

تعیین هویت سیستمی میانگین مکالمات موفق (ASR) در شرکت مخابرات با استفاده از مفهوم سیستم‌های پویا

نظام الدین فقیه*، محمد غفورنیا**

چکیده

برخی مسائل و موضوعات صنعتی، اجتماعی و مدیریتی دارای پیچیدگی‌های خاص خود می‌باشند و با فرضیه‌های ساده بینشی و مدیریتی قابل حل نمی‌باشند. تفکر سیستم‌های پویا روشی برای مدلسازی و بررسی عوامل یک سیستم و در نهایت یافتن راه حل مناسب برای آن است. به طور کلی هدف از شناسایی یک سیستم به دست آوردن مدل آن سیستم با استفاده از داده‌های ورودی و خروجی است که به کمک آزمایش‌های متعدد از همان سیستم حاصل شده‌اند. با توجه به اهمیت میانگین درصد مکالمات موفق (ASR) در عرصه ارتباطات، در این تحقیق سعی بر آن است که با استفاده از تفکر سیستم‌های پویا، هویت سیستمی که سبب ایجاد ASR های مختلف در طول زمان می‌شود، مورد شناسایی و بررسی قرار داده شود.

کلید واژه‌ها: سیستم‌های پویا، هویت سیستمی، تابع خود همبستگی، تابع دگر همبستگی، تابع چگالی طیفی.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۰/۰۱/۲۵، تاریخ پذیرش مقاله: ۹۰/۰۶/۲۸.

* استاد بخش مدیریت، دانشگاه شیراز.

** دانشجوی دکتری مدیریت، دانشگاه شیراز (نویسنده مسئول).

مقدمه

از گذشته تا به حال ارتباطات همواره به عنوان یکی از موضوعات بسیار مهم برای بشر محسوب می‌شده است. اما نقش ارتباطات در جامعه اطلاعاتی امروز چندین برابر شده است. ارتباطات مخابراتی در قرن حاضر در واقع زیربنای توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی تلقی می‌شود و دست راست تمدن نامگذاری شده است [۱]. از همین رو است که امروزه میزان توسعه ملی هر کشور را با معیار توسعه ارتباطات مخابراتی در آن کشور ارزشیابی می‌کنند. هدف ارتباطات مخابراتی این است که در مناسب‌ترین وضع اقتصادی، مسافرت‌های زاید را حذف کند، مراجعات مردم را به سازمان‌های دولتی تقلیل دهد و ضمن برقراری ارتباط همه جانبه موجب صرفه‌جویی در اوقات و هزینه‌های جامعه شود. از سوی دیگر امروزه ضرورت و اهمیت استفاده از شبکه‌های علمی و تحقیقاتی جهانی برای بسیاری از دانش پژوهان در اکثر رشته‌ها، قطعی و روشن است. آنچه کارایی و بهره‌مندی از چنین شبکه‌هایی را به سرعت افزایش می‌دهد، توانایی روز افزون ارتباطات مخابراتی است که به یاری یارانه‌ها شتافته‌اند و آن‌ها را به صورت ابزاری برای جستجو، جمع‌آوری، دسته‌بندی، تجزیه و تحلیل و انتقال حجم بالایی از اطلاعات درآورده است. لذا توجه به کیفیت شبکه‌های ارتباطی هر کشور حائز اهمیت می‌باشد و یکی از مهمترین شاخص‌های سنجش آن درصد مکالمات موفق (ASR)^۱ است. در این تحقیق پس از طرح تاریخچه و معرفی رشته سیستم‌های پویا و هدف از شناسایی یک سیستم و مدل دینامیکی نمایش آن به فرایند اصلی مقاله پرداخته می‌شود. ابتدا فرایندهای ارگادیک (تصادفی) معرفی می‌شود و سپس به مفاهیم و محاسبه توابع خودهمبستگی، دگرهمبستگی و تابع چگالی طیفی پرداخته می‌شود. پس از محاسبه این توابع می‌توان هویت سیستم مورد مطالعه و معادله‌های حاکم بر آن را تعیین کرده و شاخص‌های کنترل‌پذیری، رویت‌پذیری و دسترس‌پذیری سیستم را محاسبه و با استفاده از آنها پایداری یا عدم پایداری سیستم را تعیین کرد.

تاریخچه

سیستم‌های پویا در اواسط دهه ۱۹۵۰ میلادی توسط آقای جی رایت فارستر^۲ استاد انستیتوی ماساچوست آمریکا ابداع شد [۷]. در همان ابتدا فارستر با مشکلی در شرکت جنرال الکتریک برخورد کرد. مدیران این شرکت از موضوع چرخه سه ساله استخدام در کارخانه ایالات کنتاکی در تعجب بودند. استدلال‌های بازرگانی و مدیریتی نمی‌توانست آنان را درباره ناپایداری در استخدام و ماندگاری کارکنان در شرکت قانع کند. مدل ترسیمی آقای فارستر درباره چرخه استخدام و نحوه و ساختار تصمیم‌گیری در کارخانه با نشان دادن ساختارهای ورودی، جریان کار و بازخورها،

1. Answer to Seize Ratio

2. Jay Wright Forrester

به مدیران جنرال الکتریک نشان داد که مشکل ناپایداری در استخدام و ماندگاری کارکنان ناشی از عوامل بیرونی نیست بلکه دلیل آن عوامل داخلی در سیستم شرکت جنرال الکتریک است. این نمایشگر و مدل ترسیمی دستی، آغازگر تفکر، مطالعه، مدلسازی، تهیه برنامه‌های رایانه‌ای و حل و فصل مسائل پیچیده سیستم‌های پویا گردید. این تفکر و شیوه به تدریج توسط آقای فارستر و سایر اساتید و متفکران رشد، گسترش و کاربرد بیشتری در مطالعه سیستم‌های مختلف پیدا کرد [۸، ۱۱].

موضوعات و مسائل پویا

از دیدگاه و نگرش سیستم‌های پویا موضوعات و مسائل پیچیده و پویا در ظاهر حداقل دو جنبه دارند: اول اینکه، اینگونه مسائل دارای خاصیت پویایی و ماهیتی مقداری^۱ هستند و مرتباً در حال تغییرند. نوسان اشتغال در یک صنعت، رابطه کاهش عوارض و مالیات شهری و کیفیت زندگی شهروندان، افزایش مستمر هزینه‌های بهداشت و سلامت جامعه، افزایش بی‌رویه هزینه‌های ساختمان‌سازی، رشد نظام‌های حکومتی، رشد سلولهای سرطانی، کاربرد نامناسب و تخریب پارک‌های ملی و فشارهای روانی از جمله مسائل پویا هستند. مهارت در تعریف مسائل پویا، اولین قدم در یادگیری تفکر و شیوه سیستم‌های پویا می باشد [۱۳]. دومین وجه مسائل و موضوعات سیستم‌های پویا، وجود نظریه بازخور^۲ است. بازخورها در سیستم‌های مهندسی، ساختارهای فنی و سیستم‌های کنترلی، در سیستم‌های بدن انسان، علوم اجتماعی و جوامع انسانی وجود دارند. تفکر و شیوه سیستم‌های پویا درباره مسائل پویایی که دارای حلقه بازخور هستند، کاربرد دارد [۱۳، ۱۴]. سازمانها، اقتصاد، جوامع و در حقیقت کلیه سیستم‌هایی که به نوعی با انسان سرو کار دارند و یا حتی سیستم‌های مکانیکی و الکترونیکی و نظایر آن، سیستم‌های با حلقه بازخور به حساب می‌آیند. بررسی، مطالعه و مدلسازی آنها، ابزاری برای درک صحیح رفتار و نتایج عملکرد آنها است [۱۰].

