

صاحب امتیاز: انجمن فناوری اطلاعات و ارتباطات ایران

مدیر مسؤول: دکتر مسعود شفیعی

سرمدیر: دکتر کریم فائز

شمارگان: ۱۰۰۰

ویراستار فنی: نادر کثیری

حروفچینی و صفحه آرایی: طاهره مددی

طراحی جلد: نسترن صفوی

هیئت تحریریه:

فرخ حجت کاشانی (استاد)، دانشگاه علم و صنعت ایران

سید احمد رضا شرافت (استاد)، دانشگاه تربیت مدرس

مسعود شفیعی (استاد)، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

محمد رضا عارف (استاد)، دانشگاه صنعتی شریف

کریم فائز (استاد)، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

رضا فرجی دانا (استاد)، دانشگاه تهران

فرخ مروستی (استاد)، دانشگاه صنعتی شریف

سید احمد معتمدی (استاد)، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

روزبه معینی (استاد)، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

کمال محامدپور (استاد)، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی

کاظم اکبری (دانشیار)، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

کامبیز بدیع (دانشیار)، مرکز تحقیقات مخابرات ایران

علی اکبر جلالی (دانشیار)، دانشگاه علم و صنعت ایران

حمیدرضا ربیعی (دانشیار)، دانشگاه صنعتی شریف

اعضای هیئت مدیره:

• اعضای اصلی:

دکتر مسعود شفیعی (رئیس انجمن)

دانشگاه صنعتی امیرکبیر

مهندس عبدالمجید ریاضی (نایب رئیس)

شرکت ایز ایران

مهندس علی نادری پور (خزانه دار)

شرکت تکفام

دکتر کمال محامدپور

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دکتر محمود کمره‌ای

دانشگاه تهران

دکتر کاظم اکبری

دانشگاه صنعتی امیرکبیر

دکتر سعادت پورمظفری

دانشگاه صنعتی امیرکبیر

دکتر رمضانعلی صادق زاده

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دکتر علی اصغر عمیدیان

دانشگاه پست و مخابرات

دکتر قاسم رمضانپور نرگسی

سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران

مهندس وحید یزدانیان

وزارت ارتباطات و فناوری اطلاعات

• اعضای علی‌البدل:

دکتر احمد خادم‌زاده (مرکز تحقیقات مخابرات ایران)

امیر شهاب شاه‌میری (دانشگاه آزاد اسلامی)

براساس نامه شماره ۳/۴۸۱۷ مورخ ۱۳۸۶/۶/۱۱ دفتر امور پژوهشی وزارت علوم، تحقیقات و فناوری و بیانیه رأی کمیسیون بررسی نشریات علمی کشور در تاریخ ۱۳۸۶/۴/۲۳، درجه علمی - پژوهشی به این فصلنامه اعطا شده است.

فهرست

فصلنامه علمی - پژوهشی فناوری اطلاعات و ارتباطات ایران

سال سوم، شماره‌های ۵ و ۶، پاییز و زمستان ۱۳۸۹

سرمقاله

- ۱ ▪ بهبود دقت مدل GMM در قالب سیستم GMM-VSM در کاربرد تشخیص زبان گفتاری
فهیمة قاسمیان، محمدمهدی همایون‌پور
 - ۹ ▪ طراحی سیستم خبره فازی برای انتخاب پیمانکار مناسب در برونسپاری فناوری اطلاعات
شعبان الهی، نادیا کلانتری، علیرضا حسن‌زاده، علی شایان
 - ۲۷ ▪ یک الگوریتم سیل‌آسای مبتنی بر احتمال تطابقی برای شبکه‌های موردی سیار
فاطمه نورآذر، مسعود صبائی
 - ۳۷ ▪ اصلاح نقص ابیراهی لنز دوربین با بهره‌گیری از مومنت‌های زرنیک
کامبیز رهبر، کریم فائز
 - ۴۵ ▪ آموزش شبکه عصبی MLP در فشرده‌سازی تصاویر با استفاده از روش GSA
مریم ده‌باشیان، سیدحمید ظهیری
 - ۵۵ ▪ نشانه‌گذاری نیمه‌کور تصاویر با استفاده از SVD در حوزه تبدیل موجک گسسته
مرتضی مخلوقی، حبیب‌اله دانیالی، فردین اخلاقیان
 - ۶۷ ▪ کنترل مود لغزشی برای ازدحام در شبکه‌های TCP/IP
روح‌اله برزمینی، مسعود شفیعی
 - ۷۵ راهنمای نگارش
 - ۷۷ معرفی انجمن فناوری اطلاعات و ارتباطات
 - ۷۹ فرم اشتراک نشریه
 - ۸۰ فرم‌های عضویت حقوقی و حقیقی انجمن
 - ۸۲ اعضای حقوقی و حقیقی جدید انجمن
 - I چکیده انگلیسی مقالات
-

سر مقاله

سر مقاله سر مقاله سر مقاله سر مقاله سر مقاله سر مقاله سر مقاله سر مقاله سر مقاله سر مقاله سر مقاله سر مقاله سر مقاله سر مقاله سر مقاله سر مقاله
سر مقاله سر مقاله سر مقاله سر مقاله سر مقاله سر مقاله سر مقاله سر مقاله سر مقاله سر مقاله سر مقاله سر مقاله سر مقاله سر مقاله سر مقاله
سر مقاله سر مقاله سر مقاله سر مقاله سر مقاله سر مقاله سر مقاله سر مقاله سر مقاله سر مقاله سر مقاله سر مقاله سر مقاله سر مقاله سر مقاله
سر مقاله سر مقاله سر مقاله سر مقاله سر مقاله سر مقاله سر مقاله سر مقاله سر مقاله سر مقاله سر مقاله سر مقاله سر مقاله سر مقاله سر مقاله
سر مقاله سر مقاله سر مقاله سر مقاله سر مقاله سر مقاله سر مقاله سر مقاله سر مقاله سر مقاله سر مقاله سر مقاله سر مقاله سر مقاله سر مقاله
سر مقاله سر مقاله سر مقاله سر مقاله سر مقاله سر مقاله سر مقاله سر مقاله سر مقاله سر مقاله سر مقاله سر مقاله سر مقاله سر مقاله سر مقاله

با آرزوی توفیق الهی

مسعود شفیعی

مدیر مسئول فصلنامه و رئیس انجمن ICT

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۰۱/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۰۵/۲۵

بهبود دقت مدل GMM در قالب سیستم GMM-VSM در کاربرد تشخیص زبان گفتاری

فهیمة قاسمیان^{*}

محمد مهدی همایون پور^{**}

* کارشناس ارشد، دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

** دانشیار، دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

چکیده

مدل GMM یکی از پرکاربردترین و موفق‌ترین مدل‌ها در زمینه تشخیص خودکار زبان است. در این مقاله مدلی جدید با نام Adapted Weight-GMM (AW-GMM) ارائه شده است. این مدل مشابه GMM است با این تفاوت که وزن مولفه‌های آن در قالب سیستم GMM-VSM بر اساس قدرت مولفه‌ها در تمایز یک زبان از سایر زبان‌ها تعیین می‌گردد. همچنین با توجه به پیچیدگی محاسباتی که در سیستم GMM-VSM در حالتی که توالی ۲ تایی مولفه‌ها در نظر گرفته شود، وجود دارد، تکنیکی برای ساخت توالی ۲ تایی مولفه‌ها ارائه شده است که می‌توان از آن برای ساخت توالی‌های از مرتبه بالاتر نیز استفاده نمود. ارزیابی‌های صورت گرفته بر روی ۴ زبان انگلیسی، فارسی، فرانسوی و آلمانی از دادگان OGI کارایی تکنیک‌های ارائه شده را نشان می‌دهد.

کلید واژگان: مدل مخلوط گاوسی (GMM)، بردار BOS، ماشین بردار پشتیبان (SVM)، تشخیص زبان.

۱- مقدمه

به دلیل نیاز روزافزون به برقراری ارتباط انسان و رایانه و گرایش به سمت برقراری ارتباط‌های طبیعی‌تر با ماشین، تحقیقات زیادی در زمینه طراحی و پیاده‌سازی سیستم‌هایی با قابلیت پردازش گفتار طبیعی صورت گرفته است. تشخیص خودکار زبان (LID^۱) جزء این دسته از سیستم‌هاست که با

استفاده از آن، رایانه زبان مربوط به گفتار دیجیتال شده را تشخیص می‌دهد. از جمله کاربردهای سیستم‌های تشخیص زبان می‌توان به هدایت تماس‌های ضروری، سرویس‌های چند زبانه، سرویس‌های نظامی، کاربردهای امنیتی، اندیس‌گذاری فایل‌های صوتی و غیره اشاره کرد [1].

محققان با الهام از معیارهایی که شنوندگان انسانی جهت تمایز میان زبان‌ها مورد استفاده قرار می‌دهند، توانسته‌اند به موفقیت‌های قابل توجهی در زمینه تشخیص خودکار زبان گفتاری دست پیدا کنند. در سال ۱۹۹۶ آقای زیسمن^۲، مقاله‌ای را منتشر کرد که در آن ۴ روش پایه برای تشخیص زبان را به طور کامل شرح داد و از نظر کارایی با یکدیگر مقایسه نمود. این روش‌ها شامل روش‌های PRLM^۳، PPRLM^۴، PPR و GMM بود [2]. کارهای بعدی که پس از انتشار این مقاله صورت گرفت، معمولاً کارایی خود را با سیستم‌های تشخیص زبانی که در این مقاله ارائه شده، مقایسه نمودند و سعی کردند که این روش‌ها را بهبود بخشند، همچنین مسابقاتی که جهت ارزیابی سیستم‌های تشخیص زبان از سال ۱۹۹۶ تا کنون هر ۲ سال یکبار توسط NIST تحت عنوان NIST-LRE برگزار می‌شود، بستری برای بهبود سیستم‌های تشخیص زبان بود. طبق نتایج ارائه شده توسط این موسسه، کارایی سیستم‌های تشخیص زبان در هر دوره بهبود پیدا می‌کند.

^۲Zissman

^۳ Phone Recognizer Followed by Language Model

^۴Parallel Phone Recognizers Followed by Language Model

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات (f_ghasemian@yahoo.com)

^۱ Language Identification

و این مدل در کاربرد تشخیص زبان خوب عمل کرده است. بنابراین افزایش دقت مدل GMM می‌تواند در افزایش دقت سیستم‌های تشخیص زبانی که از این مدل استفاده می‌کنند، تاثیر بسزایی داشته باشد. هر مدل GMM با استفاده از روش بیشینه-سازی امید ریاضی (EM^2)، به طور مستقل از سایر داده‌ها و با استفاده از داده‌های آموزشی مربوط به آن زبان، آموزش داده می‌شود و وزن هر مولفه در مدل، متناسب با فرکانس تکرار آن در مجموعه داده‌های آموزشی تعیین می‌شود. در این مقاله مدلی جدید با نام AW-GMM ارائه شده است که مشابه GMM با استفاده از الگوریتم EM آموزش داده می‌شود اما پس از آموزش در قالب سیستم GMM-VSM عمل تطبیق وزن صورت می‌گیرد. در فاز تطبیق وزن، وزن هر مولفه از GMM بر اساس قدرت آن در تمایز زبان مربوطه از سایر زبان‌ها تعیین می‌شود.

در این مقاله همچنین تکنیکی جهت کاهش پیچیدگی محاسباتی سیستم GMM-VSM ارائه شده است که علاوه بر کاهش پیچیدگی سبب افزایش دقت این سیستم شده است. در ادامه در بخش ۲، سیستم‌های تشخیص زبان گفتاری بر مبنای GMM و سیستم GMM-VSM شرح داده شده است. در بخش ۳ به بیان تکنیک‌های ارائه شده جهت بهبود دقت GMM و سیستم GMM-VSM پرداخته شده است. نتایج آزمایش‌ها و ارزیابی‌های صورت گرفته نیز در بخش ۴ بیان گردیده و در خاتمه در بخش ۵ به جمع‌بندی و نتیجه‌گیری پرداخته شده است.

۲- معرفی سیستم‌های تشخیص زبان گفتاری

در تشخیص خودکار زبان‌ها، یافتن مشخصه‌های موثر برای جداسازی زبان‌ها از اهمیت بالایی برخوردار است [5]. انسان و ماشین می‌توانند معیارهای مختلفی از جمله نوع آواها، فرکانس تکرار آن‌ها، توالی‌های آوایی، اطلاعات نوایی و غیره را جهت تشخیص زبان مورد استفاده قرار دهند. در سیستم‌هایی که از اطلاعات آوایی جهت تشخیص زبان استفاده می‌شود، برای استخراج دنباله آوایی متناظر با یک قطعه گفتاری از یک سری ویژگی‌های اکوستیکی استفاده می‌شود. این ویژگی‌ها معمولاً ویژگی MFCC³ یا SDC⁴ در نظر گرفته می‌شود.

بهبود سیستم‌های تشخیص زبان، از جنبه‌های مختلفی صورت گرفته است. این بهبودها را می‌توان از نقطه‌نظر ویژگی-های اکوستیکی و نوایی مورد استفاده برای تشخیص زبان، شناساگرهای آوایی و مدل‌های زبانی مورد استفاده، نحوه ترکیب نتایج حاصل از مدل‌های زبانی، استفاده از طبقه‌بندی-کننده‌های تمایزی و ترکیب سیستم‌های تشخیص زبان مختلف مورد بررسی قرار داد. اکثر سیستم‌های تشخیص زبان موفق نیازی به دانش سطح بالا برای تمایز زبان‌ها ندارند، بلکه از اطلاعات اکوستیکی، نوایی و واج‌آرایی (قوانین حاکم بر توالی مجاز واج‌ها) برای تمایز میان زبان‌ها استفاده می‌کنند. گرچه واج‌ها به طور قابل ملاحظه‌ای میان زبان‌ها مشترکند اما فرکانس تکرار این واج‌ها و توالی چندتایی آن‌ها می‌تواند به طور قابل ملاحظه‌ای از یک زبان به زبان دیگر متفاوت باشد [1].

پس از ارائه سیستم تشخیص زبان [2] PPRLM و موفقیت این سیستم در تشخیص زبان، تحقیقات بیشتری در زمینه اطلاعات واج‌آرایی صورت گرفت. آزمایشات صورت گرفته بر روی شنوندگان انسانی نشان داده است که شنوندگان چندزبانه قدرت بالاتری در تشخیص زبان‌ها نسبت به شنوندگان تک‌زبانه دارند. PPR که در قسمت ابتدایی این سیستم قرار دارد، از مجموعه‌ی موازی از شناساگرهای آوایی تشکیل شده است و روشی موثر در تبدیل قطعات گفتار ورودی به توالی‌های آوایی است.

سیستم‌های تشخیص زبان نظیر PPRLM و PPR- [3] VSM که جز موفق‌ترین سیستم‌های تشخیص زبان هستند، برای آموزش نیاز به داده‌هایی دارند که در سطح واج برچسب-گذاری شده باشند. برچسب‌گذاری عملی وقت‌گیر است و تعمیم این سیستم‌ها به تعداد زبان‌های بالاتر را دشوار می‌سازد. برای حل این مشکل روشی ارائه شده است که در آن از مجموعه‌ای از شناساگرهای GMM جهت تشخیص زبان استفاده می‌شود. در این روش نیازی به داده‌های برچسب‌خورده وجود ندارد اما دقت پایین‌تری در تبدیل قطعه گفتاری به توالی آوایی دارد [4]. به این ترتیب می‌توان از مدل GMM به عنوان قسمت ابتدایی سیستم‌های PPRLM و PPR-VSM استفاده نمود که به ترتیب سیستم‌های GMM-LM و GMM-VSM نامگذاری شده‌اند.

با بررسی سیستم‌های تشخیص زبان ارائه شده، مشاهده می‌شود که در اکثر این سیستم‌ها از مدل GMM استفاده می‌شود

²Expectation Maximization

³Mel Frequency Cepstral Coefficient

⁴Shifted Delta Cepstral

¹ Parallel Phone Recognizer-Vector Space Modeling

۲-۱- استخراج ویژگی

فاز استخراج ویژگی در همه سیستم‌های تشخیص زبان مشترک است. برای استخراج ویژگی ابتدا سیگنال ورودی به فریم‌های با طول ثابت تقسیم شده و سپس از هر فریم ویژگی اکوستیکی (معمولاً ضرایب MFCC) یا پرورودی مورد نظر استخراج می‌شود. به این ترتیب قطعات گفتاری به توالی از بردارهای ویژگی با طول ثابت تبدیل می‌شوند. همچنین از روش CMS^۱ برای حذف اثر کانال نیز استفاده می‌شود.

$$L(\{x_t\}|\lambda_t) = \sum_{t=1}^T [\log p(x_t|\lambda_t)] \quad (۳)$$

که در آن λ_t مدل GMM زبان l ، توالی بردارهای ویژگی قطعه گفتاری ورودی و T طول زمانی آن است. در نهایت زبان مربوط به قطعه گفتاری با استفاده از تساوی ۴ تعیین می‌شود [2].

$$\hat{l} = \operatorname{argmax}_l L(\{x_t\}|\lambda_l) \quad (۴)$$

۲-۳- مدل GMM به عنوان شناساگر آوا

یکی از مشکلاتی که در سیستم‌های PPR- و PPRLM وجود دارد، نیاز به داده‌های آموزشی است که در سطح آوا برچسب خورده باشند. برای رفع این مشکل از مدل‌های GMM به عنوان شناساگرهای آوایی استفاده می‌شود [4]. این شناساگرها دقت پایین‌تری نسبت به شناساگرهایی که در PPRLM و PPR-VSM استفاده می‌شوند دارند، اما مزیت آن‌ها این است که به راحتی می‌توان تعداد شناساگرها را افزایش داد، همچنین از نظر محاسباتی سریع‌تر هستند.

روش کار به این صورت است که به تعداد زبان‌های مورد نظر مدل GMM آموزش داده می‌شود. هر مدل GMM فضای آوایی زبان مربوطه را مدل می‌کند و در صورتی که هر مولفه یا کرنل گاوسی از GMM، به عنوان مدل‌کننده یک یا بخشی از یک آوا در نظر گرفته شود، شماره مولفه‌ای که به ازای بردار ویژگی ورودی، بالاترین میزان احتمال را از میان مولفه‌های دیگر GMM برگرداند، می‌تواند به عنوان آوای معادل بردار ویژگی ورودی در نظر گرفته شود. به این ترتیب به ازای هر قطعه گفتار ورودی، دنباله‌ای از شماره‌ها (از ۱ تا تعداد مولفه‌های GMM) به عنوان خروجی هر شناساگر برگردانده می‌شود. برای مثال در صورتی که یک قطعه گفتاری که پس از استخراج ویژگی از ۱۰ بردار ویژگی متوالی $(F_1, F_2, \dots, F_{10})$ تشکیل شده باشد را به یک شناساگر GMM با ۲۰ مولفه بدهیم، دنباله‌ای آوایی با طول ۱۰ را به عنوان خروجی برمی‌گرداند، به عنوان نمونه ۱، ۱۲، ۵، ۶، ۴، ۱، ۱۳، ۱۹، ۱۹، ۱۱ می‌تواند این دنباله‌ی خروجی باشد.

۲-۴- سیستم تشخیص زبان GMM-VSM

سیستم GMM-VSM از F شناساگر آوایی تشکیل شده است که هر کدام مجموعه‌ی آوای V_f را در بردارد. هر شناساگر به ازای قطعه گفتار ورودی، توالی از آواها را به عنوان خروجی

۲-۲- سیستم تشخیص زبان بر مبنای مدل مخلوط گاوسی (GMM^۲)

این روش یک روش ساده و آماری برای تشخیص زبان است و سعی بر جداسازی زبان‌ها بر مبنای تفاوت‌هایی که میان آواها و فرکانس تکرار آن‌هاست، دارد. GMM فرض می‌کند که هر بردار ویژگی V_t که مربوط به فریم زمانی t است، توسط یک تابع چگالی احتمالاتی تولید می‌شود. به عبارت دیگر بردارهای ویژگی (ویژگی MFCC) استخراج شده از فریم‌ها، دارای یک تابع توزیع احتمالاتی است که این تابع توزیع را می‌توان به صورت مجموع توابع توزیع نرمال چند متغیره^۳ به صورت تساوی ۱ نوشت [2].

$$p(V_t|\lambda_t) = \sum_{k=1}^K p_k b_k(V_t) \quad (۱)$$

که در آن λ مجموعه پارامترهای مدل است.

$$\lambda = \{p_k, \mu_k, \Sigma_k\} \quad (۲)$$

k نشان‌دهنده شماره مخلوط، p_k وزن مخلوط با محدودیت $\sum_{k=1}^K p_k = 1$ و b_k تابع توزیع گاوسی است که با استفاده از دو پارامتر μ_k و Σ_k مشخص می‌شود [2].

به ازای هر زبان هدف یک مدل GMM با استفاده از الگوریتم EM و داده‌های آموزشی مربوط به آن زبان، آموزش داده می‌شود. در طول فاز تشخیص نیز ابتدا بردارهای ویژگی از سیگنال ورودی استخراج شده و سپس لگاریتم احتمال تعلق قطعه گفتاری به تک تک مدل‌های زبانی با استفاده از رابطه‌ی ۳ محاسبه می‌شود.

^۱ Cepstral Mean Subtraction

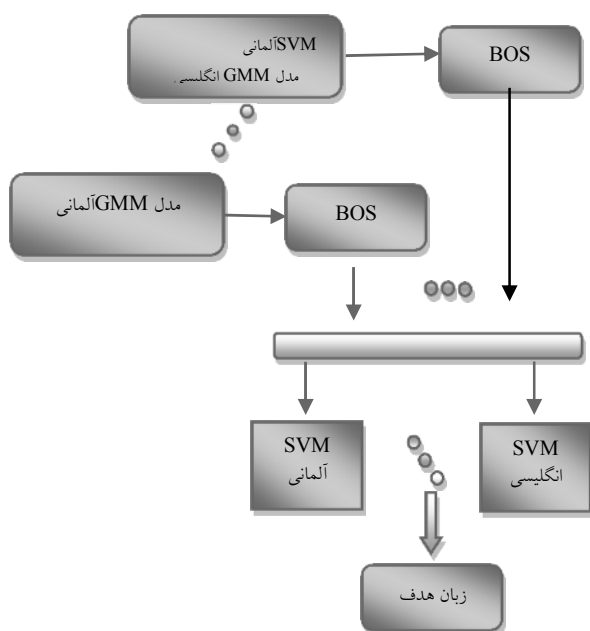
^۲ Gaussian Mixture Model

^۳ Multivariate Gaussian Densities

۳-مدل‌های ارائه شده

۳-۱- مدل AW-GMM

در آموزش GMM، الگوریتم EM به ازای هر مولفه، یک بردار میانگین، واریانس و وزن را محاسبه می‌کند. وزن هر مولفه بر اساس احتمال رخداد آن مولفه به ازای داده‌های آموزشی تعیین می‌شود، به عبارت دیگر وزن هر مولفه، متناسب با فرکانس تکرار آن مولفه در فضای آواهای آن زبان است و آموزش درست این وزن‌ها تاثیر زیادی در دقت تشخیص زبان دارد. ایرادی که در روش مدل کردن GMM وجود دارد این است که هر زبان مستقل از زبان دیگر مدل می‌شود. به عنوان نمونه ممکن است یک یا بخشی از یک آوا فرکانس تکرار کمی در یک زبان داشته باشد و در مقابل آوای دیگر فرکانس تکرار زیادتری داشته باشد اما تاثیر آوای اول در تشخیص این زبان از سایر زبان‌ها بیشتر از آوای دوم باشد، بنابراین یک راه برای افزایش دقت مدل‌های GMM می‌تواند تغییر مکانیزم وزن‌دهی مولفه‌ها بر اساس اطلاعات تمایزدهنگی آن‌ها باشد. به این منظور مدل AW-GMM ارائه شده است. مدل AW-GMM مشابه GMM است و با استفاده از الگوریتم EM آموزش داده می‌شود اما پس از آموزش، وزن مولفه‌های هر یک از مدل‌های GMM در قالب سیستم GMM-VSM در حالت مدل‌کننده شنونده تک زبانه به طوری که در شکل ۳ نشان داده شده است، تطبیق داده می‌شود.



شکل ۲: سیستم تشخیص زبان GMM-VSM

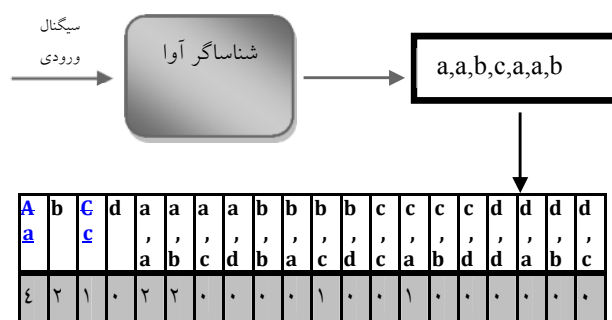
برمی‌گرداند. این توالی آواها به یک بردار با اندازه ثابت تبدیل شده که به این بردار (BOS) گفته می‌شود که بر اساس فرکانس تکرار مجموعه آواها و توالی‌های آن‌ها ساخته می‌شود. بعد این بردار به ۲ پارامتر وابسته است: تعداد آواهای شناساگر و مرتبه (n) در نظر گرفته شده. به عنوان مثال در صورتی که تعداد آواهای یک شناساگر ۱۰ و مرتبه در نظر گرفته شده ۲ باشد، بعد بردار BOS برابر خواهد بود با:

$$(5) \quad 10 + (10 \times 10)$$

به همین ترتیب در صورتی که با همین تعداد آوا مرتبه برابر با ۳ در نظر گرفته شود بعد برابر است با

$$(6) \quad 10 + (10 \times 10) + (10 \times 10 \times 10)$$

به عبارت دیگر در حالتی که مرتبه ۲ در نظر گرفته شود فرکانس تکرار هر آوا و همچنین فرکانس تکرار توالی‌های ۲ تایی آن‌ها در توالی آوایی تولید شده توسط شناساگر برای ساخت بردار BOS در نظر گرفته می‌شود و در حالتی که مرتبه ۳ در نظر گرفته شود، فرکانس تکرار هر آوا، توالی ۲ تایی و ۳ تایی آواها در ساخت بردار در نظر گرفته می‌شود و به این ترتیب می‌توان بردار BOS را برای مرتبه‌های بالاتر نیز تولید کرد. در شکل ۱ نحوه ساخت بردار BOS برای توالی آوایی تولید شده توسط یک شناساگر که مجموعه آوای آن از ۳ آوای a, b, c تشکیل شده و مرتبه BOS برابر با ۲ در نظر گرفته شده، نشان داده شده است.



شکل ۱- نحوه تبدیل توالی آوایی به بردار BOS از مرتبه ۲

بردار BOS حاصل از هر شناساگر آوایی در کنار یکدیگر قرار گرفته و یک بردار واحد را تشکیل می‌دهد. حال که سیگنال به یک بردار واحد تبدیل شد، می‌توان این مسئله را به دید یک مسئله طبقه‌بندی نگاه کرد و از یک طبقه‌بندی کننده مانند SVM برای پیدا کردن ابرصفحه جداکننده زبان‌ها استفاده نمود [3]. این سیستم در شکل ۲ نشان داده شده است.

$|wi|$ نشان‌دهنده سهم هر بعد از بردارهای ویژگی در ساخت ابرصفحه جداکننده حاصل از طبقه‌بندی کننده SVM است. به عبارت دیگر هر چقدر $|wi|$ بیشتر باشد، بعد i ام از بردارهای ویژگی تاثیر بیشتری در متمایز کردن زبان هدف از سایر زبان‌ها دارد [6]. به این ترتیب می‌توان از بردارهای وزن حاصل از مدل‌های SVM به عنوان وزن‌های جدید مولفه‌های GMM استفاده نمود. از آنجایی که این وزن‌ها بر اساس قدرت تمایزکنندگی هر مولفه در تشخیص یک زبان از سایر زبان‌ها تعیین شده‌اند، انتظار می‌رود که دقت سیستم‌های تشخیص زبانی که از مدل GMM با وزن‌های تطبیق یافته (AW-GMM) استفاده می‌کنند، افزایش یابد.

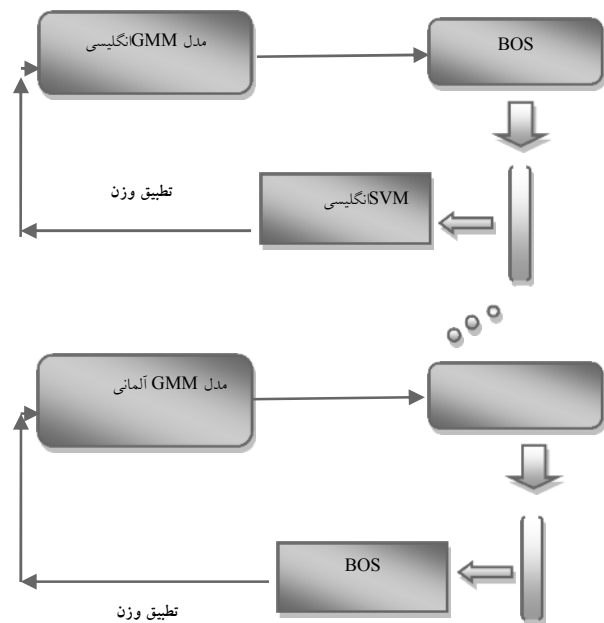
۳-۲- انتخاب ویژگی

استفاده از اطلاعات واج‌آرایی در بالا بردن دقت تشخیص زبان موثر است. این اطلاعات را می‌توان با استفاده از توالی‌های آوایی مدل کرد که در سیستم. در نظر گرفتن توالی‌های آوایی که در سیستم GMM-VSM معادل مرتبه در نظر گرفته شده (n)، در ساخت بردارهای BOS است. هر چه مقدار n بیشتر در نظر گرفته شود، بردارهای BOS اطلاعات واج‌آرایی بیشتری را شامل خواهند شد اما پیچیدگی محاسباتی سیستم به میزان قابل توجهی بالا می‌رود. به عنوان مثال در حالتی که از مدل‌های GMM با تعداد مولفه‌های برابر با ۲۵۶ برای مدل کردن فضای آوایی استفاده شود، افزایش مرتبه از ۱ به ۲، سبب افزایش بعد بردارهای BOS از ۲۵۶ به $۲۵۶ * ۲۵۶$ می‌شود و عملاً در نظر گرفتن توالی‌های با مرتبه‌ی بالاتر را غیرممکن می‌سازد. برای رفع این مشکل در این مقاله روشی ارائه شده که در ادامه شرح داده شده است. در این روش از تکنیک ریچاردسون برای انتخاب کلماتی که سبب ایجاد تمایز میان لهجه‌های مختلف می‌شوند [7] الهام گرفته شده است.

این روش بر این اساس است که لزومی ندارد که همه‌ی توالی‌های آوایی مولفه‌ها برای ساخت بردارهای ویژگی در نظر گرفته شود. می‌توان تنها توالی‌های آوایی را در نظر گرفت که حداقل یک عضو تشکیل دهنده‌ی آن مولفه‌ی باشد که از وزن بالایی در تمایز زبان هدف از سایر زبان‌ها برخوردار باشد.

برای آزمایش موثر بودن این روش ابتدا ۴ مدل GMM با تعداد مولفه‌های برابر با ۲۵۶ آموزش داده شد و از آن‌ها برای آموزش دو سیستم GMM-VSM استفاده شد. در سیستم اول از فرکانس تکرار مولفه‌های GMM و در سیستم دوم از فرکانس

در سیستم GMM-VSM در حالت مدل‌کننده شنونده تک-زبانه، تنها از بردار BOS حاصل از هر مدل GMM برای آموزش طبقه‌بندی کننده SVM استفاده می‌شود. به عبارت دیگر هر SVM تنها از فضای آوای زبان مربوط به خود اطلاع دارد. تطبیق وزن به این صورت انجام می‌شود که در فاز آموزش سیستم GMM-VSM، توالی بردارهای استخراج شده از داده‌های آموزشی، به بردارهایی با طول ثابت (بر اساس فرکانس تکرار مولفه‌ها)، تبدیل می‌شوند. سپس این بردارهای ویژگی برای آموزش مدل‌های SVM با کرنل خطی، مورد استفاده قرار می‌گیرند که به ازای هر شناساگر GMM یک طبقه‌بندی کننده SVM با استفاده از بردارهای ویژگی مربوط به آن شناساگر و با در نظر گرفتن بردارهای متعلق به زبان آن شناساگر به عنوان نمونه‌های مثبت (نمونه‌های با برجسب +۱) و بردارهای ویژگی متعلق به سایر زبان‌ها به عنوان نمونه‌های منفی (نمونه‌های با برجسب -۱)، آموزش داده می‌شود.



شکل ۳: تکنیک تطبیق وزن ارائه شده

پس از آموزش، از هر SVM یک بردار وزن بدست می‌آید که از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود.

$$w = \sum_{i=1}^N \alpha_i b(x_i) + d \quad (A)$$

که در آن $b(x_i)$ بردارهای پشتیبان، α_i ضرایب مربوط به بردارهای پشتیبان و N تعداد بردارهای پشتیبان است. هر وزن

نمود. از نظر پیچیدگی محاسباتی هنگامی که از تکنیک انتخاب ویژگی استفاده شود تنها در زمان آموزش توالی‌های ۲ تایی که در تشخیص زبان موثرترند انتخاب می‌شوند و در زمان ارزیابی نه تنها محاسبات اضافه‌تری صورت نمی‌گیرد بلکه به دلیل کاهش بعد از پیچیدگی محاسباتی کاسته می‌شود.

۴- آزمایشات

تمامی آزمایشات در این مقاله با استفاده از دادگان تلفنی چند زبانه OGI [8] صورت گرفته است. این دادگان شامل ۱۰ زبان انگلیسی، فارسی، فرانسوی، آلمانی، ژاپنی، کره‌ای، اسپانیایی، ماندارین، تاملیل و ویتنامی است. از بین این زبان‌ها، ۴ زبان انگلیسی، فرانسه، فارسی و آلمانی جهت آموزش و ارزیابی سیستم‌ها انتخاب شده و آموزش سیستم‌ها با استفاده از قسمت آموزش و ارزیابی با استفاده از قطعات ۴۵ ثانیه‌ای قسمت ارزیابی دادگان، صورت گرفته است.

ابتدا قطعات گفتاری به فریم‌های ۳۰ میلی ثانیه با ۱۰ میلی ثانیه همپوشانی تبدیل و بخش‌های سکوت از آن‌ها حذف گردید. سپس از هر فریم بردار ویژگی MFCC شامل ۱۲ ضریب اول و انرژی به همراه مشتق اول و دوم این ضرایب استخراج شد. پس از استخراج بردارهای ویژگی، از CMS جهت نرمالسازی و حذف اثرات کانال استفاده شد. در مرحله‌ی بعد، ۴ مدل GMM (مدل انگلیسی، فارسی، فرانسوی و آلمانی) با ۲۵۶ مولفه با استفاده از الگوریتم EM و ابزار HTK [9] و داده‌های آموزشی زبان هدف، آموزش داده شد. در مورد هر مدل، الگوریتم EM، ۱۰ مرتبه تکرار شد. در مرحله‌ی بعد مدل‌های حاصل برای آموزش سیستم GMM-VSM مورد استفاده قرار گرفت و با استفاده از تکنیک تطبیق وزن ارائه شده، ۴ مدل AW-GMM حاصل شد.

در آزمایش اول تاثیر استفاده از مدل AW-GMM به عنوان جایگزین مدل GMM در قالب سیستم تشخیص زبانی که در قسمت ۲-۲ توصیف شد، مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور ۲ سیستم تشخیص زبان پیاده‌سازی شد. در سیستم اول از ۴ مدل GMM استفاده شد و تصمیم‌گیری با استفاده از ماکزیمم‌گیری بر روی احتمالات خروجی حاصل از مدل‌ها صورت گرفت. سیستم دوم مشابه سیستم اول در نظر گرفته شد. با این تفاوت که از AW-GMM به جای GMM استفاده شد. دقت تشخیص زبان هر یک از سیستم‌ها در نمودار شکل ۵ نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل مشاهده می-

تکرار توالی ۲ تایی مولفه‌ها برای ساخت بردارهای BOS استفاده گردید. در سیستم اول بر اساس بردارهای وزنی حاصل از طبقه‌بندی کننده‌های SVM، ۱۰۰ مولفه گاوسی که دارای وزن بالاتری نسبت به بقیه بودند، انتخاب شد، همچنین بر اساس وزن‌های طبقه‌بندی کننده‌های SVM در سیستم دوم نیز از میان توالی‌های ۲ تایی مولفه‌ها، ۲ تایی‌هایی که وزن بالاتری نسبت به سایر ۲ تایی‌ها داشتند، انتخاب گردید. درصد شرکت مولفه‌های گاوسی با وزن بالا در توالی ۲ تایی مولفه‌های با وزن بالا در جدول ۱، برای ۴ زبان انگلیسی، فارسی، فرانسوی و آلمانی نشان داده شده است.

