.....۶۲

شکل(۳-۱۳): مسیر حالت y_1 در مدار پیرو سیستمchua.....۶۳

شکل(۳-۱٤): مسیر حالت y_2مدار پیرو در سیستم chua.....۶۳

شکل(۳-۱۵: مسیر حالت y_3 مدار پیرو در سیستم chua.....۶٤

شکل(۳-۱٦): توابع عضویت $\tilde{F}_{11}$ و $\tilde{F}_{12}$ ۶٦

شکل(۳-۱۷): توابع عضویت $\tilde{F}_{21}$ و $\tilde{F}_{22}$.....۶۷

شکل(۳-۱۸): توابع عضویت $\tilde{F}_{31}$ و $\tilde{F}_{32}$.....۶۷

شکل(۳-۱۹): سیگنال کنترل به دست آمده برای هم‌زمان‌سازی سیستم chua با روش ارائه شده.....۶۹

شکل (۳-۲۰): ردیابی حالت x_1 توسط y_1 در سیستم chua.....۷۰

شکل(۳-۲۱): ردیابی حالت x_2 توسط y_2 در سیستم chua.....۷۰

شکل (۳-۲۲): ردیابی حالت x_3 توسط y_3 در سیستم chua.....۷۱

شکل(۳-۲۳): خطای ردیابی حالت x_1 توسط y_1 در سیستم chua.....۷۱

شکل(۳-۲٤): خطای ردیابی حالت x_2 توسط y_2 در سیستم chua.....۷۲

شکل(۳-۲۵): خطای ردیابی حالت x_3 توسط y_3 در سیستم chua.....۷۲

شکل(۳-۲٦): مسیر حالت متغیر x_1 در سیستم BEC.....۷٤

شکل(۳-۲۷): مسیر حالت متغیر x_2 در سیستم BEC.....۷٤

شکل(۳-۲۸): مسیر حالت متغیر y_1 در سیستم BEC.....۷۵

شکل(۳-۲۹): مسیر متغیر حالت y_2 در سیستم BEC ۷۵

شکل(۳-۳۰): ردیابی متغیر حالت x_1 توسط y_1 توسط کنترل‌کننده فعال ۷۶

شکل(۳-۳۱): ردیابی متغیر حالت x_2 توسط y_2 توسط کنترل‌کننده فعال ۷۶

شکل(۳-۳۲): سیگنال کنترلی برای هم‌زمان‌سازی سیستم BEC ۷۷

شکل(۳-۳۳): ردیابی متغیر حالت x_1 توسط y_1 در سیستم BEC ۷۸

شکل(۳-۳٤): ردیابی متغیر حالت x_2 توسط y_2 ..... ۷۸

شکل(۳-۳۵): توابع عضویت $\tilde{F}_{11}$ و $\tilde{F}_{12}$ ۸۰

شکل(۳-۳٦): توابع عضویت $\tilde{F}_{21}$ و $\tilde{F}_{22}$ ۸۱

شکل(۳-۳۷): سیگنال کنترلی برای هم‌زمان‌سازی سیستم BEC ۸۲

شکل(۳ -۳۸): ردیابی متغیر حالت x_1 توسط y_1 در سیستم BEC ۸۳

شکل(۳-۳۹): ردیابی متغیر حالت x_2 توسط y_2 در سیستم BEC ۸۳

شکل(۳-٤۰): خطای ردیابی متغیر حالت x_1 توسط y_1 در سیستم BEC ۸٤

شکل(۳-٤۱): خطای ردیابی متغیر حالت x_2 توسط y_2 در سیستم BEC ۸٤

فهرست جداول

عنوان .....صفحه

جدول(۳-۱): مقادیر میانگین ها و واریانس های قسمت مقدم قوانین فازی سیستم ژیرو.....٥٦