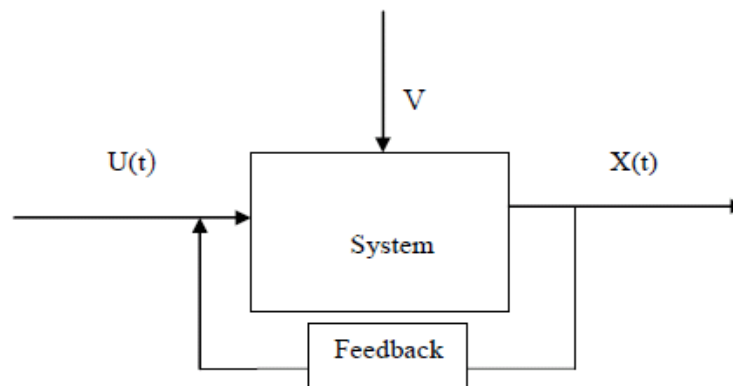
۱. هدف از شناسایی یک سیستم

غالباً در سیستم‌ها یک سری اجزای ثابتی وجود دارد که ما مقدار آنها را نمی دانیم. در این مواقع به کمک داده‌های به دست آمده از سیستم مدلی برای آن تهیه می‌گردد. شناسایی یک سیستم روشی است که در آن مدل یا مدلهایی آن سیستم از روی داده‌های اندازه‌گیری شده ساخته و یا تکمیل می‌گردند. این داده‌ها شامل ورودی‌ها، خروجی‌ها و احتمالاً نویزها

هستند. به کمک این اندازه‌گیری‌ها می‌توان فهمید که، سیستم چگونه کار می‌کند و ثابت‌های سیستم را محاسبه نمود [۳].

۲. انواع مدل‌های نمایش یک سیستم

شکل ۱ یک مدلی پویا را نشان می‌دهد که می‌تواند ناشی از یک پدیده فیزیکی، اقتصادی، بیولوژیکی، صنعتی و یا تکنیکی باشد [۳].



شکل ۱. مدل ساده یک سیستم پویا

شکل ۱ یک سیستم پویا با ورودی و خروجی معین $u(t)$ و $x(t)$ و نویز v را نشان می‌دهد. تمامی پیکانها نشان‌دهنده بردار سیگنال بوده و زمان در حالت گسسته است. متغیر ورودی $u(t)$ قابل کنترل ولی متغیر v غیر قابل کنترل می‌باشد. سیگنال‌های قابل اندازه‌گیری خروجی و ورودی اطلاعات مفیدی را در مورد یک سیستم ناشناخته به دست می‌دهند. گرچه مدل‌های مختلف به فرم ذهنی، لفظی و غیره بیان می‌شوند، جهت نمایش آنها از روشهای گرافیکی عمدتاً به مدل‌های ریاضی علاقمند هستیم. این مدل‌ها بصورت دیفرانسیلی (زمان پیوسته) و یا به فرم تفاضلی (زمان گسسته) بیان می‌شوند. در این مدل‌ها رفتار دینامیکی سیستم به صورت تابعی از زمان نمایش داده می‌شود. مدل‌های ریاضی در تمام شاخه‌های علمی کاربرد دارند و در واقع قلب تحقیقات علمی را تشکیل می‌دهند. مدل‌ها در شبیه‌سازی‌ها، آموزش اپراتورها، آنالیز، مونیتورینگ، عیب‌یابی، پیش‌بینی، بهینه‌سازی، طراحی سیستم‌های کنترل و کنترل کیفیت و غیره مورد استفاده واقع می‌شوند. طبیعتاً مدل‌ها وقتی استفاده مفیدتری خواهند داشت که انجام تجربه به صورت واقعی خیلی گران، خطرناک، مشکل و یا تقریباً غیر ممکن باشد. حداقل می‌توان گفت که مدل‌های ریاضی در سیستم‌های کنترل و فیزیک کاربرد دارند [۱۲].

طرح مسئله و مدل تحقیق

در واقع زندگی امروزی بدون مخابرات مختل می‌شود. البته مخابرات با شرکت‌های خدماتی دیگر مانند آب و برق متفاوت است زیرا محصول نهایی آن دو همواره ثابت است اما مخابرات باید به پیشرفت‌های فناوری و در نتیجه نیازها و انگیزه‌های ایجاد شده مردم توجه کند. مخابرات یک شرکت کاملاً فنی است و متکی به فناوری روز دنیا است. از طرف دیگر شرکتی کاملاً خدماتی است یعنی محصول مخابرات ارائه خدمات است. این خدمات در زمان‌های متفاوت بنا به سلايق مردم و پیشرفت جهانی فناوری متغیر است. اولین تعهد مخابرات تأمین ارتباط با کیفیت مناسب است. مشترکین روز به روز نسبت به گذشته رشد کمیتی دارند که با نسبت معقولی کیفیت ارتباطی را می‌خواهند و مخابرات موظف است آن را تأمین و پشتیبانی کند [۶].

اما مسئولان مخابراتی چگونه می‌توانند کیفیت ارتباط را بسنجند؟ برای اینکار مجبوریم یک سری شاخص‌های ارتباطی تعریف کنیم که متوسط درصد مکالمات موفق یکی از آنهاست و نشان می‌دهد که چند درصد از درخواست‌ها به مشترک مقصد ختم و به جواب از طرف آن مشترک رسیده است. به عبارت دیگر ASR عبارت است از نسبت ارتباطات موفق به کل درخواست‌های انجام شده یا مکالمات حمل شده در یک مسیر ارتباطی.

در این تحقیق دو دسته داده که در ASR مؤثر هستند مورد استفاده قرار گرفته‌اند:

دسته اول داده‌ها، تعداد کل تماس‌های حمل شده^۱ است که در روزهای مختلف شماره‌گیری شده و سبب اشغال کانال‌های مخابراتی شده‌اند [۲].

دسته دوم داده‌ها، تعداد تماس‌های پاسخ داده شده^۲ در روزهای مختلف هستند [۱۳].

با توجه به مفهوم سیستم‌های پویا، دسته اول بعنوان ورودی سیستم و دسته دوم به عنوان خروجی سیستم محسوب می‌شوند. هدف از این تحقیق تشخیص نوع رابطه بین داده‌های ورودی و خروجی و یا تعیین هویت سیستم با استفاده از مفهوم سیستم‌های پویا می‌باشد.

در این تحقیق از اطلاعات موجود و مستند در بخش STD^۳ شرکت مخابرات هرمزگان از تاریخ ۸۸/۱/۱ لغایت ۸۸/۶/۳۱ استفاده شده است [۲]. به صورت موردی تعداد کل تماس‌ها و تعداد تماس‌های موفق شهرستان بستک به خارج از شهرستان استخراج و مورد بهره‌برداری قرار گرفته شده است [۲].