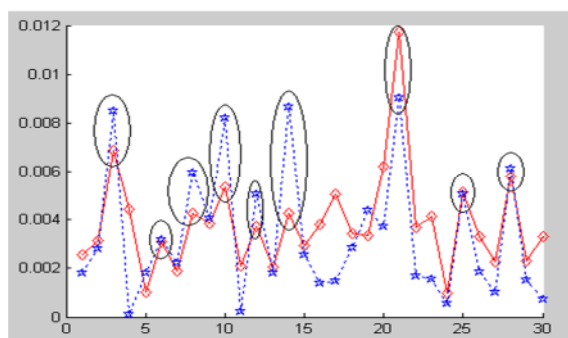
جدول ۱- درصد حضور مولفه‌های گاوسی با وزن بالا در تشکیل

توالی ۲ تایی مولفه‌ها با وزن بالا

انگلیسی	فارسی	فرانسوی	آلمانی
٪۶۸	٪۶۹	٪۶۳	٪۷۰

همان‌طور که مشاهده می‌شود درصد بالایی از توالی‌های ۲ تایی که وزن بالایی در تشخیص زبان داشته‌اند را مولفه‌هایی تشکیل می‌دهند که آن‌ها نیز از وزن بالایی برخوردارند.

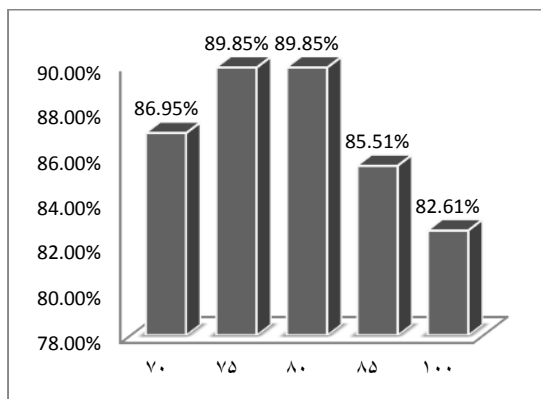
در شکل ۴، وزن مولفه‌ها برای ۳۰ مولفه‌ی اول و توالی ۲ تایی آن‌ها برای زبان آلمانی نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل مشخص شده است، اکثر نقاط پیک منحنی که با خط چین مشخص شده است و مربوط به وزن توالی ۲ تایی مولفه‌هاست، معادل نقاط پیک منحنی که با خطوط مستقیم مشخص شده است و مربوط به وزن مولفه‌هاست، می‌باشد.



شکل ۴- مقادیر وزن مولفه‌های گاوسی (خطوط توپر) و توالی ۲ تایی مولفه‌های گاوسی (خطوط نقطه‌چین) برای زبان آلمانی

با توجه به این شهود می‌توان برای اضافه کردن احتمال رخداد توالی‌های ۲ تایی، تنها توالی‌هایی را در نظر گرفت که مولفه‌های با وزن بالا در آن‌ها حضور دارند. به همین ترتیب می‌توان از این تکنیک برای ساخت توالی‌های ۳ تایی و بالاتر استفاده

در آزمایش سوم تاثیر تکنیک انتخاب ویژگی ارائه شده که در قسمت ۳-۲ توصیف شد، مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور ۲ سیستم GMM-VSM از مرتبه ۲ پیاده‌سازی شد. در سیستم اول از تمامی توالی‌های ۲ تایی مولفه‌ها برای ساخت بردارهای BOS استفاده شد و در سیستم دوم تنها توالی‌های ۲ تایی در نظر گرفته شد که حداقل یک عضو تشکیل دهنده آن‌ها از بین مولفه‌های با وزن بالا انتخاب شده باشد. در نمودار شکل ۶ دقت تشخیص زبان سیستم GMM-VSM در حالتی که از تکنیک انتخاب ویژگی استفاده شود، به ازای تعداد مولفه‌های انتخابی مختلف نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، بهترین کارایی زمانی حاصل می‌شود که عمل انتخاب بر اساس توالی‌های ۲ تایی ۷۵ مولفه اول که دارای وزن بالاتری هستند صورت گیرد. به عبارت دیگر از نظر محاسباتی در حالت اول سیستم بر اساس بردارهای ویژگی با بعد ۲۵۶*۲۵۶ و در حالت دوم بر اساس بردارهای با بعد ۷۵*۷۵ عمل تصمیم‌گیری در مورد زبان هدف را انجام می‌دهد که به طور قابل ملاحظه‌ای پیچیدگی محاسباتی کم می‌شود.



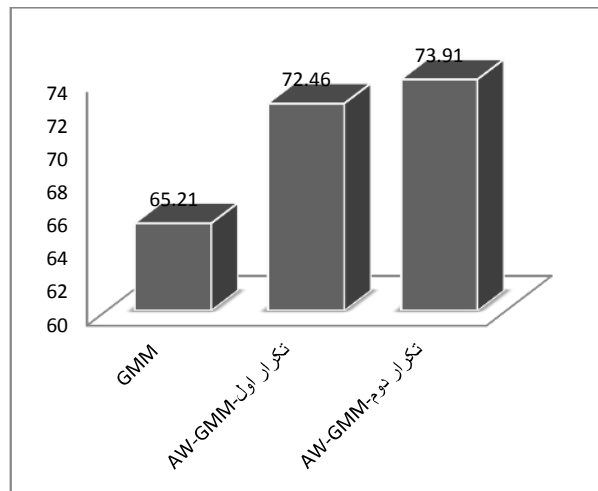
شکل ۶: دقت سیستم GMM-VSM در حالت استفاده از توالی ۲ تایی مولفه‌ها به ازای تعداد مولفه‌های انتخابی مختلف

دقت تشخیص زبان هر یک از این سیستم‌ها در جدول ۳ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود علاوه بر اینکه استفاده از تکنیک انتخاب ویژگی سبب کاهش پیچیدگی محاسباتی شده، دقت تشخیص زبان را نیز افزایش داده است. جدول ۳: تاثیر استفاده از انتخاب ویژگی ارائه شده بر دقت سیستم تشخیص زبان GMM-VSM در حالت استفاده از توالی‌های ۲ تایی مولفه‌ها

سیستم GMM-VSM - مرتبه ۲ بدون استفاده از تکنیک انتخاب ویژگی	سیستم GMM-VSM - مرتبه ۲ با استفاده از تکنیک انتخاب ویژگی
۸۹/۸۵%	۸۲/۶۱%

شود، استفاده از AW-GMM به جای GMM سبب افزایش دقت تشخیص زبان می‌شود (افزایش از ۶۵/۲۱ درصد به ۷۲/۴۶ درصد). در صورتی که عمل تطبیق وزن را یکبار دیگر تکرار نماییم، به این صورت که از مدل‌های AW-GMM در سیستم GMM-VSM استفاده کرده و وزن این مدل‌ها را به طوری که در قسمت ۳-۱ توضیح داده شد، تطبیق دهیم، دقت تشخیص زبان بار دیگر افزایش پیدا می‌کند که البته این افزایش نسبت به افزایش مرحله‌ی اول چشمگیر نیست (افزایش از ۷۲/۴۶ به ۷۳/۹۱ درصد) و از این رو ما تعداد تکرارها را در همین مرحله متوقف نمودیم.

در آزمایش دوم تاثیر استفاده از مدل‌های AW-GMM به عنوان شناساگرهای آوایی مورد بررسی قرار گرفته است. به این منظور ۲ سیستم تشخیص زبان GMM-VSM از مرتبه ۱ (مقدار n برای ساخت بردارهای BOS برابر ۱ در نظر گرفته شد) آموزش داده شده که در سیستم اول از مدل GMM و در سیستم دوم از مدل AW-GMM به عنوان شناساگر آوا استفاده شد.



شکل ۵: تاثیر استفاده از مدل AW-GMM به عنوان جایگزین مدل GMM

دقت هر یک از این سیستم‌ها در جدول ۲ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود استفاده از مدل AW-GMM به عنوان جایگزین مدل GMM در سیستم GMM-VSM سبب افزایش دقت تشخیص زبان می‌شود.

جدول ۲: تاثیر استفاده از مدل AW-GMM به عنوان شناساگر آوا

در سیستم GMM-VSM	
GMM-VSM مرتبه ۱	AW-GMM-VSM مرتبه ۱
۸۱/۱۶%	۸۸/۴۱%

۵- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این مقاله مدلی جدید با نام AW-GMM ارائه گردید. این مدل مشابه GMM است با این تفاوت که وزن مولفه‌ها بر اساس قدرت تمایزکنندگی آن‌ها در قالب سیستم تشخیص زبان GMM-VSM تعیین می‌شود. ارزیابی‌های صورت گرفته با استفاده از ۴ زبان انگلیسی، فارسی، فرانسوی و آلمانی از دادگان OGI نشان داد که استفاده از مدل ارائه شده به عنوان جایگزین GMM در سیستم‌های تشخیص زبانی که از آن استفاده می‌کنند سبب افزایش دقت تشخیص زبان می‌شود. همچنین تکنیکی برای ساخت توالی‌های آتایی مولفه‌ها در سیستم GMM-VSM ارائه گردید که علاوه بر کاهش پیچیدگی سبب افزایش دقت تشخیص زبان در این سیستم گردید. نتیجه کلی که از آزمایشات صورت گرفته در این مقاله حاصل می‌شود این است که در نظر گرفتن فضای آوایی زبان‌ها به گونه‌ای که به هر آوا بر اساس قدرت متمایز کردن زبان هدف از سایر زبان‌ها وزن داده شود نه بر اساس تعداد دفعات تکراری که در آن زبان دارد، می‌تواند به میزان قابل توجهی دقت تشخیص زبان را بالا برد و از پیچیدگی محاسباتی کم کند.

قدردانی:

این مقاله مورد حمایت مالی مرکز تحقیقات مخابرات ایران در قالب قرارداد ۵۰۰/۱۴۹۳۹/ت قرار گرفته است.

۶-مراجع

- [1] Ziaei A., Ahadi S. M., Mirrezaie S. M. and Yeganeh H., "Spoken Language Identification Using a New Sequence Kernel-based SVM Back-end Classifier", ISSPIT, 2008, pp.324-329.
- [2] Zissman M. A., "Comparison of Four Approaches to Automatic Language Identification of Telephone Speech", IEEE Transactions on Speech and Audio Processing, vol. 4, 1996, pp.31-44.
- [3] Li H., Ma B. and Lee C. H., "A Vector space modeling approach to spoken language identification," IEEE Transactions on Audio, Speech and Language Processing, vol. 15, 2007, pp.271-284.
- [4] Torres-Carrasquillo P. A., Singer E., Kohler M. A., Greene R. J., Reynolds D. A. and Deller J. A., "Approaches to Language Identification using Gaussian Mixture Models and Shifted Delta Cepstral Features", ICSLP, 2002, pp.89-92.
- [5] Tong, R., Bin, M., Zhu, D., Li, H., Chng, E. S., "Integrating acoustic, prosodic and phonotactic features for spoken language identification," ICASSP, 2006, pp. 205-208.
- [6] Tong R., Ma B., Li H., and Chng E. S., "Target-Oriented Phone Tokenizers for Spoken Language Recognition", ICASSP 2008, pp. 200-203.
- [7] Richardson F. S., Campbell W. M., Torres-Carrasquillo P. A., "Discriminative N-gram selection for dialect recognition", interspeech, 2009, pp. 192-195.
- [8] Muthusamy Y. K., Cole R. A., Oshika B. T., "The OGI multi-language telephone speech corpus", ICSLP, 1992.
- [9] ¹ Available at: <http://htk.eng.cam.ac.uk/>

طراحی سیستم خبره فازی برای انتخاب پیمانکار مناسب در برونسپاری فناوری اطلاعات

شعبان الهی *

نادیا کلاتری ** +

علیرضا حسن زاده ***

علی شایان ****

* دانشیار، گروه مدیریت فناوری اطلاعات، دانشگاه تربیت مدرس
** دانشجوی دکتری سیاستگذاری علم و فناوری، دانشگاه تربیت مدرس
*** استادیار، گروه مدیریت فناوری اطلاعات، دانشگاه تربیت مدرس
**** دانشجوی دکتری سیاستگذاری علم و فناوری، دانشگاه تربیت مدرس، گروه مدیریت فناوری

چکیده

افزایش پیچیدگی و هزینه سیستم‌های فناوری اطلاعات مشکلات زیادی برای شرکت‌ها در زمینه زیرساخت و نیروی انسانی ایجاد نموده که با استفاده از برونسپاری این موارد کاهش یافته است. همه سازمان‌ها سعی دارند از راه‌های مختلف احتمال موفقیت پروژه‌های برونسپاری خود را افزایش دهند. یکی از دلایل شکست این پروژه‌ها خصوصا در زمینه فناوری اطلاعات به دلیل نقش مهم آن در کسب مزیت رقابتی انتخاب پیمانکار نامناسب می‌باشد که این انتخاب به دلیل وجود معیارهای متعدد و متناقض پیچیده است. هدف این پژوهش یافتن معیارهای مهم جهت انتخاب پیمانکار ارائه چارچوب آن و مشخص نمودن اهمیت معیارها و در نهایت طراحی سیستم خبره فازی انتخاب پیمانکار مناسب در برونسپاری درون مرزی فناوری اطلاعات می‌باشد. روش اخذ دانش از خبرگان که شامل متخصصان و مدیران فناوری اطلاعات می‌باشند پرسشنامه است و جهت اعتبارسنجی سیستم به استفاده از آن در یک شرکت فناوری اطلاعات پرداخته شده است و نتایج حاصل حاکی از عملکرد مطلوب سیستم می‌باشد.

واژگان کلیدی: برونسپاری درون مرزی، پیمانکار، معیار، سیستم خبره فازی، فناوری اطلاعات.

۱- مقدمه

در دنیای امروز سازمانها به اهمیت فناوری اطلاعات^۱ برای پیشرفت کسب و کار پی برده اند. بر اساس پژوهشی که درباره فناوریهای اطلاعات در آمریکا صورت گرفت، مشخص شد که ۵۹٪ از شرکت های مورد بررسی بسیاری از فعالیتهای فناوری اطلاعات را برونسپاری می کنند و یا اینکه برای انجام آن در حال برنامه ریزی می باشند [۱]. برونسپاری به معنی بهره‌برداری راهبردی از منابع شرکت دیگر (که می تواند یک شرکت داخلی و یا خارجی باشد) برای انجام فرآیندهای کسب و کار مورد نیاز خود به صورت مستمر می‌باشد. سه نوع برونسپاری که سازمانها بر اساس اهداف و راهبردهای خود می توانند از آنها استفاده نمایند شامل برونسپاری درون مرزی-برون شرکتی^۲، برونسپاری برون مرزی-برون شرکتی^۳ و برونسپاری برون مرزی- درون شرکتی^۴ می‌باشد [۲] که در این پژوهش به برونسپاری درون مرزی-برون شرکتی پرداخته می‌شود. باید توجه داشت که همه سازمان ها از برونسپاری نمودن فعالیت‌هایشان سود نمی برند و معایب برونسپاری می تواند مشکلات و خطرات جدی برای سازمان پدید آورد. [بارتلمی] در تحقیقات خود، ۹۱ قرارداد برونسپاری را که توسط شرکت‌های اروپایی و آمریکای شمالی منعقد شده بود، مورد بررسی قرار داد. او دلایل شکست این پروژه ها را به دلیل ۷

1. Information Technology

2. Outsourcing

3. Offshore outsourcing

4. Captive offshoring

۲- پیشینه پژوهش

در این بخش به بررسی مفهوم برونسپاری فناوری اطلاعات، دلایل برونسپاری فناوری اطلاعات و معیارهای انتخاب پیمانکار مناسب در برونسپاری فناوری اطلاعات پرداخته می‌شود. سپس مطالبی در مورد روشهای انتخاب پیمانکار و سیستم های خبره فازی ارائه می‌گردد.

۲-۱. برونسپاری فناوری اطلاعات

برونسپاری بصورت زیر تعریف شده است: زمانی که یک شرکت انجام بخشی از فعالیتهای داخلی خود را بوسیله انعقاد قرارداد به شرکت دیگری واگذار نماید، برونسپاری صورت گرفته است [۵]. در مطالعه ای که در شرکتهای چند ملیتی انجام گرفته، طبق نظرات ۵۰۰ مدیر ارشد از این شرکتهای، یک سوم پاسخ دهندگان گزارش داده اند که آنها برونسپاری درون مرزی-برون مرزی و برون مرزی- برون مرزی را نیروی مهمی برای شکل دادن به آینده اقتصاد جهانی می‌دانند [۶]. در طول چند سال گذشته، برونسپاری به یک موضوع مهم برای حفظ مزایای رقابتی در بین مدیران فناوری اطلاعات تبدیل شده است [۷]. مطابق تعریف [لیستی] و [هیرچهم] (۲۰۰۰)، برونسپاری فناوری اطلاعات عبارتست از مدیریت داراییهای سیستم های اطلاعات، افراد و فعالیتهایی که برای دستیابی به سطوح عملکرد از قبل مشخص شده مورد نیاز می‌باشد و شامل عملیات مراکز داده، شبکه و مدیریت ارتباطات، توسعه و نگهداری سیستم ها و آموزش می‌باشد. این محققان برونسپاری فناوری اطلاعات را به سه دسته تقسیم نموده اند. اولین دسته مربوط به تقاضاهای کوتاه مدت مانند استفاده از برنامه نویسان قراردادی می‌باشد. دسته دوم، مدیریت پروژه می‌باشد که برای پروژه های خاص و یا بخشی از کار سیستم های اطلاعاتی مورد استفاده قرار می‌گیرد، مانند استفاده از تامین کنندگان خارجی برای توسعه یک سیستم جدید، پشتیبانی از برنامه های کاربردی موجود، مدیریت ارتباطات و شبکه یا آموزش می‌باشد. دسته سوم که برونسپاری کامل نامیده می‌شود که عبارت از تصمیم مدیریت برای محول نمودن کامل پشتیبانی سخت‌افزار و نرم‌افزار سازمان یا شرکت به یک فروشنده خارجی می‌باشد که در این صورت فروشنده مزبور مسئولیت عملیات مراکز داده و دیگر مسئولیتها را دارا می‌باشد [۸]. بعضی از انواع برونسپاری که در حیطه فناوری اطلاعات وجود دارند

اشتباه مهمی که در این قراردادها رخ داده بود تقسیم بندی نمود که شامل برونسپاری کردن فعالیتهایی که نباید برونسپاری شوند، انتخاب پیمانکار نامناسب، نوشتن قراردادهای ضعیف، نادیده گرفتن مشکلات پرسنل، از دست دادن کنترل روی فعالیتهای برونسپاری شده، نادیده گرفتن هزینه های پنهان برونسپاری، عدم برنامه ریزی مناسب جهت استراتژی خروج می‌باشد [۳]. همانطور که ملاحظه می‌شود، یکی از مهمترین دلایل شکست پروژه‌های برونسپاری، انتخاب پیمانکار نامناسب می‌باشد. یک پیمانکار مناسب باید توانایی برطرف نمودن نیازهای فعلی و نیز نیازهای آینده سازمان را داشته باشد. اعتبار، شایستگی فنی، ثبات مالی و توانایی ساخت و تولید پیمانکار، فرآیند برونسپاری را تحت تاثیر قرار می‌دهد [۴].

از آنجایی که تصمیمات اشتباه در مورد انتخاب پیمانکار عواقب جبران ناپذیری برای سازمان خواهد داشت، بنابراین ارزیابی، مدیریت و انتخاب بهترین پیمانکار از میان پیمانکاران بالقوه ضروری به نظر می‌رسد. از طرفی فرآیند انتخاب بهترین پیمانکار به دلیل وجود معیارهایی ممکن است متناقض باشند پیچیده بوده و نیازمند بررسی دقیق می‌باشد. امروزه روشهای بسیاری جهت انتخاب پیمانکار و اتخاذ تصمیمات در روابط برونسپاری مورد استفاده قرار می‌گیرد. در سالهای اخیر استفاده از سیستم های خبره رواج بسیاری پیدا کرده و در بسیاری از حوزه ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. بسیاری از محققان به طراحی سیستم خبره جهت انتخاب تامین کننده مناسب در زنجیره تامین پرداخته اند. اما طراحی سیستم خبره برای انتخاب پیمانکار مناسب می‌تواند یاریگر مدیران فناوری اطلاعات، در تصمیم گیری برای انتخاب پیمانکار توانا و لایق باشد. لذا اهداف این پژوهش شامل شناسایی معیارهای مهم برای انتخاب پیمانکار مناسب در برونسپاری فناوری اطلاعات و ارائه چارچوب آن، تعیین درجه اهمیت (وزن) هر یک از معیارها و طراحی سیستم خبره جهت تعیین پیمانکار مناسب در برونسپاری درون مرزی فناوری اطلاعات بر اساس معیارهای مشخص شده می‌باشد. در ادامه به بررسی پیشینه پژوهش پرداخته می‌شود که این بخش شامل مطالبی راجع به برونسپاری فناوری اطلاعات، معیارهای انتخاب پیمانکار، روشهای انتخاب پیمانکار و سیستم های خبره فازی می‌باشد. سپس روش پژوهش مورد بررسی قرار می‌گیرد. پس از آن مراحل طراحی سیستم خبره به ترتیب ذکر شده و در نهایت بخش نتیجه گیری و قدردانی ارائه می‌شوند.

عبارتند از: برونسپاری سیستم‌های کاربردی، برونسپاری فرآیندهای کسب‌وکار و برونسپاری زیرساخت.

۲-۲. دلایل برونسپاری فناوری اطلاعات

شناسایی انگیزه های صاحبان کسب و کار در برونسپاری فعالیتهای فناوری اطلاعات نقش مهمی در شناسایی راهکارهای توسعه این نوع از برونسپاری دارد زیرا نشانگر حوزه هایی است که با صرف کمترین منابع، بیشترین توسعه تحقق می یابد. مطالعات زیادی درباره دلایل برونسپاری انجام گرفته است. اکثر شرکتهای خصوصی و دولتی به دلیل مزایای زیاد برونسپاری، این فعالیت را آغاز نموده اند [۹]. با بررسی پیشینه پژوهش دلایلی که توسط محققان مختلف برای برونسپاری فناوری اطلاعات ارائه شده است استخراج شده است که این دلایل عبارتند از: کاهش و یا کنترل هزینه های عملیاتی [۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴]، تمرکز بر کسب وکار اصلی و کسب مزیت رقابتی [۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳]، ارتقاء سطح خدمات [۷، ۱۴]، کمبود نیروی متخصص [۱۵، ۱۲]، سود حاصل از تفاوت دستمزدهای کارکنان داخلی با قیمت تمام شده برونسپاری [۱۷، ۱۶]، بر طرف نمودن نیاز های نقدینگی و آزاد شدن سرمایه [۷، ۱۴، ۱۰، ۱۲]، فقدان منابع داخلی [۷، ۱۲]، افزایش انعطاف پذیری بخش سیستم های اطلاعاتی [۱۴، ۱۸]، ریسک های مربوط به تولید محصولات داخلی شرکت، وظایف نامعلوم و پیچیدگی فعالیتهای و بهبود جایگاه منطقه ای یا بین المللی شرکت [۱۲، ۷]، بهبود قابلیت و کیفیت سیستم های اطلاعاتی [۱۴، ۱۰]، غلبه بر عوامل محیطی مانع کسب و کار [۱۰، ۱۸]، تسریع فرآیند مهندسی مجدد، انعطاف ساختار سازمان و فراهم آمدن امکان اعمال تغییرات مورد نیاز [۷، ۱۲، ۱۱]، امکان انتقال تکنولوژی های نوین و پیشرفته [۱۴، ۱۱]، تمرکز روی راهبردهای سیستم های اطلاعاتی [۱۴، ۱۸] و اختصاص منابع به فعالیتهای درآمد زا و هسته ای [۷، ۱۲].

۳-۲. معیارهای انتخاب پیمانکار مناسب

زمانیکه سازمانی بخشی از فعالیتهای خود را برونسپاری می نماید به میزان نسبتاً زیادی به پیمانکار خود وابسته می شود و می توان گفت که در اینصورت عملکرد سازمان وابسته به پیمانکاران خود خواهد بود. از آنجاییکه تصمیمات اشتباه در این انتخاب عواقب جبران ناپذیری برای سازمان خواهد داشت،

بنابراین ارزیابی، مدیریت و انتخاب بهترین پیمانکار از میان پیمانکاران بالقوه ضروری به نظر می رسد. برخی از شرکتها و سازمانها برای انتخاب پیمانکار در مناقصات از معیار کمترین هزینه استفاده می کنند در صورتی که این معیار به تنهایی نمی تواند کیفیت و موفقیت پروژه را تضمین نماید [۱۹]. معیارها در واقع عواملی هستند که ارزیابان می توانند با استفاده از آنها، پیمانکاران و عملکرد آنها را در پروژه های مختلف مورد بررسی قرار دهند. با بررسی پیشینه پژوهش معیارهای انتخاب پیمانکار مناسب در برونسپاری فناوری اطلاعات استخراج شده است که این معیارها به همراه منابع مربوط به هر یک در جدول ۱ قابل مشاهده می باشند.

جدول ۱: معیارهای انتخاب پیمانکار مناسب در برونسپاری فناوری

اطلاعات مستخرج از پیشینه پژوهش

معیار	منبع	معیار	منبع
اوضاع اقتصادی	[۲۰، ۲۲، ۲۱، ۷]	استفاده از فناوریهای جدید	[۲۲]
مهارت مدیریتی	[۲۳، ۲۲، ۷]، [۲۵، ۲۴، ۲۱]، [۲۸، ۲۷، ۲۶]	ایجاد امکانات کمک آموزشی	[۲۵، ۲۲]
کیفیت	[۸، ۲۰، ۷]، [۲۱، ۲۹، ۲۲]، [۳۱، ۲۴، ۳۰]، [۳۳، ۳۲، ۲۵]، [۲۶، ۳۴]	عملکرد مطلوب بخش سیستم های اطلاعات	[۳۴، ۳۰، ۲۲]
میزان تجربه	[۲۹، ۲۳، ۲۰]، [۲۷، ۳۴، ۳]، [۲۸]	سطوح خدمت بالا	[۳۵، ۲۲]
مهارت فنی و تکنولوژیکی	[۲۹، ۲۳، ۲۰]، [۳۴، ۳۳، ۲۵]، [۳۶]	ثبات مالی	[۲۴، ۲۹، ۲۲]، [۲۸، ۲۷، ۳۴، ۲۵]
سرمایه های فیزیکی	[۱۲، ۷، ۳۷]، [۲۸، ۲۷، ۲۱]	هزینه	[۲۴، ۳۰، ۲۲]، [۳، ۳۳، ۳۸، ۳۲]، [۳۶، ۲۶، ۳۴]، [۳۹]
سرمایه های فکری	[۸، ۷، ۳۷]، [۲۷، ۲۶، ۲۱]، [۲۸]	مهارت مدیریت منابع انسانی بخش سیستم های اطلاعات	[۲۴، ۲۱، ۲۳]، [۲۵]
انطباق فرهنگی	[۳۴، ۳، ۳۷]، [۳۹]	توانایی مدیریت روابط برونسپاری	[۲۴، ۲۱، ۲۳]، [۲۶، ۲۵]

تحلیل خوشه ای، تحلیل تمیز کننده^۸، تحلیل فراگیری داده^۹ [۴۵] و شبیه سازی [۴۰]، به ارزیابی پیمانکار پرداخته اند. [وات] و همکارانش (۲۰۱۰) در پژوهش خود از روش آزمایش انتخاب مجزا^{۱۰}، برای انتخاب پیمانکار استفاده نموده اند. [ياساميس] و همکارانش (۲۰۰۲)، یک مدل ارزیابی کیفی عملکرد پیمانکار ارائه داده اند که می تواند در فرآیند انتخاب پیمانکار و بررسی صلاحیت های او بکار رود. مدل آنها بر اساس لیستی از شاخص های عملکرد کیفی پیمانکار می باشد که از پروژه های انجام شده قبلی توسط پیمانکار و عملکرد گذشته آنها استخراج شده است [۴۶]. منتظر و همکارانش (۲۰۰۹) نیز یک سیستم تصمیم گیری مرکب خبره با استفاده از [فازی الکترون سه^{۱۱}] برای انتخاب پیمانکار طراحی نموده اند که شش معیار قیمت، کیفیت، انعطاف پذیری، عوامل سیاسی، زمان تحویل و خدمات پس از فروش را در این سیستم مد نظر قرار داده اند. بسیاری از سیستم های هوشمندی که طراحی شده اند برای انتخاب تامین کننده در زنجیره تامین طراحی شده اند که از جمله آنها می توان به سیستم خبره ای که توسط [وگورکا] و همکارانش (۱۹۹۶)، برای ارزیابی و انتخاب تامین کنندگان طراحی شده اشاره نمود. سیستم طراحی شده آنها، با استفاده از پوسته [ویپی اکسپرت^{۱۲}] طراحی شده است [۴۷]. در پژوهش دیگری ابزار هوشمندی برای مدیریت پیمانکاران برای محک زنی آنها در برونسپاری طراحی شده است. ابزار طراحی شده، با استفاده از روشهای استنتاج مبتنی بر مورد و نیز شبکه های عصبی برای انتخاب و محک زنی پیمانکاران بکار می رود. ابزار هوشمند طراحی شده با استفاده از زبان ویژوال [سی پلاس^{۱۳}] ایجاد شده است [۴۸]. سیستم هوشمند مبتنی بر دانش پیمانکاران نیز توسط [جوی] و همکارانش طراحی شده است. این سیستم که با استفاده از زبان ویژوال بیسیک طراحی شده، برای ارزیابی و انتخاب پیمانکاران بکار می رود. سیستم پشتیبانی از تصمیم آنها، بر اساس استنتاج مبتنی بر مورد می باشد که در عملیات برونسپاری مورد استفاده قرار می گیرد [۴۹]. در پژوهش دیگری، یک سیستم پشتیبانی از تصمیم هوشمند برای مدیریت

میزان اعتبار/ قابلیت اعتماد	[۲۸، ۲۵]	قدرت مالی	[۲۷، ۳]
قیمت	[۳۱، ۲۹، ۸]	تحویل به موقع	[۳۳، ۳۸، ۳۲، ۲۵]
انعطاف پذیری قرارداد	[۳۱، ۳۹]	سهم بازار	[۲۹]
داشتن روابط نزدیک	[۲۵، ۲۲، ۸]	خدمات پس از فروش	[۲۵، ۳۱، ۳۰]
انطباق مکانی	[۳۹، ۲۵، ۸]	امنیت	[۲۸، ۸]
انعطاف پذیری	[۳۱، ۲۹، ۲۲]	عوامل سیاسی	[۴۲، ۳۱]
دارا بودن پرسنل متخصص	[۳۷، ۲۱]	استفاده از زیرساختهای ارتباطی مناسب	[۳۸، ۲۵]
پاسخگویی به موقع	[۳۲، ۲۵، ۲۲]	میزان بهره برداری از ظرفیت	[۴۳، ۲۵]
نوآوری	[۴۱]		

۲-۴. روشهای انتخاب پیمانکار مناسب

در سالهای اخیر روشهای بسیاری جهت اتخاذ تصمیمات مربوط به انتخاب پیمانکار مناسب در روابط برونسپاری مورد استفاده قرار گرفته است. بیشتر تصمیمات برونسپاری مبتنی بر روشهای چند معیاره و تصمیم گیری گروهی می باشند. یکی از روشهایی که برای انتخاب پیمانکار مورد استفاده قرار گرفته شده است روشی است که در آن [آراز] و همکارانش (۲۰۰۷) از روش [پروموته^۵] که یکی از روشهای تصمیم گیری چند معیاره می باشد و نیز از روش برنامه ریزی هدف فازی برای انتخاب پیمانکار لایق و توانا استفاده نموده اند [۲۴]. روش تصمیم گیری چند شاخصه ترکیبی نیز از دیگر روشهایی است که توسط [وانگ] و [بانگ] برای برونسپاری سیستم های اطلاعاتی ارائه شده است [۲۱]. از روشهای هوشمند بکار برده شده می توان به چارچوب پشتیبانی از تصمیم هوشمند که بر اساس استدلال مبتنی بر مورد می باشد و برای ارزیابی و انتخاب پیمانکار فناوری اطلاعات در یک محیط فازی توسعه داده شده اشاره نمود [۳۴]. علاوه بر روشهای ذکر شده، بسیاری از محققان نیز با استفاده از روشهای آماری مانند تحلیل اجزاء اصلی^۶ و تحلیل عاملی^۷ [۴۴]، تکنیکهای تحلیل داده مانند

7. Factor analysis

8. Discriminant analysis

9. Data envelopment analysis

10. Discrete Choice Experiment

11. fuzzy ELECTRE III

12. VP-Expert

13. C++

5. PROMETHEE

6. Principle component analysis

اعتماد، تبیین، پاسخ سریع، ثابت و غیر احساسی در همه زمان ها و غیره می باشد [۵۲].

برای گنجاندن عدم قطعیت و ماهیت طبیعی تجرید در روش تصمیم‌گیری انسان در سیستم های هوشمند، سیستم های خبره فازی روش کارا و دقیقتری را پیشنهاد می کنند. زیرا این روش سعی دارد که تقریب، عدم قطعیت و شرایط مرزی کیفی را از طریق مجموعه های فازی با توابع عضویت مربوطه به نمایش گذارد. سیستمی با چنین قابلیت انعطاف پذیری، توابعی که به اصطلاحات انسان یعنی قوانین زبانشناختی اگر-آنگاه نزدیک باشند را پیاده سازی و ارزیابی می کند. این عمل با استفاده از منطق فازی که از پشتوانه محکم و محرز ریاضی برخوردار است صورت می گیرد. این موضوع ثابت شده است که سیستم های خبره فازی سیستم هایی قابل اعتماد می باشند و پیاده سازی آنها به راحتی انجام پذیر است [۵۵].

۳- روش پژوهش

این پژوهش از لحاظ هدف یا جهت گیری، کاربردی و از لحاظ اجرا یا استراتژی، توصیفی از نوع پیمایشی می باشد. در این پژوهش پس از استخراج ۳۳ معیار از پیشینه پژوهش، سعی شد تا به دسته بندی معیارها در قالب مولفه های مربوطه از طریق مشورت با چند خبره، پرداخته شود و معیارهایی که مشابه بوده و یا با هم همپوشانی دارند در قالب یک معیار، در نظر گرفته شوند و در نهایت، از ۳۳ معیار، ۲۶ معیار در نظر گرفته شد تا برای نظر سنجی از خبرگان، مورد استفاده قرار گیرد. بنابراین در پرسشنامه پژوهش، به بررسی توانایی شاخص ها در سنجش مولفه ها و نیز تعیین میزان اهمیت هر یک از آنها توسط خبرگان پرداخته شده است. جامعه آماری مورد نظر شامل خبرگان فناوری اطلاعات و خبرگانی که در زمینه برونسپاری صاحب نظر می باشند و نسبت به موضوع پژوهش آگاهی کافی دارند و نیز مدیران ارشد و مدیران فناوری اطلاعات شرکت هایی که به برونسپاری فعالیت های فناوری اطلاعات خود می پردازند و با چالش مهم انتخاب پیمانکار مناسب روبرو هستند، می باشد. در این پژوهش ۲۶ معیار مشخص شده در قالب ۹ مولفه تقسیم بندی شده اند. جهت تعیین میزان اهمیت هر یک از معیارها در هر یک از مولفه های ۹ گانه، از نرم افزار [اکسپرت چویس]^{۲۰} که مبتنی بر روش تحلیل سلسله مراتبی می باشد، استفاده شده و

موثر برونسپاری فناوری اطلاعات طراحی شده است. این سیستم از استنتاج مبتنی بر مورد استفاده نموده و استنتاج مبتنی بر قواعد و تکنیکهای برنامه نویسی را در یک محیط فازی یکپارچه می نماید و با استفاده از زبان برنامه نویسی پرولوگ^{۱۴} توسعه داده شده است [۳۴].