جدول(۳-۲): مقادیر پارامترهای قسمت تالی قوانین فازی سیستم ژیرو.....٥٧

جدول(۳-۳): میانگین ها و واریانس های قسمت مقدم قوانین فازی سیستم chua.....٦٦

جدول(۳-٤): مقدار پارامترهای قسمت تالی قوانین فازی سیستم chua.....٦٨

جدول(۳-٥): میانگین ها و واریانس های قسمت مقدم قوانین فازی سیستم BEC.....٨٠

جدول (۳-٦): پارامترهای مجموعه های فازی قسمت تالی قوانین فازی سیستم BEC.....٨١

فهرست اختصارات

اختصارات	عبارات
AFC	Adaptive Fuzzy Controller
BEC	Bose Einstein Condensate
CLF	Control Lyapanov Function
EKM	Extended karnik Mendel
FOU	Footprint Of Uncertainty
HJB	Hamilton Jakobi Bellman
ISG	Improved Speed Gradient
LMF	Lower Membership Function
LMI	Linear Matrix Inequalities
NARMAX	Nonlinear Autoregressive Moving Average With Exogenous Inputs
NARX	Nonlinear Autoregressive Network With Exogenous Inputs
PSO	Particle Swarm Optimization
SG	Speed Gradient
T-S	Takagi-Sugeno
UMF	Upper membership function

پیشگفتار

سیستم‌های آشوبناک دسته‌ای از سیستم‌های غیرخطی هستند که اصلی‌ترین ویژگی آن‌ها حساسیت زیاد به شرایط اولیه و تغییر در مقادیر پارامترهای سیستم می‌باشد. این نوع سیستم‌ها به ازای شرایط اولیه متفاوت پاسخ متفاوتی دارند و رفتار قبلی خود را تکرار نمی‌کنند. در سیستم‌های آشوبناک مسیرهای حالت به صورت محلی ناپایدار ولی به‌صورت سراسری پایدار می‌باشند [۱].

بحث کنترل و هم‌زمان‌سازی سیستم‌هایی که دارای شرایط آشوبناک می‌باشند کاربرد فراوانی در زمینه‌های مختلف از جمله ارتباطات محرمانه، فرایندهای زیستی، سیستم‌های اقتصادی، سیستم‌های مکانیکی، مبدل‌های قدرت، آنالیز واکنش‌های شیمیایی، لیزرها و نوسان گرها دارند. از این‌رو این بحث مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است. به طور کلی هم‌زمان‌سازی نوع خاصی از کنترل مدل مرجع به شمار می‌رود، با این تفاوت که در مسئله هم‌زمان‌سازی، مدل مرجع یک سیستم آشوبناک است که به‌راحتی نمی‌توان رفتار آن را پیش‌بینی کرد [۲]. مفهوم کلی هم‌زمان‌سازی به معنای تقلید رفتار یک سیستم آشوبناک به نام پایه، توسط یک سیستم آشوبناک دیگر به نام پیرو می‌باشد و عموماً یک ساختار اساسی دارد که با نام پایه–پیرو[۱] شناخته شده است.

برای کنترل و هم‌زمان‌سازی سیستم‌های آشوب روش‌های مختلفی ارائه شده است. در این بین برخی کارهای انجام شده با فرض معین بودن سیستم آشوب به طراحی کنترل‌کننده مورد نظر پرداخته‌اند. این در حالی

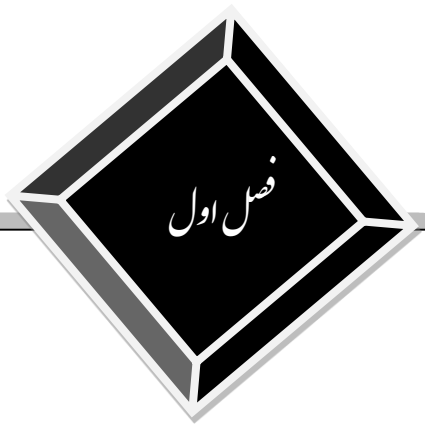
[۱] Master-Slave

است که عموما در سیستم‌های عملی سیستم تحت کنترل نامعین است و نیاز به داشتن تخمین مناسب از سیستم آشوبناک می‌باشد.

در این پایان‌نامه با در نظر گرفتن کلاس خاصی از سیستم‌های آشوب به صورت یک سیستم نامعین در حضور اغتشاشات خارجی، با استفاده از منطق فازی نوع ۲[۱] روشی برای تخمین و در نهایت کنترل و هم‌زمان‌سازی ارائه شده است. روش ارائه شده یک روش مقاوم بوده و قابل اعمال بر روی طیف وسیعی از سیستم‌های آشوبناک می‌باشد.

