

## پیش بینی تأخیر در سیستم های کنترل مبتنی بر اینترنت با استفاده از روش های فرا ابتکاری و مقایسه آنها

روح اله اسدالله پور کریمی<sup>۱</sup>، رضا غفارپور<sup>۲\*</sup>، عباس خان احمدی<sup>۳</sup>

۱- کارشناسی ارشد دانشگاه جامع امام حسین (ع)، ۲- استادیار دانشگاه جامع امام حسین (ع)، ۳- کارشناسی ارشد دانشگاه جامع امام حسین (ع)  
(دریافت: ۹۷/۱۲/۱۹؛ پذیرش: ۹۸/۰۵/۰۲)

### چکیده

سیستم های کنترل مبتنی بر اینترنت روز به روز در حال رشد و گسترش هستند. تأخیر اطلاعات مبادله شده مبتنی بر شبکه یکی از مهم ترین موضوعاتی است که این سیستم ها با آن مواجه هستند. پیش بینی تأخیر می تواند کاربر را از تأخیر اطلاعات و همچنین اطلاعات از دست رفته آگاه کند. پیش بینی تأخیر به صورت دقیق مسئله ای پیچیده و دشوار است که دغدغه بسیاری از محققان بوده و الگوریتم های متعددی جهت حل این مسئله ارائه شده است. در این پژوهش مدلی از بهینه سازی ارائه گردیده که در آن از الگوریتم سیستم ایمنی مصنوعی و ازدحام ذرات به عنوان ابزار بهینه سازی و از نرم افزار مطلب به عنوان ابزار شبیه ساز جهت پیش بینی تأخیر در سیستم های کنترل استفاده شده است. مقایسه نتایج حاصل از الگوریتم سیستم ایمنی مصنوعی با الگوریتم ازدحام ذرات روی داده های یکسان، کارایی و برتری سیستم ایمنی مصنوعی را چه از نظر سرعت همگرایی و چه از نظر کیفیت پاسخ نشان می دهد.

### واژگان کلیدی

زمان تأخیر، پیش بینی تأخیر، کنترل مبتنی بر شبکه، سیستم ایمنی مصنوعی، بهینه سازی ازدحام ذرات، همگرایی

### ۱- مقدمه

تاکنون روش های متعددی از جمله مدل مارکوف<sup>۱</sup> و یا استفاده از مدل شبکه های عصبی<sup>۲</sup> برای پیش بینی تأخیر در این سیستم ها به کار رفته است. با این حال این روش ها در مدیریت توابع غیر خطی و ناپیوسته و دارای تعداد زیادی کمینه های محلی و شامل متغیرهای گسسته با محدودیت های جدی روبه رو می شوند که مسئله توزیع پیش بینی تأخیر نیز چنین خصوصیتی دارد. در سال های اخیر روش های فرا ابتکاری<sup>۳</sup> برای حل کلی مسائل بهینه سازی ارائه شده است. از جمله مشهورترین این روش ها می توان الگوریتم ژنتیک<sup>۴</sup> (GA)، ازدحام ذرات (PSO)<sup>۵</sup> و کلونی مورچه ها (ACO)<sup>۶</sup> را نام برد. الگوریتم سیستم ایمنی مصنوعی (AIS)<sup>۷</sup> یک الگوریتم مبتنی بر جمعیت است که در مقایسه با دیگر الگوریتم ها از سرعت بالایی برخوردار است و ضمن جست و جو نقاط بهینه سراسری، همگرایی را نیز تضمین می کند. در این الگوریتم هر پاسخ مسئله به صورت یک آنتی بادی که دارای یک مقدار و همچنین میزان تناسب است مدل می شود [۳]. استفاده

امروزه اینترنت نقش بسیار مهمی در زمینه های مختلف ایفا می کند. در طول سال های گذشته تحقیقات زیادی برای توسعه کاربردهایی که آن را برای نظارت و کنترل پردازش های صنعتی با استفاده از اینترنت امکان پذیر ساخته، انجام شده است [۱]. سیستم کنترل مبتنی بر اینترنت یک مفهوم جدید است که به طور قابل ملاحظه ای در سال های اخیر مورد توجه قرار گرفته است. این سیستم کنترل نوع جدید نظارت و تنظیم دستگاه ها را از راه دور مبتنی بر اینترنت امکان پذیر می سازد [۲]. سیستم کنترل مبتنی بر اینترنت به داده فرآیند این امکان را می دهد که به وسیله کنترل کننده بازبایی شود. با رواج اینترنت، کارخانه ها می توانند فواید زیادی از به کار گرفتن آن ببرند چراکه امکان کنترل را در هر زمانی و از هر نقطه ای از جهان فراهم می کند. حال در این سیستم ها یکی از معایب و مشکلات اساسی، تأخیر ایجاد شده هنگام ارسال داده در شبکه است چراکه این تأخیر به وجود آمده خود عواقب دیگری از جمله تنزل کارایی و کاهش ثبات و پایداری در سیستم را به دنبال دارد. به طور مثال در سیستم کنترل فشار مخازن در صنایع نفت و گاز در صورت تاخیر دچار مشکل خواهند شد [۳].

<sup>1</sup> Markov Chains

<sup>2</sup> Neural Network

<sup>3</sup> Meta Heuristic

<sup>4</sup> Genetic Algorithm

<sup>5</sup> Particle Swarm Optimization (PSO)

<sup>6</sup> Ant Colony

<sup>7</sup> Artificial Immune Network (AIN)

مناسب زمان‌های آتی را می‌سازد [۱۲]. به مسئله پایدارسازی سیستم NCS در حضور تأخیرهای تصادفی می‌پردازد و از طریق پیش‌بینی داده‌های تأخیر، تخمین و تعیین ضرایب کنترل‌گر تناسبی-انتگرالی را انجام می‌دهد. در [۱۳] مسئله تخمین مقاوم خطا برای یک کلاس از سیستم‌های کنترل شبکه (NCSs) دارای عدم قطعیت که تأخیر ناشی از شبکه‌های تصادفی را شامل می‌شود، توسط فرآیندهای مارکوف مورد بررسی قرار گرفته است. در [۱۴] پایداری عملی سیستم  $RED^4 / AIMD^3$  با بازخورد تأخیر و با هر دو جریان همگن و ناهمگن مطالعه می‌شود. جهت اعتبار سنجی روش پیشنهادی، نتایج عددی با Matlab و نتایج شبیه‌سازی با NS-2 با نتایج عملی تطبیق داده شده است.