۲-۵. سیستم خبره فازی

سیستم خبره به عنوان یکی از شاخه های مهم هوش مصنوعی می باشد [۵۰] که راه حل بسیاری مفیدی برای حل مسائل هوش مصنوعی ارائه می دهد. در واقع سیستم خبره یک برنامه هوشمند کامپیوتری است که از دانش و رویه های استنتاج برای حل مسائلی که به اندازه کافی مشکل بوده و نیاز به تخصص خاص انسانی دارند استفاده می نماید [۵۱]. امروزه می توان کاربردهای بسیار سیستم های خبره را در کسب و کارها، پزشکی، علوم، و مهندسی و نیز در کتب، مجلات، کنفرانس ها و بسیاری از محصولات مشاهده نمود. این سیستم ها با استفاده از دانش فرد خبره به حل مشکلات و تصمیم گیری می پردازند. کاربر ابتدا واقعیت ها^{۱۵} یا دیگر اطلاعات را برای سیستم خبره فراهم می نماید، و در پاسخ یک توصیه یا تخصص دریافت می نماید. خود سیستم خبره شامل دو عنصر مهم می باشد [۵۲] موتور استنتاج: برنامه ای است که با تجزیه و تحلیل قواعد و دانش ذخیره شده در مخزن دانش نتایج منطقی را ارائه می نماید [۵۳]. دو روش استنتاج در سیستم های خبره وجود دارد: زنجیره رویه جلو^{۱۶} و زنجیره رو به عقب^{۱۷}. زنجیره رو به عقب استنتاجی است که از واقعیت ها به سمت نتایج پیش می رود در حالیکه استنتاجی که از سمت فرضیه ها به عقب، یعنی واقعیت ها حرکت می کند زنجیره رو به عقب نامیده می شود [۵۲]، (۲) پایگاه دانش: از تخصص و دانش افراد خبره جهت ساخت پایگاه دانش استفاده می شود. دانش می تواند بصورت قواعد^{۱۸} و یا موردها^{۱۹} در پایگاه دانش ذخیره شود [۵۴]. مزایای سیستم خبره شامل افزایش قابلیت دسترسی، کاهش هزینه، کاهش خطر، پایداری، تخصص چندگانه، افزایش

¹⁴ . Prolog

¹⁵ . Facts

¹⁶ . Forward chaining

¹⁷ . Backward chaining

¹⁸ . Rules

¹⁹ . Cases

²⁰ . Expert choice

مدرک کارشناسی ارشد دارند. از لحاظ وضعیت شغلی، ۲۷ نفر (۸۴.۴٪) به فعالیتهای دانشگاهی، ۲ نفر (۶.۳٪) در کسب و کار و ۲ نفر (۶.۳٪) نیز در هر دو زمینه مشغول هستند. از نظر میزان تجربه، میانگین تجربه آنها ۷.۱۶ سال می‌باشد.

۳-۲. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل داده ها

برای آزمون مرتبط بودن هر یک از معیارها با مولفه های ۹ گانه مربوطه با توجه به ماهیت دوگانه پاسخ ها، از آزمون دو جمله ای^{۲۲} استفاده شده است که از آزمونهای ناپارامتریک می‌باشد. در این قسمت طبقه ۱ به معنای پاسخ بلی و طبقه ۲ به معنای پاسخ خیر در نظر گرفته شدند. مقدار احتمال پایه ای پیش فرض ۵۰٪ و نقطه برش^{۲۳} ۱ در نظر گرفته شده است. نتایج حاصل از آزمون دو جمله ای برای همه مولفه ها در سطح اطمینان ۹۵٪، مقدار ۰.۰۰۰ بدست آمده است که نشان دهنده این است که همه تقسیم بندی های صورت گرفته از معیارها در قالب مولفه های مربوطه مناسب بوده و همه آنها توسط خبرگان تایید گشته اند.

در مرحله بعدی تجزیه و تحلیل داده‌ها تاثیر هر یک از معیارها بر موفقیت برونسپاری درون مرزی فناوری اطلاعات آزمون شده است. برای آزمون این قسمت میانگین میزان تاثیر اقدامات این سطوح را محاسبه نموده و سپس در سطح معناداری ۰.۰۵ بوسیله آزمون [تی] و در سطح اطمینان ۹۵٪ مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج در جدول ۲ قابل مشاهده می‌باشد. همانطور که در جدول ۲ نیز مشخص شده است از ۲۶ معیار مشخص شده ۲۱ معیار تایید و ۵ معیار انطباق مکانی، انطباق فرهنگی، روابط نزدیک با پیمانکار، اوضاع مطلوب اقتصادی کشور پیمانکار و ثبات سیاسی کشور پیمانکار توسط خبرگان تایید نشده اند. رد شدن ۴ معیار انطباق فرهنگی و مکانی و ثبات سیاسی و اوضاع اقتصادی به دلیل این است که این معیارها بیشتر در برونسپاری برون مرزی اهمیت دارند. زیرا در برونسپاری درون مرزی هر دو شرکت برونسپاری کننده و پیمانکار در یک کشور قرار دارند لذا تایید نشدن آنها در برونسپاری درون مرزی طبیعی به نظر می‌رسد اما در مورد معیار روابط نزدیک با پیمانکار بسیاری از خبرگان معتقدند تنها داشتن روابط نزدیک شرکت برونسپاری کننده و پیمانکار نمی‌تواند نشان دهنده کفایت و صلاحیت پیمانکار باشد.

به منظور طراحی سیستم خبره نرم افزار [متلب^{۲۱}] به کار برده شده است. در نهایت پس از طراحی سیستم خبره مورد نظر، جهت اطمینان از عملکرد مناسب این سیستم در انتخاب پیمانکار مناسب، به استفاده از این سیستم در یک شرکت فناوری اطلاعات که به برونسپاری نمودن فعالیتهای فناوری اطلاعات خود می‌پردازد مبادرت شده است و نتایج حاصل از استفاده از این سیستم با روش مورد استفاده در شرکت مذکور مقایسه شده و عملکرد این سیستم سنجیده شده است.

سنجش روایی پرسشنامه نخست از طریق ارزیابی دقیق و گسترده پیشینه پژوهش و سپس مشورت با چند خبره فناوری اطلاعات انجام شد. سپس از خبرگان فناوری اطلاعات به روش گلوله برفی نظر خواهی شد که از میان آنها ۳۲ خبره به پرسشنامه پژوهش پاسخ دادند. جهت بررسی پایایی پرسشنامه از ضریب آلفای کرونباخ استفاده شده است که برای قسمت اول پرسشنامه یعنی تعیین مرتبط بودن معیارها با مولفه ها، مقدار این ضریب ۰.۸۳۲، و برای قسمت دوم پرسشنامه یعنی میزان اهمیت معیارها در برونسپاری درون مرزی مقدار ۰.۸۴۳، بدست آمد که از لحاظ آماری نشان دهنده پایایی پرسشنامه می‌باشد.

۳-۱. اطلاعات جمعیت شناختی

جامعه آماری این پژوهش اساتیدی که در زمینه فناوری اطلاعات و برونسپاری آن صاحب نظر بوده، و مدیران و متخصصان برجسته کسب و کار در داخل و خارج از کشور هستند که دارای تحصیلات لازم در حوزه این پژوهش می‌باشند که به شیوه حضوری و الکترونیکی از آنها خواسته شد تا به پرسشنامه پاسخ دهند. طبق نتایج، میانگین سن خبرگان ۳۷.۱۹ سال است. پاسخ دهندگان به پرسشنامه از لحاظ جنسیت، ۲۷ نفر (۸۴.۴٪) مرد و ۵ نفر (۱۵.۶٪) زن می‌باشند. از نظر رشته تحصیلی ۱۲ نفر (۳۷.۵٪) در گرایشهای مختلف مدیریت از جمله مدیریت فناوری اطلاعات، مدیریت صنعتی، مدیریت سیستم، مدیریت بازرگانی، مدیریت اطلاعات و علم مدیریت و مهندسی، ۸ نفر (۲۵٪) در مهندسی صنایع، ۶ نفر (۱۸.۸٪) در مهندسی فناوری اطلاعات، ۳ نفر (۹.۴٪) در سیاستگذاری علم و فناوری، ۳ نفر (۹.۴٪) در مهندسی کامپیوتر تحصیل کرده اند. از نظر سطح تحصیلات، ۲۴ نفر (۷۵٪) مدرک دکتری، ۷ نفر (۲۱.۹٪) دانشجوی دکتری و ۱ نفر (۳.۱٪) نیز

²² .Binomial Test

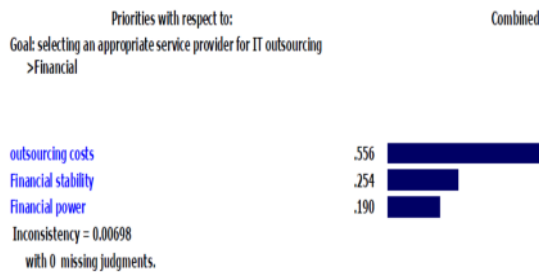
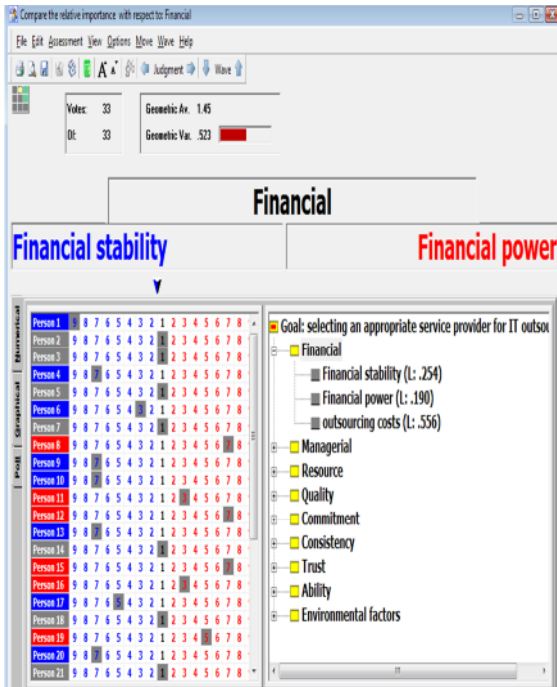
²³ . Cut point

²¹ . MATLAB

جدول ۲: نتایج حاصل از آزمون تی و وزن هر یک از معیارها

مولفه	معیار	N	میانگین	انحراف معیار	df	T	سطح معناداری	وزن
مالی	ثبات مالی	۳۲	۴.۰۹	۰.۷۷۷	۳۱	۷.۹۶	۰.۰۰۰	۰.۲۵۴
	قدرت مالی	۳۲	۴.۰۶	۰.۶۱۹	۳۱	۹.۷۱	۰.۰۰۰	۰.۱۹۰
	هزینه های برونسپاری	۳۲	۴.۵۶	۰.۷۵۹	۳۱	۱۱.۶۴	۰.۰۰۰	۰.۵۵۶
مدیریتی	انعقاد قرارداد منعطف	۳۲	۳.۶۳	۰.۹۰۷	۳۱	۳.۹۰	۰.۰۰۰	۰.۳۹۵
	مهارت مدیریت منابع انسانی بخش IT	۳۲	۴.۰۶	۰.۷۱۶	۳۱	۸.۴۰	۰.۰۰۰	۰.۲۳۸
	توانایی مدیریت روابط برونسپاری	۳۲	۳.۴۱	۰.۹۴۶	۳۱	۲.۴۳	۰.۰۲۱	۰.۳۶۷
منابع	مهارت فنی و تکنولوژیکی	۳۲	۴.۴۷	۰.۶۲۱	۳۱	۱۳.۳۷	۰.۰۰۰	۰.۵۲۵
	سرمایه های فیزیکی	۳۲	۴.۱۳	۰.۷۵۱	۳۱	۸.۴۷	۰.۰۰۰	۰.۱۶۷
	سرمایه های فکری	۳۲	۳.۹۷	۰.۷۸۲	۳۱	۷.۰۱	۰.۰۲۱	۰.۳۰۸
کیفیت	کیفیت محصول	۳۲	۴.۷۸	۰.۶۲۰	۳۱	۲۳.۹۹	۰.۰۰۰	۰.۵۸۹
	سطوح بالای خدمت	۳۲	۴.۴۴	۰.۶۶۹	۳۱	۱۲.۱۵	۰.۰۰۰	۰.۴۱۱
	پاسخگویی به موقع به نیاز مشتریان	۳۲	۴.۲۸	۰.۶۳۴	۳۱	۱۱.۴۳	۰.۰۰۰	۰.۳۳۱
تعهد	تحويل به موقع محصول یا خدمت	۳۲	۴.۳۱	۰.۶۴۴	۳۱	۱۱.۵۲	۰.۰۰۰	۰.۳۳۲
	خدمات پس از فروش	۳۲	۴.۰۰	۰.۷۱۸	۳۱	۷.۸۷	۰.۰۰۰	۰.۳۳۷
	انطباق مکانی	۳۲	۲.۹۷	۱.۰۹	۳۱	-۰.۱۶	۰.۸۷۲	-
میزان انطباق	انطباق فرهنگی	۳۲	۲.۸۴	۰.۸۵	۳۱	-۱.۰۴	۰.۳۰۵	-
	روابط نزدیک با پیمانکار	۳۲	۳.۱۶	۱.۰۸	۳۱	۰.۸۲	۰.۴۲۰	-
	انعطاف پذیری پیمانکار	۳۲	۴.۳۸	۰.۶۶	۳۱	۱۱.۷۹	۰.۰۰۰	-
	میزان اعتبار/ اعتماد	۳۲	۴.۴۱	۰.۹۵	۳۱	۸.۴۱	۰.۰۰۰	۰.۴۱۴
اطمینان	امنیت بالای پیمانکار	۳۲	۴.۴۷	۰.۵۷	۳۱	۱۴.۶۵	۰.۰۰۰	۰.۵۸۶
	میزان تجربه	۳۲	۳.۸۸	۰.۸۳	۳۱	۵.۹۴	۰.۰۰۰	۰.۳۱۲
	عملکرد مطلوب بخش IT پیمانکار	۳۲	۴.۰۰	۰.۸۴	۳۱	۶.۷۱	۰.۰۰۰	۰.۳۳۱
توانایی	استفاده از فناوریهای جدید	۳۲	۴.۶۹	۰.۵۹	۳۱	۱۶.۱۲	۰.۰۰۰	۰.۱۸۸
	نوآوری پیمانکار	۳۲	۳.۴۴	۰.۹۸	۳۱	۲.۵۲	۰.۰۱۷	۰.۱۶۹
	اوضاع مطلوب اقتصادی کشور پیمانکار	۳۲	۳.۰۰	۱.۱۱	۳۱	۰.۰۰۰	۱.۰۰۰	-
عوامل محیطی	ثبات سیاسی کشور پیمانکار	۳۲	۳.۲۲	۱.۰۹	۳۱	۱.۱۳	۰.۲۶۹	-

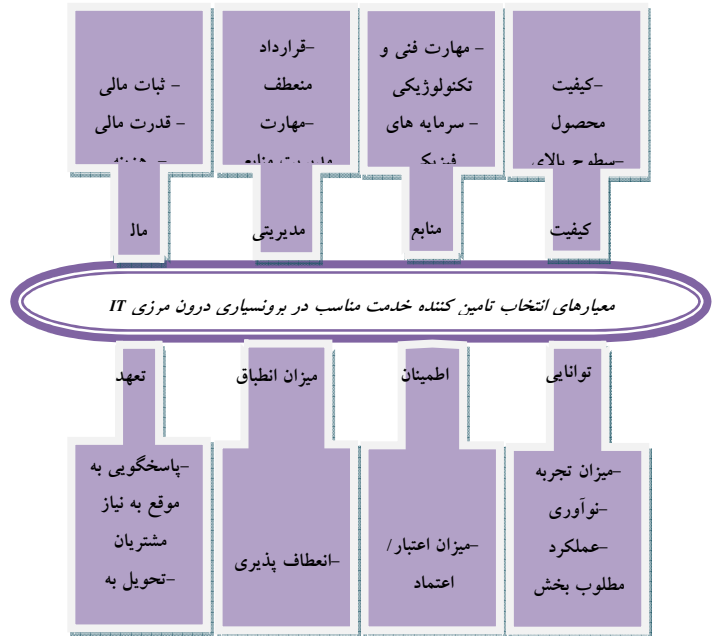
میزان ناسازگاری محاسبه شده توسط نرم افزار برای همه معیارها کمتر از ۰.۱ می باشد. مطابق استاندارد میزان ناسازگاری باید کمتر یا مساوی ۰.۱ باشد.



شکل ۲: نمونه ای از عملکرد نرم افزار اکسپرت چویس برای مولفه مالی

۴- طراحی سیستم خبره فازی انتخاب پیمانکار در برونسپاری فناوری اطلاعات

جهت طراحی این سیستم خبره، از نرم افزار [متلب] استفاده شده است و از امکانات واسط گرافیکی کاربر و جعبه ابزار منطق فازی^۲ آن استفاده شده است و با برقراری ارتباط میان این دو بخش، سعی شده است تا سیستمی طراحی شود که با داشتن واسط گرافیکی کاربر مناسب، کاربر پسند بوده و با استفاده از جعبه ابزار منطق فازی، انعطاف پذیری و عملکرد سیستم بهبود یابد. در این سیستم خبره بطور کلی چهار پنجره



شکل ۱: چارچوب نهایی پژوهش برای برونسپاری درون مرزی IT

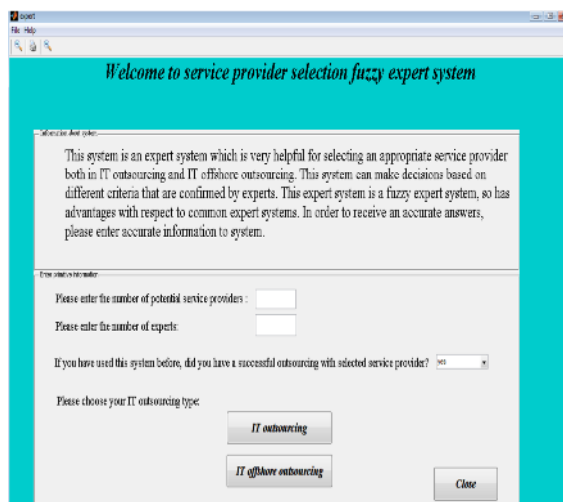
در مرحله بعدی میزان اهمیت هر یک از معیارهای تایید شده در مولفه های ۸ گانه با استفاده از نرم افزار [اکسپرت چویس ۱۱] سنجیده شده است. این نرم افزار با استفاده از تکنیک تحلیل سلسله مراتبی^۱ قادر به مقایسه زوجی گزینه های مختلف و تعیین وزن معیارها می باشد. در این بخش، از داده های حاصل از جدول دوم پرسشنامه که از خیرگان خواسته شده بود تا اهمیت هر کدام از معیارها را دو به دو در یک طیف ۹ تایی مشخص نمایند، استفاده شده است. سپس با وارد نمودن تعداد ۳۲ خبره و ارزیابی های صورت گرفته توسط آنها برای مقایسه زوجی هر کدام از معیارها در هر مولفه، هر کدام از معیارها دو به دو با یکدیگر مقایسه شده و وزن هر کدام از آنها در هر مولفه توسط نرم افزار تعیین شده اند (شکل ۲ نمونه ای از عملکرد این نرم افزار برای مولفه مالی و وزن محاسبه شده توسط آن را نشان می دهد). تعیین اهمیت هر کدام از معیارها برای طراحی سیستم خبره مورد نظر مورد نیاز می باشد زیرا با مشخص شدن اهمیت هر کدام، وزن بیشتری به معیار مربوطه تعلق خواهد یافت. در نظر گرفتن وزن هر یک از معیارها در سیستم خبره مورد نظر سبب افزایش قابلیت و کارایی سیستم خواهد شد. وزن هر یک از معیارها در ستون آخر جدول ۲ قابل مشاهده می باشد. برای معیارهایی که در مرحله قبل تایید نشده اند و نیز برای مولفه هایی که شامل تنها یک معیار می باشند وزنی محاسبه نشده است.

^۲ . Fuzzy Logic

^۱ . AHP

و وزن هایی که محاسبه می شود به عنوان ورودی تابع فازی به ماژول فازی فرستاده می شود تا بر اساس توابع عضویت مشخص شده در این جعبه ابزار، خروجی فازی، محاسبه شده و به کاربر نمایش داده شود (ماژول سیستم استنتاج فازی در بخش ۴-۱ به تفصیل بیان می شود). در این پنجره ۶ بخش مجزا مربوط به ۶ مولفه وجود دارد که کاربر باید در هر بخش عملیات ذکر شده را انجام داده تا بتواند مقدار خروجی محاسبه شده را مشاهده نماید. پس از اینکه همه اطلاعات در این پنجره وارد شد و مقدار مولفه ها محاسبه گردید، کاربر می تواند با فشردن دکمه Next وارد مرحله بعدی شده و یا اینکه با فشردن دکمه Cancel سبب توقف عملیات گردد (شکل ۴).

پس از اینکه کاربر همه اطلاعات را وارد نمود و امتیاز شش مولفه مذکور محاسبه شد با فشردن دکمه Next پنجره بعدی ظاهر می شود. در پنجره سوم، اطلاعات مورد نیاز برای دو مولفه توانایی و سطح انطباق نیز باید توسط کاربر وارد شود. پس از اینکه امتیاز همه مولفه ها توسط سیستم محاسبه گردید، کاربر می تواند امتیازات محاسبه شده برای پیمانکار مورد نظر خود در این پنجره مشاهده نماید.



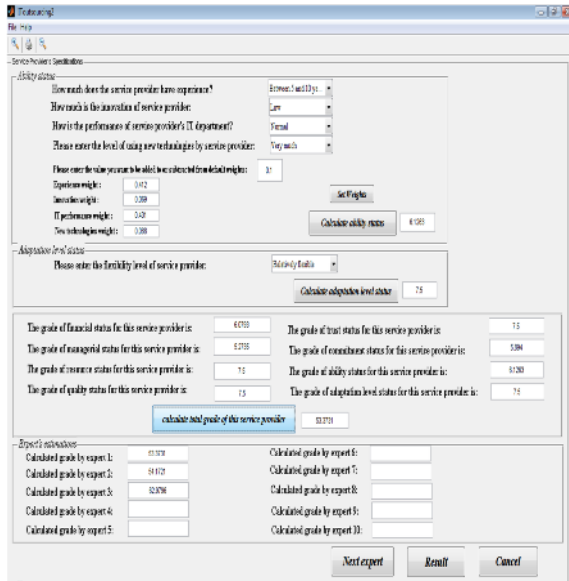
شکل ۳: نخستین پنجره سیستم خبره انتخاب پیمانکار

با فشردن دکمه "Calculate total grade of this service provider" امتیاز حاصل از همه مولفه ها برای پیمانکار جاری و بر اساس ارزیابی های متخصص جاری محاسبه می گردد. امتیازهای حاصل از نظرات متخصصان مختلف معمولاً متفاوت می باشد زیرا اهمیت بعضی از معیارها از نظر متخصصان، متفاوت می باشد و هدف این سیستم، تصمیم گیری نهایی از طریق ارزیابی امتیازهای حاصل از متخصصان مختلف می باشد.

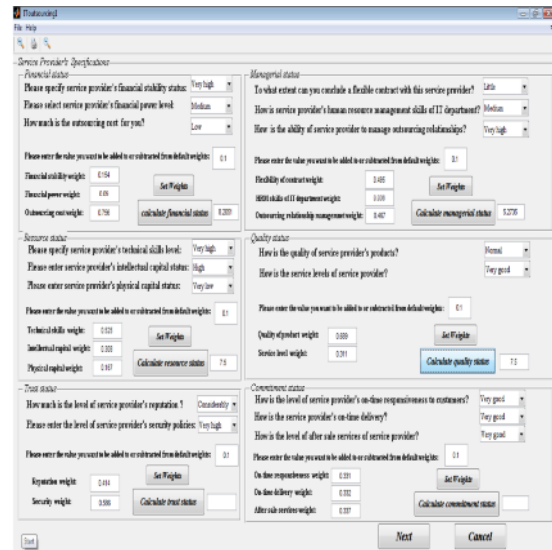
برای کاربر و به ترتیب ظاهر می شود که در سه پنجره اول، کاربر اطلاعات لازم را به سیستم وارد می نماید و در نهایت در پنجره چهارم، نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل سیستم در اختیار کاربر قرار می گیرد.

با اجرا نمودن سیستم خبره، در اولین پنجره ظاهر شده نخست سیستم بصورت مختصر برای کاربر معرفی می شود، سپس اطلاعات لازم و اولیه از کاربر گرفته می شود. کاربر باید اطلاعات مورد نیاز درباره تعداد پیمانکارانی که جهت انتخاب، نیاز به بررسی و ارزیابی آنها را دارد وارد نماید. همچنین تعداد متخصصان سازمان مورد نظر نیز باید توسط کاربر وارد شود. منظور از متخصصان سازمان، افرادی است که در فرآیند انتخاب پیمانکار مناسب از میان پیمانکاران بالقوه برای سازمان مشارکت دارند. حداکثر تعداد متخصصانی که کاربر می تواند انتخاب نماید ۱۰ نفر می باشد. سوالی که در ادامه از کاربر پرسیده می شود این است که آیا قبلاً کاربر از سیستم مورد نظر استفاده نموده است یا خیر. با پاسخ به این سوال نحوه کار سیستم بر اساس پاسخ متفاوت خواهد بود که این قسمت مربوط به قابلیت انعطاف پذیری سیستم می باشد که در ادامه به آن پرداخته خواهد شد. پس از وارد نمودن همه اطلاعات لازم، کاربر با انتخاب نوع برونسپاری فناوری اطلاعات (برونسپاری درون مرزی یا برون مرزی) وارد مرحله بعدی می شود. نخستین پنجره مربوط به سیستم در شکل ۳ نشان داده شده است. این بخش طوری طراحی شده است که در صورت وارد کردن اطلاعاتی معتبر و صحیح وارد مرحله بعدی می شود، در غیر اینصورت از کاربر خواسته می شود تا اطلاعات صحیح را وارد نماید تا سیستم بتواند به کار خود ادامه دهد.

در پنجره بعد، کاربر باید اطلاعات مربوط به معیارهای موجود در چارچوب پژوهش یعنی وضعیت مالی، مدیریتی، منابع، کیفیت، اطمینان و تعهد پیمانکار اول را وارد نماید. در این قسمت کاربر با استفاده از متغیرهای زبانی که در منوی کشویی مشخص شده اند، وضعیت پیمانکار در هر معیار را وارد می نماید. پس از آن، در صورتی که کاربر تجربه استفاده از سیستم را داشته باشد می تواند مقدار وزن های پیش فرض را تغییر دهد (این بخش مربوط به قابلیت انعطاف پذیری سیستم می باشد که در بخش ۴-۲ مورد بررسی قرار می گیرد). سپس، با فشردن دکمه "Set Weights" وزنه های هر معیار محاسبه می شود. این وزن ها، وزنهایی هستند که توسط نرم افزار اکسپرت چویس محاسبه شده اند. پاسخ هایی که کاربر انتخاب می کند



شکل ۵: پنجره سوم سیستم خبره



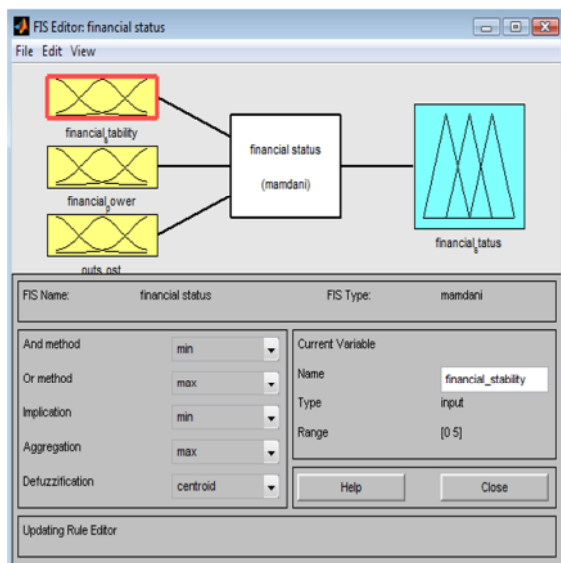
شکل ۶: نمونه ای از پنجره دوم سیستم خبره

در پنجره بعدی، کاربر می تواند تعداد پیمانکارانی را که در پنجره اول وارد نموده بود مشاهده نماید. همچنین امتیاز پیمانکار جاری که بر اساس میانگین امتیازهای محاسبه شده بر اساس ارزیابی های متخصصان بدست آمده نیز در این پنجره قابل مشاهده می باشد. در صورتیکه تعداد پیمانکارانی که کاربر در پنجره اول وارد نموده و تمایل به مقایسه امتیاز آنها دارد بیشتر از یک باشد، با فشردن دکمه "Calculate the grade of next service provider" کاربر می تواند همه مراحل قبل را برای پیمانکار بعدی انجام داده و امتیاز محاسبه شده برای آن را مشاهده نماید.

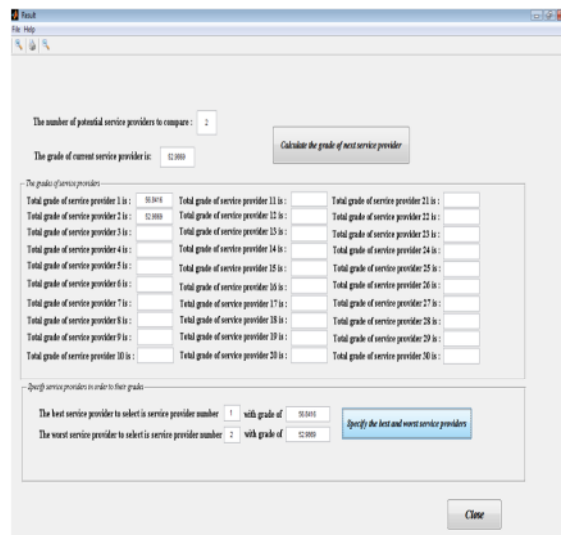
پس از اینکه امتیاز مربوط به همه پیمانکاران بر اساس نظر متخصصان سازمان یا شرکت محاسبه گردید، در این پنجره کاربر می تواند امتیاز هر یک از پیمانکاران را مشاهده نماید. در قسمت انتهایی این پنجره، سیستم این امکان را به کاربر می دهد تا با فشردن دکمه "Specify the best and worst service providers"، امتیازهای مربوط به پیمانکارانی که دارای بالاترین و پایین ترین امتیازها بوده اند را مشاهده نماید. بنابراین کاملاً مشخص است که این سیستم با دارا بودن قابلیت محاسبه امتیاز مربوط به پیمانکاران و بر اساس ارزیابی های متخصصان، این امکان را به سازمان یا شرکت برونسپاری کننده می دهد تا با مقایسه امتیازها بتواند مناسب ترین پیمانکار را بر اساس نیاز خود انتخاب نماید و امکان موفقیت پروژه های برونسپاری خود را افزایش دهد. شکل ۶ مربوط به آخرین پنجره سیستم خبره می باشد.

در صورت اینکه تعداد متخصصانی که در این فرآیند درگیر هستند و تعداد آنها توسط کاربر در پنجره اول مشخص شده بیشتر از یک متخصص باشد، با فشردن دکمه "Next expert" سیستم مجدداً به پنجره دوم (یعنی پنجره ای که اطلاعات مربوط به پیمانکار در ارتباط با معیارها و مولفه های مشخص شده توسط کاربر باید وارد شود) برمی گردد تا اطلاعات مربوط به پیمانکار جاری توسط متخصص بعدی وارد شود و امتیاز پیمانکار بر اساس نظر متخصص بعدی توسط سیستم محاسبه گردد. این مراحل به تعداد متخصصان موجود در فرآیند برونسپاری تکرار می شود. شکل ۵ پنجره مربوط به این مرحله را نشان می دهد.

همانطور که در شکل نیز مشخص است، امتیازهای محاسبه شده بر اساس نظرات سه متخصصی که در فرآیند برونسپاری حضور داشته اند، محاسبه شده و توسط کاربر قابل مشاهده می باشد. پس از اینکه همه متخصصان ارزیابی های خود را از پیمانکار مورد نظر بر اساس معیارها و مولفه های مذکور انجام دادند، کاربر می تواند با فشردن دکمه "Result" وارد پنجره بعدی شود.



شکل ۷: سیستم استنتاج فازی مربوط به مولفه مالی



شکل ۶: پنجره مربوط به نتایج نهایی ارائه شده توسط سیستم خبره انتخاب پیمانکار

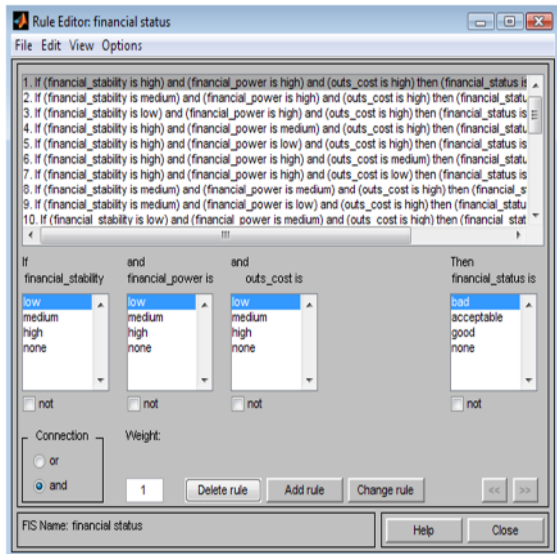
در این سیستم بر اساس بررسی پیشینه پژوهش و توابع عضویت بکار برده شده توسط سیستم های مشابه طراحی شده و نیز با استفاده از نظرات خبرگان، از تابع عضویت مثلثی (trimf) استفاده شده است. این تابع هم برای متغیرهای ورودی و هم برای متغیرهای خروجی همه مولفه ها بکار برده شده است. تابع عضویت مثلثی تابعی از بردار X می باشد که مبتنی بر سه پارامتر a ، b و c به صورت زیر می باشد:

$$f(x; a, b, c) = \max\left(\min\left(\frac{x-a}{b-a}, \frac{c-x}{c-b}\right), 0\right)$$

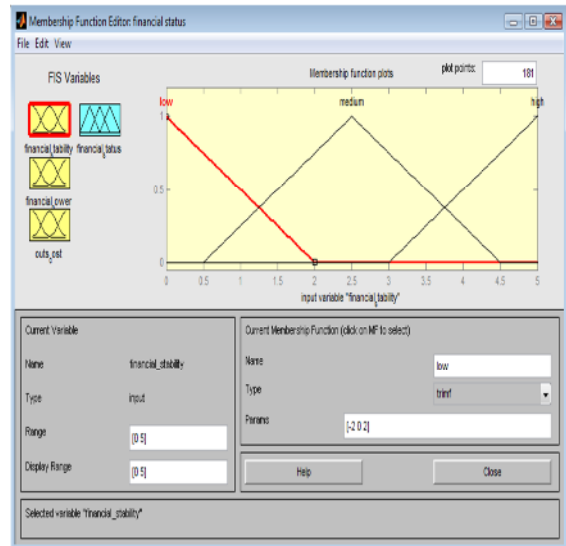
که پارامترهای a و c در راسهای پایینی و پارامتر b در راس بالایی مثلث واقع شده اند. برای مثال برای متغیر ثبات مالی، از سه تابع عضویت مثلثی (Low, medium, high) استفاده شده است (شکل ۸). محدوده متغیرهای ورودی ۰ تا ۵ و محدوده متغیرهای خروجی ۰ تا ۱۵ در نظر گرفته شده است. تابع عضویت Low شامل سه پارامتر (۲، ۰، -۲) می باشد. تابع عضویت medium دارای سه پارامتر (۰.۵، ۲.۵، ۰.۵) می باشد و تابع عضویت high نیز دارای سه پارامتر (۷، ۵، ۳) می باشد. برای متغیر خروجی financial status نیز از سه تابع عضویت مثلثی (good, acceptable, bad) استفاده شده است.

۴-۱. بررسی ماژول فازی سیستم خبره

سیستم خبره طراحی شده یک سیستم خبره فازی می باشد که با استفاده از اطلاعات وارد شده توسط کاربر و بر اساس متغیرهای زبانی به عنوان ورودی، خروجی فازی را تولید و پس از فازی زدایی در اختیار کاربر قرار می دهد. بدین منظور، جهت طراحی چنین سیستمی از جعبه ابزار منطق فازی [متلب] استفاده شده است. در این مرحله برای هر یک از مولفه های برونسپاری درون مرزی، متغیرهای ورودی و خروجی مشخص شده اند. در برونسپاری درون مرزی ۸ مولفه وجود دارند که برای هر یک از مولفه ها سیستم استنتاج فازی جداگانه با استفاده از نرم افزار [متلب] و جعبه ابزار منطق فازی آن طراحی شده است. یعنی ماژول برونسپاری درون مرزی فناوری اطلاعات، خود شامل ۸ سیستم استنتاج فازی می باشد. برای مثال، برای مولفه مالی یک سیستم استنتاج فازی به نام وضعیت مالی طراحی شده است که شامل سه متغیر ورودی و یک متغیر خروجی می باشد. متغیرهای ورودی همان معیارهای مولفه مالی یعنی ثبات مالی، قدرت مالی، و هزینه های برونسپاری می باشند که مقدار آنها توسط کاربر مشخص می شود و خروجی سیستم استنتاج فازی، متغیری به نام وضعیت مالی می باشد. سیستم استنتاج فازی مربوط به مولفه مالی در شکل ۷ نشان داده شده است. برای هر کدام از مولفه های بیان شده، سیستم هایی مشابه سیستم استنتاج فازی مولفه مالی طراحی شده است. سپس برای هر یک از متغیرهای ورودی و خروجی تعیین شده، مجموعه های فازی و توابع عضویت مشخص شده اند.