در این پایان‌نامه، در فصل اول ابتدا سیستم‌های آشوب و خصوصیات این نوع سیستم‌ها معرفی می‌شود، سپس در بخش بررسی منابع مروری بر کارهای انجام شده در رابطه با طراحی کنترل‌کننده برای سیستم‌های آشوب و همچنین تعیین پارامترهای سیستم‌های فازی نوع ۲ با الگوریتم‌های هوشمند صورت می‌پذیرد. در فصل دوم روش نوینی برای تخمین، کنترل و هم‌زمان‌سازی کلاس خاصی از سیستم‌های آشوب ارائه می‌شود. در نهایت در فصل سوم، روش ارائه شده بر روی سیستم‌های مختلفی اعمال شده و نتایج مورد تحلیل قرار می‌گیرند.

[۱] Type-۲ fuzzy logic



پایه‌های نظری و پیشینه پژوهش

۱-۱ مقدمه

در این فصل ابتدا مقدمه کوتاهی در مورد سیستم‌های آشوبناک[۱] ارائه می‌شود و شرایط لازم برای آشوبناک بودن یک سیستم معرفی می‌گردد. در ادامه با اشاره به این نکته که بحث همزمان‌سازی[۲]، نوع خاصی از ردیابی ورودی مرجع[۳] در سیستم‌های آشوبناک است، مفهوم همزمان‌سازی دو سیستم آشوبناک تشریح می‌شود. در پایان نیز بخش بررسی منابع و کارهای انجام شده در رابطه با کنترل و همزمان‌سازی سیستم‌های آشوبناک آورده می‌شود.

۱-۲ سیستم‌های آشوبناک

سیستم‌های آشوبناک دسته‌ای از سیستم‌های غیرخطی هستند که اصلی‌ترین ویژگی آن‌ها حساسیت زیاد به شرایط اولیه و تغییر در مقادیر پارامترهای سیستم می‌باشد. خاصیت حساسیت به شرایط اولیه و تغییر در مقادیر پارامترهای سیستم سبب غیرقابل‌پیش‌بینی بودن رفتار این سیستم‌ها می‌شود. به‌عبارت‌دیگر، ویژگی اصلی سیستم‌های آشوبناک این است که آن‌ها رفتار قبلی خود را تکرار نمی‌کنند.

در حالت کلی می‌توان سیستم‌های آشوبناک را بدین‌صورت توصیف نمود که سیستم آشوبناک سیستمی است که مسیرهای حالت آن به‌صورت محلی ناپایدار (بی‌کران[۴])، ولی به‌صورت سراسری پایدار (کراندار[۵])

---

۱ Chaotic system

۲ Synchronization

۳ Model reference tracking

۴ Unbounded

۵ Bounded

می‌باشند[۱]. ویژگی ناپایداری محلی به این معنی است که مسیرهای حالت خیلی نزدیک به هم با یک نرخ نمایی از هم دور می‌شوند. در حقیقت این ویژگی همان خاصیت حساسیت زیاد به شرایط اولیه و تغییر در مقادیر پارامترهای سیستم می‌باشد. ویژگی دوم یعنی کران‌دار بودن مسیرهای حالت به معنای وجود داشتن یک یا چند جاذب[۱] (و نه نقطه تعادل پایدار) است که درنهایت مسیرهای حالت به آن ختم می‌شوند.

میزان حساسیت پاسخ سیستم‌های آشوبناک به تحریک‌های کوچک را از طریق کمیتی به نام نمای لیاپانوف[۲] ارزیابی می‌کنند. این کمیت میانگین نرخ واگرایی (همگرایی) پاسخ به شرایط اولیه نزدیک به هم را می‌سنجد. به این مفهوم که دو مسیر حالت در فضای حالت با فاصله اولیه کوچک δZ_0 با نرخ λ از هم دور یا به هم نزدیک می‌شوند [۱]. در رابطه (۱-۱) به λ نمای لیاپانوف گفته می‌شود.