جهت تجزیه و تحلیل و تعیین هویت سیستم با استفاده از داده‌های ورودی و خروجی، از مفهوم سیستم‌های پویا و فرآیندهای ارگادیک (تصادفی) استفاده شده است. لازم به ذکر است که جهت رسم جدول‌ها و نمودارها و همچنین محاسبه توابع مختلف همبستگی، دگر همبستگی

1. Seize Daily

2. Answer Daily

3. Subscriber Trunk Dialing

و تابع چگالی طیفی در این تحقیق از نرم افزار مطلب استفاده شده است. فرایند کلی تحقیق به ترتیب زیر می‌باشد:



شکل ۲. فرایند تحقیق

معرفی فرایندهای ارگادیک (تصادفی)

کلیه جریان‌های تصادفی بر دو نوع هستند: (۱) ایستا^۱، (۲) نا ایستا^۲ فرایند ایستا ممکن است ارگادیک^۳ یا غیر ارگادیک باشد. از دیدگاه سیستمی فرایندهای نا ایستا معمولاً به دوران گذار سیستم‌ها و فرایندهای ایستا به وضعیت مانای سیستم مربوط می‌شوند. معمولاً در تعیین هویت سیستم‌ها فرایندهای تصادفی ایستا اهمیت دارد. در دوران مانا می‌خواهیم ماهیت سیستم را مشخص کنیم زیرا ماهیت سیستم بیشتر در حالت مانا مشخص می‌شود [۴]. نظریه ارگادیک از بسیاری جهات با ریاضیات و سیستم‌های پویا ارتباط دارد. ایده‌های اولیه آن از قرن گذشته شروع شد و با وجود پیشرفت‌های حاصل در طول قرن، همچنان بسیاری مسائل و مشکلات باز در این رشته وجود دارد [۷]. در واقع می‌توان گفت نظریه ارگادیک عبارت است از مطالعه کیفی بلند مدت سیستم‌های پویا [۹].

تابع خود همبستگی

تابع خود همبستگی فرایندهای ارگادیک ارتباط کلی مقادیر فرایند (جریان) در یک لحظه از زمان را با مقادیر فرایند در دیگر لحظات می‌سنجند؛ به عبارت دیگر تابع خود همبستگی ارتباط متقابل و درونی تغییرات یک فرایند ارگادیک را در طی زمان توصیف می‌کند [۴]. تخمین تابع خود همبستگی به این طریق می‌تواند به دست آید که ارتباط مقادیر $x(t)$ در لحظات t و $t + \tau$ را تعیین کنیم. این در واقع خود همبستگی بین مقادیر $x(t)$ را در دو لحظه t و $t + \tau$ ارائه خواهد کرد. لذا می‌توان حاصل ضرب مقادیر $x(t)$ در دو لحظه t و $t + \tau$ را در طول مدت مشاهده T اندازه‌گیری و میانگین‌گیری نمود و در نهایت با میل T به سمت بی‌نهایت، میانگین به دست آمده به سمت مقدار حقیقی تابع خود همبستگی میل خواهد کرد. پس اگر برای فرایندی مانند $x(t)$ تابع خود همبستگی را با $R_x(\tau)$ نشان دهیم، محاسبه آن به قرار زیر خواهد بود: [۴]

رابطه شماره (۱) تابع خود همبستگی برای سیستم‌های پیوسته:

$$R_X(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} 1/T \int_0^T X(t)X(t+\tau)dt$$

در فواصل مساوی N برای محاسبه تابع خود همبستگی برای سیستم‌های گسسته با استفاده از ΔT که داریم:

$$T = N\Delta T$$

می‌توان مطابق رابطه زیر مقادیر ضرایب خود همبستگی را در فواصل مساوی $\Delta \tau$ محاسبه کرد:

-
1. Stationary
 2. Non- Stationary
 3. Ergodic

$$\Delta\tau = \Delta T$$

$$R(r\Delta\tau) = \frac{\frac{1}{N-r} \sum_{n=1}^{N-r} x_n x_{n+r}}{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N x_n x_n} \quad \text{رابطه شماره ۲) تابع خود همبستگی برای سیستم‌های گسسته:}$$

$$r = 0, 1, 2, \dots, M$$

که معمولاً $R(r\Delta\tau)$ به صورت $R(r)$ نشان داده می‌شود. نمایش ترسیمی $R(r)$ در قبال r (توکریلوگرام یا پیکره خود همبستگی نامیده می‌شود).

در این تحقیق تابع خودهمبستگی بین ورودی‌ها و خروجی‌ها با استفاده از رابطه تابع خودهمبستگی برای سیستم‌های گسسته به ازای r های مختلف محاسبه و نمودار ضرائب خودهمبستگی $R_x(r)$ و $R_u(r)$ در مقابل r رسم شده است.

جدول و نمودار شماره (۱) نشان‌دهنده ضرائب خودهمبستگی ورودی‌ها به ازای r های مختلف می‌باشد. معادله ریاضی این نمودار نیز با استفاده از نرم‌افزار مطلب محاسبه شده است که در ذیل نشان داده می‌شود. باتوجه به نمودار و معادله واضح است که رابطه بین ضرائب همبستگی و مقدار r نمایی منفی است.

جدول ۱. ضرائب خودهمبستگی ورودی‌ها

۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵
۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۷	۰/۹۷	۰/۹۷	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۹۵	۰/۹۵
۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۹	۳۰
۰/۹۵	۰/۹۵	۰/۹۵	۰/۹۵	۰/۹۵	۰/۹۴	۰/۹۴	۰/۹۴	۰/۹۴	۰/۹۴	۰/۹۴	۰/۹۴	۰/۹۳	۰/۹۳	۰/۹۳
۳۱	۳۲	۳۳	۳۴	۳۵	۳۶	۳۷	۳۸	۳۹	۴۰	۴۱	۴۲	۴۳	۴۴	۴۵
۰/۹۳	۰/۹۳	۰/۹۳	۰/۹۳	۰/۹۳	۰/۹۲	۰/۹۲	۰/۹۲	۰/۹۲	۰/۹۲	۰/۹۲	۰/۹۲	۰/۹۲	۰/۹۲	۰/۹۲