در ادامه این مقاله، در بخش دوم ابتدا مسئله تعریف شده است و در ادامه آن به سؤالاتی که قبلاً برای این مسئله مجهول بوده است پرداخته است و در بخش سوم روش‌های حل مسئله که الگوریتم ازدحام ذرات و سیستم ایمنی مصنوعی بوده است را معرفی کرده و در ادامه آن بخش چهارم به تجزیه و تحلیل مسئله پرداخته و پس از آن به نتایج عددی حاصل از اجرای مسئله اشاره شده است و در بخش آخر نتیجه‌گیری حاصل از استفاده الگوریتم مورد نظر را بیان نموده است. ضمن معرفی الگوریتم سیستم ایمنی مصنوعی و مسئله پیش‌بینی تخمین تأخیر در سیستم‌های کنترل، حل مسئله مذکور روی داده‌هایی که با استفاده از پینگ روی سایت گوگل است، با استفاده از دو الگوریتم سیستم ایمنی مصنوعی و الگوریتم ازدحام ذرات صورت می‌گیرد. مقایسه نتایج دو الگوریتم نشان می‌دهد که سیستم ایمنی مصنوعی دارای پاسخ‌های بهینه است و در زمان کوتاه‌تری همگرا می‌شود.

## ۲- بیان مسئله

همان‌طور که پیش‌از این بیان شد استفاده از اینترنت برای کنترل سیستم‌ها در سال‌های اخیر گسترش زیادی پیدا کرده است حال در این سیستم‌ها یکی از معایب و مشکلات اساسی که وجود دارد تأخیر ایجاد شده هنگام ارسال داده در شبکه است. چراکه این تأخیر به وجود آمده خود عواقب دیگری از جمله تنزل کارایی و کاهش ثبات و پایداری در سیستم را به دنبال دارد که این تأخیرها شامل مسئله هدررفت بسته‌ها است. زمانی که برخورد پیام‌های دو گره به وجود آید دو بسته کنترلی از بین می‌رود. اگرچه بیشتر پروتکل‌های شبکه به مکانیسم ارسال دوباره مجهز شده‌اند اما آن‌ها فقط در بازه زمانی محدودی می‌توانند داده‌ها را نگه داشته و در صورت امکان دوباره منتقل کنند، یعنی پس‌از این زمان بسته‌ها از دست خواهد رفت. همچنین خطای ارسال در

از سیستم ایمنی مصنوعی در حل مسئله پیش‌بینی تخمین تأخیر در سیستم‌های کنترل با موفقیت انجام شده است.

از این الگوریتم در سیستم کنترل این‌طور استفاده می‌شود که مثلاً پنج تأخیر اول را دریافت می‌کند و تأخیر ششم را تخمین می‌زند و یا شش تأخیر اول را دریافت کند تأخیر هفتم را تخمین بزند به همین ترتیب الی آخر و تخمین بهینه آن به عنوان مبنای تخمین انتخاب می‌شود.

در چند دهه اخیر پژوهش‌های بسیاری در این زمینه انجام شده است. نیلسون و همکاران [۵-۴]، طراحی کنترل‌کننده شبکه‌ای را به کمک روش خطی گوسی مربعی با  $LQG^1$  انجام دادند. آن‌ها دوره تناوب نمونه‌برداری  $T_s$  را ثابت و مجموع تأخیرهای شبکه مسیرهای حس‌گر-کنترل‌کننده ( $\tau_{sc}$ ) و کنترل‌کننده-عملگر ( $\tau_{ca}$ ) را کمتر از  $T_s$  فرض کردند. سپس برای تأخیرهای تصادفی با تابع توزیع احتمال مشخص، تابع هزینه‌ای تعریف نموده و با کمینه‌سازی آن، کنترل‌کننده‌های بازخورد حالت و خروجی مناسبی طراحی کردند. پس‌از آن، شوسانگ و همکاران [۶]، مسئله نیلسون را برای حالتی که تأخیر کل حلقه کنترل از یک دوره تناوب نمونه‌برداری بیشتر است، گسترش دادند. ژانگ و همکاران [۷]، روشی بر پایه بازخورد حالت پیشنهاد کردند که در آن تأخیرهای  $\tau_{ca}$  و  $\tau_{sc}$ ، با دو زنجیره مارکوف با تابع توزیع احتمال دانسته مدل‌سازی شد.

هوانگ و همکاران [۸] با مدل‌سازی تأخیرهای  $\tau_{ca}$  و  $\tau_{sc}$  به صورت زنجیره مارکوف، از روش لیاپانوف رازومیخین برای طراحی کنترل‌کننده بازخورد حالت مقاوم، در چند حالت مختلف ترافیک شبکه، بهره بردند. بررسی پایداری این سیستم به یک سری نامعادله ماتریسی دوخطی منجر شد.

یی و همکاران [۹] از یک مدل شبکه عصبی با یادگیری بازگشتی برای پیش‌بینی تأخیر استفاده نمودند. مونس‌تراک و همکارش [۱۱-۱۰]، روشی برای کاهش پهنای باند به کاررفته توسط NCS<sup>۲</sup> پیشنهاد نمودند. این روش برای حالتی که شبکه میان حسگر و کنترل‌کننده قرار دارد، به کار برده شد، با این فرض که کنترل‌کننده و عملگر کنار هم هستند. در این روش داده‌های حسگر با فرکانس نمونه‌برداری پایین ارسال شده و بر اساس تعریف‌های پایداری، بیشینه‌ای برای دوره تناوب نمونه‌برداری سیستم تعیین گردید. این داده‌ها در هر مرحله محاسبه کنترلی، شرایط نخستین دستگاه تحت کنترل است و کنترل‌کننده با به کارگیری آن‌ها، حالت‌های نو و هم‌چنین دستورهای کنترلی

<sup>3</sup> Additive Increase and Multiplicative Decrease

<sup>4</sup> Random Early Detection

<sup>1</sup> Linear quadratic Gaussian

<sup>2</sup> Network System Control (NSC)

تصادفی است که توسط کندی<sup>۱</sup> و آبرهات<sup>۲</sup> ابداع شده است. این الگوریتم یک الگوریتم بهینه‌سازی فرا اکتشافی است که از حرکت گروهی پرندگان (و دیگر حیوانات که به شکل گروهی زندگی می‌کنند) الگو گرفته است. در این الگوریتم هر پاسخ مسئله به صورت یک ذره<sup>۳</sup> که دارای یک مقدار و همچنین میزان تناسب است مدل می‌شود [۳].