$$\delta Z(t) \approx e^{\lambda t} |\delta Z_0| \qquad (۱-۱)$$

نمای لیاپانوف می‌تواند برای مسیرهای با فاصله اولیه غیر یکسان یک سیستم، متفاوت باشد. معمولاً برای تشخیص آشوبناک بودن رفتار یک سیستم از بزرگ‌ترین نمای لیاپانوف[۳] استفاده می‌شود (چراکه به خاطر رشد نمایی، اثر نماهای لیاپانوف دیگر قابل صرف‌نظر می‌باشد). بزرگ‌ترین نمای لیاپانوف به‌صورت (۱-۲) تعریف می‌شود [۱]. برای یک سیستم آشوبناک، باید بزرگ‌ترین نمای لیاپانوف آن، مثبت باشد.

$$\lambda = \lim_{t\to\infty} \frac{1}{t} \; Ln \frac{|\delta Z(t)|}{|\delta Z_0|} \qquad (۱-۲)$$

---

۱ Attractor

۲ Lyapanov exponent

۳ Maximal lyapanov exponent

به منظور بررسی کران‌دار بودن سراسری مسیرهای حالت، یک سیستم دینامیکی با رابطه (۱-۳) در نظر بگیرید :

$$\dot{\underline{x}} = f(\underline{x}) \qquad (۱-۳)$$

که در این رابطه $\underline{x} \in \mathbb{R}^n$ بوده و n نمای لیاپانوف وابسته به شرایط اولیه x_0 وجود دارد که از طریق ماتریس ژاکوبین زیر قابل محاسبه است.

$$J(x_0) = \frac{df}{dx}|_{x=x_0} \qquad (۱-٤)$$

$$L(x_0) = \lim_{t\to\infty}(J^T J)^{1/2t} \qquad (۱-۵)$$

$$\lambda_i(x_0) = \log \Lambda_i(x_0) \qquad (۱-٦)$$

به‌طوری‌که $\Lambda_i(x_0)$ها مقادیر ویژه $L(x_0)$ می‌باشند.

باید ذکر نمود که در سیستم دینامیکی (۱-۳)، تابع $f(\underline{x})$ لیپ شیتز محلی[۱] است؛ یعنی:

$$\|f(x) - f(y)\| \le L\|x - y\| \qquad (۱-۷)$$

که در آن $L > 0$ ثابت لیپ شیتز است. این فرض برای یکتا بودن پاسخ حالت لازم است و به معنای کران‌دار بودن مشتق تابع $f(x)$ نیز می‌باشد [۱].

[۱] Local lipschitz

نمای لیاپانوف یک معیار برای تشخیص بی‌کران بودن محلی مسیرهای حالت است؛ اما برای تشخیص وجود یک جاذب (که به معنای کراندار بودن سراسری مسیرهای حالت است)، از مفهوم اتلافی[۱] بودن سیستم استفاده می‌شود. به‌عبارت دیگر ثابت می‌شود که برای سیستم‌های اتلافی حتماً یک جاذب وجود دارد که در نهایت همه مسیرهای حالت را به سمت خود جذب می‌کند. سیستم دینامیکی (۱-۳) اتلافی است اگر دیورژانس[۲] آن منفی باشد، یعنی [۱]:

$$\nabla f = \sum_{i=1}^{n} \frac{\delta f_i}{\delta x_i} < 0 \qquad (۱-۸)$$

باید توجه داشت که دیورژانس یک سیستم برابر مجموع جبری نماهای لیاپانوف آن سیستم است و منفی بودن دیورژانس به معنای این است که در یک سیستم آشوبناک نباید همه نماهای لیاپانوف مثبت باشند. با توجه به بحث مطرح‌شده، دو شرط لازم و کافی برای آشوبناک بودن یک سیستم را می‌توان به‌صورت زیر بیان کرد [۱]:

۱. حساسیت به شرایط اولیه (ناپایداری محلی مسیرهای حالت): بزرگ‌ترین نمای لیاپانوف سیستم باید مثبت باشد.

۲. وجود جاذب (پایداری سراسری مسیرهای حالت): دیورژانس سیستم باید منفی باشد یا به عبارت دیگر سیستم اتلافی باشد.