General model Exp2:

$$f(x) = a_1 \cdot \exp(b_1 \cdot x) + c_1 \cdot \exp(d_1 \cdot x)$$

Coefficients (with 95% confidence bounds) :

$$a_1 = 0.9829 \quad (0.9812, 0.9846)$$

$$b_1 = -0.001993 \quad (-0.002212, -0.001774)$$

$$c_1 = 0.0002043 \quad (-0.0001808, 0.0005894)$$

$$d_1 = 0.1165 \quad (0.07786, 0.1551)$$

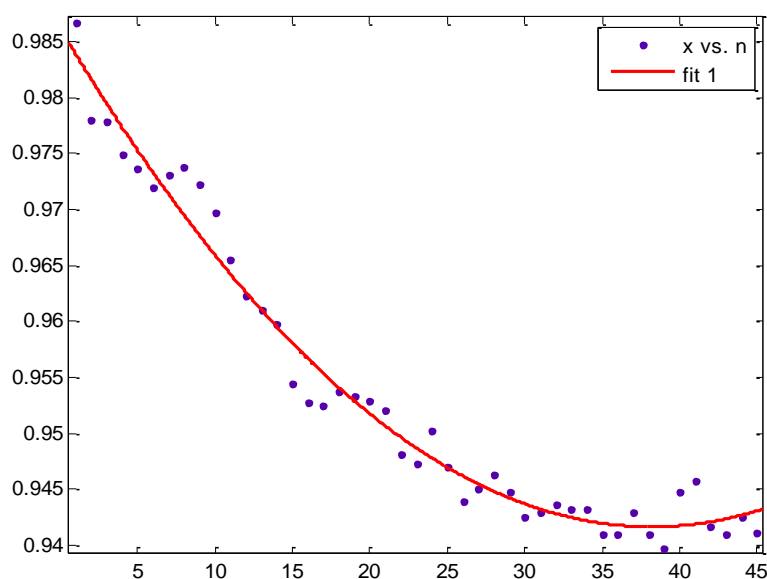
Goodness of fit:

$$\text{SSE: } 0.0001743$$

$$\text{R-square: } 0.9864$$

$$\text{Adjusted R-square: } 0.9854$$

$$\text{RMSE: } 0.002062$$



نمودار ۱. ضرائب خودهمبستگی ورودی‌ها

جدول و نمودار (۲) نیز نشان دهنده تغییرات ضرائب خودهمبستگی خروجی‌ها یا مدل با تغییرات مقدار r است.

جدول ۲. ضرائب خودهمبستگی خروجی‌ها

۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵
+۰/۹۸	+۰/۹۷	+۰/۹۷	+۰/۹۷	+۰/۹۷	+۰/۹۷	+۰/۹۷	+۰/۹۷	+۰/۹۷	+۰/۹۷	+۰/۹۷	+۰/۹۶	+۰/۹۶	+۰/۹۶	+۰/۹۵
۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۹	۳۰
+۰/۹۵	+۰/۹۵	+۰/۹۵	+۰/۹۵	+۰/۹۵	+۰/۹۵	+۰/۹۵	+۰/۹۴	+۰/۹۵	+۰/۹۴	+۰/۹۴	+۰/۹۵	+۰/۹۵	+۰/۹۴	+۰/۹۴
۳۱	۳۲	۳۳	۳۴	۳۵	۳۶	۳۷	۳۸	۳۹	۴۰	۴۱	۴۲	۴۳	۴۴	۴۵
+۰/۹۴	+۰/۹۴	+۰/۹۴	+۰/۹۴	+۰/۹۴	+۰/۹۴	+۰/۹۴	+۰/۹۴	+۰/۹۴	+۰/۹۴	+۰/۹۵	+۰/۹۴	+۰/۹۴	+۰/۹۴	+۰/۹۴

General model Exp2:

$$f(x) = a_2 \cdot \exp(b_2 \cdot x) + c_2 \cdot \exp(d_2 \cdot x)$$

Coefficients (with 95% confidence bounds) :

$$a_2 = 0.6656 \quad (-0.4006, 1.732)$$

$$b_2 = -0.007609 \quad (-0.02336, 0.008145)$$

$$c_2 = 0.3205 \quad (-0.7477, 1.389)$$

$$d_2 = 0.008527 \quad (-0.01403, 0.03109)$$

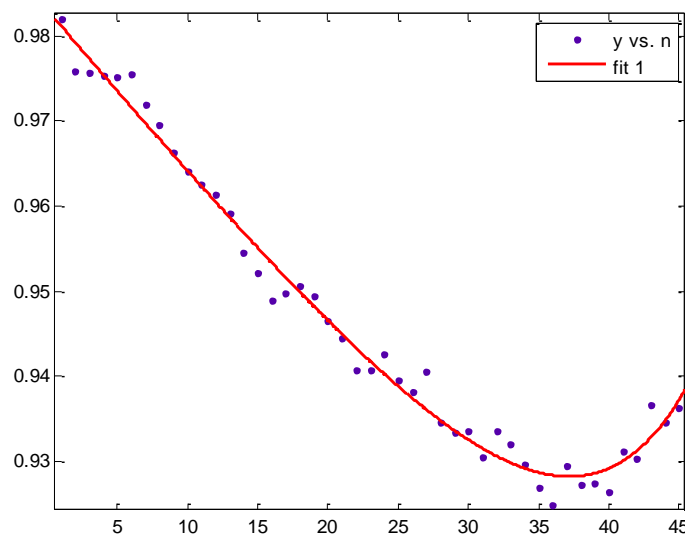
Goodness of fit :

SSE: 0.0001942

R-square: 0.9746

Adjusted R-square: 0.9728

RMSE: 0.002176



نمودار ۲. ضرائب خودهمبستگی خروجی‌ها

تابع دگر همبستگی بین ورودی‌ها و خروجی‌ها

تابع دگر همبستگی یا همبستگی تقاطعی دو فرایند ارتباط کلی و متقابل مقادیر و عناصر آن دو فرایند را توصیف می‌کند. این روش مشابه تخمین تابع خود همبستگی است و با میل T یعنی زمان مشاهده به سمت بی‌نهایت، تابع دگر همبستگی (محاسبه شده) به سمت مقدار حقیقی تابع دگر همبستگی میل می‌کند؛ [۴] یعنی:

رابطه شماره ۳) تابع دگر همبستگی برای سیستم‌های پیوسته:

$$R_{xy}(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T x(t)y(t+\tau)dt$$

اگر فرایند $x(t)$ و $y(t)$ گسسته باشد یا در فواصل Δt از آن نمونه‌گیری کنیم که $T = N\Delta t$ باشد، سپس:

رابطه شماره ۴) تابع دگرهمبستگی برای سیستم‌های گسسته:

$$R_{xy}(r\Delta\tau) = \frac{1}{N-r} \sum_{n=1}^{N-r} x_n y_{n+r}$$

باتوجه به گسسته بودن فرایندهای $U(t)$ و $X(t)$ جهت محاسبه ضریب دگرهمبستگی بین این دو فرایند خواهیم داشت:

$$R_{ux}(r\Delta\tau) = \frac{1}{N-r} \sum_{n=1}^{N-r} u_n x_{n+r}$$

نتایج به دست آمده مطابق جدول و نمودار ذیل می‌باشد:

جدول ۳. ضرایب دگرهمبستگی ورودی‌ها و خروجی‌ها

۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵
+۰/۹۹	+۰/۹۹	+۰/۹۹	+۰/۹۹	+۰/۹۹	+۰/۹۹	+۰/۹۸	+۰/۹۸	+۰/۹۸	+۰/۹۸	+۰/۹۸	+۰/۹۷	+۰/۹۷	+۰/۹۷	+۰/۹۷
۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۹	۳۰
+۰/۹۶	+۰/۹۷	+۰/۹۷	+۰/۹۶	+۰/۹۶	+۰/۹۶	+۰/۹۶	+۰/۹۶	+۰/۹۶	+۰/۹۶	+۰/۹۵	+۰/۹۵	+۰/۹۵	+۰/۹۵	+۰/۹۵
۳۱	۳۲	۳۳	۳۴	۳۵	۳۶	۳۷	۳۸	۳۹	۴۰	۴۱	۴۲	۴۳	۴۴	۴۵
+۰/۹۵	+۰/۹۵	+۰/۹۵	+۰/۹۵	+۰/۹۵	+۰/۹۵	+۰/۹۵	+۰/۹۵	+۰/۹۴	+۰/۹۵	+۰/۹۵	+۰/۹۵	+۰/۹۴	+۰/۹۴	+۰/۹۴