شکل ۹: قوانین مولفه مالی در برونسپاری درون مرزی IT



شکل ۸: تابع عضویت متغیر ورودی ثابت مالی

۴-۲. قابلیت‌های سیستم خبره انتخاب پیمانکار

سیستم طراحی شده دارای قابلیت‌های متعددی است که یکی از آنها قابلیت انعطاف پذیری می‌باشد. از آنجایی که وزن و اهمیت هر یک از معیارها برای سازمان‌های مختلف، متفاوت می‌باشد، بنابراین سیستم قادر است بر اساس تجربه قبلی هر سازمان از کاربرد سیستم، وزن هر معیار را متناسب با آن تنظیم نماید. به این ترتیب که با اجرای سیستم، در اولین پنجره ظاهر شده سوالی از کاربر پرسیده می‌شود مبنی بر اینکه آیا کاربر قبلاً از سیستم استفاده نموده است یا خیر و اگر استفاده نموده آیا تجربه موفق داشته است یا خیر. جهت پاسخ به این سوال، سه گزینه برای انتخاب کاربر وجود دارد. اگر کاربر تجربه موفق در اثر استفاده از سیستم در گذشته داشته باشد، پاسخ "بلی" را انتخاب می‌کند و در غیر اینصورت پاسخ "خیر" را انتخاب می‌نماید. در صورتیکه کاربر هیچ تجربه قبلی از استفاده از سیستم نداشته باشد، گزینه "کاربر جدید" را انتخاب می‌نماید. بر اساس پاسخ کاربر به این سوال، نوع عملیات سیستم متفاوت خواهد بود. در صورتیکه پاسخ "بلی" انتخاب شده باشد، به معنای این است که وزن‌های پیش فرض در نظر گرفته شده در سیستم، برای سازمان مربوطه نسبتاً مناسب می‌باشد و امکان بهبود این وزن‌ها نیز برای کاربر (سازمان مربوطه) فراهم می‌باشد. حال در مرحله تنظیم وزن‌ها، سیستم این امکان را به کاربر می‌دهد تا با مشخص نمودن مقداری که مطلوب اوست، بتواند مقدار وزن‌ها را تغییر دهد (البته این محدودیت برای کاربر وجود دارد که هر مقداری را نمی‌تواند وارد سیستم نماید و مقدار وارد شده نباید سبب اختلال در

ایجاد پایگاه قانون فازی در این سیستم با استفاده از ویرایشگر قواعد^۱ و بصورت اگر-آنگاه^۲ صورت گرفته است. این به معنای این است که برای هر یک از مولفه‌های برونسپاری درون مرزی پایگاه قانونی ایجاد شده است که شامل قوانین فازی مربوطه می‌باشند که بر روی مجموعه‌های فازی عمل می‌نمایند. برای مثال، پایگاه قوانین مولفه مالی شامل ۲۷ قانون می‌باشد (شکل ۹). در کل، برای برونسپاری درون مرزی فناوری اطلاعات تعداد ۲۱۱ قانون در سیستم ایجاد شده است. همچنین روش استنتاج فازی روش ممدانی و الگوریتم استنتاج مورد استفاده، زنجیره پیشرو^۳ می‌باشد. در این سیستم، روش And بکار برده شده روش min، و روش Or بکار گرفته شده روش max می‌باشد. روشهای Implication و Aggregation نیز به ترتیب روشهای min و max می‌باشند. جهت فازی زدایی خروجی بدست آمده از میان روشهای مختلف فازی زدایی برای روش استنتاج ممدانی، از روش مرکزبایی^۴ استفاده شده است.

۱ . Rule Editor
 ۲ . if-then
 ۳ . Forward chaining
 ۴ . centroid

نرمال بودن وزن ها شود). بدین ترتیب، وزن معیارهای با اهمیت برای سازمان بیشتر و وزن معیارهای کم اهمیت برای سازمان کمتر خواهد شد و نتایج محاسبه شده توسط سیستم دقیق تر می شود. در صورتی که پاسخ "خیر" انتخاب شده باشد، به معنای این است که وزن های پیش فرض در نظر گرفته شده در سیستم، برای سازمان مربوطه نامناسب می باشد و می توان مقدار وزن ها را برای کاربر (سازمان مربوطه) بهبود داد. در این صورت وزن معیارهای پر اهمیت برای سازمان بیشتر و وزن معیارهای کم اهمیت برای سازمان کمتر خواهد شد و نتایج محاسبه شده توسط سیستم دقیق تر می شود. در صورتی که کاربر یک کاربر جدید باشد، با انتخاب پاسخ "کاربر جدید" عملیات سیستم متفاوت خواهد بود. در این صورت وزن هر یک از معیارها بر اساس مقادیرهای پیش فرض مشخص شده، تنظیم خواهد شد.

از دیگر قابلیت های سیستم، می توان به منوهای طراحی شده جهت کمک به کاربر در استفاده از سیستم اشاره نمود. هر پنجره ای که برای کاربر ظاهر می شود، حاوی منوی کمکی (Help) می باشد که جهت یاری رساندن به کاربر برای نحوه انجام عملیات توسط سیستم، طراحی شده اند. منوی کمکی موجود در هر پنجره، با پنجره های دیگر متفاوت می باشد، و اطلاعات لازم را در ارتباط با کار با پنجره جاری در اختیار کاربر قرار می دهد. همچنین در منوی سیستم، قابلیت چاپ نتایج حاصل شده از سیستم برای کاربر نیز در نظر گرفته شده است. از دیگر قابلیت های سیستم می توان به مقایسه پیمانکاران مختلف فناوری اطلاعات، اتخاذ نظرات متخصصان مختلف سازمان و دربرداشتن مازول برونسپاری برون مرزی اشاره نموده که البته در این مقاله تنها به معرفی مازول برونسپاری درون مرزی پرداخته شد. بنابراین مجموعه این قابلیت ها می تواند کاربر پسند بودن سیستم طراحی شده را که از اهداف اولیه هر سیستم می باشد، افزایش دهد.

۴-۲. اعتبارسنجی سیستم

آخرین مرحله ای که در این پژوهش وجود دارد، مربوط به اعتبارسنجی سیستم خبره طراحی شده در یک سازمان واقعی و با داده های واقعی می باشد. جهت اعتبار سنجی این سیستم، شرکت خدمات سیستم های کاربردی کاسپین انتخاب شده است که به عنوان یکی از شرکت های عضو گروه پاریسیان فعالیت می کند. فعالیت اصلی این شرکت ارائه خدمات در زمینه

طراحی و تولید نرم افزارهای کاربردی، بومی سازی نرم افزارهای خارجی و طراحی تامین و پیاده سازی زیرساخت های سخت افزاری و نرم افزاری است. این شرکت برخی از فعالیتهای مورد نظر خود را با توجه به اهداف و استراتژیهای خود برونسپاری می نماید. فرآیند انتخاب پیمانکار در این شرکت، در چند گام متوالی صورت می گیرد. در مرحله اول، شرکت به بررسی فعالیت مورد نظر می پردازد به طوری که اگر فعالیت مورد نظر قبلاً توسط پیمانکاری انجام شده باشد، و پروژه مورد نظر با موفقیت انجام شده باشد، با احتمال بیشتری پیمانکار سابق انتخاب خواهد شد. در غیر اینصورت، اگر در مورد فعالیت جدیدی تصمیم به برونسپاری گرفته شود، این فعالیت با فعالیتهای مشابه تطبیق داده می شود و پیمانکارانی برای ارزیابی انتخاب خواهند شد که توانسته باشند فعالیتهای مشابه قبلی را با موفقیت به اتمام برسانند. در مرحله بعدی، به ارزیابی حجم فعالیت و هزینه های مالی آن پرداخته می شود و بر اساس حجم فعالیت و هزینه های مالی آن شاخص های مختلفی برای ارزیابی پیمانکار در نظر گرفته شده و افراد مختلفی در فرآیند ارزیابی درگیر می شوند. بر اساس آئین نامه اجرایی معاملات شرکت مزبور، برونسپاری جزو خریدهای شرکت محسوب می شود و این خرید ها بر اساس هزینه هایشان به ۵ دسته خرید های جزئی، خرید های خرد، خرید های متوسط، خرید های عمده و خریدهای کلان تقسیم بندی می شوند. در صورتیکه برونسپاری جزئی و خرد باشد، از شاخص های گروه الف و در غیر اینصورت از شاخص های گروه ب برای انتخاب پیمانکار در این شرکت استفاده می شود. شاخص های گروه الف، شامل معیارهای تجربه پیمانکار، داشتن روابط قبلی با آن، اعتبار آن و هزینه های برونسپاری می باشد. اما شاخص های گروه ب به دلیل اینکه حجم مالی آن بسیار و افراد بیشتری در فرآیند درگیر می باشند متعدد می باشد که فرآیند آن بدین صورت می باشد: بررسی جایگاه تخصصی پیمانکاران بالقوه در بازار، که شرکت این کار را از طریق آنالیز بازار شرکت پیمانکار و نیز بررسی رتبه آن بر اساس رتبه بندی شورای عالی انفورماتیک انجام می دهد. همچنین توانایی های پیمانکاران نیز در این مرحله در نظر گرفته می شود و در نهایت یک لیست کوتاهی از پیمانکارانی که دارای جایگاه تخصصی مناسب، رتبه خوب و توانایی بالا باشند تهیه می شود. سپس، گردش مالی پیمانکاران انتخاب شده در مرحله اول مورد بررسی قرار می گیرد و بر این اساس نیز یک سری از

استانداردها			
انعطاف پذیری	کم	زیاد	متوسط
کیفیت خدمات و بررسی سطوح خدمت	خوب	خیلی خوب	خوب
امکانات فنی و تکنولوژیکی در نقاط مختلف	نسبتاً خوب	خوب	نسبتاً خوب
قیمت تمام شده	زیاد	زیاد	زیاد

همانطور که از اطلاعات موجود در جدول نیز پیداست، بر اساس نظر شرکت مذکور، پیمانکار دوم، مناسبترین انتخاب برای برونسپاری سیستم مدیریت پروژه می باشد. جهت بررسی نتایج حاصل از سیستم خبره طراحی شده، از متخصصان شرکت که در فرآیند انتخاب پیمانکار مشارکت داشتند (سه متخصص) خواسته شد تا اطلاعات مربوط به هر پیمانکار را در سیستم وارد کنند. مسلم است که معیارهایی که در سیستم در نظر گرفته شده نسبت به معیارهای مورد نظر شرکت، جامع تر بوده و بنابراین امکان تصمیم گیری صحیح تری را فراهم می آورد. در نهایت امتیاز هر یک از پیمانکاران توسط سیستم محاسبه گردید که این امتیازها به شرح زیر می باشد:

$$\text{پیمانکار ۱} = ۶۶.۵۵۳۴، \text{ پیمانکار ۲} = ۶۱.۴۲۷۲، \text{ پیمانکار ۳} = ۵۰.۵۵۳$$

همانطور که ملاحظه می شود با مقایسه امتیازات داده شده توسط سیستم به هر یک از پیمانکاران، پیمانکار دوم با اختلاف نسبتاً زیادی امتیاز بیشتری نسبت به بقیه کسب نموده است. بنابراین سیستم با مشخص نمودن بیشترین و کمترین امتیاز، انتخاب پیمانکار ۲ را منطقی می داند. مقایسه نتیجه حاصل از سیستم و نتیجه حاصل از فرآیند انتخاب پیمانکار شرکت کاسپین، نشان دهنده تشابه نتایج حاصل شده و در نتیجه عملکرد مطلوب سیستم از طریق محاسبه امتیازهای هر یک از پیمانکاران می باشد. مشاهده می شود که سیستم طراحی شده به دلیل در نظر گرفتن معیارهای بیشتر و نیز وزن آنها، می تواند امتیاز دقیق مربوط به هر یک از پیمانکاران را محاسبه نموده و امکان مقایسه راحتتری برای کاربر فراهم آورد.

۵- نتیجه گیری

برونسپاری یکی از استراتژیهای است که بسیاری از سازمان ها جهت کسب مزایای رقابتی از آن استفاده می کنند. فشارهایی که نیروهای رقابتی بر سازمان وارد می کنند سبب شده تا

پیمانکاران غربال می شوند. در مرحله بعد، تجارب شرکت های موجود در لیست، مورد ارزیابی قرار می گیرند و به آنها، پرداخته می شود. سپس، نحوه مدیریت پیمانکاران ارزیابی می شود و میزان آشنایی هر یک از آنها با best practice ها و استانداردها سنجیده می شود. در این مرحله ساختار سازمانی و نحوه ارائه خدمات توسط هر یک از آنها نیز بررسی می گردد. در ادامه، انعطاف پذیری هر یک از پیمانکاران بررسی می شود. منظور از انعطاف پذیری این است که تا چه حد هر یک از آنها درخواست های مطرح شده توسط شرکت کاسپین را پذیرفته و اجرا می نمایند. سپس، کیفیت خدمات پیمانکاران مورد ارزیابی قرار می گیرد و سطوح خدمت آنان در توافقات سطوح خدمت بررسی می شود. در مرحله بعد، به بررسی امکانات فنی و تکنولوژیکی پیمانکاران در شهرستان ها و نقاط مختلف بر اساس گستره جغرافیایی خدمات پرداخته می شود. در نهایت قیمت تمام شده خدمات برای هر یک از پیمانکاران محاسبه می شود و قیمت های مذکور با یکدیگر مقایسه می شوند. پس از اتمام همه این مراحل، بر اساس معیارهای ذکر شده، مناسبترین پیمانکار توسط تصمیم گیرندگان انتخاب خواهد شد.

این شرکت در نظر دارد تا در زمینه سیستم مدیریت پروژه ها از تحلیل و طراحی تا پیاده سازی و تست سیستم به برونسپاری بپردازد. جهت برونسپاری این فعالیت، سه پیمانکار بالقوه وجود دارند که شرکت درصدد است تا از میان آنها، مناسبترین پیمانکار را انتخاب نماید. برای تصمیم گیری در این مورد، جلسه ای تشکیل و تصمیم گیرندگان، بر اساس شاخص های گروه ب وضعیت هر یک از پیمانکاران را ارزیابی و مشخص نموده اند که نتایج در جدول ۳ نشان داده شده است. بنا به درخواست شرکت مذکور از ذکر نام پیمانکاران و میزان هزینه های پروژه خودداری شده است.

جدول ۳: ارزیابی های صورت گرفته از پیمانکاران توسط تصمیم گیرندگان بر اساس شاخص های گروه ب در شرکت کاسپین

شاخص های مورد نظر شرکت	پیمانکار ۱	پیمانکار ۲	پیمانکار ۳
جایگاه تخصصی و رتبه شرکت	بسیار مناسب	نسبتاً مناسب	نامناسب
گردش مالی	کم	زیاد	نسبتاً زیاد
تجربه	۴ سال	۷ سال	۳ سال
توانایی مدیریت و ارائه خدمات بر اساس	نسبتاً مطلوب	بسیار مطلوب	نسبتاً مطلوب

چنین سیستم‌هایی جایگزین روش‌های سنتی بکار گرفته شده در سازمانها گردند.

قدردانی

در پایان از موسسه تحقیقات ارتباطات و فناوری اطلاعات که این پژوهش با حمایت مالی آن سازمان به انجام رسیده است سپاسگذاری می‌شود.

منابع

1. Webster, S. (2004). Offshore. *CFO*, 45-76.
2. Metters, R. (2007). A typology of offshore and outsourcing in electronically transmitted services. *Operations & Management*, 26, 198-211.
3. Barthelemy, J. (2003). The seven deadly sins of outsourcing. *Academy of Management Executive* 17(2), 87-100.
4. Wadhawa, V., & Ravindran, A. (2007). Vendor selection outsourcing. *Computers & Operations Research*, 43, 3725-3737.
5. McCarthy, I., & Anagroustou, A. (2004). The impact of outsourcing on the transaction costs and boundaries of manufacturing. *Internal Journal of Production Economics*, 88(1), 61-71.
6. Atesci, K., Bhagwatwar, A., Deo, T., Desouza, K., & Baloh, P. (2010). Business process outsourcing: A case study of Satyam Computers. *International Journal of Information Management*, 30, 277-282.
7. Kahraman, C., Engin, O., Kabak, O., & Kaya, I. (2008). Information systems outsourcing decisions using a group decision-making approach. *Engineering Application of Artificial Intelligence* 22, 832-841.
8. Khalfan, A., & Gough, T. (2000). *IS/IT Outsourcing Practices in the Public Sector: A Case Study of a Developing Country*. Mexico: Business Information Technology Management: Leveraging International Opportunities.
9. Schniederjans, M. (2007). Preface focused issue on operations research and outsourcing. *Computer & Operations Research*, 34.
10. Smith, A., Mitra, S., & Narasimhan, S. (1998). Information systems outsourcing: A study of pre event firm characteristics. *Journal of Management Information Systems*, 15(2), 33-61.
11. Clott, C. (2004). Perspectives on global outsourcing and the changing nature of work. *Business and Society Review*, 109(2), 153-170.
12. Klepper, R., & Wendell, J. (1999). *Outsourcing information technology systems and services*.

بسیاری از سازمان‌ها و شرکت‌ها به برونسپاری فناوری اطلاعات که یکی از انواع برونسپاری می‌باشد روی آورند. یکی از مسائل مهم مطرح در برونسپاری، انتخاب پیمانکار مناسب می‌باشد تا احتمال پیروزی این پروژه‌ها افزایش یابد. این پژوهش علاوه بر اینکه با هدف شناسایی معیارهای مهم جهت انتخاب پیمانکار مناسب در برونسپاری درون مرزی فناوری اطلاعات انجام گرفته است، تعیین میزان اهمیت هر یک از معیارها و در نهایت طراحی سیستم خیره فازی انتخاب پیمانکار نیز از دیگر اهداف این پژوهش محسوب می‌شود. جهت انجام این پژوهش ۲۶ معیار انتخاب پیمانکار در برونسپاری فناوری اطلاعات از پیشینه پژوهش استخراج گردید و سپس در قالب ۹ مولفه مالی، مدیریتی، منابع، کیفیت، اطمینان، توانایی، میزان انطباق، تعهد و عوامل محیطی طبقه بندی شد و در نهایت از طریق پرسشنامه از خبرگان این حوزه خواسته شد تا نظر خود را راجع به طبقه بندی انجام گرفته و نیز معیارهای مهم مشخص شده و اهمیت هر یک از آنها در برونسپاری درون مرزی فناوری اطلاعات ارائه دهند. پس از اتخاذ نظر ۳۲ خبره، برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از دو آزمون آماری دو جمله‌ای و آزمون [تی] بهره گرفته شده است. به منظور محاسبه وزن هر یک از معیارها در مولفه‌های مربوطه از نرم افزار [اکسپرت چویس] که مبتنی بر تحلیل سلسله مراتبی می‌باشد استفاده شد. در نهایت پس از طراحی سیستم خبره مورد نظر بر اساس هر یک از مولفه‌ها و معیارهای مربوطه و اوزان محاسبه شده، نتایج حاصل از آن با نتایج واقعی در شرکت کاسپین مقایسه گردید و عملکرد سیستم مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از اعتبار سنجی سیستم مورد نظر حاکی از عملکرد مطلوب سیستم و اعتبار نتایج حاصل از آن دارد.

برای پژوهش‌های آینده پیشنهاد می‌شود تا با افزودن ماژول برونسپاری برون مرزی-درون شرکتی کاربرد سیستم گسترش یابد همچنین استفاده از شبکه‌های عصبی نیز می‌تواند موجبات بهبود قابلیت یادگیری سیستم را فراهم آورد. از پیشنهادات دیگری که می‌توان مطرح نمود این است که می‌توان با طراحی سیستم‌هایی مشابه برای انتخاب پیمانکار در فرآیند برونسپاری، و استفاده از آنها در بسیاری از سازمانها و شرکتها، از میزان هزینه‌هایی که در اثر بکارگیری افراد مختلف و نیز فعالیتهای انجام گرفته در این فرآیند برای سازمان یا شرکت پدید می‌آیند کاست و با اعتبار سنجی این سیستم‌ها، به تدریج

- outsourcing providers. *Expert systems with applications*, 37 , 3755-3761.
27. Jaskowski, P., Biruk, S., & Bucon, R. (2010). Assessing contractor selection criteria weights with fuzzy AHP method application in group decision environment. *Automation in Construction*, 19 , 120-126.
 28. Hassanzadeh Amin, S., & Razmi, J. (2009). An integrated fuzzy model for supplier management: A case study of ISP selection and evaluation. *Expert System with Application*, 36 , 8639-8648.
 29. Chen, L., & Wang, T.C (2009). Optimizing partners' choice in IS/IT outsourcing projects: *Production Economics* 120 , 233-424.
 30. Isiklar, G., Alptekin, E., & Buyuyozkan, G. (2007). Application of a hybrid intelligent decision support model in logistic outsourcing. *Computers & Operation Research* 34 , 3701-3714.
 31. Montazer, G., Qahri Saremi, H., & Ramezani, M. (2009). Design a new mixed expert decision aiding system using fuzzy ELECTRE III method for vendor selection. *Expert System with Applications* 36 , 10837-10847.
 32. Faeza, F., Ghodsypour, S., & O'Brien, C. (2007). Vendor selection and order allocation using an integrated fuzzy. *Int. J. Production Economics*.
 33. Shyur, H., & Shih, H. (2006). A hybrid MCDM model for strategic vendor selection. *Mathematical and Computer Modelling* 44 , 749-761.
 34. Büyüközkan, G., & Feyzioğlu, O. (2006). An intelligent decision support system for IT outsourcing. *FSKD, LNAI 4223* , 1303-1312.
 35. Parry, B. (1997). *IS Outsourcing*. Kuwait: Unpublished notes on IS outsourcing, BP Consultancy Company.
 36. Watt, D., Kayis, B., & Willey, K. (2010). The relative importance of tender evaluation and contractor selection criteria. *International Journal of Project Management*, 28 , 51-60.
 37. Hafeez, K., Malak, N., & Zhang, Y. (2007). Outsourcing non-core assets and competences of a firm using analytic hierarchy process. *Computers and Operations Research* 34 , 3592-3608.
 38. Ghodsipour, S., & O'Brien. (1998). A decision support system for supplier selection using an integrated analytic hierachy process and linear programming. *Int. J. Production Economics* 56-57 , 199-212.
 39. Gustin, C., Daugherty, P., & Ellinger, A. (1997). Supplier selection decisions in systems/software purchases. *International Journal of Purchasing Material Management* , 1-46.
 40. Paisittanand, S., & Olson, D. (2006). A simulation study of IT outsourcing in the credit card business. *European Journal of Operational*
Retrieved from Business forum: WWW.businessforum.com
 13. Bryson, K., & Ngwenyama, O. (2006). Managing risks in information systems outsourcing: An approach to analyzing outsourcing risks and structuring incentive contracts. *Operational Research*, 174 , 245-264.
 14. Claver, E., Reyes, G., Jose, G., & Juan, L. (2002). Information systems outsourcing: Reasons, reservations and success factors. *Logistica Information Management*, 15(4) , 294-308.
 15. Lacity, M., & Hirshheim, R. (2000). The myth and realities of information technology insourcing. *Communications of the ACM*, 43(2) , 99-107.
 16. Gonzalez, R., Gasco, J., & Liopis, J. (2006). Information systems outsourcing: A literature analysis. *Information & Management*, 43 , 821-834.
 17. Wright, S., & Boschee, K. (2004). The offshore It provider is under fire- will the US company be next? *Employee Relations Law Journal*, 30(1) , 60.
 18. Laudon, K., & Laudon, J. (2005). *Essentials of management information systems managing the digital firm*(6 th ed.). NJ: Pearson Education.
 19. Banaitiene, N., & Banaitis, A. (2006). Analysis of criteria for contractor's qualification evaluation. *Technological and Economic Development of Economy*, 12(4) , 276-282.
 20. Hsu, P., & Hsu, M. (2006). Optimizing the information outsourcing practices of primary care medical organizations using entropy and TOPSIS. *Quality and Quantity, On line first*.
 21. Wang, J.-J., & Yang, D.-L. (2007). Using a hybrid multi-criteria decision aid method for information. *Computers & Operations Research* 34 , 3691-3700.
 22. Yang, C., & Huang, J.-B. (2000). A Decision Model for IS Outsourcing. *International Journal of Information Management* 20 , 225-239.
 23. Lacity, M. C., Khan, S. A., & Willcoks, L. P. (2009). A review of the IT outsourcing literature: Insights for practice. *Journal of Strategic Information Systems* 18 , 130-146.
 24. Araz, C., Ozfirat, P., & Ozkarahan, I. (2007). An integrated multi criteria decision-making methodology for outsourcing management. *Computers & Operation Research* 34 , 3738-3756.
 25. Ha, S. H., & Krishnan, R. (2008). A hybrid approach to supplier selection for the maintenance. *Expert Systems with Applications* 34 , 1303-1311.
 26. Liou, J., & Chuang, Y. (2010). Developing a hybrid multi-criteria model for selection of

47. Vokurka, R., Choobineh, J., & Vadi, L. (1996). A prototype expert system for the evaluation and selection of potential suppliers. *International Journal of Operations & Production Management*, 16(12), 106-127.
48. Choy, K., Lee, W., & Lo, V. (2002). An intelligent supplier management tool for benchmarking suppliers in outsource manufacturing. *Expert Systems with Applications* 22, 213-224.
49. Choy, K., Lee, W., Henry, C., & Choy, L. (2005). A knowledge-based supplier intelligence retrieval system for outsource manufacturing. *Knowledge-Based Systems*, 18, 1-17.
50. Metaxiotis, K., Psarras, J., & Askounis, D. (2002). GENESYS: An expert system for production scheduling. *Industrial Management and Data Systems* 2, 309-317.
51. Feigenbaum, E. (1982). *Handbook of artificial intelligence*. Heuris Tech Press/ William Kaufman.
52. Giarratano, J. (1998). *expert systems principles and programming*. third edition: PWS publishing company.
53. Wang. (1994). *A course in fuzzy systems and control*. Prentice-Hall.
54. Matthews, C. (2003). A formal specification for a fuzzy expert system. *Information and Software Technology* 45, 419-429.
55. Rogers, E., & Li, Y. (1993). *Parallel processing in a control systems environment*. London: Prentice Hall.
- Research, Article in Press, Available through(www.sciencedirect.com)*.
41. Kuang, C. (2006). Using fuzzy sets and grey decision-making to construct the performance evaluation model of firm's outsourcing management: a case study of avionics manufacturer in Taiwan. *Quality and Quantity* 40, 577-593.
42. Yang, D., Kim, S., Nam, C., & Min, J. (2007). Developing a decision model for business process outsourcing. *Computers and operations research*, 34(12), 3769-3778.
43. Tam, M. C., & Tummala, R. V. (2001). An application of the AHP in vendor selection of a telecommunication system. *Omega* 29, 171-182.
44. Carr, A., & Pearson, J. (2002). The impact of purchasing and supplier involvement on strategic purchasing and its impact on firm's performance. *Operations and Production Management* 22(9), 1032-1055.
45. Lie, J., Ding, F., & Lall, V. (2000). Using data envelopment analysis to compare suppliers for supplier selection and performance improvement. *Supply Chain Management: an International Journal* 5(3), 143-150.
46. Yasamis, F., Arditi, D., & Mohammadi, J. (2002). Assessing contractor quality performance. *Construction Management and Economics*, 20, 211-223.

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۰۳/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۰۸/۲۴

یک الگوریتم سیل آسای مبتنی بر احتمال تطابقی برای شبکه‌های موردی سیار

فاطمه نورآذر*^۱ مسعود صبائی**^۲

* دانشکده برق، رایانه و فناوری اطلاعات دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین

** دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات دانشگاه صنعتی امیرکبیر

چکیده

الگوریتم سیل آسا، یکی از مهمترین عملیات اولیه و زیربنایی برای پروتکل‌های مسیریابی در شبکه‌های موردی سیار است. اما، از آنجایی که این الگوریتم پیغام‌های اضافی زیادی تولید می‌کند، بسیار پرهزینه بوده، باعث اتلاف پهنای باند شبکه، مصرف بیش از نیاز انرژی گره‌ها شده که در نهایت ممکن است موجب طوفان همه پخشی شود. روش‌های زیادی برای بهبود الگوریتم سیل آسا پیشنهاد شده است که عمدتاً به دو دسته روش‌های قطعی و احتمالی تقسیم می‌شوند که دسته دوم بیشتر مورد توجه قرار گرفته است. اما این روش‌ها عمدتاً باعث افزایش تأخیر و عدم پوشش کامل می‌شوند. در این مقاله، ما یک روش جدید برای بهبود عملکرد الگوریتم سیل آسا پیشنهاد کرده‌ایم. اساس کار این روش بازپخش احتمالی بر مبنای مشاهدات محلی می‌باشد. در این روش جدید احتمال بازپخش پیغام توسط هر گره، تابعی از مشاهدات محلی می‌باشد. نتایج شبیه‌سازی نشان داده است که روش پیشنهادی در مقایسه با روش‌های مشابه ضمن کاهش قابل توجه تأخیر تحویل بسته‌ها با سربار پیغام قابل قبول پوشش کامل شبکه را فراهم می‌کند.

کلید واژگان: شبکه‌های موردی سیار، الگوریتم سیل آسا، الگوریتم مبتنی بر شمارش، احتمال بازپخشی.

۱- مقدمه

انتشار همه‌پخشی^۱، نقش اساسی را در شبکه‌های موردی سیار ایفا می‌کند. انتشار همه‌پخشی به این معنی است که پیغامی را که توسط یک گره ارسال شده است به تمام گره‌های شبکه منتشر کنیم. پروتکل‌های مختلف مسیریابی مانند DSR [۱]، AODV [۲]، ZRP [۳] و LAR [۴] و همچنین پروتکل‌های مسیریابی چندپخشی از انتشار همه پخشی برای کشف و نگهداری مسیر، در محیط‌هایی که توپولوژی آن‌ها به سرعت در حال تغییر است، استفاده می‌کنند.

ساده‌ترین راهکار برای پیاده‌سازی انتشار همه پخشی، الگوریتم سیل آسا است که در آن هر گره پیغامی را که برای اولین بار دریافت کرده است بلافاصله پس از دریافت بازپخش می‌کند. اگرچه الگوریتم سیل آسا، نرخ موفقیت بالایی در رساندن پیغام به تمام گره‌های شبکه دارد، با این وجود پیغام‌های اضافی زیادی را تولید می‌کند. این افزونگی پیغام مخصوصاً در شبکه‌های با چگالی بالا، باعث از دست رفتن توان باتری گره‌ها، کمبود پهنای باند و کاهش شدید کارایی شبکه می‌شود. به این پدیده "طوفان همه‌پخشی"^۲ [۵] می‌گوییم.

الگوریتم‌های مختلفی برای بهبود عملکرد الگوریتم سیل آسا و پرهیز از بروز طوفان همه‌پخشی ارائه شده است که معمولاً آن‌ها را به دو گروه اصلی تقسیم‌بندی می‌کنیم: روش‌های قطعی و روش‌های احتمالی. روش‌های قطعی یک ساختار انتزاعی مسیریابی را در شبکه ایجاد می‌کنند که با فرض داشتن یک لایه

^۱. Broadcasting.

^۲. Broadcast storm.

الگوریتم پیشنهادی ما، یک الگوریتم مبتنی بر شمارش بهبودیافته است. ایده اصلی این الگوریتم استفاده از احتمال در بازپخش کردن پیغام‌هاست. بر خلاف الگوریتم مبتنی بر شمارش، در این الگوریتم هر گره بلافاصله پس از دریافت پیغام جدید و بدون اینکه مدت زمانی را صبر کند بصورت احتمالی اقدام به بازپخش کردن پیغام می‌کند. اگر موفق به بازپخش کردن پیغام نشود، به تدریج و با جمع آوری اطلاعات محلی شبکه (مانند تعداد گره‌های همسایه و تعداد پیغام‌های تکراری دریافت شده) تابع احتمال را دقیق‌تر محاسبه کرده و در مرحله بعد با مقدار احتمال دقیق‌تری اقدام به بازپخش کردن پیغام می‌کند.

ساختار ادامه مقاله به صورت زیر است: در بخش دوم ابتدا به کارهایی که تا کنون درباره این موضوع انجام شده است می‌پردازیم. سپس در بخش سوم انگیزه طرح پیشنهادی خود را شرح می‌دهیم. در بخش چهارم روش پیشنهادی خود را توضیح می‌دهیم. در بخش پنجم به ارزیابی کارایی روش پیشنهادی خود پرداخته و نتایج آن را با دیگر روش‌ها مقایسه می‌کنیم. در بخش ششم نیز نتیجه گیری کرده و کارهای آینده را معرفی می‌کنیم.

۲- مروری بر کارهای مرتبط

الگوریتم مبتنی بر شمارش، ابتدا در [۵] به عنوان راهکاری برای کاهش تعداد پیغام‌های بازپختی اضافی و پرهیز از بروز "طوفان همه پختی" در الگوریتم سیل‌آسا پیشنهاد شد. مبنای ایده الگوریتم مبتنی بر شمارش این است که پوشش اضافی مورد انتظار (EAC)^۱ رابطه عکس با تعداد پیغام‌های تکراری دریافت شده دارد. اگر پوشش اضافی مورد انتظار گره کم باشد، گره از بازپخش کردن پیغام منصرف می‌شود. مفهوم پوشش اضافی مورد انتظار (EAC) را با یک مثال در شکل ۱ توضیح داده‌ایم. گره‌های توخالی گره‌های مبدأ هستند که پیغام را به شبکه ارسال کرده‌اند و گره‌های سیاه گره‌هایی هستند که ما از آنها برای بیان ایده خود استفاده می‌کنیم. با توجه به شکل ۱ چگالی همسایگی گره a بالاتر از گره b است. بنابراین تعداد پیغام‌های تکراری که گره a دریافت می‌کند باید بیشتر باشد. علاوه بر این به احتمال قوی گره‌هایی که در محدوده ارسال گره سیاه a قرار دارند، در محدوده ارسال دیگر گره‌های بازپخش کننده نیز قرار دارند. بنابراین پوشش اضافی مورد انتظار گره سیاه a کمتر از گره سیاه b است.

MAC ایده‌آل، پوشش شبکه ۱۰۰٪ را تضمین می‌کند. ولی این ساختار باید مکرراً به روز رسانی شود که باعث تحمیل هزینه بصورت پیچیدگی زمانی و پیامی به الگوریتم می‌شود. الگوریتم-های هرس کردن [۶]، بازپختی چندنقطه‌ای [۷]، بازپختی انتخابی [۸]، حذف همسایگان [۱۰،۹]، مبتنی بر کلاستر و ... مثال‌هایی از روش‌های قطعی به شمار می‌روند.

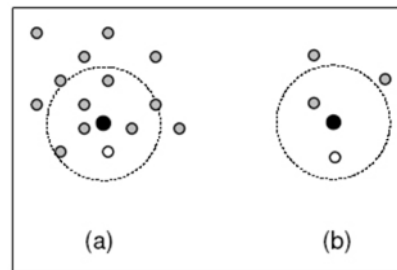
در مقابل، روش‌های احتمالی مبتنی بر هیچ ساختار اساسی مسیریابی نیستند بلکه هر گره با استفاده از اطلاعات محلی که از بسته‌های دریافت شده به دست آورده است به تنهایی و مستقل از دیگر گره‌ها تصمیم می‌گیرد که پیغام را بازپخش کند و یا آن را دور بیندازد. این روش‌ها نسبت به روش‌های قطعی سربار کمتری را به الگوریتم تحمیل می‌کنند و در برابر تغییرات توپولوژی شبکه تطبیق‌پذیری بهتری دارند. برای اولین بار Ni در [۵] چند روش احتمالی را پیشنهاد داد که عبارتند از: الگوریتم مبتنی بر احتمال، مبتنی بر شمارش، مبتنی بر فاصله و مبتنی بر موقعیت. در روش‌های مبتنی بر احتمال، هر گره که پیغام را دریافت می‌کند، آن را با احتمال P_{thr} بازپخش می‌کند. در دیگر روش‌ها هنگامی که گره‌ای یک پیغام همه پختی را برای اولین بار دریافت می‌کند تایمری را به مدت زمان تصادفی t_w فعال می‌کند. پس از گذشت زمان t_w گره در صورتی پیغام را بازپخش می‌کند که شرایط بازپختی فراهم باشد. شرایط بازپختی در الگوریتم‌های مختلف، بصورت متفاوت تعریف می‌شود: در الگوریتم مبتنی بر شمارش اگر گره کمتر از تعداد معینی (حد آستانه C) پیغام‌های تکراری دریافت کند اقدام به بازپختی پیغام می‌کند. در الگوریتم مبتنی بر فاصله اگر فاصله گره گیرنده و فرستنده بیشتر از یک فاصله معینی (حد آستانه d_{thr}) باشد، گره پیغام را بازپخش می‌کند. در الگوریتم مبتنی بر موقعیت اگر در محدوده ارسالی گره تصمیم گیرنده منطقه پوشش داده نشده‌ای وجود داشته باشد که مساحت آن از مقدار a_{thr} بیشتر باشد، گره پیغام را بازپخش خواهد کرد. یکی از مشکلات روش‌های احتمالی تنظیم مناسب مقادیر آستانه‌ای است. از طرف دیگر جمع‌آوری اطلاعات باعث افزایش تأخیر الگوریتم می‌شود. برای بهبود عملکرد روش‌های احتمالی الگوریتم‌های مختلفی [۱۳،۱۲] پیشنهاد شده است. بیشتر آنها تلاش کرده‌اند که با ترکیب روش‌های مختلف با یکدیگر و انتخاب مناسب مقادیر آستانه‌ای عملکرد این روش‌ها را بهبود دهند.

^۱. Expected Additional Coverage.