در الگوریتم بهینه‌سازی ذرات هر جواب مسئله موقعیت یک پرند در فضای جست‌وجو است که از این به بعد آن را ذره می‌نامیم. تمام ذره‌ها دارای یک مقدار شایستگی هستند که توسط تابع شایستگی که باید بهینه شود به دست می‌آید و ذره‌ای به جواب نزدیک‌تر است که شایستگی بیشتری دارد که مسیر حرکت آن به سوی ذره بهینه فعلی هدایت می‌کند. جمعیت این الگوریتم شامل تمامی ذره‌هاست که swarm نام‌گذاری شده است و نهادن اسم بر این الگوریتم از اینجا نشأت گرفته شده است [۱۵].

در این الگوریتم هر ذره در حال جست‌وجو برای انتقال بهینه است و هر ذره در حال جابجایی است و به دلیل این جابجایی دارای سرعت است و هر ذره در هر مرحله موقعیتی را که بهترین نتیجه را در آن داشته به خاطر می‌سپارد (بهترین موقعیت فردی هر ذره) [۱۴]. هر ذره در فضای چندبعدی (بسته به نیاز مسئله) با دو مشخصه  $V_{id}$  و  $X_{id}$  که به ترتیب معرف سرعت و موقعیت مکانی بعد  $d$  ام از  $i$  امین ذره هستند، شناخته می‌شوند [۱۶] و حرکت هر ذره به سه عامل بستگی دارد:

الف) موقعیت فعلی ذره

ب) بهترین موقعیتی که تاکنون داشته ( $P_{best}$ )

ج) بهترین موقعیتی که کل مجموعه ذرات تاکنون داشته‌اند

( $G_{best}$ ) [۱۳].

این الگوریتم ابتدا با جمعیتی تصادفی از ذرات آغاز می‌شود و با تکرارها و تولید موقعیت‌های جدید به‌روز شده و به جست‌وجوی نقطه بهینه می‌پردازد. اگر فرض شود اندازه جمعیت این الگوریتم برابر  $N$  باشد، موقعیت و سرعت جدید ذره  $i$  ام در تکرار  $k$  ام به ترتیب با رابطه (۱) و رابطه (۲) مشخص می‌شود [۱۶]:

$$X_{id}^{k+1} = X_{id}^k + V_{id}^{k+1} \quad (1)$$

$$V_{id}^{k+1} = V_{id}^k + C_1 \times rand_1 \times (P_{best_{id}} - X_{id}^k) + C_2 \times rand_2 \times (G_{best_{id}} - X_{id}^k) \quad (2)$$

بخش فیزیکی شبکه و یا پر شدن حافظه در اثر تراکم زیاد ممکن است سبب هدررفت بسته‌های داده شود؛ و تأخیر ایجادشده دیگر تأخیر القایی شبکه است که در فرآیند ارسال و دریافت بسته‌های داده به وجود می‌آید، در حقیقت این پارامتر بیان‌گر مدت‌زمان آماده‌ی ارسال شدن یک بسته در گره مبدأ تا به کارگیری آن در گره خروجی یا مقصد است.

برای حل این مسئله باید این تأخیرها را بتوان پیش‌بینی کرد یا به‌نوعی آن را تخمین زد که تا به حال روش‌های متعددی برای حل این مسائل انجام‌شده از جمله روش مارکوف و روش الگوریتم شبکه‌های عصبی که در این روش‌ها پیش‌بینی تأخیر به‌صورت دقیق مسئله‌ای پیچیده و دشوار است و روش‌های هوشمند از جمله راه‌حل‌های ارائه‌شده برای حل این مشکل است. مهم‌ترین سؤالاتی که در این پژوهش باید به آن‌ها پاسخ داده شود، عبارت‌اند از:

۱. آیا می‌توان روش جدیدی برای پیش‌بینی تأخیر ارائه داد که نسبت به روش‌هایی که تاکنون ارائه شده است، از کارایی بیشتری برخوردار باشد و به بیان دیگر بهینه نسبت به دیگر روش‌ها باشد؟
۲. چگونه می‌توان با ارائه روشی مناسب برای پیش‌بینی تأخیر ارسال داده در سیستم‌های کنترل مبتنی بر اینترنت اثرات این تأخیر را تا حد قابل قبولی کاهش داد؟

### ۳- روش تحقیق

روش استفاده شده در این تحقیق استفاده از اطلاعات قبلی تأخیر و پیش‌بینی تأخیر در آینده بر اساس الگوریتم‌های هوش مصنوعی است. با توجه به این که روش‌های هوش مصنوعی الگوریتم جمعیتی ذرات و ایمنی مصنوعی در قسمت‌های بعدی مقاله توضیح داده شده است راجع به روش کار توضیحات مختصری در این قسمت ارائه می‌گردد. اساس کار بر این است که تأخیرهای گذشته و نحوه تغییرات آنها بر مبنای یک سری زمانی از اعداد مدل شده و تأخیرهای بعدی تخمین زده شوند. یکی از مهمترین اهداف این تحقیق مقایسه بین این دو روش ذکر شده در توانایی تخمین بهتر تأخیر است. همچنین از نرم‌افزار برنامه‌نویسی متلب جهت شبیه‌سازی و پیاده‌سازی استفاده شده است.