General model Exp2:

$$f(x) = a_3 * \exp(b_3 * x) + c_3 * \exp(d_3 * x)$$

Coefficients (with 95% confidence bounds) :

$$a_3 = 0.9578 \quad (0.7249, 1.191)$$

$$b_3 = -0.002931 \quad (-0.007459, 0.001597)$$

$$c_3 = 0.03673 \quad (-0.1984, 0.2718)$$

$$d_3 = 0.02328 \quad (-0.03987, 0.08643)$$

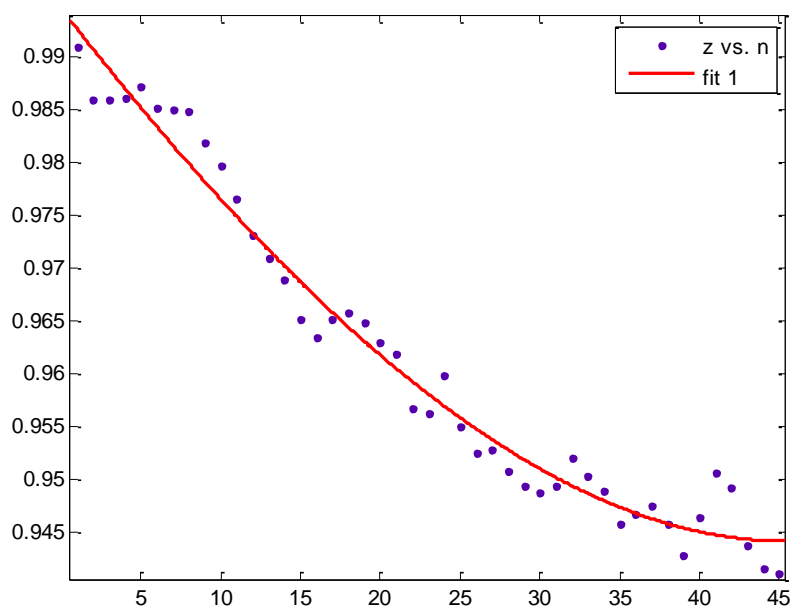
Goodness of fit:

SSE: 0.0002804

R-square: 0.9729

Adjusted R-square: 0.971

RMSE: 0.002615



نمودار ۳. ضرایب دگرهمبستگی ورودی‌ها و خروجی‌ها

تابع چگالی طیفی جهت توابع خود همبستگی و دگر همبستگی

تابع چگالی طیف توان یا تابع چگالی طیف انرژی به «تابع چگالی خودطیفی» نیز موسوم است. تابع چگالی طیفی ترکیب بسامدی (فرکانسی) یک فرایند را به صورت چگالی طیف مقادیر میانگین مجزورات فرایند (شدت فرایند) در بسامدهای مختلف ارائه میکند [۴].

سیستمی را در نظر بگیریم که پیامی را با باند بسامدی محدود در فاصله f و $f+\Delta f$ عبور می‌دهد. اکنون چنانچه فرایند یا جریانی را از این سیستم یا فیلتر عبور دهیم خروجی فیلتر یا سیستم مؤلفه جریان در فاصله بسامدی f و $f+\Delta f$ خواهد بود. میانگین مجزورات جریان خروجی فیلتر یا سیستم را به دست می‌آوریم و به این طریق تابع طیف توان یا طیف انرژی فرایند مورد نظر در فاصله f و $f+\Delta f$ به دست می‌آید [۴].

یکی از خواص عمده تابع چگالی طیفی، ارتباط آن با تابع خود همبستگی است. می‌توان نشان داد که تابع چگالی طیفی در واقع تبدیل فوریه تابع خود همبستگی است. یعنی داریم:

$$S_u(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} R_u(\tau) e^{-j\omega\tau} d\tau$$

رابطه شماره ۵) تابع چگالی طیفی تابع خود همبستگی:

رابطه شماره ۶) تابع چگالی طیفی تابع دگر همبستگی:

$$S_{ux}(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} R_{ux}(\tau) e^{-j\omega\tau} d\tau$$

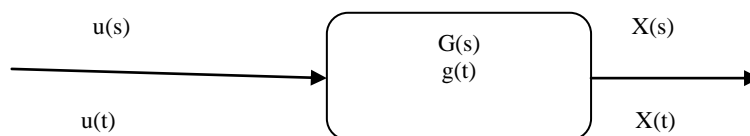
با استفاده از روابط فوق و با استفاده از نرم افزار مطلب، تبدیل فوریه تابع خودهمبستگی $R_u(\tau)$ و تابع دگر همبستگی $R_{ux}(\tau)$ (که قبلاً محاسبه شده‌اند)، توابع چگالی طیفی $S_u(\omega)$ و $S_{ux}(\omega)$ به شرح ذیل محاسبه می‌شوند:

$$S_u(\omega) = \frac{2a_1}{b_1 - j\omega} + \frac{2c_1}{d_1 - j\omega}$$

$$S_{ux}(\omega) = \frac{2a_3}{b_3 - j\omega} + \frac{2c_3}{d_3 - j\omega}$$

تعیین هویت سیستمی میانگین مکالمات موفق (ASR)

سیستم زیر را در نظر بگیرید:



شکل ۳. مدل سیستمی میانگین مکالمات موفق (ASR)

که $u(t)$ ورودی یا انگیزش سیستم یا تعداد کل تماس ها در این تحقیق و $x(t)$ خروجی سیستم یا تعداد تماس های پاسخ داده شده است. باتوجه به اینکه:
رابطه شماره ۷) تابع تبدیل یک سیستم درجه سوم:

$$S_{ux}(\omega) = G(j\omega) s_u(\omega)$$

و مقادیر توابع $S_u(\omega)$ و $S_{ux}(\omega)$ داریم:

$$G(j\omega) = \frac{S_{ux}(\omega)}{S_u(\omega)} = \frac{a_3 (d_3 - j\omega) + c_3 (b_3 - j\omega)}{(b_3 - j\omega)(d_3 - j\omega)} / \frac{a_1 (d_1 - j\omega) + c_1 (b_1 - j\omega)}{(b_1 - j\omega)(d_1 - j\omega)}$$

که باتوجه به مقادیر به دست آمده برای متغیرهای مسئله می توان مقدار تابع $G(j\omega)$ که همان تابع انتقال سیستم است را به دست آورد. بنابراین می توان نتیجه گیری کرد چنانچه انگیزش سیستم را بشناسیم، می توانیم تابع خود همبستگی را حساب کرده، تبدیل فوریه کنیم و $S_u(\omega)$ را به دست آوریم. سپس با استفاده از داده های رفتار سیستم تابع دگر همبستگی را محاسبه کرده و از تقسیم آن بر تابع $S_u(\omega)$ تابع $G(j\omega)$ را به دست آورد؛ لذا به این ترتیب تمام ویژگی های سیستم را می توانیم به دست آوریم.