---

[۱] Dissipative

[۲] Divergence

۱-۳ مفهوم هم‌زمان‌سازی

در حالت کلی، هم‌زمان‌سازی به معنای تقلید رفتار یک سیستم آشوبناک به نام پایه توسط یک سیستم آشوبناک دیگر به نام پیرو می‌باشد. عموماً ساختار پایه-پیرو یک ساختار اساسی برای هم‌زمان‌سازی است. در این ساختار، هدف طراحی کنترل‌کننده‌ای است که بتواند با استفاده از حالت‌های سیستم پایه، حالت‌های سیستم پیرو را طوری کنترل نماید که آن‌ها خروجی‌های سیستم پایه را به‌طور مجانبی (و البته در یک زمان محدود) ردیابی کنند. می‌توان هم‌زمان‌سازی دو سیستم آشوبناک را همان مسئله تعقیب مدل مرجع دانست. با این تفاوت که در مسئله هم‌زمان‌سازی، مدل مرجع یک سیستم آشوبناک است که به راحتی نمی‌توان رفتار آن را پیش‌بینی کرد[۲] .

در سال‌های اخیر، با توجه به رفتار غیرخطی و غیرقابل‌پیش‌بینی سیستم‌های آشوبناک، مسئله هم‌زمان‌سازی علاقه بسیاری از محققین و دانشمندان علوم پایه و مهندسی را به خود جلب کرده است و تا به حال کاربردهای متنوعی از هم‌زمان‌سازی در زمینه‌هایی مانند ارتباطات محرمانه، فرایندهای زیستی، سیستم‌های اقتصادی، سیستم‌های مکانیکی، مبدل‌های قدرت، آنالیز واکنش‌های شیمیایی، لیزرها و نوسان‌گرها گزارش شده است.

به عنوان مثال، یک کاربرد ویژه از هم‌زمان‌سازی سیستم‌های آشوبناک در ارتباطات محرمانه می‌باشد. هدف از ارتباطات محرمانه ارسال یک سیگنال پیام محرمانه توسط یک فرستنده (سیستم آشوبناک پایه) می‌باشد. به‌طوری‌که پیام برای افراد دیگر به جز مقصد غیرقابل دسترسی باشد. برای رسیدن به این هدف، ابتدا سیگنال پیام را وارد یک سیستم آشوبناک (سیستم پایه) می‌کنند و سیگنال حاصله را که از دقت و امنیت بالایی برخوردار

است به مقصد ارسال می‌کنند. در مقصد یک سیستم آشوبناک دیگر (سیستم پیرو) که معمولاً ساختار متفاوتی با سیستم فرستنده دارد، سیگنال ارسالی را دریافت می‌کند. هدف طراحی کنترل‌کننده مناسبی است که در حضور نامعینی‌ها و اغتشاشات و پارامترهای نامعلوم با استفاده از سیگنال‌های دریافتی (خروجی‌های سیستم پایه) رفتار سیستم آشوبناک گیرنده را با رفتار سیستم آشوبناک فرستنده هم‌زمان کند تا بتواند سیگنال پیام را به طور کامل و مطمئن بازیابی کند. بدیهی است که عمل هم‌زمان‌سازی و بازیابی اطلاعات باید در یک زمان محدود انجام گیرد.

اخیراً علاوه بر هم‌زمان‌سازی‌های مرسوم، انواع دیگری از هم‌زمان‌سازی‌ها مطرح شده است. در همه این روش‌ها هدف این است که خطای هم‌زمان‌سازی مینیمم شود. گونه‌های متفاوت هم‌زمان‌سازی فقط در تعریف خطا باهم تفاوت دارند. با فرض این‌که $x(t)$ بیانگر حالت سیستم پایه و $y(t)$ بیانگر حالت سیستم پیرو باشد، انواع مهم گونه‌های هم‌زمان‌سازی و تعریف خطای مربوطه در ادامه فهرست شده‌اند.

۱. هم‌زمان‌سازی کامل[۱] [۲]: $e(t) = x(t) - y(t)$

۲. هم‌زمان‌سازی تعمیم‌یافته[۲] [۳]: $e(t) = x(t) - \phi(y(t))$، که ϕ یک تابع مشتق‌پذیر پیوسته است.

۳. هم‌زمان‌سازی تصویری[۳] [٤]: $e(t) = x(t) - \alpha y(t)$، که α یک ثابت مقیاس‌دهی است.