### ۳-۱- الگوریتم بهینه‌سازی ذرات

الگوریتم بهینه‌سازی ذرات یک روش بهینه‌سازی جست‌وجوی

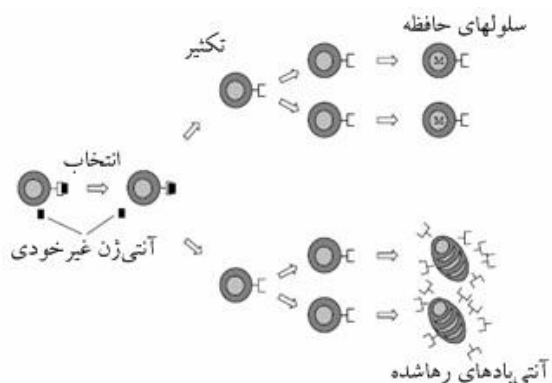
<sup>1</sup> Russell Eberhart

<sup>2</sup> James Kennedy

<sup>3</sup> Swarm

### ۳-۲- الگوریتم سیستم ایمنی مصنوعی

عمده ترین وظیفه سیستم ایمنی حفاظت در برابر حمله عوامل بیماری زا که پاتوژن<sup>۱</sup> نامیده می شوند، است [۱۷]. عوامل بیماری زا بیماری زا مانند ویروس ها و باکتری ها که روی غشاء خارجی خود بخش کوچکی به نام آنتی ژن<sup>۲</sup> دارند، پس از هجوم به بدن توسط سیستم ایمنی بدن شناسایی می شوند. آنتی ژن ها و آنتی بادی های<sup>۳</sup> نظیر آن ها تمایل زیادی برای ایجاد پیوند و ترکیب باهم دارند که این موضوع باعث تحریک دستگاه ایمنی در برابر عوامل غیر خودی و آنتی ژن ها می شوند [۱۸]. شناسایی و اتصال بین آنتی ژن و آنتی بادی از طریق شناسه هایی انجام می گیرد که روی آنتی ژن بوده و هر یک جایگاه ویژه ای بر روی گیرنده لنفوسیت های<sup>۴</sup> B دارند [۱۹]. بدین معنی که هرچه آنتی ژن شباهت کمتری با خودی ها داشته باشد بیشتر باعث برانگیختگی سیستم ایمنی می گردد. در صورتی که میل ترکیبی یک آنتی بادی با آنتی ژن زیاد باشد، سلول های جدیدی که تولید شده اند، به دو دسته تقسیم می شوند. یک دسته آنتی بادی را در خون رها می کنند که در نتیجه آنتی بادی ها به آنتی ژن عامل بیماری زا متصل می شوند و باعث می شوند نوع دیگری از گلبول های سفید به نام ماکروفاژها، عامل بیماری زا را بلعند و دسته دیگر به سلول های خاطره<sup>۵</sup> (حافظه) تبدیل می شوند [۲۰]. این فرآیند در شکل (۲) قابل مشاهده است.



شکل (۲): انتخاب کلونی از شناسایی تا ایجاد سلول های خاطره

کاسترو<sup>۶</sup> و تمیس<sup>۷</sup> الگوریتم های سیستم ایمنی مصنوعی را در دو دسته مبتنی بر جمعیت و مبتنی بر شبکه تقسیم بندی

$X_{id}^{k+1}$ : موقعیت جدید ذره  $i$  ام

$X_{id}^k$ : موقعیت قبلی ذره  $i$  ام

$V_{id}^{k+1}$ : سرعت جدید ذره  $i$  ام

$V_{id}^k$ : سرعت قبلی ذره  $i$  ام

$rand_1$  و  $rand_2$ : دو عدد تصادفی در بازه صفر و یک

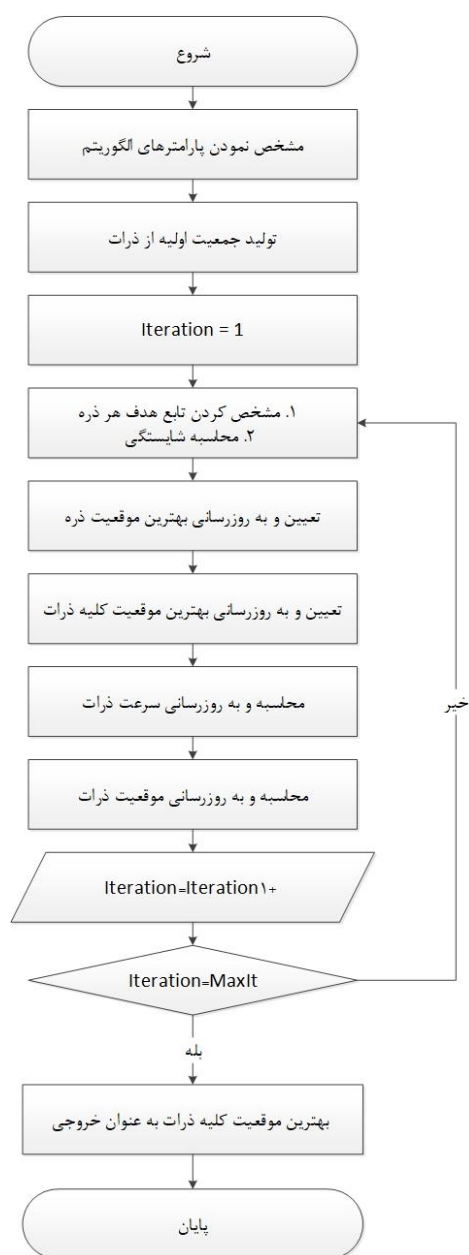
$C1$  و  $C2$ : ضرایب یادگیری

$Pbest$ : بهترین موقعیت ذره

$Gbest$ : بهترین موقعیت کلیه ذرات

نمودار گردش الگوریتم ازدحام ذرات به صورت شکل (۱)

است:



شکل (۱): نمودار گردش الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات

<sup>1</sup> Pathogen

<sup>2</sup> Antigen

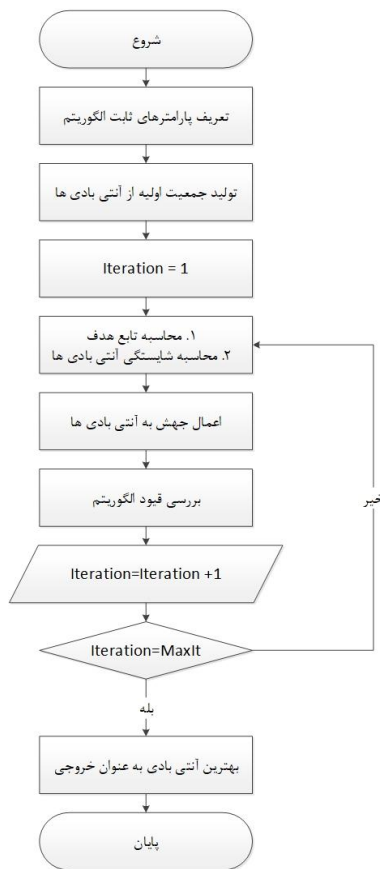
<sup>3</sup> Antibody

<sup>4</sup> B Lymphocyte

<sup>5</sup> Memory Cells

<sup>6</sup> L. N. De Castro

<sup>7</sup> J. L. Timmis



شکل (۳): نمودار گردش سیستم ایمنی مصنوعی

#### ۴- پیاده‌سازی مسئله

هدف مهم تخمین تأخیر در یک رشته تأخیر اندازه‌گیری شده مبتنی بر اینترنت است. در الگوریتم بهینه‌سازی ایمنی مصنوعی راه‌حل‌های مسئله به‌وسیله آنتی‌بادی‌ها در سراسر فضای مسئله ایجاد می‌گردد و تابع هدف مسئله نیز به‌عنوان آنتی‌ژن در نظر گرفته می‌شود. پاسخ بهینه مسئله، یک آنتی‌بادی (بردار عددی) از مجموعه آنتی‌بادی‌ها است که بیشترین شباهت به آنتی‌ژن (تابع هدف) را داشته باشد. در هر مرحله از الگوریتم ایمنی مصنوعی بدن، بهترین آنتی‌بادی از مجموعه آنتی‌بادی‌های تولیدشده در حافظه (سلول‌های خاطره) ذخیره می‌شود و در پایان الگوریتم بهترین آنتی‌بادی از آنتی‌بادی‌های حافظه به‌عنوان بردار خروجی انتخاب می‌گردد.

جهت پیاده‌سازی مسئله پیش‌بینی تأخیر در سیستم‌های کنترل مبتنی بر اینترنت، تعدادی آنتی‌بادی به‌عنوان جواب اولیه مسئله تولید می‌شود و در هر تکرار میزان شایستگی این آنتی‌بادی‌ها سنجیده می‌شود تا نهایتاً یک آنتی‌بادی به‌عنوان جواب مسئله به‌دست آید. در این مسئله فرض می‌کنیم قرار است با استفاده از هفت تأخیر قبلی تأخیر هشتم تخمین زده شود.

نموده‌اند که بر این اساس انتخاب منفی<sup>۱</sup> و انتخاب کلونی<sup>۲</sup> را در دسته اول و مدل شبکه ایمنی را در دو گروه شبکه پیوسته و گسسته، در دسته دوم قرار داده‌اند [۲۱]. انتخاب کلونی اساس پاسخ سیستم ایمنی بدن است. بر اساس انتخاب کلونی، از نظر ژنتیکی هر سلول B، مسئول ساخت یک نوع آنتی‌بادی است بدون این‌که قبلاً در معرض آنتی‌ژن مربوطه خود قرار گرفته باشد و فرآیندی که طی آن یک سلول B تولید می‌شود بر اساس همین انتخاب کلونی است [۱۸]. الگوریتم پیشنهادی در این پژوهش بر مبنای انتخاب کلونی است که در زیر به مهم‌ترین پارامترهای این الگوریتم اشاره خواهد شد.

در الگوریتم سیستم ایمنی مصنوعی برای اعمال عملگر جهش<sup>۳</sup> از رابطه‌های (۳) و (۴) استفاده می‌شود و همچنین اندازه کلونی تولیدشده برای n آنتی‌بادی بر اساس رابطه (۵) تعیین می‌شود [۲۲]:

$$C = C' + \alpha \times N(0,1) \quad (3)$$

در رابطه (۳) پارامتر  $C'$  مقدار آنتی‌بادی است که تحت تأثیر عملگر جهش قرار گرفته است.  $N(0,1)$  عدد تصادفی تابع گوسین با میانگین صفر و انحراف معیار ۱ و  $\alpha$  ضریب نرخ جهش است که رابطه آن به شکل زیر است:

$$\alpha = (1 / \beta) \times \exp(-f^*) \quad (4)$$

در رابطه فوق  $\beta$  پارامتری برای کنترل ضریب کاهش تابع نمایی است و  $f^*$  نیز مقدار شایستگی است که در بازه  $[0,1]$  نرمال شده است.

$$N_c = \sum_{i=1}^n \text{round} \left( \frac{B \times N}{i} \right) \quad (5)$$

در رابطه (۵)،  $N_c$  مجموع کل کلونی تولیدشده برای آنتی‌بادی‌ها،  $B$  ضریب تکثیر و  $N$  تعداد آنتی‌بادی‌ها است. همچنین  $\text{round}(\cdot)$  نیز عملگری است که آرگومان ورودی خود را به نزدیک‌ترین عدد گرد می‌کند. مقداری که این رابطه برای آنتی‌بادی برمی‌گرداند بیانگر اندازه کلونی آنتی‌بادی است [۲۱].

$$\text{Affinity} = 1 / F_T \quad (6)$$

که در رابطه (۶)،  $F_T$  مقدار شایستگی هر آنتی‌بادی است. نمودار گردش سیستم ایمنی مصنوعی را در شکل (۳) مشاهده می‌کنید:

<sup>1</sup> Negative Selection

<sup>2</sup> Clonal Selection

<sup>3</sup> Mutation

مراحل اجرای الگوریتم برای پیش‌بینی تأخیر به صورت زیر انجام می‌شود:

۱. ایجاد جمعیت اولیه از آنتی‌بادی‌ها در محدوده مجاز که هر آنتی‌بادی از ذرات نشان‌دهنده یک جواب مسئله است.
۲. مقدار شایستگی هر آنتی‌بادی در تابع هدف که معیاری برای تشخیص جواب‌های بهینه است از رابطه (۸) محاسبه می‌شود.
۳. همه آنتی‌بادی‌های انتخاب‌شده تکثیر می‌شوند. هرچه شباهت آنتی‌بادی بیشتر باشد، بیشتر تکثیر می‌شود.
۴. با احتمال‌های متفاوت روی آنتی‌بادی‌های موجود جهش اعمال می‌شود. هرچه شباهت و میل ترکیبی بیشتر باشد جهش کمتر اعمال می‌شود.
۵. تعدادی آنتی‌بادی با بیشترین میل ترکیب (جواب‌های بهتر مسئله) انتخاب می‌شوند.
۶. آنتی‌بادی‌های تصادفی تولیدشده جدید جایگزین آنتی‌بادی‌هایی که میل ترکیبی کمی دارند، می‌شود.
۷. در صورت برقرار نبودن شرط خاتمه، الگوریتم برای تکرار بعدی به مرحله ۲ بازمی‌گردد.