همچنان پیغام را بازپخش می‌کند. علاوه بر این الگوریتم مبتنی بر رنگ مشکلی را که الگوریتم مبتنی بر شمارش با C ثابت با آن مواجه بود دارد: این الگوریتم‌ها فقط در شبکه‌های با چگالی همگن دارای پوشش بالایی هستند و در شبکه‌های ناهمگون کارایی‌شان کاهش می‌یابد. الگوریتم مبتنی بر شمارش مطلع از فاصله [۱۵]، فاصله گره‌ها را در تصمیم‌گیری آن‌ها در بازپخش کردن پیغام‌ها دخالت می‌دهد. همسایگانی که به مرز محدوده ارسالی نزدیکتر هستند با مقدار احتمال بیشتری اقدام به بازپختی می‌کنند زیرا پوشش اضافی مورد انتظاری که تأمین می‌کنند بیشتر است.

در [۱۶] یک الگوریتم مبتنی بر شمارش تطبیقی ارائه شده است که مقدار حد آستانه شمارشگر (C) را برای شبکه‌های با چگالی بالا و پایین متفاوت در نظر می‌گیرد. برای شبکه‌های با چگالی بالا مقدار C را عدد کوچکی می‌گیرد در صورتی که برای شبکه‌های با چگالی پایین لازم است که مقدار C را عدد بزرگتری در نظر بگیریم. این مقاله همچنین مدت زمان انتظار هر گره برای شمارش تعداد پیغام‌های تکراری را برای شبکه‌های با چگالی‌های مختلف متفاوت در نظر می‌گیرد. در شبکه‌های با چگالی بالا هر گره مدت زمان کمتری را صبر می‌کند در حالیکه در شبکه‌های تنگ لازم است هر گره زمان بیشتری را برای شمارش تعداد پیغام‌های تکراری صرف کند. آن‌ها مدت زمان انتظار را با رابطه $RF = x/RF$ تنظیم می‌کنند که RF فاکتوری است که مقدار آن در شبکه‌های با چگالی‌های مختلف فرق می‌کند. به‌گونه‌ای که در شبکه‌های با چگالی زیاد مقدار RF را عدد کوچکی در نظر می‌گیریم و برای شبکه‌های با چگالی کم باید مقدار RF را بزرگتر بگیریم. x نیز یک مقدار تصادفی بین [۰، ۱] است. الگوریتم توسعه RAD [۱۷]، مدت زمان انتظار گره‌هایی را که پیغام‌های تکراری بیشتری دریافت کرده‌اند افزایش می‌دهد. با دریافت هر پیغام اضافی، مدت زمان انتظار آن گره به مقدار مشخصی افزایش می‌یابد.

الگوریتم ECS [۱۸] یک الگوریتم مبتنی بر شمارش بهبودیافته است که الگوریتم مبتنی بر احتمال را با الگوریتم مبتنی بر شمارش ترکیب کرده است. در این الگوریتم هر گره به محض دریافت پیغام جدید یک شمارشگر را به منظور شمارش تعداد پیغام‌های تکراری دریافت شده فعال می‌کند و به مدت زمان RAD (که بصورت تصادفی بین ۰ تا t_{max} انتخاب می‌شود) منتظر می‌ماند. بعد از به پایان رسیدن این زمان اگر تعداد پیغام‌های تکراری C به مقدار حد آستانه C رسیده باشد، پیغام را



شکل ۱: مثالی از پوشش شبکه مورد انتظار (EAC)

در الگوریتم مبتنی بر شمارش هر گره به محض این که پیغامی را برای اولین بار دریافت می‌کند یک شمارشگر (c) را به منظور شمارش پیغام‌های تکراری دریافتی فعال می‌کند و به مدت زمان RAD^1 منتظر می‌ماند. مدت زمان RAD به طور تصادفی و بین ۰ تا t_{max} ثانیه انتخاب می‌شود، که t_{max} ماکزیمم تأخیر زمانی ممکن است. وجود تایمر RAD به دو دلیل ضروری است: اول این‌که به گره‌ها فرصت کافی برای دریافت پیغام‌های اضافی می‌دهد تا بر اساس آن تصمیم‌گیری کنند که پیغام را بازپخش کنند یا نه. همچنین زمانبندی تصادفی بازپخش پیغام‌ها مانع از بروز تصادم می‌شود. به محض این‌که تایمر RAD منقضی شد، مقدار شمارشگر C با مقدار آستانه یعنی C مقایسه می‌شود و اگر $C > C_{th}$ پیغام بازپخش نخواهد شد.

در ادامه کار خود در [۱۲] یک الگوریتم مبتنی بر شمارش تطبیقی ارائه داده است که در آن هر گره مقدار حد آستانه شمارشگر (C) را با توجه به تعداد همسایگان خود به طور دینامیکی و پویا تغییر می‌دهد. اگر چه آن‌ها کوشیدند که مقدار حد آستانه شمارشگر را به عنوان تابعی بر حسب $n(C(n))$ بیان کنند، با این وجود آن‌ها بیان کرده‌اند که تابع $c(n)$ هنوز تعریف نشده است. روش همه پختی مبتنی بر رنگ [۱۴] نیز یک الگوریتم مبتنی بر شمارش است که ایده اصلی آن افزودن رنگ به پیغام‌های همه پختی است. با استفاده از n رنگ c_1, c_2, \dots, c_n هر گره یک رنگ را انتخاب کرده و آن را در فیلد رنگ پیغام می‌نویسد. همه گره‌هایی که این پیغام را دریافت می‌کنند آن را بازپخش می‌کنند مگر اینکه همه n رنگ را قبل از اینکه مدت زمان انتظار به اتمام برسد دریافت کرده باشند. سوالی که در اینجا مطرح می‌شود این است که: اگر $n=3$ باشد و یک گره 2n پیغام را فقط با رنگ‌های $\{c_1, c_2\}$ دریافت کرده باشد، چه باید بکند؟ با توجه به الگوریتم ارائه شده این گره با وجودی که پیغام‌های تکراری زیادی را دریافت کرده ولی

¹ . Random Access Delay.

اجرای شبیه‌سازی یک مقدار ثابت می‌گیرد. از آن جایی که شبکه‌های موردی سیار شبکه‌هایی هستند که توپولوژی شبکه بطور مرتب در حال تغییر است، ثابت بودن مقدار احتمال به دلایل زیر مطلوب نیست:

۱. همه گره‌ها صرف نظر از وضعیت محلی توپولوژی شبکه با یک مقدار ثابت و یکسان اقدام به بازپخش کردن پیغام می‌کنند. در نتیجه در قسمت‌هایی از شبکه که چگالی گره‌ها بالاست با افزودن پیغام‌های تکراری مواجه خواهیم شد و در قسمت‌هایی که شبکه تنک است و چگالی گره‌ها پایین است نمی‌توانیم پوشش مناسبی بدهیم. بنابراین باید مقدار احتمال را به گونه‌ای به چگالی محلی شبکه وابسته کنیم. ما در الگوریتم پیشنهادی خود مقدار احتمال را به درجه گره‌ها که همان تعداد همسایگان مرتبه اول است وابسته کرده‌ایم. در واقع مقدار احتمال تعیین شده رابطه معکوس با تعداد همسایگان مرتبه اول دارد ($p \propto 1/n$). زیرا هرچه تعداد گره‌های همسایه بیشتر باشد، احتمال این‌که آن‌ها هم پیغام را بازپخش کنند بیشتر است، بنابراین گره تصمیم‌گیرنده با احتمال کمتری به بازپخش کردن پیغام اقدام می‌کند.

۲. تعداد پیغام‌های تکراری دریافت شده جزء اطلاعاتی است که از شبکه در اختیار داریم، ولی در الگوریتم ECS گره‌ها بدون این‌که از این اطلاعات برای تنظیم مقدار احتمال بازپخش استفاده کنند، مقدار احتمال را ثابت در نظر گرفته‌اند. ما در الگوریتم خود سعی کرده‌ایم که مقدار احتمال را در هر مرحله با توجه به تعداد پیغام‌های تکراری دریافتی و نیز مقدار حد آستانه شمارشگر (C) تغییر دهیم.

۴- روش پیشنهادی

ایده اصلی روش پیشنهادی این است که هر گره پس از دریافت یک پیغام جدید با یک احتمال بازپخش را انجام دهد و یا منتظر دریافت این پیغام از گره‌های دیگر بماند. بعد از هر مرحله زمانی، بر مبنای مشاهدات خود مشابه روش مبتنی بر شمارش اگر تعداد پیغام‌های دریافت شده برابر و بیشتر از C باشد، از بازپخش منصرف شده در غیر اینصورت با محاسبه احتمال جدید تصمیم به بازپخش می‌گیرد و یا تا مرحله زمانی بعد منتظر می‌ماند. این عمل آنقدر تکرار خواهد شد که یا گره این پیغام را بازپخش کند و یا با دریافت برابر یا بیشتر از C پیغام از بازپخش کردن منصرف شود.

به صورت احتمالی با مقدار احتمال P بازپخش می‌کند. مقدار احتمال را نیز ثابت و برابر $P=0.65$ در نظر گرفته است.

ما در کار قبلی خود [۱۹]، الگوریتم DAPF را به عنوان راهکاری برای بهبود عملکرد الگوریتم سیل‌آسا پیشنهاد داده‌ایم. این الگوریتم بازپخش پیغام‌ها را با استفاده از تابع احتمال پیشنهاد شده انجام می‌دهد. احتمال بازپخش پیغام توسط هر گره تابعی از زمان و مشاهدات محلی است. مبنای کار این روش بر این اساس است که هر گره، ابتدا کار را به اطرافیان واگذار می‌کند و خود از بازپخش کردن امتناع می‌کند. بنابراین هر گره ابتدا سعی می‌کند که با کمترین احتمال ممکن پیغام را بازپخش کند. ولی با گذشت زمان اگر متوجه شود که دیگران بازپخش نکرده‌اند احتمال بازپخش را افزایش می‌دهد.

۳- انگیزه طرح پیشنهادی:

نتایج شبیه‌سازی الگوریتم مبتنی بر شمارش [۵] نشان می‌دهد که این الگوریتم ضمن اینکه مقدار پوشش شبکه الگوریتم سیل-آسای کلاسیک را حفظ می‌کند، توانسته است سربار ناشی از پیغام‌های سیل‌آسای الگوریتم سیل‌آسای کلاسیک را به طور قابل توجهی کاهش می‌دهد.

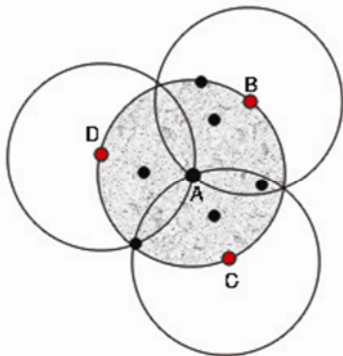
ولی خود الگوریتم مبتنی بر شمارش نیز دارای نقایص و مشکلات جدی است که در ادامه این بخش به آن‌ها می‌پردازیم:

الگوریتم مبتنی بر شمارش به علت اینکه در هر بار بازپخش پیغام به مدت زمان t_w (که بصورت تصادفی و بین ۰ تا t_{max} انتخاب می‌شود) صبر می‌کند، تأخیر بالایی را به کل الگوریتم تحمیل می‌کند. این تأخیر بالا باعث ناکارآمدی الگوریتم بویژه در کاربردهای بلادرنگ می‌شود. الگوریتم‌هایی که تا کنون برای بهبود عملکرد الگوریتم مبتنی بر شمارش ارائه شده‌اند، به مسئله پوشش شبکه و کاهش هرچه بیشتر سربار پرداخته‌اند و مشکل تأخیر این الگوریتم را مورد بررسی قرار نداده‌اند. در الگوریتم پیشنهادی به منظور کاهش تأخیر هر گره لازم نیست که به مدت زمان t_w صبر کند و سپس در مورد بازپخش کردن پیغام تصمیم بگیرد بلکه بلافاصله پس از دریافت پیغام به صورت احتمالی به بازپخش کردن پیغام اقدام کند.

از جمله الگوریتم‌هایی که برای بهبود عملکرد الگوریتم مبتنی بر شمارش ارائه شده‌اند الگوریتم ECS [۱۸] است که از ترکیب الگوریتم مبتنی بر احتمال و مبتنی بر شمارش بهره می‌گیرد. ولی این الگوریتم مقدار احتمال را در همه جای شبکه و نیز در طول

فاصله ممکن از A قرار گرفته باشد، $\frac{1}{3}$ از محدوده ارسال گره A را پوشش می‌دهد. لذا لزومی ندارد که گره A مانند مرحله قبل با مقدار احتمال بالا بازپخش کند. بلکه با دخالت دادن مشاهدات خود در این بازه زمانی میزان احتمال را کاهش می‌دهد. اگر ۳ گره از ۹ گره پیغام را بازپخش کنند محدوده ارسال A کاملاً پوشش داده می‌شود. لذا A دیگر پیغام را بازپخش نمی‌کند.

در الگوریتم سیل‌آسای کلاسیک در شرایط مشابه، هر ۹ گره همسایه و نیز گره A پیغام را بازپخش می‌کنند. بنابراین در یک محدوده ارسال کوچک ۱۰ پیغام را تقریباً بصورت همزمان ارسال می‌کند. الگوریتم مبتنی بر شمارش، در این شرایط تقریباً مانند الگوریتم پیشنهادی ما عمل می‌کند با این تفاوت که به ازای کاهش سربار پیغام تأخیر بالایی را به الگوریتم تحمیل می‌کند.



شکل ۳: مثالی از کاهش تعداد پیغام‌های بازپخش توسط الگوریتم

Effective-CB

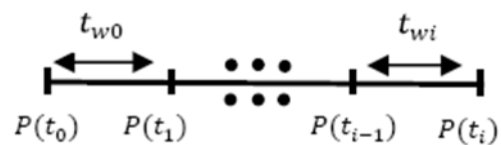
۴-۱- مقدار حد آستانه شمارشگر (C):

مقدار حد آستانه شمارشگر به گونه‌ای انتخاب شده است که هم افزونگی پیغام را کاهش می‌دهد و هم پوشش شبکه کافی ایجاد می‌کند. ما در [۲۰] طی شبیه‌سازی‌هایی که انجام دادیم به این نتیجه رسیدیم که $C=2$ اگر چه در شبکه‌های متوسط و چگال افزونگی پیغام را بطور قابل توجهی کاهش می‌دهد ولی نمی‌تواند پوشش شبکه کافی ایجاد کند. مقادیر $C>4$ نیز اگر چه پوشش مناسبی دارند ولی تعداد پیغام‌های بازپخش شده آن‌ها بالاست. به گونه‌ای که $C>6$ رفتاری شبیه الگوریتم سیل‌آسا دارد. با توجه به نتایج بدست آمده مقادیر $C=3$ و $C=4$ مقادیر مناسبی هستند.

سوالی که ممکن است در این جا به ذهن برسد این است که اگر موقعیتی پیش آید که در آن $C > N$ شود الگوریتم چگونه عمل

بنابراین روش پیشنهادی به هیچ وجه مشکل die out را مشابه روش‌های مبتنی بر احتمال ندارد و اگر میزان احتمال بازپخش در هر مرحله بطور مناسب تنظیم شود، علاوه بر اینکه تأخیر ارسال می‌تواند کاهش پیدا کند، تعداد پیغام‌های بازپخش شده نیز کنترل خواهد شد. در مرحله اول، گره‌ها پیغام را با مقدار احتمال $P = \frac{C}{N}$ بازپخش می‌کنند. زیرا بهترین حالت این است که بطور متوسط $\frac{C}{N}$ گره‌ها بدون هیچ معطلی پیغام را بازپخش کنند. بنابراین در مرحله اول گره‌ها پیغام را با مقدار احتمال $P = \frac{C}{N}$ بازپخش می‌کند. در نتیجه بطور متوسط $\frac{C}{N}$ گره بدون منتظر ماندن پیغام را ارسال می‌کنند.

بعد از به پایان رسیدن مدت زمان t_{w0} (شکل ۲)، گره‌هایی که موفق به ارسال پیغام نشده‌اند به مشاهدات خود رجوع می‌کنند و تعداد پیغام‌های تکراری را که در طی این مدت زمان دریافت کرده‌اند می‌شمارند (C_1). اگر $C_1 < C$ باشد، آنگاه مقدار تابع احتمال را بصورت $P = \frac{C-C_1}{N-C_1}$ دوباره محاسبه کرده و پیغام را با این مقدار احتمال جدید بازپخش می‌کند. اگر $C_1 > C$ باشد، $p=0$ که به معنی منصرف شدن از بازپخش می‌باشد.



شکل ۲: تغییر مقدار احتمال بازپخش در زمان‌های مختلف.

بنابراین می‌توان رابطه کلی زیر را برای محاسبه احتمال معرفی نمود:

$$P = \begin{cases} \frac{C-C_i}{N-C_i} & \text{if } C_i < C \\ 0 & \text{if } C_i \geq C \end{cases} \quad (1)$$

که C_i تعداد پیغام‌های تکراری دریافت شده تا مرحله زمانی i ام است، C حد آستانه شمارشگر و N تعداد همسایگان مرتبه اول است.

با توجه به تابع احتمال پیشنهاد شده نحوه عملکرد این الگوریتم به گونه‌ای است که سعی می‌کند در کمترین زمان ممکن بیشترین میزان بازپخش را انجام دهد و پوشش کامل در شبکه ایجاد کند. به همین علت هم هست که میزان تأخیر الگوریتم را به طرز قابل توجهی کاهش می‌دهد. گره A در شکل ۳، در منطقه‌ای قرار گرفته که ۹ همسایه مرتبه اول دارد. با دریافت هر پیغام تکراری مساحت پوشش اضافی مورد انتظار گره A کاهش می‌یابد. در بدترین حالت، اگر گره فرستنده B در دورترین

- پوشش شبکه (REachability): تعداد گره‌هایی که پیغام را دریافت کرده‌اند، تقسیم بر کل گره‌هایی که توسط گره مبدأ، به طور مستقیم یا غیرمستقیم در دسترس هستند.
- متوسط تأخیر (Average Latency): مدت زمان سپری شده از لحظه‌ای که ارسال همه‌پخشی آغاز شده تا لحظه‌ای که آخرین گره عمل بازپخشی را تمام کند.

ما ارزیابی روش پیشنهادی خود را با استفاده از شبیه‌ساز شبکه Glomosim [۲۱] انجام داده‌ایم. پارامترهای ثابت شبیه‌سازی در جدول ۱ آمده است و سعی شده است با مشخصات یک گره واقعی شبکه‌های موردی سیار مطابقت داشته باشد.

جدول ۱: پارامترهای شبیه‌سازی

Parameter	Value
Transmission range	250m
Number of nodes	50
Bandwidth	2Mbps
Traffic Type	CBR
Packet rate	10 pkts per second
Mobility model	Random waypoint
MAC Protocol	IEEE 802.11
Simulation time	120s
Trails	10

با ثابت بودن تعداد گره‌های شبکه اندازه شبکه در طول شبیه سازی از 600×600 تا 1300×1300 متغیر در نظر گرفته شده است. لذا چگالی گره‌ها نیز در این سناریوها متفاوت خواهد بود:

جدول ۲: مشخصات سناریوها.

شماره سناریو	اندازه شبکه	میانگین تعداد همسایگان
Scenario1	600x600	26
Scenario2	700x700	19
Scenario3	800x800	14
Scenario4	900x900	11
Scenario5	1000x1000	9
Scenario6	1100x1100	8
Scenario7	1200x1200	7
Scenario8	1300x1300	5

می‌کند؟ پاسخ این است که این مورد زمانی اتفاق می‌افتد که N عدد کوچکی باشد. بنابراین این شرایط در نواحی تنک شبکه که تعداد گره‌ها کم است و فاصله بین آن‌ها زیاد است پیش می‌آید و الگوریتم برای اطمینان از حفظ پوشش کامل شبکه با $P = 1$ پیغام را بازپخش می‌کند.

۴-۲- مقدار حد آستانه مدت زمان انتظار:

در الگوریتم مبتنی بر شمارش، مدت زمان انتظار (t_w)، از بازه 0 تا t_{max} بصورت یکپارچه و تصادفی انتخاب می‌شود. t_{max} ماکزیمم تأخیر ممکن در بازپخشی است که بهتر است مقدار آن را به چگالی شبکه وابسته کنیم. زیرا در شبکه‌های با چگالی بالا تعداد همسایگان مرتبه اول زیاد است و گره‌ها به یکدیگر نزدیک‌ترند. بنابراین مقدار شمارشگر زودتر به حد آستانه خود می‌رسد. لذا بهتر است که مقدار t_{max} را کوچکتر انتخاب کنیم. ولی در شبکه‌های تنک، از آنجایی که تعداد همسایگان مرتبه اول کم است و فاصله گره‌ها از هم زیاد است باید مدت زمان بیشتری را منتظر بمانیم تا بتوانیم اطلاعات دقیق‌تری راجع به تعداد پیغام‌های بازپخشی کسب کرده و پیغام را با دقت بیشتری بازپخش کرده و یا از بازپخشی آن منصرف شویم.

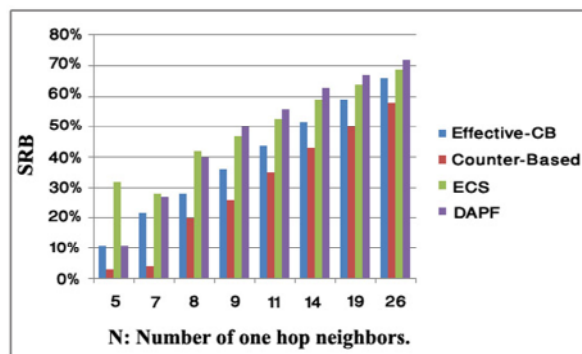
۵- ارزیابی روش پیشنهادی

کارایی الگوریتم‌های سیل آسا را با معیارهای مختلفی می‌توان سنجید. یکی از مهم‌ترین معیارها، تعداد پیغام‌های بازپخش شده است. ما در این مقاله، مکمل این معیار یعنی تعداد پیغام‌های صرفه جویی شده (Saved ReBroadcast) را استفاده کرده‌ایم. معیار مهم دیگری که استفاده کرده‌ایم، پوشش شبکه (REachability) است که برابر است با نسبت تعداد گره‌هایی که پیغام را دریافت کرده‌اند به تعداد کل گره‌های موجود در شبکه. سومین معیاری که برای ما اهمیت دارد این است که چه مدت زمان طول می‌کشد که هر الگوریتم یک پیغام همه پخشی را به کل شبکه ارسال کند. بنابراین، معیارهای کارایی در نظر گرفته شده عبارتند از:

- پیغام‌های صرفه‌جویی شده (Saved ReBroadcast):

برابر $\frac{(r-t)}{r}$ است که r تعداد گره‌هایی است که پیغام را دریافت می‌کنند و t تعداد گره‌هایی است که پیغام را واقعاً بازپخش می‌کنند.

همانطور که نمودارها نشان می‌دهند الگوریتم‌های ECS و DAPF تعداد پیغام‌های بیشتری را نسبت به الگوریتم ما صرفه‌جویی کرده‌اند. ولی باید توجه داشته باشیم که این موفقیت با هزینه از دست دادن پوشش شبکه کامل و نیز افزایش تأخیر الگوریتم به دست آمده است. بنابراین اگر نتایج این سه معیار ارزیابی را در نظر بگیریم نتیجه می‌گیریم که الگوریتم پیشنهادی ما عملکرد بهتری نسبت به سه الگوریتم مورد مقایسه دارد.



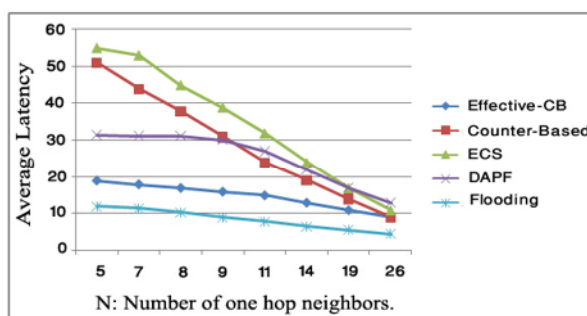
شکل ۶: نمودار درصد پیغام‌های بازپخش صرفه‌جویی شده در شبکه‌های با چگالی زیاد، متوسط و کم.

۵-۱- تأثیر مقادیر متفاوت حد آستانه مدت زمان انتظار بر عملکرد الگوریتم:

در این بخش از مقاله نشان خواهیم داد که با تغییر مدت زمان انتظار گره‌ها عملکرد الگوریتم چگونه تغییر می‌کند. ما مقدار آستانه مدت زمان انتظار را از ۱۲ میلی ثانیه تا ۱۶۰ میلی ثانیه تغییر دادیم و رفتار الگوریتم را مطالعه کردیم. شکل ۷ تأثیر این تغییرات را بر میزان پوشش شبکه الگوریتم نشان می‌دهد. همانگونه که نمودارها نشان می‌دهند این تغییرات بر میزان پوشش شبکه الگوریتم بی‌تأثیر است. در شکل‌های ۷ تا ۹ "d" نشان‌دهنده مقدار متوسط چگالی شبکه است.

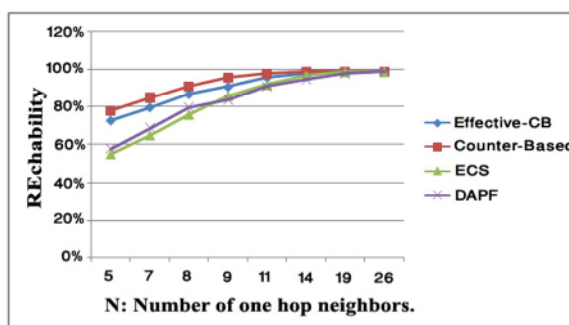
شکل ۸ بیان می‌کند که هر چه مقدار حد آستانه را بزرگتر در نظر بگیریم، الگوریتم تمایل به ذخیره پیغام بیشتری دارد. تعداد پیغام‌های بازپخش شده در $T_{max} = 160 ms$ نسبت به $T_{max} = 12 ms$ حدود ۱۵-۲۰٪ کاهش نشان می‌دهد. نتایج نشان داده شده در شبکه‌های با چگالی بالا و متوسط به دست آمده است. نتایج شبیه‌سازی‌ها در شبکه‌های تنگ نشان می‌دهد که تغییرات مقادیر T_{max} تأثیر قطعی و قابل توجهی بر رفتار الگوریتم ندارد.

روش پیشنهادی با سه الگوریتم مبتنی بر شمارش، الگوریتم ECS و الگوریتم DAPF مقایسه شده است. شکل ۴، نمودار تأخیر متوسط الگوریتم‌های مورد مقایسه را نشان می‌دهد. همانطور که از نمودارها پیداست الگوریتم پیشنهادی میزان متوسط تأخیر را بطور قابل توجهی کاهش داده است به‌گونه‌ای که این الگوریتم تقریباً تأخیری معادل تأخیر الگوریتم کلاسیک سیل آسا دارد. به عبارت بهتر می‌توانیم بگوییم که الگوریتم Effective-CB مشکل تأخیر الگوریتم مبتنی بر شمارش را برطرف کرده است.



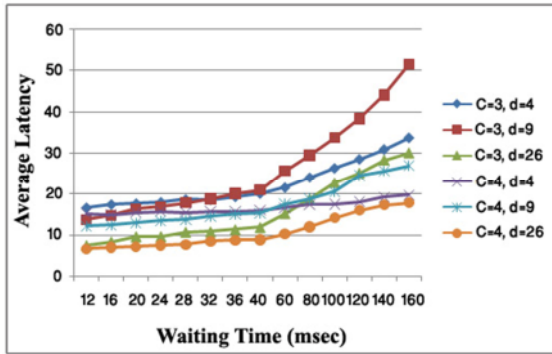
شکل ۴: متوسط تأخیر الگوریتم‌ها در شبکه‌های با چگالی زیاد، متوسط و کم.

نتایج شبیه‌سازی ما در شکل ۵ نشان می‌دهد که الگوریتم پیشنهادی ما ضمن کاهش میزان تأخیر الگوریتم مبتنی بر شمارش نرخ بالای پوشش شبکه‌ای را که الگوریتم مبتنی بر شمارش ایجاد می‌کند حفظ نماید. الگوریتم‌های مورد مقایسه ECS و DAPF پوشش شبکه مناسبی بویژه در شبکه‌های با چگالی پایین ندارند و البته این مشکل یکی از نقاط ضعف جدی آن‌ها به شمار می‌رود.

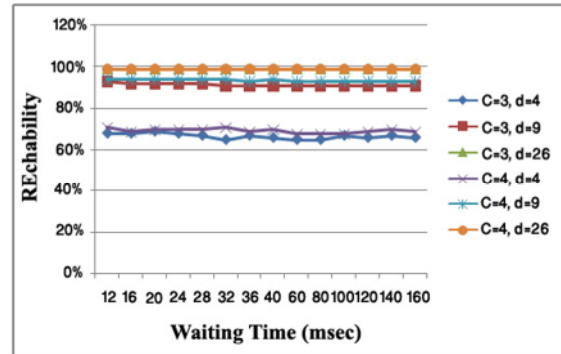


شکل ۵: نمودار پوشش شبکه الگوریتم‌ها در شبکه‌های با چگالی کم، متوسط و زیاد.

معیار سومی که ما به کمک آن عملکرد الگوریتم خود را ارزیابی کرده‌ایم تعداد پیغام‌های صرفه‌جویی شده توسط الگوریتم‌هاست.



شکل ۹: تأثیر تغییرات مدت زمان انتظار بر متوسط تأخیر.



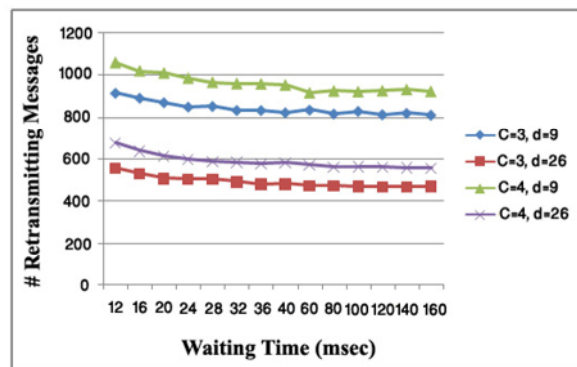
شکل ۷: تأثیر تغییرات مدت زمان انتظار بر پوشش شبکه.

۶- نتیجه گیری و کارهای آینده

در این مقاله، یک روش جدید برای بهبود عملکرد الگوریتم سیل-آسا پیشنهاد شده است. اساس کار این روش بازپخش کردن پیام‌ها بصورت احتمالی و بر مبنای مشاهدات محلی است. به منظور بازپخش آگاهانه و مناسب پیام‌ها، یک تابع احتمال تعریف شده است که گره‌ها پیام‌های دریافتی را بر مبنای آن بازپخش می‌کنند. تابع احتمال پیشنهاد شده یک تابع احتمال تطبیقی است که مقدار آن را با آگاهی از چگالی محلی شبکه (تعداد همسایگان مرتبه اول) و تصمیم گره‌های اطراف (تعداد پیام‌های تکراری دریافت شده) با گذشت زمان بصورت متناوب تغییر داده و با شرایط شبکه وفق می‌دهد. روش پیشنهادی به کمک شبیه‌سازی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که این روش ضمن کاهش قابل توجه تأخیر الگوریتم، پوشش شبکه کاملی را ایجاد می‌کند و سربار پیام قابل قبولی دارد. همچنین، تأثیر مقادیر متفاوت حد آستانه مدت زمان انتظار بر کارایی الگوریتم را بررسی کردیم. این تغییرات بر پوشش شبکه تأثیری نداشته اما با افزایش مقدار حد آستانه انتظار متوسط تأخیر الگوریتم و نیز تعداد پیام‌های بازپخش نشده افزایش یافت.

یکی از نقاط قوت الگوریتم پیشنهادی این است که نسبت به روش‌های مشابه تأخیر بسیار کمی (تقریباً برابر با تأخیر الگوریتم سیل آسا) دارد. به ویژه در شبکه‌های با چگالی متوسط و پایین که سه الگوریتم دیگر تأخیر بالایی دارند، الگوریتم Effective-CB عملکرد بسیار رضایتبخشی دارد. بنابراین می‌تواند جایگزین روش‌های پیشین در چنین شبکه‌هایی شود. مخصوصاً در کاربردهای بلادرنگ که تأخیر تحویل بسته‌ها باید کم باشد، این روش بر روش‌های مشابه ارجحیت دارد.

در کارهای آتی خود سعی می‌کنیم که رابطه تأثیر مقدار حد آستانه مدت زمان انتظار را که در این مقاله بررسی کردیم، بصورت تابع ریاضی بیان کنیم. همچنین با دخالت دادن فاصله



شکل ۸: تأثیر تغییرات مدت زمان انتظار بر تعداد پیام‌های بازپخش.

در نهایت، تأثیر این تغییرات را بر مقدار متوسط تأخیر الگوریتم بررسی کردیم. همانطور که شکل ۹ نشان می‌دهد در تمام سناریوها با افزایش مقدار حد آستانه متوسط تأخیر نیز افزایش می‌یابد. مقایسه نمودارها نشان می‌دهد که تأثیر افزایش مقدار آستانه بر روی الگوریتم‌های با $C=3$ بیشتر از $C=4$ است. همچنین، در سناریوهای با چگالی بالا ($d=9$ و $d=26$) با افزایش مقدار آستانه، الگوریتم کارایی خود را از دست می‌دهد. زیرا در این شبکه‌ها با توجه به نزدیکی گره‌ها به یکدیگر و تعداد زیاد آن‌ها الگوریتم به طور طبیعی تمایل دارد که عمل بازپخش را در زمان کمی انجام دهد و لذا انتخاب مقادیر بزرگ T_{max} نه تنها کمکی به کمتر کردن میزان تأخیر نمی‌کند بلکه نتیجه عکس نیز دارد.

با مقایسه نمودارهای شکل ۸ و ۹ می‌توان نتیجه گرفت که باید میان معیارهای متوسط تأخیر و تعداد پیام‌های بازپخش یکی را برگزینیم. در برنامه‌های کاربردی بی درنگ که متوسط تأخیر اهمیت زیادی دارد، باید مقدار T_{max} را کوچک در نظر گرفته تعداد پیام‌های بازپخش بالا را نادیده بگیریم. اما اگر کمتر بازپخش کردن پیام‌ها برای ما اهمیت دارد باید مقدار T_{max} را بزرگ انتخاب کنیم تا در نهایت به نتیجه مطلوب خود برسیم.

- [12] Tseng, Y., Ni, S. and Shih, E. Y., "Adaptive Approaches to Relieving Broadcast Storms in a Wireless Multihop Mobile Ad Hoc Network", IEEE Trans. on Computers, vol. 52, 2003.
- [13] Pleisch, S., Balakrishnan, M., Birman, K. and Renesse, R., "Mistral: Efficient Flooding in Mobile Ad-hoc Networks", Proc. 7th ACM Int. symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing, pp. 1-12, Florence, Italy, 2006.
- [14] Keshavarz-Haddad, A., Riberio, V., "Color-Based Broadcasting for Ad Hoc Networks", Proc. International Symposium in modeling and optimization in mobile, ad hoc and wireless networks, pp1-10, April 2006.
- [15] Chen, C., Hsu, C., Wang, H., "A distance-aware counter-based broadcast scheme for wireless ad hoc networks," Military Communications Conference. IEEE, vol. 2, pp. 1052- 1058, 2005.
- [16] Al-Humoud, O. S., Mackenzie, L., Ould-Khaoua, M. and Abdulai, J., "A Mobility Analysis of Adjusted Counter-Based Broadcast in MANET's", In The 9th annual PostGraduate Symposium on the Convergence of Telecommunications, Networking and Broadcasting (PGTNET), Liverpool, England, 23-24 June 2008,.
- [17] Izumi, Sh., Takeuchi, T., Matsuda, T., Kawaguchi, H., Ohta, C., Yoshimoto, M., "Counter-Based Broadcasting with Hop Count Aware Random Assessment Delay Extension for Wireless Sensor Networks", IEICE Trans, COMMUN, vol E91-B, no 11, pp. 3489-3498, 2008.
- [18] Mohammed, A., Ould-Khaoua, M. and Mackenzie, L., "An Efficient Counter-Based Broadcast Scheme for Mobile Ad Hoc Networks", Proc. 4th European Performance Engineering Workshop (EPEW 2007), Lecture Notes in Computing Science, vol. 4748, K. Wolter, Ed. Berlin, Germany: Springer-Verlag, pp. 275-283, 2007.
- [19] Nourazar, F., Sabaei, M., "DAFP: An Efficient Flooding Algorithm for Mobile Ad-hoc Networks", Proc. International Conference on Signal Processing Systems, pp. 594-598, Singapore, 2009.
- [20] Nourazar, F., Sabaei, M., "Adjusting threshold in Counter-Based algorithm", "Technical Report", Qazvin Azad University, 2009.
- [21] UCLA Parallel Computing Laboratory and Wireless Adaptive Mobility Laboratory. GloMosim: A scalable simulation environment for wireless and wired network systems <http://pcl.cs.ucla.edu/>.
- میان گره‌های فرستنده و گیرنده در این رابطه بر دقت آن بیفزاییم. شبیه‌سازی‌های اولیه نشان می‌دهد که دخیل کردن فاکتور فاصله باعث بهبود کارایی الگوریتم می‌شود.
- مراجع:
- [1] Johnson, D. B., Maltz, D. A., Broch, J., "The dynamic source routing protocol for multihop wireless ad hoc networks (DSR)", In Ad Hoc Networking, edited by Charles E. Perkins, chapter 5, PP. 139-172. Addison-Wesley, 2001.
- [2] Perkins, C., Royer, E., "Ad-hoc On-Demand Distance Vector Routing", Proc. of 2nd IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications, 1999.
- [3] Haas, Z., Pearlman, M., "ZRP: a hybrid framework for routing in Ad Hoc networks", IETF MANET. Internet Draft, Dec 1997.
- [4] Ko, Y., Vaidya, N., "Location-Aided Routing (LAR) in mobile ad hoc networks", Wireless Networks journal, Vol.6, No.4, 2000.
- [5] Ni, S., Tseng, Y., Chen, Y. and Sheu, J., "The Broadcast Storm Problem in a Mobile Ad Hoc Network", Proc. 5th ACM/IEEE Int Conference on Mobile Computing and Networking (MOBICOM), pp. 151-162, New York, NY, USA, 1999.
- [6] Wu, J., Dai, F., "Broadcasting in Ad Hoc Networks Based on Self-Pruning", Proc. INFOCOM '03, vol. 3, pp. 2240-2250, 2003.
- [7] Qayyum, A., Viennot, L., Laouiti, A., "Multipoint Relaying for Flooding Broadcast Messages in Mobile Wireless Networks", Proc. 35th annual Hawaii International Conference, pp.3866- 3875, 2002.
- [8] Calinescu, G., Mandoiu, I. I., Wan, P., Zelikovsky, A. Z., "Selecting forwarding neighbors in wireless ad hoc networks," Mob. Netw. Appl., vol. 9, no. 2, pp. 101-111, 2004.
- [9] Stojmenovic, I., Seddigh, M., Zonic, J., "Distributing Sets and Neighbor Elimination-based Broadcasting Algorithms in Wireless Networks", IEEE Trans, Parallel Distrib. Syst., vol. 13, no. 1, pp. 14-25, 2002.
- [10] Stojmenovic, I., "Comments and Corrections to 'Distributing Sets and Neighbor Elimination-based Broadcasting Algorithms in Wireless Networks'", IEEE Trans, Parallel Distrib. Syst., vol. 15, no. 11, pp. 1054-1055, 2004.
- [11] Lou, W., Wu, J., "A cluster-based backbone infrastructure for broadcasting in manets," Proc. International Parallel and Distributed Processing Symposium, IEEE Computer Society, pp. 221.1, 2003.