با قراردادن $S = j\omega$ در تابع $G(S)$ و ساده کردن و قراردادن معادله های ذیل داریم:

$$\begin{aligned} A_1 &= -a_3 - c_3 \\ B_1 &= a_3 d_3 + a_3 b_1 + a_3 d_1 + c_3 b_3 + c_3 b_1 + c_3 d_1 \\ C_1 &= a_3 d_3 b_1 - a_3 d_3 d_1 - a_3 b_1 d_1 - c_3 b_3 b_1 - c_3 b_3 d_1 - c_3 b_1 d_1 \\ D_1 &= a_3 d_3 b_1 d_1 + c_3 b_3 b_1 d_1 \\ A_2 &= -a_1 - c_1 \\ B_2 &= b_3 a_1 + b_3 c_1 + b_3 a_1 + b_3 c_1 + a_1 d_1 + c_1 b_1 \\ C_2 &= -b_3 d_3 a_1 - b_3 d_3 c_1 - b_3 a_1 d_1 - b_3 c_1 b_1 - d_3 a_1 d_1 - b_3 c_1 b_1 \\ D_2 &= b_3 d_3 a_1 d_1 + b_3 d_3 c_1 b_1 \end{aligned}$$

لذا می توانیم تابع انتقال لاپلاسی سیستم را به شکل زیر بنویسیم:

$$G(s) = \frac{x(s)}{u(s)} = \frac{A_1 S^3 + B_1 S^2 + C_1 S + D_1}{A_2 S^3 + B_2 S^2 + C_2 S + D_2}$$

با طرفین رابطه فوق و استفاده از عکس تبدیل لاپلاس معادله دیفرانسیل حاکم بر این سیستم به شکل زیر به دست می آید:

$$A_1 \frac{d^3 u(t)}{dt^3} + B_1 \frac{d^2 u(t)}{dt^2} + C_1 \frac{du(t)}{dt} + D_1 = A_2 \frac{d^3 x(t)}{dt^3} + B_2 \frac{d^2 x(t)}{dt^2} + C_2 \frac{dx(t)}{dt} + D_2$$

۱. تعیین معادله‌های حالت سیستم:

در این تحقیق برای تعیین معادله‌های حالت سیستم از روش تجزیه مستقیم استفاده می‌شود. این روش در جایی به کار می‌رود که تابع تبدیل به صورت حاصلضرب عوامل نباشد. هدف به دست آوردن نمودار حالت یا معادله‌های حالت سیستم است. [۵] مراحل اصلی تجزیه مستقیم عبارت اند از:

۱. تابع تبدیل را به صورت توانهای منفی S بیان می‌کنیم. بدین منظور صورت و مخرج تابع تبدیل را در معکوس بالاترین توان S ضرب می‌کنیم:

$$G(s) = \frac{x(s)}{u(s)} = \frac{A_1 S^3 + B_1 S^2 + C_1 S + D_1}{A_2 S^3 + B_2 S^2 + C_2 S + D_2}$$

۲. صورت و مخرج را در $\frac{1}{S^3}$ ضرب می‌کنیم:

$$\frac{x(s)}{u(s)} = \frac{A_1 + B_1 S^{-1} + C_1 S^{-2} + D_1 S^{-3}}{A_2 + B_2 S^{-1} + C_2 S^{-2} + D_2 S^{-3}}$$

۳. صورت و مخرج تابع را در متغیر فرضی $Y(S)$ ضرب می‌کنیم

$$\frac{x(s)}{u(s)} = \frac{A_1 + B_1 S^{-1} + C_1 S^{-2} + D_1 S^{-3}}{A_2 + B_2 S^{-1} + C_2 S^{-2} + D_2 S^{-3}} \times \frac{y(s)}{y(s)}$$

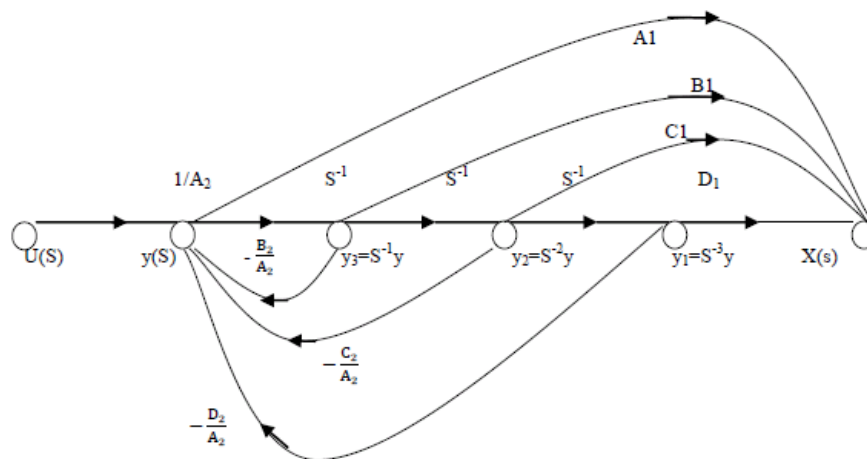
۴. صورت و مخرج دوطرف رابطه فوق باهم برابر خواهند بود. لذا:

$$\begin{aligned} X(s) &= (A_1 + B_1 S^{-1} + C_1 S^{-2} + D_1 S^{-3}) Y(s) \\ U(s) &= (A_2 + B_2 S^{-1} + C_2 S^{-2} + D_2 S^{-3}) Y(s) \end{aligned}$$

۵. به منظور رسم نمودار حالت براساس این دو معادله باید آنها را به صورت رابطه علت و معلولی در آورد. بدیهی است که معادله $X(s)$ به همین صورت خود یک رابطه علت و معلولی است اما در معادله $U(s)$ ورودی در طرف چپ است و باید معادله را مرتب کرد. دو طرف این معادله را بر A_2 تقسیم می‌کنیم و $Y(s)$ را برحسب سایر جملات می‌نویسیم:

$$Y(s) = \frac{1}{A_2} U(s) - \frac{B_2}{A_2} S^{-1} Y(s) - \frac{C_2}{A_2} S^{-2} Y(s) - \frac{D_2}{A_2} S^{-3} Y(s)$$

در شکل زیر نمودار حالت با استفاده از معادلات $X(s)$ و $Y(s)$ رسم شده است.



شکل ۴. نمودار حالت با استفاده از معادلات $Y(s)$ و $X(s)$

معادله‌های حالت مستقیماً از نمودار حالت به دست می‌آیند که به شکل زیر می‌باشد:

$$\begin{bmatrix} \frac{dy_1(t)}{dt} \\ \frac{dy_2(t)}{dt} \\ \frac{dy_3(t)}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ -\frac{D_2}{A_2} & -\frac{C_2}{A_2} & -\frac{B_2}{A_2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{1}{A_2} \end{bmatrix} U(t)$$

معادله خروجی سیستم نیز به صورت زیر خواهد بود.

$$X(t) = \left[D_1 - \frac{D_2 A_2}{A_2} \right] y_1 + \left[C_1 - \frac{C_2 A_1}{A_2} \right] y_2 + \left[B_1 - \frac{B_2 A_1}{A_2} \right] y_3 + \frac{A_1}{A_2} u(t)$$

در حالت کلی مدل فضای حالت یک سیستم را می‌توان به شکل زیر نوشت [۴]:

$$\underline{\dot{X}} = A\underline{X} + B\underline{u}$$

رابطه شماره ۸) مدل فضای حالت یک سیستم :

$$\underline{Y} = C\underline{X} + D\underline{u}$$

که در آن: X بردار حالت، A ماتریس سیستم یا ماتریس همراه، Y بردار خروجی یا بردار رفتار، u بردار ورودی، B ماتریس توزیع، C ماتریس خروجی یا ماتریس رفتار و D ماتریس انتقال سیستم است.