برای نمونه برداری از مقدار تأخیر شبکه از روش پینگ سایت گوگل استفاده شده است. با وارد کردن دستور ping -n www.google.com در پنجره cmd ویندوز به صورت خودکار به تعداد لازم (۱۰۰۰) تأخیر شبکه در فایل ذخیره می‌گردد.

در مرحله اول پس از استخراج تأخیرها، ۹۰۰ تأخیر اول را مانند رابطه (۹) در ماتریس A مرتب می‌کنیم. در مرحله دوم توسط ماتریس A و رابطه (۸)، بردار ضرایب بهینه را به دست می‌آوریم. در مرحله سوم، ۶۱ تأخیر دوم را طبق رابطه (۹) مرتب کرده و با ضرب کردن بردار ضرایب بهینه به دست‌آمده در هفت تأخیر اول، تأخیر هشتم و توسط هفت تأخیر دوم، تأخیر نهم و ... را تخمین می‌زنیم. پس از ۱۰۰ بار اجرای الگوریتم ایمنی مصنوعی، برای ۱۰ بردار از بهترین جواب‌ها نیز مرحله سوم را انجام می‌دهیم و نهایتاً تأخیرهای واقعی و تخمین زده‌شده را همانند شکل (۳) رسم می‌کنیم. مراحل ذکرشده در بالا را برای الگوریتم ازدحام ذرات نیز انجام می‌دهیم تا شکل (۴) به دست آید. الگوریتم‌های ذکرشده تلاش می‌کنند که بهترین پیش‌بینی را در سریع‌ترین زمان ممکن داشته باشند. به منظور مقایسه دو الگوریتم در شرایط یکسان برای هر دو الگوریتم، اندازه جمعیت هر دو الگوریتم بین ۰ تا ۷۰ و بیشینه تکرار آن ۱۰۰ و همچنین برای حذف اثر تصادفی بودن نتایج، برنامه هر الگوریتم ۱۰۰ بار اجرا شده است.

$$\begin{aligned} X(1)D_1 + X(2)D_2 + X(3)D_3 + X(4)D_4 \\ + X(5)D_5 + X(6)D_6 + X(7)D_7 = D_8 \\ X(1)D_2 + X(2)D_3 + X(3)D_4 + X(4)D_5 \\ + X(5)D_6 + X(6)D_7 + X(7)D_8 = D_9 \\ X(1)D_3 + X(2)D_4 + X(3)D_5 + X(4)D_6 \\ + X(5)D_7 + X(6)D_8 + X(7)D_9 = D_{10} \\ \vdots \\ X(1)D_{n-7} + X(2)D_{n-6} + X(3)D_{n-5} + X(4)D_{n-4} \\ + X(5)D_{n-3} + X(6)D_{n-2} + X(7)D_{n-1} = D_n \end{aligned} \quad (7)$$

یعنی هدف از حل این مسئله به دست آوردن یک بردار عددی با هفت درجه است که بتواند تابع هدف (fitfun) را کمینه کند.

$$fitfun = \sum_{n=1}^N \left( \begin{array}{c} X(1)D_{n-7} + X(2)D_{n-6} + X(3)D_{n-5} \\ + X(4)D_{n-4} + X(5)D_{n-3} + X(6)D_{n-2} \\ + X(7)D_{n-1} - D_n \end{array} \right)^2 \quad (8)$$

برای این منظور فرض کنید تأخیرهای مختلف در یک ماتریس به صورت زیر مرتب شده است.

$$A = \begin{bmatrix} D_1 & D_2 & D_3 & D_4 & D_5 & D_6 & D_7 & D_8 & \dots & D_{N-8} & D_{N-7} \\ D_2 & D_3 & D_4 & D_5 & D_6 & D_7 & D_8 & D_9 & \dots & D_{N-7} & D_{N-6} \\ D_3 & D_4 & D_5 & D_6 & D_7 & D_8 & D_9 & D_{10} & \dots & D_{N-6} & D_{N-5} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots \\ D_7 & D_8 & D_9 & D_{10} & D_{11} & D_{12} & D_{13} & D_{14} & \dots & D_{N-2} & D_{N-1} \\ D_8 & D_9 & D_{10} & D_{11} & D_{12} & D_{13} & D_{14} & D_{15} & \dots & D_{N-1} & D_N \end{bmatrix} \quad (9)$$

که در هر ستون از ماتریس A توسط هفت تأخیر اول، تأخیر هشتم تخمین زده می‌شود. و بهترین ضرایب (بردار آنتی‌بادی) به دست‌آمده از m بار اجرای الگوریتم نیز به صورت یک ماتریس به صورت زیر مرتب می‌کنیم.

$$B = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & X_{13} & X_{14} & X_{15} & X_{16} & X_{17} \\ X_{21} & X_{22} & X_{23} & X_{24} & X_{25} & X_{26} & X_{27} \\ X_{31} & X_{32} & X_{33} & X_{34} & X_{35} & X_{36} & X_{37} \\ X_{41} & X_{42} & X_{43} & X_{44} & X_{45} & X_{46} & X_{47} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ X_{m1} & X_{m2} & X_{m3} & X_{m4} & X_{m5} & X_{m6} & X_{m7} \end{bmatrix} \quad (10)$$

دلیل استفاده از این تابع هدف جهت تخمین تأخیر این است که در لحظه فقط داده‌های تأخیر قبلی در دسترس هستند. با توجه به اهمیت زیاد سرعت تخمین داده‌های تأخیر، از تابع خطی استفاده شده است.