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۰۱/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۰۵/۲۸

اصلاح نقص ابیراهی لنز دوربین با بهره‌گیری از مومنت‌های زرنیک

کریم فائز** کامبیز رهبر*

* باشگاه پژوهشگران جوان، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکز

** دانشکده مهندسی برق، دانشگاه صنعتی امیرکبیر تهران، ایران

چکیده

کاهش کیفیت تصویر در یک سامانه اپتیکی تابع پارامترهای متفاوتی از قبیل ابیرایی لنز، خطای رقمی سازی و خطای مونتاژ سامانه می باشد. از این میان مقاله حاضر قصد دارد تا به مطالعه ابیرایی لنز پرداخته و نقص ابیرایی آن را اصلاح و جبران نماید. برای این منظور مومنت‌های زرنیک جهت مدل سازی ابیرایی معرفی شده و ضرایب آن جهت تخمین در دو کلاس متقارن و نامتقارن دسته بندی می‌شوند. سپس این ضرایب با بهره‌گیری از آنالیز چند طیفی تخمین زده می‌شوند. جهت این مهم در تخمین ضرایب جملات متقارن از آنالیز tri-coherence و برای ضرایب جملات نامتقارن از آنالیز bi-coherence استفاده شده است. با مد نظر قرار دادن دقت نتایج حاصله در مقام قیاس با نتایج تخمین ابیرایی با بهره‌گیری از آنالیز چند طیفی نشان می‌دهد که روش پیشنهادی می‌تواند به دقت ۰/۱ پیکسل دست یابد.

کلمات واژگان

ابیرایی لنز، چند جمله‌ای زرنیک، طیف‌های مرتبه بالاتر

۱. مقدمه

در شرایط ایده آل در اپتیک هندسی تمامی پرتوهایی که از شیئی هدف ساطع می‌شوند پرده تصویر را در یک نقطه قطع می‌کنند. در عمل این مهم اغلب حاصل نمی‌شود. انحراف از مسیر ایده آل برای پرتوهای ساطع شده و لمس نقطه دیگری

روی پرده تصویر تحت عنوان ابیرایی^۱ شناخته می‌شود. ابیرایی می‌تواند در دو کلاس کلی طبقه‌بندی شود: ابیرایی تک‌رنگ^۲ و ابیرایی رنگی^۳. ابیرایی رنگی به تفرق طول موج‌های مختلف و تغییرات شاخص انکساری^۴ با آن بر می‌گردد؛ در حالی که ابیرایی تک‌رنگ تنها برای یک طول موج نور رخ می‌دهد.

وجود ابیرایی در یک سامانه بینایی تأثیرات منفی زیادی به دنبال دارد. تأثیرات منفی متاثر از ابیرایی در یک سامانه اپتیکی در دو کلاس کلی قابل طرح هستند. کلاس اول مربوط به بررسی اثر ابیرایی در کاهش کیفیت تصویر حاصله می‌باشد. تصویر آلوده اغلب از ماتی محلی در نواحی مختلف خود رنج می‌برد. کلاس دوم مربوط به بزرگنمایی محلی در نواحی مختلف تصویر است که باعث کشیدگی و جمع شدگی محلی شده و موقعیت و ابعاد تصویر اشیاء را روی پرده تصویر تغییر می‌دهد. تأثیرات منفی، در کلاس اول تأثیرات نامطلوب ابیرایی معمولاً پروسه‌های پردازش تصویر را درگیر می‌کند؛ در حالی که در کلاس دوم، تأثیرات نامطلوبی روی پروسه‌های بینایی ماشین از جمله کالیبراسیون سامانه بینایی می‌گذارد.

کاهش ابیرایی راهکارهای مختلفی دارد. دسته‌ای از این راهکارها بر استفاده از پرتوهای راهنمای ویژه‌ای متکی هستند. پرتوهای مماسی^۵ و پیکانی^۶ نمونه‌ای از این پرتوها هستند. پروسه تشخیص و تعیین ابیرایی توسط این پرتوها اغلب از این مهم بهره می‌برد که پرتوهای تست از نظر هندسی تنها برخی از

^۱ Aberration

^۲ Monochromatic aberration

^۳ Chromatic aberration

^۴ Refraction

^۵ Tangential rays

^۶ Sagittal rays

مدل اعمال شود. این مهم کاربرد هایی را که نیاز به کالیبراسیون بلادرنگ دارند به چالش می کشد.

در مقابل، روش‌های مبتنی بر مدل با مدل سازی مستقل ابیراهی می‌توانند ابیراهی را به صورت موثرتری مدل کنند. مدل سازی مستقل ابیراهی این امکان را فراهم می سازد که مدل سامانه بینایی بتواند به صورت خطی تحقق یابد. ضمناً امکان کنترل بیشتر خطای منتشر شده در نتایج مدل ابیراهی نیز میسر می گردد. در مقابل، مدل‌های مستقل نیاز به پروسه کالیبراسیون خاص خود دارند. در مدل‌های مستقل جملات می‌توانند تعبیر فیزیکی داشته باشند.

پروسه مدل سازی برای روش‌های مبتنی بر مدل، خود نشات گرفته از دو دیدگاه متفاوت است. دیدگاه اول پروسه مدل سازی را بر پایه انواع مدل‌های افکنش^۳ انجام می‌دهد. در حالی که دیدگاه دوم مبتنی بر انواع مختلف اثرات ابیراهی بر تصویر می باشد. روش‌های مبتنی بر مدل برگرفته شده از دیدگاه اول، دیدگاه مبتنی بر انواع مدل‌های افکنش، چهار مدل کلی را برای افکنش معرفی می کنند که عبارتند از: پرسپکتیو^۴، استریوگرافیک^۵، ایکویسولید^۶ و ارتوگنال^۷. در مدل‌های افکنش یاد شده تفاوت در رابطه هندسی بین ϕ ، زاویه ای است که پرتوی یک نقطه حقیقی ساطع شده از پرده شیئی پس از وارد شدن به سامانه اپتیکی با محور اپتیکی می سازد، f فاصله کانونی، و r موقعیت شعاعی تصویر نقطه شیئی روی پرده تصویر است. مدل‌هایی ابیراهی از ترکیب خطی وزنی مدل‌های یاد شده حاصل می‌شود. به عنوان نمونه کار اورخوف و همکاران [۱] در این گروه قرار می گیرد. ویژگی مهم این دیدگاه امکان پوشش طیف وسیعی از ابیراهی ها، از جمله ابیراهی‌های مربوط به لنزهای ماکرو^۸ تا ابیراهی‌های مربوط به لنزهای تله^۹ می باشد. روش‌های مبتنی بر مدل برگرفته شده از دیدگاه دوم، دیدگاه مبتنی بر انواع اثرات ابیراهی روی تصویر، اغلب از بسط تیلور برای مدل سازی ابیراهی بهره می برند.

به عنوان نمونه گرامفون [۲] و وینسنت و همکاران [۳] در کارهای خود مدل دوربین پین هول^{۱۰} را به گونه ای با بهره

ابیراهی ها را ظاهر می کنند. با تابش این پرتو ها به داخل سامانه اپتیکی و سنجش میزان انحراف در بازتابش آنها، می‌توان ابیراهی را در یک سامانه تشخیص و میزان آن را تعیین کرد. بنابراین این راهکار ها برای سنجش ابیراهی نیازمند وجود یک آینه فارغ از ابیراهی در پشت سامانه اپتیکی هستند. دسته ای دیگر از راهکار ها پروسه تشخیص و تعیین ابیراهی را صرفاً بر اساس تصویر نقش بسته بر پرده تصویر صورت می دهند. این راه کارها نیازی به پرتوهای ویژه هندسی ندارند. هر چند این روش ها اغلب نتایج ضعیف تری را ارائه می دهند، اما به واسطه عدم نیاز به پرتوهای ویژه هندسی، امکان سنجش و تعیین ابیراهی را در شرایطی که امکان بهره گیری از پرتوهای یاد شده وجود نداشته باشد، فراهم می آورند.

روش‌های کاهش ابیراهی که ابیراهی را صرفاً بر اساس تصویر نقش بسته بر پرده تصویر مورد سنجش قرار می دهند، می‌توانند در دو کلاس اصلی طبقه‌بندی شوند: (۱) روش‌های مبتنی بر مدل^۱ و (۲) روش‌های فارغ از مدل^۲. روش‌های فارغ از مدل تاثیر ابیراهی را مستقیماً در مدل سامانه بینایی وارد می کنند. بنابراین مدل سامانه بینایی به گونه ای اصلاح می گردد که تاثیر ابیراهی روی تصویر در نتایج آن تاثیری نداشته باشد. در مقابل، روش‌های مبتنی بر مدل به ارائه مدلی مستقل برای تابع ابیراهی پرداخته و مدل سامانه بینایی را تحت تاثیر آن قرار نمی دهند. به عبارتی دیگر فرض می کنند که تصویر حاصله از سامانه بینایی پس از اصلاح توسط مدل ابیراهی، فاقد هر گونه ابیراهی است و می‌تواند به عنوان تصویر ایده آل برای مدل سامانه بینایی مورد استفاده قرار گیرد.

در هر صورت هر یک از کلاس‌های بیان شده دارای مزایا و معایب خاص خود هستند. به عنوان نمونه هر چند روش‌های فارغ از مدل، با وارد کردن پارامترهای ابیراهی در مدل سامانه بینایی نیاز به کالیبراسیون مدل ابیراهی را کاهش می دهند، اما جملات اصلاح شده در مدل سامانه بینایی دیگر دارای تعبیر فیزیکی نخواهند بود. بعلاوه از آنجایی که مدل سامانه بینایی می‌تواند بصورت خطی تحقق یابد، وارد کردن پارامترهای ابیراهی، مدل سامانه بینایی را غیر خطی می‌کند که این مهم نیز از معایب این کلاس به شمار می آید. بنابراین پروسه کالیبراسیون باید به صورت غیر خطی جهت تخمین پارامترهای

³Projection

⁴Perspective

⁵Stereographic

⁶Equisolid

⁷Orthogonal

⁸Macro lenses

⁹Tele lenses

¹⁰Camera pinhole model

¹ Model based method

² Non-parametric methods

از آن می‌تواند موثرتر واقع گردد. ابتدا اینکه ضرایب زرنیک به صورت فرم کاملی از یک مجموعه متعامد روی دایره واحد تعریف می‌شوند. دوم اینکه چند جمله‌های زرنیک یک بازنمایش متعادل از ابرایی را نشان می‌دهند. این به این معنی است که چند جمله‌های زرنیک حاصل از ترکیب جملاتی از سری‌های توانی هستند که به گونه‌ای بهینه متعادل شده‌اند که واریانس را حول مردمک خروجی کمینه سازند [۸]. سوم اینکه ضریب هر جمله در توسعه چند جمله‌ای زرنیک خود نشان دهنده انحراف معیار استاندارد نسبت به آن جمله می‌باشد، که مجموع مربعات این ضرایب واریانس ابرایی کل را نشان می‌دهد. چهارم اینکه برخلاف مدل‌های مبتنی بر بسط تیلور که نمی‌توانند بازنمایش مناسبی از ابرایی و اعوجاج محلی باشند [۹]، مدل برگرفته از چند جمله‌ای زرنیک برای باز نمایش ابرایی و اعوجاج محلی نیازی به بخش بندی و تکه تکه سازی تصویر ندارد. و در آخر هر چند مدل تیلور برای لنزهای مرکب مناسب نیست [۱۰]، مدل زرنیک در مدل سازی لنزهای مرکب می‌تواند بازدهی خود را حفظ کند.

امروزه ابرایی لنز با بهره‌گیری از روشهای مبتنی بر راه کارهای غیر متریک و مدل‌های خود کالیبره کننده اصلاح می‌شود [۱۴-۱۱، ۲]. این گروه از راه کارها، اغلب از بردارهای ویژگی در تصویر همانند خطوط مستقیم، دایره‌ها و نقاط ناپدید شدن^۵ استفاده می‌کنند.

عدم وجود برخی از بردارهای ویژگی یاد شده و یا کاهش شمار آنها در تصویر، برخی مواقع منجر به شکست فرآیند کالیبره کردن می‌شود. به همین واسطه و به دلیل وجود برخی از ویژگی‌های غیر خطی لنز، استفاده از آنالیز چند طیفی^۶ در تشخیص و تعیین میزان ابرایی توجیه پذیر است. اصلاح ابرایی لنز با بهره‌گیری از آنالیز چند طیفی bi-coherence پیشتر معرفی شده است [۱۶-۱۵]. در استفاده از آنالیز چند طیفی خصوصیات منحصر به فردی وجود دارد. اول اینکه با بهره‌گیری از آنالیز چند طیفی، دیگر نیازی به پروسه تشخیص بردارهای ویژگی یاد شده نخواهد بود. و دوم اینکه پروسه کالیبراسیون تحت تاثیر شکست پروسه‌های استخراج بردارهای ویژگی قرار نمی‌گیرد.

روش پیشنهادی در این مقاله از مزایای مدل سازی به کمک توسعه ضرایب زرنیک بهره می‌برد. جملات مدل در دو کلاس

گیری از هموگرافی معکوس پذیر^۱ اصلاح کردند که ماتریس پارامترهای داخلی و خارجی دوربین^۲، کشیدگی‌های ناخواسته ناشی از بزرگنمایی محلی را در خود توصیف کند. بدین سان پارامترهای مدل اصلاح شده بین هول هر چند از ماهیت فیزیکی خود فاصله گرفتند ولی در مقابل پروسه کالیبراسیون دوربین بدون نیاز به کالیبراسیون مجزا برای استخراج پارامترهای ابرایی قابل بهره برداری می‌باشد. آنها مدل جدید دوربین را مدل بین هول مجازی^۳ نامیده‌اند. کار این دو در نحوه تعیین پارامترهای مدل با یکدیگر تفاوت دارد.

همچنین لین و همکاران [۴] در کار خود به اصلاح ابرایی مبتنی بر مدل پرداخته‌اند. ایشان تابع ابرایی را به کمک بسط تیلور مدل کرده و پارامترهای آن را با بهره‌گیری از این حقیقت تخمین زده‌اند که میزان ابرایی موثر در مرکز ابرایی نسبت به دیگر نقاط به شدت کمتر است. بنابراین اگر مرکز ابرایی مرکز تصویر فرض شود، انتظار داریم برای یک بزرگنمایی^۴، تفاوت مکانی نقاط الگوهای حول مرکز تنها برابر پارامتر بزرگنمایی باشد و از جابجایی ناشی از کشیدگی و جمع شدگی ابرایی تاثیر نپذیرد، در حالی که این مهم برای نقاط الگوهای دیگر بخش‌های تصویر این گونه نیست و جابجایی این نقاط علاوه بر پارامتر بزرگنمایی متاثر از ابرایی نیز می‌باشد. ایشان از این مهم بهره‌گرفته‌اند و برای یک بزرگنمایی مشخص، تابع ابرایی را تخمین زده‌اند. احمد و همکاران [۵] و همچنین هارتلی و کنگ [۶] نیز از مدل یکسانی برای مدل سازی تابع ابرایی بهره‌گرفته‌اند. تفاوت کار ایشان در نحوه تخمین پارامترها می‌باشد.

همان گونه که بیان گردید، برای بازنمایش و مدل سازی ابرایی موج تکرنگ می‌توان از توسعه چند جمله‌ای ها بهره جست. هر چند بهره‌گیری از توسعه چند جمله‌ای زرنیک پیشتر در راهکارهای مبتنی بر پرتوهای راهنما مورد استفاده قرار گرفته است، اما بهره‌گیری از آنها تاکنون در راهکارهایی که صرفاً مبتنی بر تصویر نقش بسته بر پرده تصویر طراحی می‌شوند، بر اساس جستجوهای نگارنده صورت نگرفته است. بهره‌گیری از توسعه چند جمله‌ای زرنیک در مقام قیاس با بسط تیلور که در بسیاری از مقالات از آن بهره‌گرفته شده است [۷-۴] دارای ویژگی‌هایی است که به استناد آنها استفاده

¹ Invertible homography

² Camera intrinsic and extrinsic matrix

³ Virtual pinhole model

⁴ Zoom

⁵ Vanishing points

⁶ Poly-spectral analysis

که در این رابطه نیز δ_{m0} تابع دلتای کرونگر، n و m اعداد صحیح مثبت هستند به گونه‌ای که $n - m \geq 0$ و همچنین

$$R_n^m(\rho) = \sum_{s=0}^{(n-m)/2} \frac{(-1)^s (n-s)!}{s! \left(\frac{n+m}{2} - s\right)! \left(\frac{n-m}{2} - s\right)!} \rho^{n-2s} \quad (3)$$

یک تابع چند جمله‌ای با درجه n روی ρ شامل جملات ρ^n ، ρ^{n-2} و ρ^m است. c_n^m ضرایب توسعه زرنیک به صورت زیر خواهند بود.

$$c_n^m = \left(\frac{1}{\pi}\right) \sqrt{2(n+1)(1+\delta_{m0})} \times \int_0^1 \int_0^{2\pi} W(\rho, \theta) R_n^m(\rho) \cos m\theta \rho d\rho d\theta \quad (4)$$

جدول ۱ - چند جمله‌ای زرنیک تا مرتبه شعاعی ۴

مفهوم	$Z_n^m(\rho, \theta)$	فرکانس (m)	مرتبه (n)
مقدار ثابت (Piston)	1	۰	۰
x-کجی (Tilt)	$2\rho \sin(\theta)$	-۱	۱
y-کجی	$2\rho \cos(\theta)$	۱	۱
آستیگماتیسم ($\pm 45^\circ$ درجه)	$\sqrt{6}\rho^3 \sin(2\theta)$	-۲	۲
انحنای عرصه (Field curvature)، عدم تطبیق (Defocus)	$\sqrt{3}(2\rho^3 - 1)$	۰	۲
آستیگماتیسم (0° یا 90° درجه)	$\sqrt{6}\rho^3 \cos(2\theta)$	۲	۲
y-تریفویل (Trefoil)	$\sqrt{8}\rho^3 \sin(3\theta)$	-۳	۳
y-کوما (Coma)	$\sqrt{8}(3\rho^3 - 2\rho) \sin(\theta)$	-۱	۳
x-کوما	$\frac{\sqrt{8}(3\rho^3 - 2\rho) \cos(\theta)}{2}$	۱	۳
x-تریفویل	$\sqrt{8}\rho^3 \cos(3\theta)$	۳	۳
y-کوادریفویل (Quadrafoil)	$\sqrt{10}\rho^4 \sin(4\theta)$	-۴	۴
y-آستیگماتیسم مرتبه دوم	$\frac{\sqrt{10}(4\rho^4 - 3\rho^2) \sin(4\theta)}{2}$	-۲	۴
ابیرایی کروی (Spherical)، عدم تطبیق (Defocus)	$\frac{\sqrt{5}(6\rho^4 - 6\rho^2 + 1) \sin(4\theta)}{2}$	۰	۴
x-آستیگماتیسم مرتبه دوم	$\frac{\sqrt{10}(4\rho^4 - 3\rho^2) \cos(4\theta)}{2}$	۲	۴
x-کوادریفویل	$\sqrt{10}\rho^4 \cos(4\theta)$	۴	۴
...

کلی ابیرایی‌های متقارن مشتمل بر کوما^۱ و اعوجاج^۲ و ابیرایی‌های نامتقارن شامل ابیرایی کروی^۳، آستیگماتیسم^۴ و عدم تطبیق^۵ تقسیم شده و سپس به ترتیب با بهره‌گیری از آنالیز چند طیفی bi-coherence و tri-coherence تخمین زده می‌شوند. انتظار می‌رود که مقادیر واقعی ابیرایی لنز به گونه‌ای تخمین زده شوند که متوسط همبستگی محاسبه شده را کمینه سازند.

دیگر بخش‌های مقاله به این صورت سازمان دهی شده‌اند: مدل ریاضی ابیرایی لنز در بخش ۲ توضیح داده شده است. پروسه کالیبراسیون در بخش ۳ شرح داده می‌شود. بخش ۴ میزان موثر بودن و دقت راه کار پیشنهادی را بررسی می‌کند. و بخش ۵ نتایج را در بر دارد.

۲. مدل ریاضی ابیرایی لنز

در ابیرایی موج تک‌رنگ^۶، $W(\rho, \theta)$ به مختصات شعاعی ρ و زاویه گردشی θ می‌تواند به صورت یک توسعه چند جمله‌ای در فرم زیر باز نمایش شود.

$$W(\rho, \theta) = \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=0}^n c_n^m Z_n^m(\rho, \theta) \quad (1)$$

که در این رابطه c_n^m ضرایب توسعه زرنیک و Z_n^m چند جمله‌ای زرنیک است. از طرفی دیگر اگر پرتوهای نور را به عنوان سیگنال و لنز را به عنوان یک سیستم بپذیریم، کاملاً مشهود است که به واسطه تفاوت قطر در نواحی مختلف لنز و یا عدم یکنواختی چگالی مواد سازنده لنز، پرتوهای ورودی در این سیستم دچار تاخیرهای متفاوتی می‌شوند. بنابراین ابیرایی برای پرتو‌هایی که با هم وارد لنز می‌شوند علاوه بر انحراف در نقاط مختلف لنز، تحت تاثیر تاخیر هم قرار می‌گیرد. بدینسان تابع ابیرایی موج تک‌رنگ را که تاخیرهای زمانی در آن منظور شده، تحت عنوان تابع ابیرایی فاز^۷ می‌شناسند. تابع ابیرایی فاز در فرم جملات چند جمله‌ای دایره‌ای زرنیک می‌تواند در فرم زیر توسعه یابد.

$$W(\rho, \theta) = \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=0}^n c_n^m \left[\sqrt{\frac{2(n+1)}{1+\delta_{m0}}} \right] R_n^m(\rho) \cos m\theta \quad (2)$$

¹Coma

²Distortion

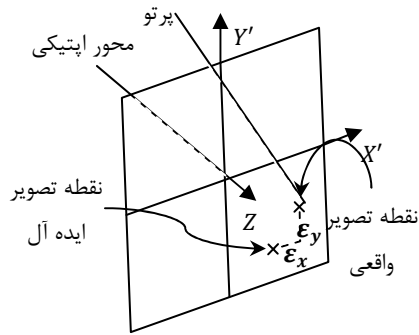
³Spherical aberration

⁴Astigmatism

⁵Defocus

⁶Monochromatic wave aberration

⁷Phase aberration function



شکل ۲- پرده تصویر و مختصه پرتویی ابیرایی یافته نسبت به شرایط ایده آل

از طرف دیگر با توجه به این که انحراف پرتو ابیراهی شده نسبت به مکان ایده آل خود روی پرده تصویر، با دیفرانسیل محلی جبهه ابیراهی موج تکرنک در آن نقطه متناسب است، داریم:

$$\frac{\partial W(x, y)}{\partial x} = \frac{\varepsilon_x(x, y)}{f}, \quad (8)$$

$$\frac{\partial W(x, y)}{\partial y} = \frac{\varepsilon_y(x, y)}{f}$$

که f فاصله کانونی لنز می باشد.

با مشتق گیری از معادله ۷ نسبت به x و y و جایگزین کردن آن در معادله ۸، رابطه ۹ نتیجه می شود.

$$\frac{\varepsilon_x(x, y)}{f} = \sum_j w_j \frac{\partial Z_j(x, y)}{\partial x}, \quad (9)$$

$$\frac{\varepsilon_y(x, y)}{f} = \sum_j w_j \frac{\partial Z_j(x, y)}{\partial y}$$

معادله ۹ مقادیر ابیرایی را در قالب ابیرایی زرنیک توصیف می کند. ضرایب زرنیک w_j می توانند با بهره گیری از آنالیز چند طیفی تخمین زده شوند.

اجزای پرتو ابیرایی می توانند در دو کلاس کروماتیک و آستیگماتیک طبقه بندی شوند. از آنجایی که اجزای کروماتیک و آستیگماتیک کوپل همدیگر نیستند لذا نمی توانند برای متعادل کردن یکدیگر بکار روند. اجزای آستیگماتیک شامل ابیرایی کروی، آستیگماتیسیم و عدم تطبیق بوده و ابیرایی کروماتیک مشتمل بر کوما و اعوجاج است. بعلاوه چند جمله ای های زرنیک نیز می توانند برای ابیرایی های متقارن (ابیرایی های کروماتیک) و همچنین ابیرایی های نامتقارن (ابیرایی های آستیگماتیک) در دو کلاس متقارن و نامتقارن دسته بندی شوند. از طرفی می دانیم که آنالیز چند طیفی tri-coherence ذاتا به سیگنال های متقارن حساس است و همچنین آنالیز چند طیفی bi-coherence به سیگنال های نامتقارن [۱۷]. بنابراین بهره

در عمل برای بازنمایش تابع ابیرایی موج از تعداد محدود N از چند جمله ای های زرنیک استفاده می شود. بنابراین می توان تابع ابیرایی موج تکرنک را به صورت زیر خلاصه کرد.

$$W(\rho, \theta) = \sum_{n=0}^N \sum_{m=0}^n c_n^m Z_n^m(\rho, \theta) + \varepsilon(\rho, \theta) \quad (5)$$

که در این رابطه $\varepsilon(\rho, \theta)$ خطای مدل سازی می باشد. جدول ۱ باز نمایشی از چند جمله ای های زرنیک تا مرتبه شعاعی ۴ را نشان می دهد.

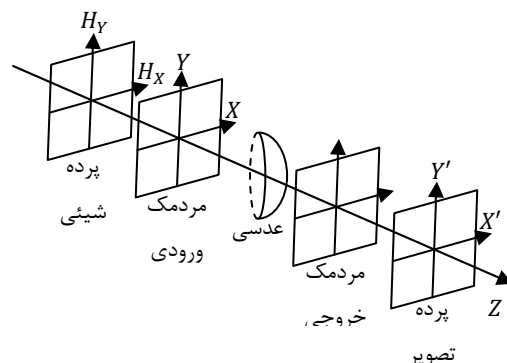
۳. پروسه کالیبراسیون

شکل ۱ اجزای پایه یک سامانه اپتیکی متقارن را توضیح می دهد. در یک چنین سامانه ای، یک پرتو که از مردمک خروجی خارج می شود پرده تصویر را در مختصات (X', Y') قطع می کند. عموما، این پرتو از نقطه ایده آل خود روی پرده تصویر نمی گذرد. این مهم در شکل ۲ به تصویر کشیده شده است. می توان در نظر گرفت که اگر نقطه انحراف در شرایط عمل $\vec{H} = H_x \hat{i} + H_y \hat{j}$ باشد و نقطه ایده آل در مختصات (h'_x, h'_y) ، آنگاه نقطه تقاطع با پرده تصویر در مختصات (X', Y') خواهد بود.

$$(X', Y') = (h'_x, h'_y) + (\varepsilon_x, \varepsilon_y) \quad (6)$$

با در نظر گرفتن تابع ابیرایی در مختصات کارتزین، ε_x و ε_y می توانند به فرم تابع موج ابیرایی تکرنک بصورت زیر تخمین زده شوند.

$$W(x, y) = \sum_j w_j Z_j(x, y) \quad (7)$$



شکل ۱- اجزای پایه یک سامانه اپتیکی متقارن

جدول ۲ - ابیرایی‌های مصنوعی و تخمین آنها به کمک روش پیشنهادی

مقادیر تخمینی	مقادیر از پیش تعریف	$Z_n^m(\rho, \theta)$	فرکانس (m)	مرتبه (n)
-۰/۵۱۴۱	-۰/۵۱۴۱	مقدار ثابت	۰	۰
-۰/۳۵۴۶	-۰/۳۵۴۵	X - کجی	-۱	۱
۰/۴۴۳۴	۰/۴۴۳۲	Y - کجی	۱	۱
-۰/۳۶۲۰	-۰/۳۶۱۹	آستیگماتیسم (درجه) ± 45	-۲	۲
-۰/۲۵۶۲	-۰/۲۵۶۰	انحنای عرصه، عدم تطبیق	۰	۲
۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	آستیگماتیسم (۰ یا ۹۰ درجه)	۲	۲
-۰/۰۰۰۳	-۰/۰۰۰۲	Y - کوما	-۱	۳
۰/۱۵۷۴	۰/۱۵۷۰	X - کوما	۱	۳
-۰/۰۰۱۱	-۰/۰۰۰۶	ابیرایی کروی، عدم تطبیق	۰	۴

جذر مجموع مربعات خطا RMSE برای راه کار پیشنهادی در مقایسه با مقادیر مبتنی بر بسط تیلور در کنار بار محاسباتی آنها در جدول ۳ آماده است. لازم به ذکر است که ضرایب تیلور به طریق مشابهی که در [۱۵] گزارش شده است با بهره‌گیری از bi-coherence تخمین زده شده‌اند. همچنین بار محاسباتی برای کد متلب نسخه 2011a تحت رایانه مجهز به پردازنده Intel Core 2 Duo T9550@2.67GHz و ۴ گیگابایت حافظه محاسبه گردیده است. با مطالعه جدول ۳ کاملاً مشهود است که ضرایب زرنیک از دقت قابل ملاحظه‌ای برخوردار می‌باشند. بعلاوه بهره‌گیری از مومنت‌های زرنیک از نظر بار محاسباتی نیز بسیار موثرتر است. این مهم می‌تواند با در نظر گرفتن تعامد بین جملات در چند جمله‌ای زرنیک توجیه شود. در صورتی که عدم تعامد در جملات تیلور تکرار بیشتری را برای رسیدن به جذر مجموع مربعات خطای مورد نظر نیاز دارد.

جدول ۳ - مقایسه بین دقت تخمین مبتنی بر توسعه ضرایب

زرنیک با بسط تیلور و همچنین بار محاسباتی

راه کار	RMSE	بار محاسباتی
بسط تیلور (مرتبه ۴)	۰/۵۴۸۰	۱۶۳/۰۹۷۷۴۴ ثانیه
زرنیک (اپتیک مرتبه ۳)	۰/۱۴۹۷۲	۱۰/۸۷۷۲۷۱ ثانیه

گیری از آنالیز چند طیفی tri-coherence و bi-coherence به ترتیب برای تخمین پارامترهای کلاس کلی ابیرایی‌های متقارن و نامتقارن قابل توجیه است. و انتظار می‌رود که مقادیر واقعی ابیرایی لنز را بتواند به گونه‌ای مناسب تر تخمین زده و متوسط همبستگی محاسبه شده را کمینه سازند.

با توجه به مطالب یاد شده الگوریتم کلی اصلاح ابیرایی تصویر به صورت زیر پیشنهاد می‌شود:

- انتخاب جملات زرنیک متناظر با ابیرایی‌های مورد نظر
- انتخاب مقادیر پیش فرض (یا تصادفی) برای ضرایب جملات زرنیک
- محاسبه میزان انحراف پرتو ابیرایی شده نسبت به مکان ایده آل خود روی پرده تصویر به کمک چند جمله‌ای زرنیک و ضرایب آن
- جبران ابیرایی تصویر به کمک میزان انحراف پرتو ابیرایی شده نسبت به مکان ایده آل آن
- محاسبه مقادیر آنالیز چند طیفی bi-coherence و tri-coherence coherence روی تصویر
- اصلاح ضرایب جملات زرنیک
- آیا مقادیر آنالیز چند طیفی به اندازه کافی کوچک شده‌اند؟ بله، برو به ۸ - خیر، برو به ۳
- پایان

۴. نتایج تجربی

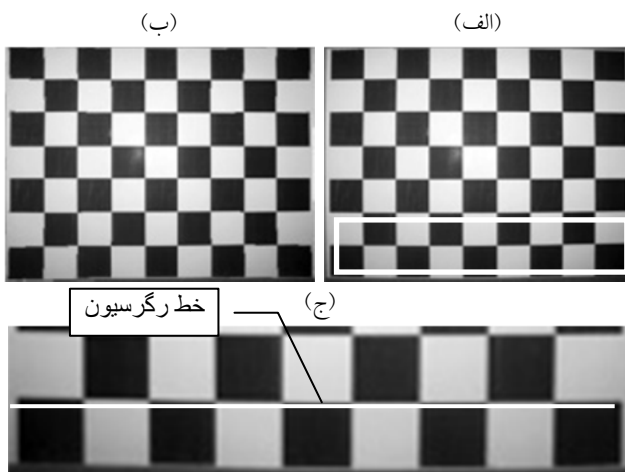
به منظور اعتبار سنجی راه کار پیشنهادی، شبیه سازی کامل رایانه ای به منظور مقایسه بین راه کارهای مبتنی بر بسط تیلور و راه کار پیشنهادی صورت پذیرفته است. برای این مهم یک تصویر مصنوعی فرکانالی به صورت مجموع دو سینوئید با زاویه تصادفی $\theta_n = [-\pi, \pi]$ فاز تصادفی $\phi_n = [-\pi, \pi]$ دامنه $a_n = 1/n$ و فرکانس $w_n = n\pi$ در فرم زیر تولید شده است.

$$f_u(x, y) = \sum_{n=1}^N a_n \sin(w_n [\cos(\theta_n)x + \sin(\theta_n)y] + \phi_n) \quad (10)$$

اندازه تصویر حاصله $N \times N$ پیکسل می باشد که در اینجا $N = 256$ در نظر گرفته شده است. ابیرایی برای تصویر مفروض در قالب ضرایب زرنیک در جدول ۲ خلاصه شده است. همچنین این جدول مقادیر تخمین را نیز برای ضرایب زرنیک Z_n^m به کمک روش پیشنهادی نشان می‌دهد.

هستند. ابرایی در تصویر چاپگر در تصویر (الف) نسبت به (ب) کاملاً مشهود است. در تصویر (ج) نیز ابرایی در بالا و پایین کاملاً دیده می‌شود. همچنین ملاحظه می‌شود که مرکز تصویر (ج) نسبت به (د) دارای بزرگنمایی غیر طبیعی است.

جهت ایجاد امکان مقایسه بین راه کار پیشنهادی و روش مبتنی بر بسط تیلور، خطوط افقی در تصویر ۴ (ب) به منظور ارزیابی خطای ابرایی و مقایسه با ابرایی باقیمانده، پس از تخمین به کمک سری تیلور مورد بهره برداری قرار گرفته اند. برای هر خط اصلاحی (شکل ۴ (الف))، دقت زیر پیکسل‌ها برای لبه‌ها با بهره‌گیری از الگوریتم دیورنی [۱۸] محاسبه شده است. سپس خط رگرسیون آنها محاسبه و فاصله بین نقاط لبه و خط رگرسیون در قالب جذر مجموع مربعات خطا (RMSE) به عنوان خطای اندازه‌گیری ارائه گردیده است. شکل ۴ (ج) بخشی از شکل ۴ (الف) را به صورت بزرگتر نشان می‌دهد. ابرایی برای ناحیه بزرگ شده کاملاً مشهود است. در حالی که برای نواحی مرکزی در تصویر ۴ (ج) خط رگرسیون (خط راست سفید رنگ) روی مرز مربعات سیاه و سفید قرار گرفته است، در حواشی تصویر ۴ (ج) مخصوصاً سمت چپ، انحراف به وضوح دیده می‌شود. جدول ۵ جذر مجموع مربعات خطا را برای شش خط افقی نشان می‌دهد. نتایج نشان از بهبود قابل ملاحظه‌ای در روش پیشنهادی نسبت به بسط تیلور دارند. متوسط جذر مجموع مربعات خطا برای تکنیک مبتنی بر سری تیلور ۰/۳۰۹۴ می‌باشد در حالی که برای تکنیک مبتنی بر چند جمله‌ای زرنیک ۰/۰۷۰۷ می‌باشد که نشان از بهبود حدود ۰/۲ در جذر مجموع مربعات خطا دارد.