بنابراین باتوجه به روابط فوق و معادلات فضای حالت به دست آمده از این تحقیق می‌توان نوشت:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ -\frac{D_2}{A_2} & -\frac{C_2}{A_2} & -\frac{B_2}{A_2} \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ A_2 \end{bmatrix}$$

$$C = \left[D_1 - \frac{D_2 A_1}{A_2} \quad C_1 - \frac{C_2 A_1}{A_2} \quad B_1 - \frac{B_2 A_1}{A_2} \right] \quad D = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ A_1 \\ A_2 \end{bmatrix}$$

۲. کنترل پذیری سیستم:

جهت بررسی کنترل‌پذیری سیستم باید ماتریس کنترل‌پذیری Q_c را تشکیل داد. در صورتی سیستم مورد نظر کنترل‌پذیر است اگر و قطعاً اگر بردارهای ماتریس Q_c دارای استقلال خطی از یکدیگر باشند. این ماتریس به شکل زیر است [۴]:

$$Q_c = \begin{bmatrix} B & AB & A^2 B & \dots & A^{n-1} B \end{bmatrix} \quad \text{رابطه شماره ۹) ماتریس کنترل‌پذیری سیستم:}$$

در ماتریس فوق A ماتریس همراه و B ماتریس توزیع سیستم است که در بخش قبل محاسبه شد. لذا با توجه به آن، ماتریس Q_c برای این مسئله به شکل زیر محاسبه می‌شود:

$$Q_c = [B \mid AB \mid A^2 B] = \left[\begin{array}{c|c|c} 0 & 0 & \frac{1}{A_2} \\ 0 & \frac{1}{A_2} & -\frac{B_2}{A_2^2} \\ \frac{1}{A_2} & -B_2 & \frac{B_2^2 - A_2 C_2}{A_2^2} \end{array} \right]$$

اگر مقادیر عددی متغیرها که قبلاً محاسبه شده اند را در ماتریس فوق جایگذاری کنیم، خواهیم داشت:

$$Q_c = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -1/02 \\ 0 & -1/02 & -./11 \\ -1/02 & -./1 & ./009 \end{bmatrix}$$

باتوجه به اینکه ماتریس Q_c دارای حداقل سه ستون مستقل خطی می‌باشد یعنی اینکه رتبه ماتریس بزرگتر مساوی با ۳ می‌باشد، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت سیستم مورد نظر کنترل‌پذیر است [۴].

۳. رؤیت‌پذیری (مشاهده پذیری):

به منظور بررسی رؤیت‌پذیری سیستم باید ماتریس رؤیت‌پذیری را تشکیل داد. شرط لازم و کافی برای رؤیت‌پذیری یک سیستم این است که بردارهای ماتریس رؤیت‌پذیری دارای استقلال خطی باشند. این ماتریس به شکل زیر است [۴]:

$$Q_c = \begin{bmatrix} C \\ CA \\ CA^2 \\ \vdots \\ CA^{n-1} \end{bmatrix} \quad \text{رابطه شماره ۱۰) ماتریس رؤیت پذیری سیستم:}$$

A و C به ترتیب ماتریسهای همراه و ماتریس رفتار سیستم هستند.

این ماتریس برای سیستم مورد مطالعه به شکل زیر می باشد:

$$Q_c = \begin{bmatrix} C \\ CA \\ CA^2 \end{bmatrix} \quad \text{که پس از قراردادن مقادیر ماتریس C و A خواهیم داشت:}$$

$$Q_c = \begin{bmatrix} 0 & -2.06 & 0.03 \\ 0 & 0 & -2.05 \\ .06 & .04 & .23 \end{bmatrix}$$

باتوجه به اینکه ماتریس فوق مستقل خطی است، می توان نتیجه گرفت که سیستم موردنظر مشاهده پذیر میباشد.

۴. دسترسی پذیری:

کنترل پذیری عبارت است از اینکه در مدت محدود بتوان از حالت اولیه X_0 به مبدأ فضای حالت یعنی بردار صفر (۰) رسید. دسترسی پذیری عبارت است از اینکه در مدت محدود بتوان از حالت اولیه X_0 به یک حالت دلخواه مانند $X(t)$ رسید [۴].

مانند کنترل پذیری جهت دسترس پذیر بودن یک سیستم باید بردارهای ماتریس Q_c استقلال خطی داشته باشند.

$$Q_c = [B|AB|A^2B] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -1/02 \\ 0 & -1/02 & -./11 \\ -1/02 & -./1 & .009 \end{bmatrix}$$

همانطوری که قبلاً نیز در بحث کنترل پذیری گفته شد بردارهای ماتریس Q_c دارای استقلال خطی هستند و همانطور که سیستم کنترل پذیر است، دسترس پذیر نیز می باشد. بنابراین شرط دسترس پذیری مشابه کنترل پذیری است یعنی اگر سیستم کنترل پذیر باشد، دسترس پذیر نیز خواهد بود [۴].

تعیین پایداری یا ناپایداری سیستم:

باتوجه به اینکه تابع انتقال سیستم به شکل زیر است:

$$G(s) = C(SI - A)^{-1} B \quad \text{رابطه شماره ۱۱) تابع انتقال سیستم:}$$

یا

$$G(s) = \frac{CA_{adj}(SI - A)B}{\det(SI - A)}$$

ریشه‌های مخرج کسر تابع انتقال تعیین کننده وضعیت پایداری سیستم می‌باشد که در واقع این ریشه‌ها همان قطب‌های تابع انتقال هستند. بنابراین برای تعیین پایداری سیستم باید قطب‌های سیستم را محاسبه نماییم و تعیین کنیم حقیقی یا مختلط هستند. چنانچه قسمت حقیقی ریشه‌ها منفی باشد، سیستم پایدار خواهد بود. بنابراین :

$$SI - A = \begin{bmatrix} S & 1 & 0 \\ 0 & S & 1 \\ -./0003 & -./0002 & S-./11 \end{bmatrix}$$

$$\det(SI - A) = S^3 - ./11S^2 + ./0002S - ./0003S$$

$$S = \sigma + j\omega$$

$$S_1 = -./037 + ./12j$$

$$S_2 = -./37 + ./12j$$

$$S_3 = ./185$$

چون قسمت حقیقی ریشه سوم مثبت می‌شود، می‌توان نتیجه گرفت سیستم ناپایدار است.