## ۵- نتایج شبیه‌سازی

جدول (۱) بهترین نتیجه حاصل از ۱۰۰ بار اجرای هر دو الگوریتم را همراه با نتیجه حاصل از تنظیمات اولیه را نشان می‌دهد. طبق جدول (۱)، الگوریتم ایمنی مصنوعی نتایج نسبتاً بهتری را نسبت به الگوریتم ازدحام ذرات ارائه کرده است. برتری الگوریتم ایمنی مصنوعی در تعداد آنتی‌بادی‌های کمتر (متناظر با ذرات کمتر در الگوریتم ازدحام ذرات)، خصوصاً هفت ذره، کاملاً مشهود است.

جدول (۱): بهترین نتایج دو الگوریتم

تعداد ذرات	الگوریتم ایمنی مصنوعی	الگوریتم ازدحام ذرات
۵	۰/۰۰۱۹	۰/۰۰۱۹
۷	۰/۰۰۱۳	۰/۰۰۲۰
۱۰	۰/۰۰۵۸	۰/۰۰۲۰۹
۲۰	۰/۰۱۳۸	۰/۰۱۲۸
۳۵	۰/۰۳۰۱	۰/۰۳۱۹
۴۰	۰/۰۵۲۵	۰/۰۵۱۴

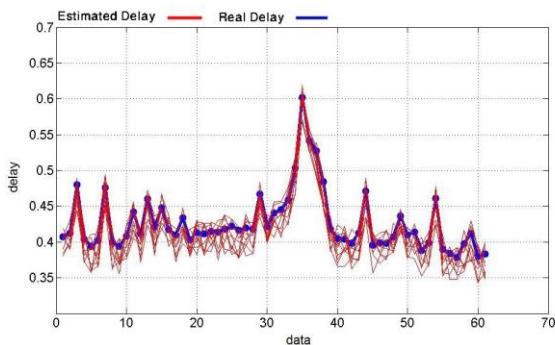
اختلاف زیاد بین بهترین و بدترین نتیجه الگوریتم ازدحام ذرات نشانگر عملکرد ضعیف‌تر این الگوریتم و حساس بودن جواب‌های آن به جمعیت اولیه است. درحالی‌که الگوریتم ازدحام ایمنی مصنوعی چنین مشکلی را حل کرده است و جواب‌های الگوریتم ایمنی مصنوعی در حوالی بهترین نتایج آن است که نشانه‌ی پایداری بیشتر و همگرایی بهتر سیستم ایمنی مصنوعی نسبت به الگوریتم ازدحام ذرات است. جدول (۲) بهترین، بدترین نتیجه و میانگین نتایج را در این ۱۰۰ بار اجرا نمایش می‌دهد.

جدول (۲): بهترین و بدترین نتیجه و میانگین نتایج ۱۰۰ بار اجرای هر برنامه

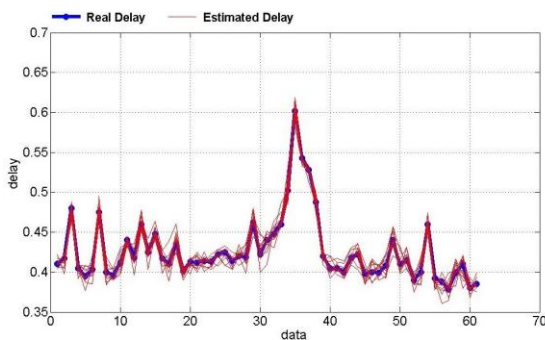
روش	بهترین	میانگین	بدترین
الگوریتم ایمنی مصنوعی	۰/۰۰۱۳	۰/۰۲۶۲	۰/۰۵۱۱
الگوریتم ازدحام ذرات	۰/۰۰۱۹	۰/۰۴۲۸	۰/۰۸۳۷

همان‌طور که در جدول (۲) مشاهده می‌گردد در هر سه حالت عملکرد الگوریتم ایمنی مصنوعی بهتر از الگوریتم ازدحام ذرات است که نشان از کارایی خوب الگوریتم ایمنی مصنوعی دارد. شکل (۴-۵) نتایج حاصل از بهترین عملکرد دو الگوریتم را نشان می‌دهد. در هر الگوریتم، تأخیرهای واقعی توسط دو الگوریتم به تعداد ۱۰ بار تخمین زده شده‌اند. نوسانات پاسخ الگوریتم ازدحام ذرات و بزرگ‌تر بودن مقادیر پاسخ آن نسبت به الگوریتم سیستم ایمنی مصنوعی به‌وضوح نمایان است. این در حالی است که سیستم ایمنی مصنوعی دارای نوسانات بسیار کمتر حول هر نقطه است که نشان‌دهنده عملکرد بهتر نسبت به

الگوریتم ازدحام ذرات است و نتایج جدول (۲) را تأیید می‌کند. سرعت بالاتر و عملکرد بهتر الگوریتم ایمنی مصنوعی نسبت به الگوریتم ازدحام ذرات به پارامترهای درونی الگوریتم شامل نرخ جهش، بررسی شایستگی و ... برمی‌گردد.



شکل (۴): نتایج به‌دست‌آمده توسط الگوریتم ازدحام ذرات



شکل (۵): نتایج به‌دست‌آمده توسط الگوریتم سیستم ایمنی مصنوعی

## ۴- نتیجه‌گیری

سیستم‌های کنترل مبتنی بر اینترنت اخیراً در حوزه‌های وسیع و متنوعی مانند مهندسی کنترل و مخابرات و دفاع سایبری مورد توجه واقع شده است. یکی از مهم‌ترین چالش‌های این زمینه حضور تأخیرهای تصادفی در ارسال و دریافت داده‌ها هست. در این مقاله یک روش کارا و هوشمند برای مقابله با تأخیر در سیستم‌های کنترل مبتنی بر اینترنت ارائه شد که توسط این روش می‌توان به خوبی و با دقت بالا تأخیر سیستم‌های کنترل مبتنی بر اینترنت را پیش‌بینی کرد. روش پیشنهادی بر اساس معیارهایی که در بالا توضیح داده شد دارای مزایای متعددی نسبت به روش‌های پیشین است. به‌منظور بررسی کارایی و عملکرد الگوریتم سیستم ایمنی مصنوعی، از الگوریتم ازدحام ذرات نیز برای حل مسئله مذکور استفاده گردید. نتایج حاصل نشان می‌دهد که الگوریتم سیستم ایمنی مصنوعی با سرعت و دقت بیشتری به جواب بهینه همگرا می‌شود که عملکرد بهتر سیستم ایمنی مصنوعی را تأیید می‌کند. به همین دلیل سیستم ایمنی