شکل ۴- آزمون تجربی برای اعتبار سنجی رقمی. تصویر (ب) تصویر بازبازی شده از روی تصویر (الف) را با بهره‌گیری از مونت‌های زرنیک نشان می‌دهد. ابرایی برای ناحیه بزرگ شده در (الف) کاملاً مشهود است. در حالی که برای نواحی مرکزی در تصویر (ج) خط

همان گونه که پیشتر به آن اشاره شد، برای هر ضریب ابرایی c_n^m ، نسبت به آن ابرایی یک انحراف معیار استاندارد وجود دارد. از آنجایی که ضرایب توسعه مشخص شده‌اند می‌توان واریانس تابع ابرایی کل را به سادگی به صورت زیر محاسبه کرد [۸].

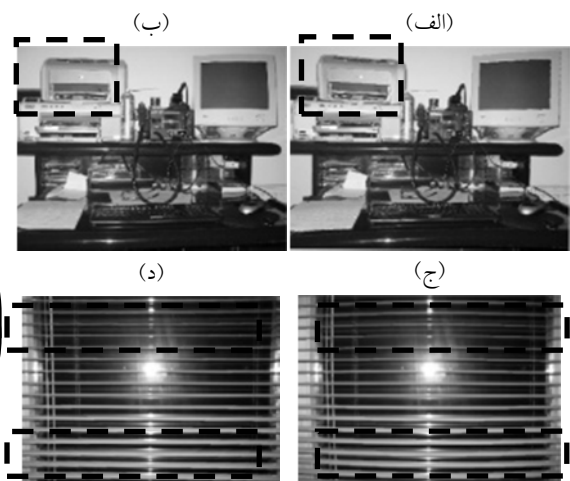
$$\sigma_w^2 = \langle W^2(\rho, \theta) \rangle - \langle W(\rho, \theta) \rangle^2 = \sum_{n=1}^N \sum_{m=0}^n (c_n^m)^2 \quad (11)$$

مولفه σ_w^2 به عنوان جذر مجموع مربعات خطای جبهه موج ابرایی^۱ شناخته می‌شود که برای آزمایش جاری به صورت زیر می‌باشد.

جدول ۴ - خطای جبهه موج برای تصویر تست مصنوعی

پارامترهای تست	۰/۸۰۷۵۵۲۳۱
پارامترهای تخمین	۰/۸۰۸۱۰۲۰۳

جدول ۴ نشان می‌دهد تا چه اندازه تخمین مبتنی بر زرنیک به مقادیر پیش تعریف در تصویر تست نزدیک است. در کنار شبیه‌سازی رایانه‌ای، تجربه واقعی نیز با بهره‌گیری از دوربین SHC-735 سامسونگ مجهز به لنز SLA-3580DN با فاصله کانونی متغیر (۳/۵-۸/۰ mm) صورت گرفته است. خروجی دوربین به کمک Pinnacle 510-USB rev 2.0 در قالب ماتریس با رزولوشن ۶۴۰×۴۸۰ رقمی شده است. در این آزمایش تجربی دو تصویر برای اعتبار سنجی نظری ارائه شده است. شکل ۳ (ب) و (د) تصویر بدون ابرایی را نشان می‌دهد که از تصویر تست متناظرشان که دارای ابرایی می‌باشند (شکل ۳ (الف) و (ج)) بازبازی شده‌اند. اعوجاج‌ها نزدیک به لبه‌های تصویر کاملاً مشهود است.



شکل ۳- آزمایش جهت اعتبار سنجی نظری. (ب) و (د) تصاویر بازبازی شده از نمونه‌های متناظرشان در (الف) و (ج) با بهره‌گیری از مونت‌های زرنیک

^۱ Wave-front aberration

- and Robust Estimation”, IEEE Transaction on Image Processing, Vol. 14, No. 8, Aug 2005.
- [6] R. Hartley, S. Bing Kang, “Parameter-Free Radial Distortion Correction with Center of Distortion Estimation,” IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 29, No. 8, Aug 2007.
- [7] S. Aritan, “Efficiency of non-linear lens distortion models in biomechanical analysis of human movement,” Elsevier: Measurement 43 (2010) 739-746
- [8] V.N. Mahajan, “Optical Imaging and Aberration,” SPIE Press, 1998.
- [9] C. Ricolf-Viala, A. Sanchez Salmeron, “Correcting non-linear lens distortion in cameras without using a model,” Elsevier: Optics & Laser Technology, 42 (2010) 628-639.
- [10] D. Trodoff, D.W. Murray, “The impact of radial distortion on the self-calibration of rotating cameras,” Elsevier: Computer Vision and Image Understanding, 96 (2004) 17-34.
- [11] C. Hughes, R. Mc/feely, P. Denny, M. Glavin, E. Jones, “Equidistant ($f\theta$) fish-eye perspective with application in distortion centre estimation,” Elsevier: Image and Vision Computing, 28 (2010) 538-551.
- [12] F. Devernay, O. Faugeras, “Straight lines have to be straight,” Machine Vision and Applications (2001) 13: 14-24.
- [13] J. Lin, M. Xing, D. Sha, D. Su, T. Shen, “Distortion measurement of CCD imaging system with short focal length and large-field objective,” Elsevier: Optics and Lasers in Engineering, 43 (2005) 1137-1144.
- [14] J. Tardif, P. Strum, M. Trudeau, S. Roy, “Calibration of Cameras with Radially Symmetric Distortion,” IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 31, No. 9, Sep 2009.
- [15] H. Farid, A. Popescu, “Blind Removal of Lens Distortion,” Journal of the Optical Society of America A, 18 (9) (2001) 2072-2078.
- [16] W. Yu, “Image-based lens geometric distortion correction using minimization of average bicoherence index,” Elsevier: Pattern Recognition, 37 (2004) 1175-1187.
- [17] Fackrell, J.W.A., McLaughlin, S., Collis, W.B., White, P.R., “Nonlinearity Detection For Condition Monitoring Using Higher-Order Statistics,” IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 1994.
- [18] F. Devernay, “A Non-Maxima Suppression Method for Edge Detection with Sub-Pixel Accuracy,” INRIA Rapport de recherche, No. 2724, November 1995.

رگرسیون (خط راست سفید رنگ) روی مرز مربعات سیاه و سفید قرار گرفته است؛ در حواشی تصویر (ج) مخصوصاً سمت راست، انحراف به وضوح دیده می‌شود.

جدول ۵ - مقایسه خطا بین مدل زرنیک و تیلور برای تصویر تست ۳

روش پیشنهادی مبتنی بر زرنیک (RMSE)	روش مبتنی بر سری تیلور (RMSE)	
۰/۱۳۱۷	۰/۵۰۱۲	خط اول از بالا
۰/۰۷۳۲	۰/۳۳۰۶	خط دوم
۰/۰۰۹۴	۰/۱۰۱۲	خط سوم
۰/۰۱۲۷	۰/۱۳۴۰	خط چهارم
۰/۰۶۸۰	۰/۲۹۸۱	خط پنجم
۰/۱۳۰۱	۰/۴۹۱۸	خط ششم

۵. نتیجه‌گیری

این مقاله به معرفی روش جدیدی را می‌پردازد که با بهره‌گیری از چند جمله‌ای زرنیک، ابیراهی لنز را مدل می‌کند. جمله‌های این مدل به دو کلاس متقارن و نامتقارن تقسیم می‌شوند. به منظور تعیین پارامترهای مدل از آنالیز چند طیفی بهره‌گرفته شده است. پارامترهای جملات متقارن و نامتقارن به ترتیب با $tri-$ coherence و $bi-$ coherence تخمین زده می‌شوند. نتایج آزمایشگاهی، دقت روش پیشنهادی را تایید می‌کند.

۶. مراجع

- [1] V. Orekhov, B. Abidi, C. Broaddus, M. Abidi, “Universal camera calibration with automatic distortion model selection,” IEEE International Conference on Image Processing (ICIP'07), Oct. 19 2007, San Antonio, TX, USA.
- [2] R. Grompone von Gioi, P. Monasse, J.-N. Morel, Z.Tang, “Towards High-precision Lens Distortion Correction,” ICIP2010, Proceeding of 2010 IEEE 17th International Conference on Image Processing, Sep 26-29, (2010), 4237-4241, Hong Kong.
- [3] C.Y. Vincent, T. Tjahajadi, “Multiview camera-calibration framework for nonparametric distortion removal,” IEEE Transactions on Robotics, Vol. 21, p.p. 1004 - 1009, Oct. 2005
- [4] C. Lin, S. Chang, Y. Lay, M. Yeh, C. Lee, “Automatic distortion measurement system with reticle positioning for enhance accuracy,” Elsevier: Measurement, 41 (2008) 960-969.
- [5] M. Ahmed, A. Farag, “Nonmetric Calibration of Camera Lens Distortion: Differential Methods

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۰۵/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۰۹/۰۵

آموزش شبکه عصبی MLP در فشرده‌سازی تصاویر با استفاده از روش GSA

مریم ده‌باشیان* سیدحمید ظهیری**

*دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی الکترونیک

**استادیار، گروه مخابرات و الکترونیک، دانشکده مهندسی، دانشگاه بیرجند

چکیده

یکی از حوزه‌های تحقیقاتی مهم در پردازش تصویر، فشرده‌سازی تصاویر است. تاکنون روش‌های مختلفی برای فشرده‌سازی تصویر ارائه شده‌است، در این میان شبکه‌های عصبی مخاطبان زیادی را به خود جذب کرده‌اند. متداول‌ترین روش آموزشی شبکه‌های عصبی، روش پس انتشار خطاست که همگرایی کند و توقف در بهینه‌های محلی از مهمترین نقاط ضعف آن محسوب می‌شوند. رویکرد جدید محققین، استفاده از الگوریتم‌های ابتکاری در فرایند آموزش شبکه‌های عصبی است. در این مقاله، روش آموزشی نوینی مبتنی بر روش جستجوی گرانشی (GSA) معرفی می‌شود. روش جستجوی گرانشی آخرین و جدیدترین نسخه از انواع روش‌های جستجو و بهینه‌سازی هوش جمعی است. در این روش پاسخ‌های کاندید در فضای جستجو اجرامی هستند که توسط نیروی گرانش بر یکدیگر اثر گذاشته و موقعیتشان تغییر می‌کند. به تدریج اجرام با برازندگی بهتر دارای جرم بیشتری می‌شوند و بر اجرام دیگر تاثیر بیشتری می‌گذارند. در تحقیق حاضر با استفاده از الگوریتم GSA یک شبکه عصبی MLP به منظور فشرده‌سازی تصاویر آموزش داده می‌شود.

برای ارزیابی کارایی فشرده‌ساز ارائه شده عملکرد آن با الگوریتم بهینه‌سازی گروه ذرات و روش متداول پس انتشار خطا در فشرده‌سازی چهار تصویر استاندارد مقایسه می‌شود. نتایج نهایی گویای قابلیت چشمگیر روش GSA در آموزش شبکه‌های عصبی MLP می‌باشد.

کلید واژگان: الگوریتم‌های ابتکاری، الگوریتم جستجوی گرانشی، شبکه عصبی چند لایه، فشرده‌سازی تصویر

۱- مقدمه

از آنجا که انتقال تصاویر در میان مسیرهای ارتباطی فرایندی پر هزینه می‌باشد هدف اصلی در فشرده‌سازی تصویر کاهش تعداد بیت‌های مورد نیاز برای نمایش یک تصویر است. افزونگی داده مهمترین مورد در فشرده‌سازی تصاویر^۱ دیجیتالی است. از انواع افزونگی داده می‌توان به افزونگی رمزنگاری، افزونگی بین پیکسلی و افزونگی روان بصری اشاره نمود. الگوریتم‌های فشرده‌سازی تصویر سعی در کاهش انواع افزونگی‌های تصویر دارند اما استفاده از کدام نوع الگوریتم، به شدت به اطلاعات موجود در تصویر بستگی دارد. یک الگوریتم کاربردی فشرده‌سازی داده‌های تصویر، بایستی اکثر

مشکل الگوریتم پس انتشار خطا همگرایی دیر و توقف در نقاط بهینه محلی می‌باشد، به همین دلیل تلاش‌های فراوانی برای سرعت بخشیدن به همگرایی و بهبود دقت الگوریتم پس انتشار خطا در آموزش شبکه‌های عصبی صورت گرفته است، از آن جمله می‌توان به استفاده از تطبیق مومنتوم [۹] و نرخ یادگیری متغیر [۱۰] اشاره کرد که به بهبود اندکی منجر شدند. همچنین با بزرگ کردن مصنوعی خطا برای نرون‌های عمل کننده در ناحیه اشباع نتایج بهتری به دست آمدند [۱۱]. با استفاده از روش‌های مختلف مرتبه دوم (برای مثال روش نیوتن، گرادیان مختلط و یا تکنیک بهینه‌سازی Levenberg-Marquardt [۲۱]) بهبود قابل توجهی را می‌توان بر روی عملکرد تشخیص مشاهده کرد، که به‌طور وسیعی به عنوان یکی از مؤثرترین روش‌ها در دقت تشخیص پذیرفته شده است.

در [۱۴-۱۲] برای تسریع در فرایند یادگیری، منطق فازی با الگوریتم‌های یادگیری شبکه عصبی یکپارچه شدند. در [۱۵] نیز از روش بیز^۳ برای آموزش شبکه عصبی استفاده شده است. رویکرد جدید در آموزش شبکه‌های عصبی استفاده از الگوریتم‌های ابتکاری است. روش‌های جستجوی ابتکاری الگوریتم‌هایی هستند که با الهام از فرایندهای فیزیکی و بیولوژیکی در طبیعت به وجود آمده‌اند و غالب آنها به صورت جمعیتی عمل می‌کنند. روش‌های جستجوی ابتکاری بر خلاف روش‌های کلاسیک بر مبنای تصادف عمل کرده و جستجوی فضا را به صورت موازی انجام می‌دهند. تفاوت دیگر آنها در استفاده نکردن از اطلاعات گرادیان فضا است. این نوع روش‌ها تنها از تابع برازندگی برای هدایت جستجو استفاده می‌کنند.

از نمونه‌های این الگوریتم‌ها، الگوریتم ژنتیک با الهام از علم وراثت و تکامل است که در [۱۶] برای محاسبه ضرایب شبکه عصبی از این الگوریتم استفاده شده است. الگوریتم ابتکاری دیگر بازپخت شبیه‌سازی شده^۴ با الهام از مشاهدات ترمودینامیک است، در [۱۷] کارایی بهتر این روش در مقایسه با روش پس انتشار خطا نشان داده شده است. از الگوریتم‌های ابتکاری دیگر می‌توان به بهینه‌سازی گروه ذرات^۵ با تقلید از

ویژگی‌های داده‌ها را حفظ کند و در حالیکه در یک محیط پر اتلاف کار می‌کند، بهره را بیشینه و از پیچیدگی الگوریتمی کمتری نیز برخوردار باشد [۱].

شبکه‌های عصبی مصنوعی در بسیاری از کاربردها همچون فرایندهای کنترلی، دسته‌بندی داده‌ها و خوشه‌بندی اطلاعات مورد استفاده قرار می‌گیرند. همچنین از شبکه‌های عصبی مصنوعی در مسائل فشرده‌سازی تصویر نیز استفاده می‌شود. در [۲] برتری عملکرد شبکه‌های عصبی بر اغلب روش‌های متداول در هنگام مواجهه با داده‌های نویزی یا معیوب نشان داده شده است.

با توجه به تحقیقات انجام شده، شبکه‌های عصبی ابزار مناسبی برای فشرده‌سازی تصویر هستند. زیرا قابلیت پیش-پردازش الگوهای ورودی را برای تولید الگوهای ساده تر با مولفه‌های کمتر دارند. تحقیقات زیادی در مورد استفاده از شبکه‌های عصبی برای فشرده‌سازی تصویر ارائه شده است، از جمله: الگوریتم‌های آموزش تو در تو به همراه شبکه‌های عصبی چند لایه متقارن^۱ [۳]، شبکه‌های SOM [۴]، شبکه‌های تحلیل مولفه‌های اصلی [۵]، شبکه‌های پس انتشار خطا^۲ و الگوریتم استخراج اجزای اصلی واقعی. فهرستی از انواع روش‌های شبکه‌های عصبی جهت فشرده‌سازی تصویر در [۶] و [۷] آمده است.

متداول‌ترین الگوریتم آموزشی شبکه‌های عصبی، الگوریتم پس انتشار خطاست که توسط Romellhart توصیف شده است. در الگوریتم پس انتشار خطا در هر مرحله مقدار خروجی محاسبه شده جدید، با مقدار واقعی مقایسه شده و با توجه به خطای به دست آمده به اصلاح وزن‌های شبکه پرداخته می‌شود، به نحوی که در انتهای هر تکرار اندازه خطای حاصل شده کمتر از میزان به دست آمده در تکرار قبلی باشد.

روش پس انتشار خطا اولین بار توسط Cottrell [۸] مستقیماً برای فشرده‌سازی تصویر بکار رفت و سپس توسط دیگران مطالعه و توسعه یافت. در [۱] فشرده‌سازی تصویر با شبکه عصبی پس انتشار خطا و با استفاده از تابع توزیع تجمعی انجام شده است.

^۳ Bayesian

^۴ Simulated annealing

^۵ Particle swarm optimization (PSO)

^۱ Multi Layer Perseptron (MLP)

^۲ Error Back Propagation

مسائل بهینه‌سازی استفاده می‌شود. در این الگوریتم پاسخ‌های موردنظر موقعیت اجرام در فضای مسئله هستند، میزان اجرام نیز با توجه به تابع هدف تعیین می‌شود.

در ابتدا فضای سیستم مشخص می‌شود که شامل یک دستگاه مختصات چند بُعدی در فضای تعریف مسئله است. پس از تشکیل سیستم، قوانین حاکم بر آن مشخص می‌شوند. فرض می‌شود تنها قانون جاذبه و قوانین حرکت بر این سیستم حاکمند. صورت کلی این قوانین تقریباً شبیه قوانین طبیعت است و به صورت زیر تعریف می‌شوند:

سیستم به صورت مجموعه‌ای از m جرم تصور می‌شود. موقعیت هر جرم می‌تواند جوابی برای مسئله می‌باشد. موقعیت بُعد d از جرم i با x_i^d نشان داده می‌شود.

$$X_i = (x_i^1, \dots, x_i^d, \dots, x_i^n) \quad \text{for } i=1, 2, \dots, m \quad (1)$$

نشان دهنده بُعد فضای پاسخ است. n در رابطه فوق در این سیستم در زمان t ، به هر جرم i از سوی جرم j در جهت بُعد d ، نیرویی به اندازه $F_{ij}^d(t)$ وارد می‌شود. مقدار این نیرو طبق رابطه (۲) محاسبه می‌شود. $G(t)$ ثابت گرانش در زمان t و R_{ij} فاصله بین دو جرم i و j می‌باشد. برای تعیین فاصله بین اجرام مطابق رابطه (۳) از فاصله اقلیدسی (نرم ۲) استفاده می‌شود.

$$F_{ij}^d(t) = G(t) \frac{M_i(t) \times M_j(t)}{R_{ij}(t) + \varepsilon} (x_j^d(t) - x_i^d(t)) \quad (2)$$

$$R_{ij}(t) = \|X_i(t), X_j(t)\|_2 \quad (3)$$

در رابطه (۲)، ε یک عدد بسیار کوچک است. نیروی وارد بر جرم i در جهت بُعد d در زمان t $(F_i^d(t))$ ، برابر مجموع نیروهایی است که k جرم برتر جمعیت بر جرم وارد می‌کنند. مقصود از اجرام برتر، عامل‌هایی هستند که دارای برانزنگی بیشتری باشند.

$$F_i^d(t) = \sum_{j \in kbest, j \neq i} rand_j(t) * F_{ij}^d(t) \quad (4)$$

در رابطه فوق $kbest$ بیانگر مجموعه k جرم برتر جمعیت است. همچنین در این رابطه $rand_j$ عددی تصادفی با توزیع یکنواخت در بازه $[0,1]$ است که برای حفظ خصوصیت تصادفی بودن جستجو در نظر گرفته می‌شود.

طبق قانون دوم نیوتن، هر جرم در جهت بُعد d شتابی می‌گیرد که متناسب است با نیروی وارد بر جرم i در آن جهت

رفتار اجتماعی پرندگان اشاره کرد. در [۱۸] کارایی برتر این روش در مقایسه با روش پس انتشار خطا نشان داده شده است. همچنین در [۲۰] از الگوریتم PSO جهت آموزش شبکه‌های عصبی به منظور فشرده‌سازی تصاویر استفاده شده و کارایی برتر این الگوریتم بر روش پس انتشار خطا نشان داده شده است.

به تازگی در حوزه الگوریتم‌های هوش جمعی^۱، روش بهینه‌سازی و جستجوی جدیدی به نام الگوریتم جستجوی گرانشی^۲ معرفی شده است [۱۹]. این الگوریتم، با الهام از مفاهیم جرم و نیروی جاذبه و با شبیه‌سازی قوانین مربوطه ارائه شده است.

در این مقاله با استفاده از الگوریتم جستجوی گرانشی یک شبکه عصبی MLP به منظور فشرده‌سازی تصاویر آموزش داده می‌شود. برای ارزیابی کارایی شبکه عصبی آموزش دیده، عملکرد آن در فشرده‌سازی چهار تصویر استاندارد در شرایط کاملاً یکسان با دو فشرده‌ساز دیگر که در آنها شبکه عصبی MLP با روش متداول پس انتشار خطا و بهینه‌سازی گروه ذرات آموزش دیده‌اند مقایسه می‌شود.

در بخش ۲ مقاله الگوریتم جستجوی گرانشی معرفی می‌شود. در بخش ۳ نحوه آموزش شبکه عصبی MLP با استفاده از روش GSA معرفی خواهد شد. در بخش ۴ عملکرد فشرده‌ساز طراحی شده ارزیابی می‌شود و بخش ۵ ضمن نتیجه‌گیری و بحث پیرامون نتایج به دست آمده مقاله را به انتها می‌رساند.

۲- الگوریتم جستجوی گرانشی

الگوریتم جستجوی گرانشی جدیدترین عضو خانواده الگوریتم‌های هوش جمعی است که از قوانین جاذبه میان اجرام و حرکت نیوتنی الهام گرفته شده است. طبق قانون جاذبه نیوتن، هر جسم به به اجسام دیگر نیرو وارد نموده و آنها را به سمت خود جذب می‌کند. به وضوح هر چه این اجسام بزرگ‌تر و نزدیک‌تر باشند، تاثیر این نیرو بیشتر خواهد بود. در نتیجه هر جسم با استفاده از نیروی جاذبه محل و مقدار جرم سایر اجسام را درک می‌کند، بنابراین می‌توان از این نیرو به عنوان رسانه‌ای برای تبادل اطلاعات استفاده کرد. از الگوریتم جستجوی گرانشی در حل

¹ Swarm Intelligence Optimization

² Gravitational Search Algorithm (GSA)

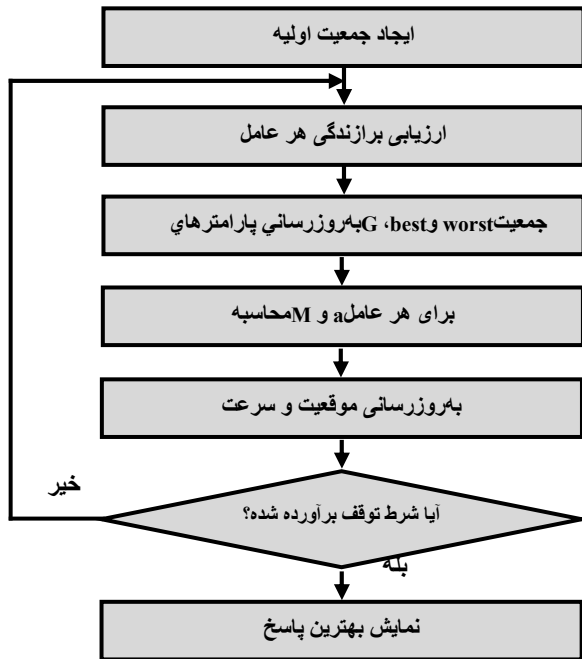
قوی‌ترین و ضعیف‌ترین عامل جمعیت در زمان t هستند. در نهایت اندازه جرم عامل‌ها طبق رابطه (۱۰) نرمالیزه می‌شود.

$$M_i(t) = \frac{m_i(t)}{\sum_{j=1}^N m_j(t)} \quad (10)$$

در مسائل کمینه‌یابی می‌توان از روابط زیر برای محاسبه بهترین و بدترین عامل‌ها استفاده کرد.

$$best(t) = \min_{j \in \{1, \dots, m\}} fit_j(t) \quad (11)$$

$$worst(t) = \max_{j \in \{1, \dots, m\}} fit_j(t) \quad (12)$$



شکل ۱- فلوچارت الگوریتم جستجوی گرانشی

در ابتدای تشکیل سیستم، هر جسم به صورت تصادفی در یک نقطه از فضا قرار می‌گیرد که جوابی از مسئله است. در هر لحظه از زمان، اجرام ارزیابی شده، سپس تغییر مکان هر جرم پس از محاسبه روابط (۱) تا (۱۲) محاسبه می‌شود. پارامترهای سیستم نیز در هر مرحله به‌روزرسانی می‌شوند. شرط توقف می‌تواند پس از طی مدت زمان مشخصی تعیین شود [۱۹]. در شکل ۱ فلوچارت الگوریتم GSA نشان داده شده است.

ویژگی‌های مثبت الگوریتم GSA همچون همگرایی سریع، عدم توقف در بهینه‌های محلی، کاهش حجم محاسباتی نسبت به الگوریتم‌های تکاملی و عدم نیاز به حافظه در مقایسه با دیگر الگوریتم‌های خانواده هوش جمعی، بستر جدیدی از تحقیقات را فرا روی محققین قرار داده است. از این‌رو با توجه به زمینه-

بخش بر جرم i . رابطه (۵) شتاب جرم i در جهت بُعد d در زمان t را با $a_i^d(t)$ نشان می‌دهد.

$$a_i^d(t) = \frac{F_i^d(t)}{M_i(t)} \quad (5)$$

سرعت هر جرم برابر مجموع ضریبی از سرعت فعلی جرم و شتاب جرم طبق رابطه (۶) تعریف می‌شود. موقعیت جدید بُعد d از جرم i طی رابطه ۷ محاسبه می‌شود.

$$V_i^d(t+1) = rand_i * V_i^d(t) + a_i^d(t) \quad (6)$$

$$x_i^d(t+1) = x_i^d(t) + V_i^d(t+1) \quad (7)$$

در روابط فوق $V_i^d(t)$ سرعت بُعد d ام عامل i در زمان t و $rand_i$ عددی تصادفی با توزیع یکنواخت در بازه $[0,1]$ است که برای حفظ خصوصیت تصادفی بودن جستجو در نظر گرفته می‌شود. برای تنظیم ضریب گرانش از رابطه (۸) استفاده می‌شود.

$$G(t) = \beta^{-\frac{t}{T}} \quad (8)$$

ثابت گرانش پارامتری مناسب برای کنترل دو ویژگی کاوش^۱ و بهره‌وری^۲ در این الگوریتم به‌شمار می‌آید. مقادیر بزرگ آن موجب تقویت توانایی کاوش الگوریتم و مقادیر کوچک آن موجب افزایش توانایی بهره‌وری الگوریتم می‌شود. از آنجا که در مراحل اولیه جستجو لازم است الگوریتم به جستجوی نقاط جدیدی در فضای مسئله پرداخته و در مراحل پایانی با افزایش توان بهره‌وری به بهبود جواب‌های دیده شده بپردازد، گزینه مناسب برای ثابت گرانش بایستی با یک مقدار اولیه بزرگ شروع شده و با گذشت زمان مقدار آن به تدریج کاهش یابد. طبق آزمایش‌های متعدد انجام شده، استفاده از رابطه نمایشی جهت کاهش ثابت گرانش در حل بسیاری از مسائل موثر است.

در رابطه (۹) جرم عامل‌ها بر مبنای تابع هدف آنها تنظیم می‌شود بگونه‌ای که به عامل‌های باشایستگی بیشتر، جرم بیشتری نسبت داده می‌شود.

$$m_i(t) = \frac{fit_i(t) - worst(t)}{best(t) - worst(t)} \quad (9)$$

در این رابطه $fit_i(t)$ بیانگر میزان برانزنگی جرم i در زمان t است، $best(t)$ و $worst(t)$ به ترتیب بیانگر میزان شایستگی

¹ Exploration
² Exploitation

کانال باریک n بُعدی در لایه مخفی که $n < m$ نگاشت می‌کنند و مقدار خروجی بهینه‌ای را تولید می‌کند که کوچکترین میانگین مربعات خطا بین ورودی و خروجی را ایجاد می‌کند، در این روش نسبت فشرده‌سازی $100 \times \frac{m-n}{m}$ است. مجموع ورودی‌ها، $S_h(i)$ ، برای نرون i در لایه مخفی به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$S_h(i) = \sum_{j=1}^N w_h(j,i)x(j) \quad \text{for } 1 \leq i \leq H \quad (14)$$

که در آن $w_h(j,i)$ وزن اتصال از j امین نرون ورودی به i امین نرون در لایه مخفی، $x(j)$ ، j امین المان ورودی (مقدار پیکسل) است. به طور مشابه، مجموع ورودی‌ها به i امین نرون خروجی به صورت زیر است:

$$S_o(i) = \sum_{j=1}^H w_o(j,i)h(j) \quad \text{for } 1 \leq i \leq N \quad (15)$$

جاییکه $w_o(j,i)$ وزن اتصال از j امین نرون لایه مخفی به i امین نرون لایه خروجی است، و $h(j)$ خروجی j امین نرون لایه مخفی است. از تابع سیگموئید برای محاسبه مقدار خروجی نرون‌های لایه‌های مخفی و خروجی استفاده می‌شود. زمانی که ورودی و خروجی شبکه عصبی به مقادیری در بازه $[0,1]$ محدود می‌شود، شبکه کارایی بهتری از خود نشان می‌دهد، از این رو می‌توان سطوح خاکستری در تصویر (که معمولاً در بازه 0 تا 255 قرار دارند) را بر بزرگترین مقدار پیکسل موجود در تصویر تقسیم کرد و تصویر نرمالیزه شده را به شبکه عصبی اعمال نمود.

برای آموزش شبکه، یک بلوک از تصویر به عنوان ورودی و خروجی مورد انتظار استفاده می‌شود، ساده‌ترین راه برای استخراج چنین بلوکی تولید دو عدد تصادفی است که موقعیت گوشه سمت چپ بلوک را می‌دهد. مقادیر پیکسل‌های بلوک استخراج شده از چپ به راست و بالا به پایین از طریق نگاشت پیکسل به عدد حقیقی به ورودی شبکه اعمال می‌شود. تابع مربعات خطا در طول آموزش مینیمم می‌شود. پس از آموزش، تصویری که باید فشرده شود به بلوک‌های پیوسته بدون همپوشانی پارتیشن بندی می‌شود که هر یک از آنها در یک زمان به شبکه اعمال می‌شوند. خروجی نرون‌های لایه مخفی ویژگی‌های فشرده شده از بلوک ورودی را تشکیل می‌دهند.

های کاربردی مورد استفاده، نسخه‌های متفاوتی از این الگوریتم ارائه شده است که می‌توان به الگوریتم جستجوی گرانشی باینری (BGSA) ^۱ [۲۲]، الگوریتم جستجوی گرانشی نخه-گرای پیشرفته (AEGSA) ^۲ [۲۳] و الگوریتم جستجوی گرانشی چند هدفه (MOGSA) ^۳ [۲۴] اشاره نمود. همچنین این الگوریتم تا به حال در حوزه‌های مختلف بهینه‌سازی همچون داده کاوی، انتخاب ویژگی، مهندسی پزشکی، طراحی خودکار مدارات مجتمع آنالوگ، پردازش تصویر و بسیاری کاربردهای دیگر استفاده شده است. با توجه به مزایای الگوریتم GSA که در بالا به آن اشاره شد، بر آن شدیم تا از قابلیت‌های این الگوریتم در فشرده‌سازی تصویر نیز استفاده نماییم.

۳- آموزش شبکه عصبی MLP با استفاده از روش GSA

۳-۱- طراحی شبکه عصبی MLP

در این تحقیق برای فشرده‌سازی تصاویر از شبکه عصبی MLP بهره گرفته شده است. شبکه عصبی MLP از لایه ورودی، لایه‌های مخفی و لایه خروجی که هر کدام شامل تعداد نرون‌های مشخصی است تشکیل می‌شود.

هر دو لایه ورودی و خروجی به‌طور کامل به لایه میانی متصل هستند. ورودی به شبکه، یک بردار m بُعدی است، یعنی یک بلوک از پیکسل‌هایی که از تصویر استخراج شده‌اند. فشرده‌سازی با تعیین مقدار n (تعداد نرون‌ها در لایه مخفی) حاصل می‌شود، تعداد نرون‌ها در لایه مخفی کمتر از تعداد نرون‌ها در هر دو لایه ورودی و خروجی است. تصویر ورودی به بلوک‌هایی با اندازه $k \times k$ تقسیم می‌شود. تمام وزن‌های متصل به نرون‌های لایه مخفی به وسیله $\{w_{ij}, j=1,2,\dots,n \text{ and } i=1,2,\dots,m\}$ نمایش داده می‌شوند، که می‌توان آن را به صورت یک ماتریس $m \times n$ نمایش داد. اتصالات از لایه مخفی به لایه خروجی با w_{ji} نمایش داده می‌شوند، که یک ماتریس $n \times m$ دیگر است و برابر با ترانهاده ماتریس w است. فشرده‌سازی تصویر با آموزش دادن شبکه به دست می‌آید، وزن‌های w_{ij} بردار ورودی m بُعدی را به یک

¹ Binary Gravitational Search Algorithm

² Advanced Elitism Gravitational Search Algorithm

³ Multi Objective Gravitational Search Algorithm

وزن متناظر با آن استخراج می‌شود.

۴- ارزیابی عملکرد

برای ارزیابی عملکرد شبکه عصبی MLP طراحی شده در فشرده‌سازی تصاویر، از آن برای فشرده‌سازی چهار تصویر استاندارد استفاده می‌شود. برای انجام آزمایش‌ها از چهار تصویر استاندارد به نام‌های Lena, Goldhill, Mandrill و Pepper استفاده می‌کنیم. این تصاویر ۸ بیتی هستند و اندازه هر یک از آنها 512×512 می‌باشد و مقادیر شدت پیکسل آنها بین ۰ تا ۲۵۵ است.



شکل ۱: تصاویر استاندارد مورد استفاده

در شرایط کاملاً یکسان شبکه عصبی مورد نظر جهت فشرده‌سازی تصاویر توسط روش‌های جستجوی گرانشی، بهینه‌سازی گروه ذرات و پس انتشار خطا آموزش داده می‌شود. تمام نتایج برای ۳۰۰۰ بار تکرار هر الگوریتم آورده شده است، همچنین با توجه به تصادفی بودن الگوریتم‌های فوق، تمام آزمایشات برای ۱۰ مرتبه تکرار انجام شده است. مشخصات روش‌های به‌کار گرفته شده برای آموزش به شرح زیر است:

• الگوریتم GSA

جمعیت اولیه اجرام در روش GSA برابر ۱۵ می‌باشد. در رابطه (۸)، مقدار α برابر ۲۰ و مقدار β به صورت خطی از ۱ تا ۳ افزایش می‌یابد.

برای عملی شدن فشرده‌سازی، خروجی نرون‌های لایه مخفی کوانتیزه می‌شود [۲۰].

۳-۲- آموزش شبکه عصبی MLP توسط الگوریتم GSA

در فرایند آموزش شبکه عصبی MLP در فشرده‌سازی تصاویر، هدف نهایی جستجوی بهترین اوزان شبکه عصبی است که به کوچکترین میانگین مربعات خطا (MSE) منتهی شود، مطابق رابطه زیر تعریف می‌شود:

$$MSE = \frac{1}{NM} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (u_{ij} - u_{ij}^*)^2 \quad (16)$$

u_{ij} و u_{ij}^* به ترتیب نشان دهنده تصویر اصلی و تصویر بازسازی شده است.

در این تحقیق استفاده از روش GSA برای یافتن بهترین اوزان شبکه عصبی پیشنهاد می‌شود.