تجزیه و تحلیل و نتیجه‌گیری:

با وقوع تغییرات فنی، اجتماعی و اقتصادی، مسائل مدیریتی در حال پیچیده شدن است. غلبه بر این پیچیدگی با کمک رویکرد مدیریت سنتی مبتنی بر مدل‌های ذهنی، شهود، تجربه و قضاوت، مدیران را با مشکل مواجه خواهد کرد. بنابراین لازم است که با استفاده از ابزارهای انتخاب و ساختاردهی اطلاعات موجود، به دانش مدیر شکل داده، آن را منسجم کنیم و با کمک مدل‌های رسمی به پیامدها و نتایجی دست یابیم که با استفاده از آن مدیر بتواند کارکرد سیستم را بهتر درک کند و سیاست‌ها را بهبود دهد. در رشته سیستم‌های پویا اعتقاد بر این است که تغییرات و تحولات دارای قانونمندی‌هایی هستند که می‌توان آنها را شناخت و بر اساس آن مسیر تحولات را به جهت مطلوب سوق داد. در غیر اینصورت بدون شناخت قانونمندی‌های حاکم بر یک پدیده، ورود به عرصه کار و مدیریت و سیاست‌گذاری و به طور کلی اتخاذ هر نوع تصمیم در آینده دور از واقع خواهد بود. لذا در راستای نیل به این اهداف برای شناخت پیچیدگی حاکم بر سیستم مورد تحقیق و مدیریت و کنترل آن از متوذهای مطرح در این رشته استفاده شده است. به عنوان نمونه مفاهیم کنترل پذیری و مشاهده‌پذیری در رشته سیستم‌های پویا که نخستین بار از سوی کالمن مطرح شد، کنترل نوین در هر دو زمینه نظری و عملی، نقش دارد. شرایط کنترل‌پذیری و مشاهده‌پذیری غالباً اساس وجود راه حل برای یک مسأله کنترل بهینه می‌باشند.

فرایندی را کاملاً کنترل پذیر می نامند که هر متغیر حالت فرآیند را بتوان کنترل یا بر آن تأثیر گذاشت تا در مدت معین بتوان به هدف معین رسید. در سیستمی که در این تحقیق مورد بررسی قرارگرفت نشان داده شد که سیستم کنترل پذیر است یعنی اینکه ورودی های سیستم، متغیرهای حالت سیستم را کنترل می کنند. به همین جهت گاه به این مفهوم کنترل پذیری، کنترل پذیری حالت نیز گفته می شود. برای مثال اگر در سیستم مورد تحقیق، تعداد کانالهای مخابراتی در دسترس به عنوان یک متغیر حالت در نظر گرفته شود، کنترل پذیری حالت به این مفهوم است که متغیر ورودی یا کل تماسها تعیین کننده کانالهای در دسترس می باشد و آن را کنترل می کند. مفهوم مشاهده پذیری نیز کاملاً شبیه مفهوم کنترل پذیری است. به طور کلی سیستمی کاملاً مشاهده پذیر است که هریک از متغیرهای حالت آن سیستم بر برخی از خروجی ها تأثیر بگذارد. به عبارت دیگر با اندازه گیری خروجی ها و ورودی ها، اطلاعاتی درباره متغیرهای حالت به دست آید. اگر با اندازه گیری خروجی ها نتوان همه حالتها را مشاهده کرد، حالت موجود را مشاهده نپذیر می نامند و اصطلاحاً سیستم مشاهده نپذیر می شود. چنانچه قبلاً نیز نتیجه گیری شد سیستم مورد مطالعه مشاهده پذیر است و لذا با اندازه گیری تماسهای موفق سیستم می توان متغیرهای حالت سیستم را شناسایی و اندازه گیری کرد. برای مثال می توان تعداد کانالهای در دسترس را مورد شناسایی قرار داد. همچنین سیستم مورد نظر یک سیستم دسترس پذیر است یعنی اینکه می توان سیستم را در مدت زمان محدود از حالت اولیه به یک حالت دلخواه تغییر داد. در واقع سیستمی که کنترل پذیر باشد، دسترس پذیر نیز است اما در تعیین وضعیت پایداری سیستم این نتیجه گیری حاصل شد که قسمت حقیقی ریشه سوم مخرج کسر تابع انتقال مثبت است و در نتیجه سیستم ناپایدار شد. در واقع این وضعیت موجب می شود رفتار سیستم با گذر زمان نوسانات ناپایدار داشته باشد اما به دلیل کنترل پذیر بودن سیستم می توان وضعیت پایداری سیستم را با تغییر در انگیزش تغییر داد. لازم به توضیح است که رویکرد سیستم های پویا نه تنها آنکه ابزارهای لازم برای کشف این قانونمندیها را در اختیار مدیر قرار می دهد بلکه می تواند با استفاده از ابزار شبیه سازی، امکان ساختن مدلی مطلوب را نیز فراهم آورد. لذا در تحقیقات آتی با استفاده از این ابزار و با انتخاب ورودی معین، می توان قطبهای سیستم را به نقاط مطلوب و مورد نظر انتقال داد. با انجام این کار، ماتریس سیستم تغییر یافته و بنابراین قطبهای سیستم به نقاط جدیدی انتقال می یابند و در نتیجه وضعیت پایداری سیستم نیز تغییر می کند.

منابع

۱. سایت شرکت مخابرات ایران WWW.tci.ir.
۲. آرشیو STD شرکت مخابرات هرمزگان .
۳. جعفری ، سیاوش (۱۳۸۳)، " روش زیرفضا و کاربرد آن در شناسایی سیستم های خطی فضای حالت و پردازش سیگنال "، سمینار کارشناسی ارشد بیوالکتریک دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات دانشکده مهندسی پزشکی.
۴. فقیه ، نظام الدین (۱۳۸۳)، " سیستم های پویا : اصول و تعیین هویت "، تهران:سمت
۵. کو ، بنجامین (۱۳۸۷) ، " سیستم‌های کنترل "، ترجمه علی کافی ،تهران:دانشگاه صنعتی شریف
۶. مصاحبه آقای مهندس حسین نیا ، مسئول بررسی عملکرد STD شرکت مخابرات استان قزوین .
7. Avigad , j . (2008) " The Metamathematics of Ergodic Theory " Department of Philosophy and Department of Mathematical Sciences Carnegie Mellon University , Pitsburgh , Pa 15213.
8. Brin , M . and Stuck , G . (2000) " Introduction to Dynamical Systems " , Cambridge University Press .
9. Eckmann , h.p. (1995) " Ergodic Theory of Chaos and Strange Attractors", *Reviews of Modern Physics* , Vol . 57 , NO . 3 , Part 1.
10. Gray , R . M . (2010) " Probability , Random Processes and Ergodic Properties "، *Information Systems Laboratory Electreical Engineering Department Stanford University*.
11. Huang , W.and Day ,R.H.(2000) " On The Statistical Properities of Ergodic Economic Systems", *Discrete Dynamics In Nature and Society* , VOL . 6 , PP . 181-189.
12. ZPreszier , j . (2003) " Ergodic Theory ".
13. Young , L . S . (1997) " Ergodic Theory of Chaotic Dynamical Systems " Department of Mathematics , *University of California* .
14. Zweimuller , R . (2009) " Survey Notes on Infinite Ergodic Theory "، *Ergodic Theory and Dynamic Systems* .20 , p.p.1519-1549 .