- مصنوعی می تواند جهت جلوگیری از حملات سایبری به سیستم مؤثر واقع شود و به عنوان یک روش قدرتمند در دفاع سایبری به کار آید.
- ۵- مراجع**
- [1] P. Neumann, "Communication in industrial automation-what is going on," *Control Engineering Practice*, vol. 15, pp. 1332-1347, 2007.
- [2] J. Baillieul and P. J. Antsaklis, "Control and communication challenges in networked realtime systems," *Proceedings of the IEEE, Special Issue on Technology of Networked Control Systems*, vol. 95, pp. 256-285, January 2007.
- [3] M. Sharifzade and N. Amjad, "radioactive power distribution use of particle swarm optimization" *journal of modeling in engineering*, seventh year, no. 18, 2009.
- [4] B.B.W.B. Nilsson, J. "Stochastic analysis and control of real-time systems with random time delays," *Automatica*, vol. 34, no. 1, pp. 57-64. cited By (since 1996) 393.
- [5] Nilsson, J. "Real-Time Control Systems with Delays." PhD thesis, Department of Automatic Control, Lund Institute of Technology. 1998.
- [6] Q.Z. Shousong, H. "Stochastic optimal control and analysis of stability of networked control systems with long delay," *Automatica*, vol. 39, no. 11, pp. 1877-1884. cited By (since 1996) 249, 2003.
- [7] Zhang, L. Shi, Y. Chen, T. and Huang, B. "A new method for stabilization of networked control systems with random delays," *IEEE Transactions on Automatic Control*, vol. 50, no. 8, pp. 1177-1181, 2005.
- [8] N.S.K. Huang, D. "State feedback control of uncertain networked control systems with random time delays," *IEEE Transactions on Automatic Control*, vol. 53, no. 3, pp. 829-834, 2008.
- [9] Yi, J. Wang, Q. Zhao, D. and Wen, J.T. "Bp neural network prediction-based variable-period sampling approach for networked control systems," *Applied Mathematics and Computation*, vol. 185, no. 2, pp. 976 - 988. Special Issue on Intelligent Computing Theory and Methodology, 2007.
- [10] Montestruque, L.A. and Antsaklis, P.J. "On the model-based control of networked systems," *Automatica*, vol. 39, no. 10, pp. 1837 - 1843, 2003.
- [11] A.P. Montestruque, L.A. (2004) "Stability of model-based networked control systems with timevarying transmission times," *IEEE Transactions on Automatic Control*, vol. 49, no. 9, pp. 1562-1572. cited By (since 1996) 182.
- [12] M. Besharati and M. Heshmati, "Smart stabilization of network control systems with neuro-fuzzy approach for online prediction of random time delay," *International conference new perspective in electrical & computer engineering*, 2014.
- [13] D. Huang and S. K. Nguang, "Robust fault estimator design for uncertain networked control systems with random time delays: An ILMI approach," *Information Sciences*, vol. 180, no. 3, pp. 465-480, 2010/02/01/ 2010.
- [14] L. Wang, L. Cai, X. Liu, and X. Shen, "Bounds estimation and practical stability of AIMD/RED systems with time delays," *Computer Networks*, vol. 54, no. 7, pp. 1069-1082, 2010/05/17/ 2010.
- [15] A. Zamani, "optimum design of the control with the use of particle swarm optimization" *Ispahan university of technology, department of electrical computer*, 2011.
- [16] M. Ebtehaj, M. Fayazi, H. Ghadimi, "Isolation of power networks based on the optimal locating of PMU by the method of PSO algorithm", *National Electronics Mechatronics and Smart Systems Conference*, 2014 (in Persian).
- [17] V. Mousavi, S. Gheydari, "A new immune system cloning optimization algorithm and its implementation on the TSP issue", *Fourteenth Annual Conference of Iranian Computer Society*, 2009 (in Persian).
- [18] D. Maleki, H. Y. Moghaddam, M. A. Totunchi, "Using the fuzzy artificial immune system for security of computer networks", *Fifth Global Conference on Intelligent Systems*, 2004 (in Persian).
- [19] M. Ebtehaj, M. Fayazi, H. Ghadimi, "Use of immunization algorithm for optimal positioning of keys in distribution networks and their application in part of distribution network of Tabriz", *SIRD Regional Conference*, 2011 (in Persian).
- [20] A. Samiei, "Data meaningful reductions using artificial immune systems", *Computer and Robotics Magazine*, pp. 39-49, 2009 (in Persian).
- [21] A. Rezvanian, M. Meibodi, "Improve Artificial Immune System Using Fuzzy Logic", *The 10th Iranian Fuzzy Systems Conference*, 2009 (in Persian).



---

## **Delay Forecast in the Control System Based on Internet Using the Meta-Heuristic Methods and Comparing Methods with each Others**

**R. Asadzadeh Pourkarimi, R. Ghaffarpour<sup>\*</sup>, A.Khan Ahmadi**

Imam Hossein Comprehensive University

### **Abstract**

Control systems based on internet are developing day by day. These systems are faced with many practical difficulties and challenges. Exchanged Information delay through the network is one of the most important issues of these systems and delay forecasting can make the user aware about the delays and missed data. As a result, the security system can prevent the cyber attacks. Predicting delays accurately, is a complex and difficult problem which has been studied by researchers, and several algorithms have been proposed to solve this problem. Artificial Immune System (AIS) and Particle Swarm Optimization (PSO) are two meta-heuristic methods based on stochastic search that has been developed to solve optimization problems. In this paper, the optimization model is presented. The AIS and PSO has been used as tools for optimization and the “Matlab” software has been utilized as a simulating tool to predicting delays. In systems Comparing the results of AIS and PSO algorithm on the same data shows the efficiency and superiority of the AIS, both in terms of convergence speed and quality of response.

**Keywords:** Time Delay, Delay Forecast, Control via the Internet, Artificial Immune System, Particle Swarm Optimization, Convergence