[۱] Complete

[۲] Generalized

[۳] Projective

٤. همزمان‌سازی تصویری تابع[1] [٥]: $e(t) = x(t) - \alpha(t)\, y(t)$، که $\alpha(t)$ یک تابع مقیاس‌دهی است.

٥. همزمان‌سازی Q-S [٦]: $e(t) = A(t)\, Q(x) - B(t)\, S(y)$، که $Q(x)$ و $S(y)$ متغیرهای قابل مشاهده[2] از سیستم هستند.

٦. پاد همزمان‌سازی[3] [٧]: $e(t) = x(t) + y(t)$

به دلیل این‌که همزمان‌سازی کامل در عمل و در دنیای واقعی کاربرد بیشتری دارد [١]، در این پایان‌نامه فقط این نوع همزمان‌سازی بررسی می‌شود.

٤-١ مروری بر کارهای انجام‌شده قبلی برای کنترل و همزمان‌سازی سیستم‌های آشوبناک

اولین کار در مورد کنترل و همزمان‌سازی سیستم‌های آشوبناک در سال ١٩٩٠ [٢] انجام گرفته که در آن روشی برای همزمان‌سازی دو سیستم آشوبناک یکسان با شرایط اولیه متفاوت ارائه شده است. پس از آن نیز کارهای زیادی انجام پذیرفته که مهم‌ترین آن‌ها در ادامه آورده می‌شوند. در [٨] با استفاده از نظریه پایداری لیاپانوف یک روش کنترل خطی با عنوان کنترل فیدبک بالانس شده خطی[4] برای کنترل سیستم آشوبناک لیو[5] معرفی شده است. مؤلفین مراجع [٩] و [١٠] کنترل‌کننده‌های خطی با بهره تطبیقی را برای همزمان‌سازی دو سیستم آشوبناک یکسان طراحی کرده‌اند و پایداری کنترل‌کننده طراحی شده را اثبات نموده‌اند. در [١١] روش

[1] Function projective
[2] Observable
[3] Anti-synchronization
[4] Linear balanced feedback control
[5] Liu

کنترل بهینه معکوس[۱] برای کنترل سیستم آشوبناک یونیفاید[۲] به کار گرفته شده و یک کنترل‌کننده بازگشتی خطی[۳] طراحی شده و سپس روش مذکور برای کاربرد در ارتباطات محرمانه تشریح شده است. در مرجع [۱۲] به کمک روش کنترل بهینه مربعی[٤] یک رگلاتور بهینه مربعی[٥] برای هم‌زمان‌سازی دو سیستم آشوبناک به فرم سری‌ها طراحی شده است و کمترین خطا و انرژی کنترلی به‌دست آمده است. از تکنیک کنترلی تکانشی[٦] نیز برای کنترل و هم‌زمان‌سازی سیستم‌های آشوبناک استفاده شده است. به‌عنوان‌مثال در مرجع [۱۳] از این روش برای هم‌زمان‌سازی سیستم یونیفاید و در مرجع [١٤] برای کنترل یک سیستم ژنراتور هسته‌ای بهره گرفته شده است. یانگ[۷] و همکارانش [۱٥] از روش کنترل مد لغزشی و کنترل تکانشی برای هم‌زمان‌سازی یک سیستم آشوبناک کوانتومی استفاده کرده‌اند. کنترل سیستم لیو توسط روش بازگشت به عقب[۸] در مرجع [١٦] انجام شده است. در مرجع [۱۷] نیز از روش کنترل پسیو[۹] برای هم‌زمان‌سازی دو سیستم آشوبناک با شرایط اولیه متفاوت استفاده شده است.

در کاربردهای عملی عموماً دو سیستم آشوبناک یکسان وجود ندارد و ساختار سیستم‌ها باهم تفاوت اساسی دارند. هم‌زمان‌سازی دو سیستم آشوبناک متفاوت پیچیده‌تر از هم‌زمان‌سازی دو سیستم آشوبناک یکسان

[۱] Inverse optimal control
[۲] Unified chaotic system
[۳] Linear feedback controller
[٤] Quadratic optimum control
[٥] Quadratic optimal regulator
[٦] Impulsive control
[۷] Yang
[۸] Backstepping method
[۹] Passive control