با توجه به تعداد کل نرون‌های شبکه عصبی MLP مورد نظر، بردار وزنی به شکل تصادفی تولید می‌شود.

$$W = [w_1, w_2, w_3, \dots, w_n] \quad (17)$$

در این رابطه W_n به تعداد کل نرون‌های موجود در شبکه عصبی MLP بستگی دارد.

در روش GSA جمعیت اولیه اجرام (بردارهای وزن) تولید می‌شود. موقعیت هر جرم، مجموعه‌ای از وزن‌های شبکه را برای تکرار جاری الگوریتم و بُعد هر جرم تعداد وزنهایی که در شبکه وجود دارد را نشان می‌دهد. اجرام در فضا حرکت می‌کنند و سعی می‌کنند خطا را مینیمم سازند. تغییر موقعیت یک جرم به معنای به‌روزرسانی وزن‌های شبکه در جهت کاهش MSE در تکرار جاری است. در هر تکرار، تمام اجرام موقعیتشان را با محاسبه سرعت جدید به‌روزرسانی و به سمت موقعیت جدید حرکت می‌کنند.

موقعیت جدید مجموعه‌ای از وزن‌های جدید است که برای به دست آوردن MSE جدید استفاده می‌شود. این فرایند برای تمام اجرام تکرار می‌شود. جرم با حداقل MSE به عنوان بهترین جرمی که تاکنون پیدا شده است در نظر گرفته می‌شود. فرایند آموزش تا زمانی ادامه پیدا می‌کند که خطای قابل قبول توسط یک جرم به دست آید یا یک شرط خاتمه مانند تعدادی تکرار پیش فرض، برآورده شود. زمانی که فرایند آموزش خاتمه یافت، به ازای شایسته‌ترین جرم (حداقل MSE)، بردار

• الگوریتم PSO

جمعیت اولیه ذرات برابر ۱۵ می‌باشد، در این الگوریتم C_1 و C_2 مساوی ۱ فرض می‌شوند. همچنین وزن اینرسی W به صورت خطی از ۰.۹ تا ۰.۲ کاهش می‌یابد.

• روش پس انتشار خطا (EBP)

در این روش $\eta=0.4$ فرض شده است.

۴-۱- نتایج آزمایشات

برای آزمایش از تصویر Lena به عنوان تصویر آموزش استفاده می‌شود. ابتدا تصویر به بلوک‌هایی با اندازه 8×8 تقسیم می‌شود. سپس هر دو شبکه‌ها با این بلوک‌ها که هر کدام یک بردار ۶۴ تایی هستند آموزش داده می‌شوند تا زمانیکه شبکه‌ها همگرا شوند. پس از آموزش، هر سه شبکه با تصویر Lena و سه تصویر دیگر آزمایش می‌شوند و میانگین مربعات خطا به ازای هر تصویر به دست می‌آید.

نتایج حاصل از این آزمایشات برای دو نسبت فشردسازی $1/4$ (یک چهارم) و $1/8$ (یک هشتم) به ترتیب در جداول ۱ و ۲، و تصاویر به دست آمده در شکل‌های ۴-۲ نشان داده شده است. با توجه به مقدار میانگین MSE به دست آمده در نتایج، به وضوح مشخص است که آموزش شبکه عصبی توسط روش GSA عملکرد بهتری نسبت به دو روش بهینه سازی جمعیت ذرات و پس انتشار خطا در فشردسازی تصاویر دارد.

نام تصویر	GSA	PSO	EBP
Lena	0.0275	0.0562	0.0763
Goldhill	0.0337	0.0697	0.0794
mandrill	0.0454	0.0572	0.0894
pepper	0.0243	0.0521	0.0648



(الف)

(ب)



(ج)

(د)

شکل ۲: تصاویر بازیابی شده Lena با نسبت فشردسازی $1/4$ (الف) تصویر اصلی (ب) روش GSA (ج) روش PSO (د) روش EBP



(الف)

(ب)



(ج)

(د)

جدول ۱: مقایسه میانگین MSE به دست آمده از آزمایش شبکه عصبی MLP توسط سه روش GSA، PSO و EBP با نسبت فشردسازی $1/4$

نام تصویر	GSA	PSO	EBP
Lena	0.0156	0.0254	0.0563
Goldhill	0.0132	0.0324	0.0584
mandrill	0.0234	0.0276	0.0663
pepper	0.0123	0.0215	0.0327

و استفاده از انواع ترکیبی آن نتایج بهتری از این روش بهینه-سازی را در کاربردهای مختلف علوم مهندسی نشان دهیم.

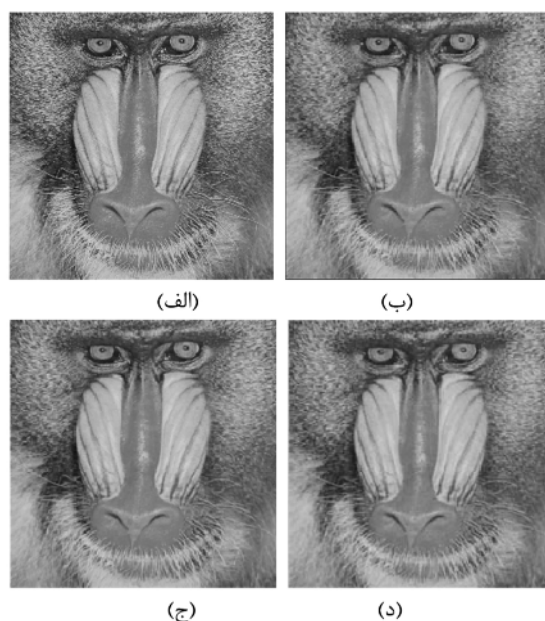
۶- مراجع

- [1] S. Anna Durai, and E. Anna Saro, "Image Compression with Back-Propagation Neural Network using Cumulative Distribution Function", World Academy of Science, Engineering and Technology, 2006.
- [2] S. Kulkarni, B. Verma and M. Blumenstein, "Image Compression using a Direct Solution Method Based Neural Network", Griffith University, Gold Coast Campus, QLD 4217, Australia.
- [3] D.K Kumar, N. Mahalingam, "Nested neural networks for image compression", In IEEE Region 10 International Conference on Global Connectivity in Energy. 1998.
- [4] C. Amerijckx, M. Verleysen, P. Thissen, and J. Legat, "Image Compression by Self-Organized Kohonen Map", In IEEE Transactions on Neural Networks, Vol. 9, No. 3, May 1998.
- [5] J. MI, and D. S. Huang, "Image Compression Using Principal Component Neural Network", In IEEE International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision, 2004.
- [6] Robert D. Dony, Simon Haykin, "Neural Network Approaches to Image Compression", In PROCEEDINGS OF THE IEEE, VOL. 83, NO. 2, FEBRUARY 1995.
- [7] Hamdy S. Soliman, Mohammed Omari, "A neural networks approach to image data compression" In Applied Soft Computing 6, pp. 258-271, 2006.
- [8] G. W. Cottrell, P. Munro and D. Zipser, "Image Data Compression by Back Propagation: An example of Extensional Programming", ICs Report 8702, 1987.
- [9] A. A. Miniani, R. D. Williams, "Acceleration of back-propagation through learning rate and momentum adaptation", Proc. International joint conference on neural networks, San Diego, CA, pp. 676-679, 1990.
- [10] R. A. Jacobs, "Increased rate of convergence through learning rate adaptation", Neural Networks, Vol. 1, No. 4, pp. 295-308, 1988.
- [11] K. Balakrishnan, V. Honavar, "Improving convergence of back propagation by handling flat-spots in the output layer", Proc. Second International Conference on Artificial Neural Networks, Brighton, U.K., pp. 139-144, 1992.
- [12] W. Yan, S. Hongbao, "Improvement of Neural Network learning algorithm and its application in control", Proc. The 3rd World Congress on neural networks, Hefei, Anhui, pp. 971-975, 2000.
- [13] B. Bazartseren, G. Hildebrandt, K. P. Holz, "Short-term water level prediction using neural

شکل ۳: تصاویر بازبازی شده Pepper با نسبت فشرده‌سازی ۱/۴ (الف) تصویر اصلی (ب) روش GSA (ج) روش PSO (د) روش EBP

۵- نتیجه گیری

شبکه‌های عصبی مصنوعی ساختارهای قدرتمندی برای دسته بندی داده‌ها و یادگیری الگوها دارند. بسیاری از محققین تمایل دارند از این ابزار استفاده نمایند اما با مسئله آموزش شبکه عصبی مواجه می‌شوند. الگوریتم جستجوی گرانشی از جمله جدیدترین الگوریتم‌های ابتکاری است که با الهام از قانون جاذبه و مفهوم جرم در طبیعت بنا نهاده شده است.



شکل ۴: تصاویر بازبازی شده Mandrill با نسبت فشرده‌سازی ۱/۸ (الف) تصویر اصلی (ب) روش GSA (ج) روش PSO (د) روش EBP

در این مقاله پیشنهاد استفاده از الگوریتم جستجوی گرانشی برای آموزش شبکه عصبی MLP به منظور فشرده‌سازی تصاویر ارائه شده است. به این ترتیب می‌توان با جستجوی بهترین اوزان شبکه عصبی، به بهترین فشرده‌سازی تصاویر دست یافت. از فشرده‌ساز طراحی شده در فشرده‌سازی چهار تصویر استاندارد استفاده شده است.

عملکرد فشرده‌ساز ارائه شده با دو فشرده‌ساز دیگر که در آنها شبکه عصبی MLP با روش متداول پس انتشار خطا و بهینه سازی گروه ذرات آموزش دیده بودند، مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نهایی نشان می‌دهند که روش پیشنهادی بطور چشمگیری میزان فشرده سازی تصویر را نسبت به دیگر روشها بهبود بخشیده است. در تحقیقات آتی سعی داریم با تکامل و ارتقاء الگوریتم GSA

اکبری، رضا؛ زیارتی، کوروش؛ " استفاده از بهینه‌سازی گروهی ذرات برای آموزش شبکه‌های عصبی و کاربرد آن در فشرده‌سازی تصویر"، هشتمین کنفرانس سیستم‌های هوشمند، دانشگاه فردوسی، مشهد، ۱۳۸۶.

[21] M. T. Hagan, M. Menhaj, "Training feed forward networks with the Marquardt algorithm", IEEE transactions on Neural Networks, Vol. 5, No. 6, pp. 989-993, 1994.

[۲۲] راشدی، عصمت؛ نظام‌آبادی پور، حسین؛ سریزدی، سعید؛ الگوریتم جستجوی گرانشی باینری، هشتمین کنفرانس سیستم‌های هوشمند، دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۳۸۶.

[۲۳] ده‌باشیان، مریم؛ ظهیری، سیدحمید؛ الگوریتم جستجوی گرانشی نخبه‌گرای پیشرفته، اولین کنفرانس انرژی‌های تجدیدپذیر و تولید پراکنده ایران، دانشگاه بیرجند، ۱۳۸۸.

[۲۴] ده‌باشیان، مریم؛ ظهیری، سیدحمید؛ MOGSA: روشی جدید در بهینه‌سازی چند هدفه مبتنی بر الگوریتم جستجوی گرانشی، شانزدهمین کنفرانس ملی سالانه انجمن کامپیوتر ایران، دانشگاه صنعتی شریف، ۱۳۸۹.

networks and neuro-fuzzy approach", neuro computing, Vol. 55, No. 3-4, pp. 439-450, 2003.

[15] M. Engin, "ECG beat classification using neuro-fuzzy network", Pattern Recognition Letters, Vol. 25, pp. 1715-1722, 2004.

[16] P. Kumar, S. N. Merchant, U. B. Desai, "Improving performance in pulse radar detection using Bayesian regularization for neural network training", Digital Signal Processing, Vol. 14, No. 5, pp. 438-448, 2004.

[17] L. L. Rogers, F. U. Dowla, V. M. Johnson, "Optimal field-scale groundwater remediation using neural networks and the genetic algorithm", Environmental Science and Technology, Vol. 29, No. 5, pp. 1145-1155, 1995.

[18] A. L. Arnaud, P. J. L. Adeodato, G. C. Vasconcelos, R. F. O. Neto, "MLP neural networks optimization through simulated annealing in a hybrid approach for time series prediction", Congresso de Sociedade Brasileira de computação, pp. 1110-1113, 2005.

[19] Y. P. Chang, C. N. Ko, "A PSO method with nonlinear time-varying evolution based on neural network for design of optimal harmonic filters", Expert Systems with Applications, Vol. 36, pp. 6809-6816, 2009.

[۲۰] E. Rashedi, H. Nezamabadi-pour, S. Saryazdi, "GSA: A Gravitational Search Algorithm", Information Sciences, Vol. 179, pp. 2232-2248, 2009.

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۰۲/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۰۷/۲۲

نشانه‌گذاری نیمه‌کور تصاویر با استفاده از SVD در حوزه تبدیل موجک گسسته

مرتضی مخلوقی^۱، حبیب‌الله دانیالی^۲ و فردین اخلاقیان^۳

^۱گروه کامپیوتر، دانشکده مهندسی، دانشگاه کردستان، M.Makhlogi@uok.ac.ir

^۲گروه مخابرات، دانشکده مهندسی برق و الکترونیک، دانشگاه صنعتی شیراز، hdanyali@ieee.org

^۳گروه کامپیوتر، دانشکده مهندسی، دانشگاه کردستان، F.Akhlaghian@uok.ac.ir

چکیده

با پیشرفت سریع تکنولوژی ارتباطات و گسترش اینترنت و افزایش چشمگیر جعل و کپی غیر مجاز داده‌ها، روز به روز بر ارزش نشانه‌گذاری افزوده می‌شود. در این مقاله یک روش جدید نیمه‌کور نشانه‌گذاری با استفاده از تبدیل مقدار منحصر به فرد تجزیه (Singular Value Decomposition) در حوزه تبدیل موجک گسسته برای حفاظت از حق مالکیت ارائه شده است. در روش پیشنهادی ابتدا به تصویر اصلی K مرحله تبدیل موجک گسسته اعمال می‌شود پایین‌ترین زیر باند فرکانسی آن به عنوان تصویر مرجع انتخاب می‌گردد. سپس با اعمال یک مرحله تبدیل موجک گسسته به تصویر مرجع و تصویر نشانه، مقادیر منحصربه‌فرد تجزیه زیر باندهای فرکانسی تصویر تبدیل یافته نشانه در مقادیر منحصربه‌فرد تجزیه زیر باند های متناظر تصویر تبدیل یافته مرجع تعبیه می‌شود. از آنجا که در این روش برای بازیابی نشانه به تصویر مرجع نیاز می‌باشد و نیازی به تصویر اصلی نیست لذا یک روش نیمه‌کور (Sem-Blind) نامیده می‌شود. مقاومت روش پیشنهادی در برابر هجومهای مختلف مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصله نشان می‌دهد که روش پیشنهادی در برابر هجومهای مختلف بسیار مقاوم‌تر از کارهای مشابه بوده و درعین حال تصویر نشانه‌گذاری شده از شفافیت بیشتری برخوردار است.

کلید واژه- تبدیل موجک گسسته، مقادیر منحصر به فرد تجزیه، نشانه‌گذاری تصویر، نشانه‌گذاری نیمه‌کور

۱- مقدمه

در سالهای اخیر همزمان با توسعه رقمی‌سازی اطلاعات، رشد و فراگیر شدن اینترنت و به‌وجود آمدن رسانه‌های ذخیره‌سازی با ظرفیت بالا، کپی‌برداری و توزیع غیرمجاز داده‌ها نیز روز به روز افزایش می‌یابد، لذا حفاظت از حق مالکیت نقش مهمی در صنعت توزیع داده ایفا می‌کند. نشانه‌گذاری رقمی به پروسه درج یک نشانه مانند تصویر، متن، صوت در داخل داده میزبان به صورت غیر قابل مشاهده اطلاق می‌شود. از کاربردهای مهم نشانه‌گذاری می‌توان به حفاظت از حق مالکیت، اثبات سندیت داده، کنترل و جلوگیری از کپی برداری غیرمجاز، امکان پیگیری توزیع غیر مجاز داده اشاره کرد. یک سیستم نشانه‌گذاری خوب برای کاربرد حفاظت از حق مالکیت، معیارهای مختلفی دارد که رسیدن به یا تقویت یکی از این معیارها ممکن است باعث تضعیف معیارهای دیگر شود، که از این معیارها می‌توان به پایداری و شفافیت اشاره نمود. یک سیستم نشانه‌گذاری مقاوم باید در برابر هجومهای معمول پایداری لازم را داشته باشد. در این مقاله از نشانه-

دهد. در این روش تصاویر نشانه‌گذاری شده شفافیت بسیار خوبی دارند.

در سال‌های اخیر تبدیل مقدار منحصر به فرد تجزیه (SVD) کاربرد های زیادی در پردازش تصویر و نشانه‌گذاری پیدا کرده است. در زمینه نشانه‌گذاری، SVD ابتدا در حوزه مکان به کار برده شد [۵]. در این روش، نشانه در داخل مقادیر منحصر به فرد (Singular values) تصویر اصلی قرار داده می‌شود. روش ارائه شده قابلیت تطبیق کافی با تصاویر مختلف را نداشت و در نتیجه نمی‌توانست استحکام و شفافیت لازم را برای تصاویر مختلف حفظ کند.

لی و همکارانش [۶] یک روش ترکیبی با استفاده از تبدیل موجک گسسته و SVD ارائه کردند که در آن ویژگی‌های سیستم بینایی انسان در نظر گرفته شده بود، بعد از یک مرحله تجزیه تصویر میزبان به کمک تبدیل موجک گسسته، SVD را به هر چهار باند اعمال نموده و مقادیر منحصر به فرد تجزیه تصویر نشانه را در هر چهار باند تعبیه می‌کردند، مقدار این تعبیه بر اساس ویژگی‌های بینایی انسان مشخص می‌شود. روش مذکور دارای شفافیت خوبی بوده ولی پایداری لازم در برابر هجوم‌های مختلف را نداشت.

در [۷] یک روش جدید نشانه‌گذاری بر پایه تبدیل موجک گسسته و SVD ارائه شده است. در این روش تصویر اصلی با استفاده از تبدیل موجک گسسته تجزیه شده و مقادیر منحصر به فرد تصویر نشانه در داخل مقادیر منحصر به فرد زیرباندهای فرکانسی تصویر نشانه جایگذاری می‌شود. از آنجا که مقادیر منحصر به فرد تصویر نشانه در مقادیر منحصر به فرد زیرباندهای فرکانسی مختلف تعبیه می‌شود، روش مذکور پایداری خوبی در برابر حملات مختلف هندسی و غیر هندسی داشت. با این حال، تصاویر نشانه‌گذاری شده حاصل از اعمال این روش شفافیت خوبی ندارند.

یک روش ترکیبی با استفاده از تبدیل DCT و SVD در [۸] ارائه شده است. در این روش تصویر اصلی و نشانه با استفاده از تبدیل کسینوسی گسسته تجزیه شده و ضرایب تبدیل کسینوسی گسسته تصویر اصلی با استفاده از یک ترتیب زیگزاگ به چهار باند تقسیم می‌شود. در ادامه، تبدیل SVD به چهار باند بدست آمده از تصویر اصلی و زیرباند تبدیل کسینوسی گسسته تصویر نشانه اعمال شده و مقادیر منحصر به فرد تصویر نشانه در داخل مقادیر منحصر به فرد زیرباندهای فرکانسی تصویر اصلی قرار داده می‌شود. هرچند این روش دارای شفافیت

گذاری تصاویر برای اثبات مالکیت استفاده شده است، بنابراین سیستم نشانه‌گذاری پیشنهادی باید پایداری کافی در برابر پردازش‌های متداول تصویر مانند فیلترهای میانگین و میانه، فشرده‌سازی، اضافه کردن نویز و حمله‌های ژئومتریک مانند تغییر اندازه، چیدن تصویر و چرخش را داشته باشد. علاوه بر این نشانه باید غیر قابل مشاهده بوده و شفافیت تصویر اصلی را تحت تاثیر قرار ندهد.

درج نشانه در داده‌های رقمی را می‌توان در حوزه مکان و در حوزه فرکانس انجام داد [۱،۲]. روش‌های نشانه‌گذاری در حوزه مکان به طور مستقیم به دستکاری و تغییر پیکسل‌های تصویر می‌پردازند. در روش‌های نشانه‌گذاری در حوزه فرکانس با تغییر مقادیر ضرایب تصویر تبدیل یافته بعد از اعمال تبدیلاتی مانند تبدیل کسینوسی گسسته (DCT)، تبدیل فوریه گسسته (DFT) و یا تبدیل موجک گسسته (DWT) بر روی تصویر میزبان، به درج نشانه در تصویر تبدیل یافته می‌پردازند. روش‌های نشانه‌گذاری در این حوزه پیچیده‌تر از روش‌های نشانه‌گذاری در حوزه مکان بوده و پایداری بیشتری در برابر هجوم‌های مختلف دارند. تبدیل موجک گسسته از دهه ۹۰ به طور گسترده مورد استفاده قرار گرفته و بیشتر از تبدیل فوریه و کسینوسی گسسته مورد توجه است. در این مقاله برای دستیابی به پایداری بیشتر از تبدیل موجک گسسته استفاده شده است.

در [۳] یک روش نشانه‌گذاری مضاعف در حوزه تبدیل موجک گسسته ارائه شده است. در این روش تصویر اصلی با استفاده از تبدیل موجک گسسته تجزیه شده و برای رسیدن به پایداری بیشتر، نشانه به صورت مضاعف در زیر باندهای فرکانس پایین و بالای تصویر تجزیه شده تعبیه شده است. اگر چه این روش به علت تعبیه مضاعف پایداری خوبی در برابر هجوم‌های مختلف دارد ولی شفافیت روش ارائه شده مناسب نمی‌باشد.

لین و همکارانش [۴] یک روش نشانه‌گذاری جدید بر پایه درخت تجزیه در حوزه تبدیل موجک گسسته ارائه کردند. در روش پیشنهادی تعبیه بیت ۰ یا ۱ بر اساس مقایسه تفاوت ریاضی و بردار فاصله درخت تجزیه صورت می‌گیرد. در این روش اعوجاج تصویر نشانه‌گذاری شده با کوانتیزه کردن ضرایب کوچک درخت تجزیه کاهش می‌یابد. روش ارائه شده پایداری خوبی در مقابل حملات فیلترینگ تصویر نشان داده است ولی در برابر حملات هندسی پایداری خوبی ارائه نمی‌-

۲- معرفی SVD

تبدیل SVD در سال ۱۸۷۳ توسط بلترامی (Beltrami) برای حل مشکلات ماتریس مربعی اختراع شد. اما محاسبه و کاربرد عملی آن بوسیله الگوریتمی که در سال ۱۹۶۵ توسط جین گلوب (Gene Golub) ارائه گردید ممکن شد [۱۰]. در سال-های اخیر SVD به عنوان یک ابزار موثر در نشانه-گذاری [۱۲، ۱۱] و در سایر زمینه‌های پردازش سیگنال [۱۴، ۱۳] مورد استفاده قرار گرفته است.

هر تصویر یک آرایه غیر منفی بوده که می‌تواند به عنوان یک ماتریس در نظر گرفته شود. فرض کنید A یک تصویر با اندازه $M \times N$ باشد، SVD تصویر A برابر است با:

(۱)

$$A = USV^T$$

که $U_{M \times M}$ و $V_{N \times N}$ ماتریس‌های متعامد و $S_{M \times N}$ ماتریس قطری بوده که به درایه‌های آن مقادیر منحصر به فرد تجزیه ماتریس A می‌گویند و داریم:

(۲)

$$U^T \cdot U = I \quad \text{و} \quad V^T \cdot V = I$$

(۳)

$$S = \text{diag}(\beta_1, \beta_2, \beta_3, \dots)$$

(۴)

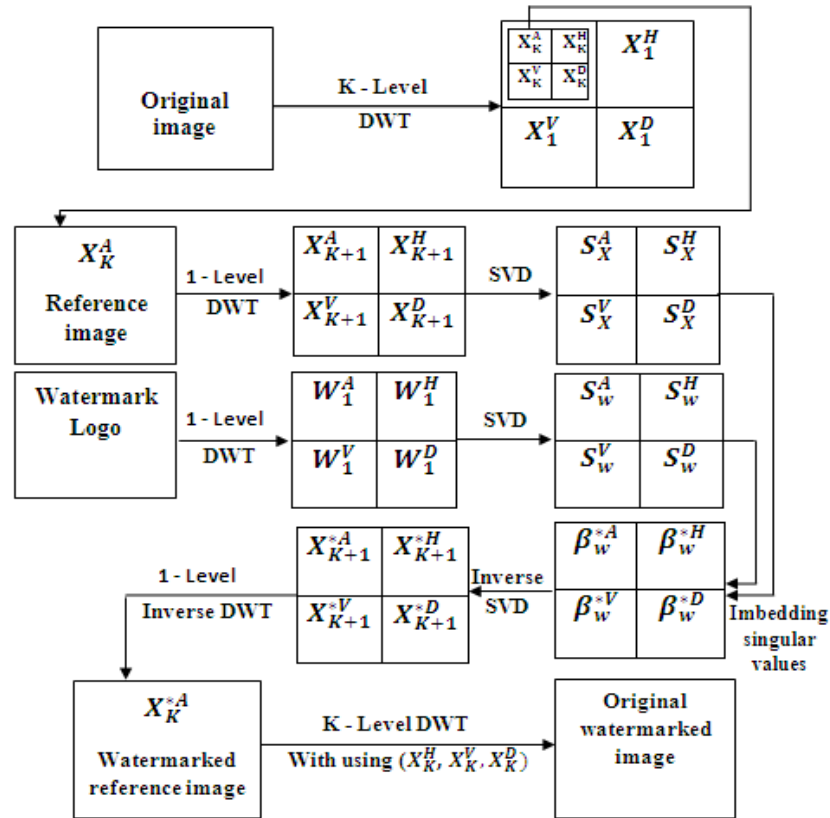
$$A = \beta_1 U_1 V_1 + \beta_2 U_2 V_2 + \beta_3 U_3 V_3 \dots + \beta_r U_r V_r, \quad r = \min(M, N)$$

استفاده از SVD در پردازش تصویر مزایای زیادی دارد. اولاً اندازه تصویر و ماتریس‌های SVD می‌تواند مربعی یا مستطیلی باشد. ثانیاً مقادیر منحصر به فرد کمتر تحت تاثیر عملیات متعارف پردازش تصویر قرار می‌گیرند و علاوه بر آنکه مقدار زیادی از انرژی تصویر را حفظ می‌کنند در برابر حملات معمول اعمال شده به تصویر نیز مقاومند. ثالثاً مقادیر منحصر به فرد شامل جزئیات ذاتی و جبری یک تصویر می‌باشد [۹].

خوبی نمی‌باشد ولی به علت تعبیه چندگانه مقادیر منحصر به فرد تصویر نشانه در مقادیر منحصر به فرد زیرباندهای فرکانسی تصویر میزبان، پایداری خوبی در برابر هجومهای مختلف دارد. در کار اخیر که توسط باتنگر (Bhatnagar) و رامان (Raman) صورت گرفته است [۹]، ابتدا از تصویر اصلی n مرحله تبدیل موجک گرفته می‌شود سپس کنتراست جهت دار (Directive contrast) برای تمامی زیرباندهای فرکانسی تصویر اصلی محاسبه شده و ضرایب تبدیل موجکی که کنتراست جهت دار آن‌ها از آستانه‌ای که قبلاً مشخص شده پایین‌تر باشند مقدار صفر می‌گیرند و سپس با اعمال تبدیل موجک معکوس تصویر مرجع بدست می‌آید. مقادیر منحصر به فرد تجزیه تصویر نشانه در داخل مقادیر منحصر به فرد تجزیه تصویر مرجع تعبیه می‌شود، این روش یک روش نیمه کور می‌باشد.

در این مقاله یک روش جدید نشانه‌گذاری بر پایه تبدیل موجک گسسته و SVD ارائه شده است. ابتدا از تصویر اصلی K مرحله تبدیل موجک گسسته گرفته شده و پایین‌ترین زیرباند فرکانسی آن به عنوان تصویر مرجع انتخاب شده است. سپس از تصویر مرجع و تصویر نشانه یک مرحله تبدیل موجک گسسته گرفته شده و مقادیر منحصر به فرد تمامی زیرباندهای فرکانسی در هر دو تصویر محاسبه می‌گردد و مقادیر منحصر به فرد هر زیرباند فرکانسی تصویر نشانه در مقادیر منحصر به فرد زیرباند فرکانسی متناظر آن در تصویر مرجع تعبیه می‌شود.

ساختار باقیمانده این مقاله بدین صورت می‌باشد: معرفی مختصر تبدیل SVD در بخش دوم ارائه می‌گردد. بخش سوم به تشریح الگوریتم پیشنهادی می‌پردازد. نتایج شبیه‌سازی‌ها و تحلیل‌های انجام شده در بخش چهارم و نتیجه گیری در بخش آخر ارائه می‌گردد.



شکل ۱: نمودار الگوریتم نشانه‌گذاری پیشنهادی.

اعمال شده و تبدیل SVD بر زیر باندهای فرکانسی تصویر مرجع و تصویر مرجع نشانه‌گذاری شده انجام می‌گیرد. سرانجام با تفریق مقادیر منحصر به فرد زیرباندهای فرکانسی تصویر مرجع اصلی از مقادیر منحصر به فرد زیرباندهای فرکانسی متناظر تصویر مرجع نشانه‌گذاری شده، مقادیر منحصر به فرد زیرباندهای فرکانسی تصویر مرجع نشانه بدست آورده می‌شود. از آنجا که در این روش به تصویر مرجع در مرحله استخراج نیاز می‌باشد و به تصویر اصلی نیاز نیست، لذا یک روش نیمه‌کور محسوب می‌شود. فرآیند جایگذاری و استخراج نشانه مرحله به مرحله در دو زیر بخش بعدی تشریح می‌گردد.

۳-۱- فرآیند جایگذاری نشانه

بعد از دریافت تصویر اصلی $X_{M \times N}$ و تصویر خاکستری نشانه $W_{M1 \times N1}$ به عنوان ورودی مراحل زیر برای جایگذاری تصویر نشانه اعمال می‌شوند.

مرحله اول: از تصویر اصلی k مرحله تبدیل موجک گسسته گرفته می‌شود تصویر تبدیل یافته با X_1^0 مشخص می‌گردد که $1 \leq l \leq k$ و $\theta \in \{A, H, V, D\}$ می‌باشد.

مزیت اصلی استفاده از SVD در نشانه‌گذاری، پایدار بودن مقادیر منحصر به فرد تصویر نشانه‌گذاری شده و تصویر نشانه تعبیه شده در برابر هجوم‌های مختلف می‌باشد.

۳- روش پیشنهادی

شمای کلی روش پیشنهادی در شکل ۱ نشان داده شده است. ابتدا از تصویر اصلی K مرحله تبدیل موجک گسسته گرفته شده و پایین ترین زیرباند فرکانسی تصویر تبدیل یافته به عنوان تصویر مرجع انتخاب می‌گردد. سپس، بر روی تصویر مرجع و تصویر خاکستری نشانه یک مرحله تبدیل موجک گسسته اعمال می‌شود. بعد از اعمال تبدیل SVD بر روی همه زیرباندهای فرکانسی تصویر نشانه و تصویر مرجع، مقادیر منحصر به فرد هر زیرباند فرکانسی تصویر نشانه در مقادیر منحصر به فرد زیرباند فرکانسی متناظر آن در تصویر مرجع تعبیه می‌گردد. در مرحله استخراج نیز همانند مرحله تعبیه، از تصویر نشانه‌گذاری شده K مرحله تبدیل موجک گسسته گرفته شده و زیرباند فرکانس پایین به عنوان تصویر مرجع نشانه‌گذاری انتخاب می‌گردد. بر روی تصویر مرجع اصلی و تصویر مرجع نشانه‌گذاری شده یک مرحله تبدیل موجک گسسته

گذاری شده $X_{M \times N}^*$ و تصویر مرجع X_k^A به عنوان ورودی، به صورت زیر است:

مرحله اول: از تصویر نشانه‌گذاری شده، k مرحله تبدیل موجک گسسته گرفته می‌شود و پایین‌ترین زیرباند فرکانسی آن به عنوان تصویر مرجع نشانه‌گذاری شده X_1^{*A} استخراج می‌گردد.

مرحله دوم: از تصویر مرجع نشانه‌گذاری شده و تصویر مرجع اصلی یک مرحله تبدیل موجک گسسته گرفته می‌شود که به ترتیب با X_{k+1}^θ و $X_{k+1}^{*\theta}$ نشان داده می‌شود. $\theta \in \{A, H, V, D\}$

مرحله سوم: تبدیل SVD به تمامی زیرباندهای فرکانسی تصویر مرجع نشانه‌گذاری شده و تصویر مرجع اصلی اعمال می‌گردد:

$$X_{k+1}^{*\theta} = U_x^{*\theta} S_x^\theta (V_x^{*\theta})^T \quad (9)$$

$$X_{k+1}^\theta = U_x^\theta S_x^\theta (V_x^\theta)^T \quad (10)$$

که $\theta \in \{A, H, V, D\}$ است.

مرحله چهارم: مقادیر منحصر به فرد از تمامی زیرباندهای فرکانسی استخراج می‌شود:

$$\beta_{wi}^{ext\theta} = (\beta_i^{*\theta} - \beta_i^\theta) / \alpha_\theta \quad (11)$$

مرحله پنجم: زیرباندهای فرکانسی نشانه به کمک ماتریس مقادیر منحصر به فرد تجزیه بدست آورده می‌شود:

$$W_1^{ext\theta} = U_w^\theta S_w^{ext\theta} (V_w^\theta)^T \quad (12)$$

مرحله ششم: برای بدست آوردن تصویر نشانه، از زیرباندهای فرکانسی که در مرحله قبل به دست آمده یک مرحله تبدیل موجک معکوس گرفته می‌شود.

پایین‌ترین زیرباند فرکانسی به عنوان تصویر مرجع انتخاب می‌گردد که با X_k^A مشخص شده است.

مرحله دوم: از تصویر نشانه و تصویر مرجع یک مرحله تبدیل موجک گسسته گرفته می‌شود که به ترتیب با W_1^θ و X_{k+1}^θ نشان داده می‌شود. $\theta \in \{A, H, V, D\}$

مرحله سوم: تبدیل SVD بطور جداگانه به تمامی زیرباندهای فرکانسی تصویر نشانه و تصویر مرجع اعمال می‌گردد.

$$X_{k+1}^\theta = U_x^\theta S_x^\theta (V_x^\theta)^T \quad (5)$$

$$W_1^\theta = U_w^\theta S_w^\theta (V_w^\theta)^T \quad (6)$$

که β_{wi}^θ و β_i^θ به ترتیب مقادیر منحصر به فرد S_w^θ و S_x^θ بوده و $\theta \in \{A, H, V, D\}$ و $i = 1, \dots, r$ می‌باشد.

مرحله چهارم: مقادیر منحصر به فرد زیرباندهای فرکانسی تصویر نشانه در مقادیر منحصر به فرد زیرباندهای فرکانسی متناظر تصویر مرجع تعبیه می‌گردد:

(7)

$$\beta_i^{*\theta} = \beta_i^\theta + \alpha_\theta \beta_{wi}^\theta, i = 1, \dots, r, \theta \in \{A, H, V, D\}$$

α_θ ضریب شدت نشانه تعبیه شده بوده که برای زیرباند فرکانس پایین (A) ۰.۰۷ و برای زیرباندهای فرکانس بالا (H, V, D) ۰.۲۵ می‌باشد. از آنجا که تغییرات زیاد در زیرباند فرکانس پایین شفافیت تصویر را به میزان زیادی کاهش می‌دهد لذا نشانه با شدت کمتری در این زیرباند تعبیه شده است.

مرحله پنجم: زیرباندهای فرکانسی تصویر مرجع نشانه‌گذاری شده به کمک تبدیل SVD معکوس محاسبه می‌شود:

(8)

$$X_{k+1}^{*\theta} = U_x^\theta S_x^{*\theta} (V_x^\theta)^T, \theta \in \{A, H, V, D\}$$

برای بدست آوردن تصویر اصلی نشانه‌گذاری شده $k+1$ مرحله تبدیل موجک معکوس گرفته می‌شود.

۳-۲- فرآیند استخراج نشانه

الگوریتم نیمه کور استخراج نشانه بعد از دریافت تصویر نشانه-



شکل ۲: تصاویر نشانه خاکستری



شکل ۳: تصاویر اصلی.



شکل ۴: تصاویر اصلی نشانه‌گذاری شده.

(Lena, Pepper, Pirate, Bridg, Mandril, Lake) به وسیله الگوریتم پیشنهادی و الگوریتم [۹] و با استفاده از نشانه‌های مختلف خاکستری (IT, Circles, IIT) نشانه‌گذاری گردیدند، تصاویر نشانه و میزان مورد استفاده همان تصاویر و نشانه‌های مورد استفاده در [۹] می‌باشند که به ترتیب در اشکال ۲ و ۳ نشان داده شده‌اند. برای حل مصالحه بین شفافیت و مقاومت، با توجه به حساسیت بیشتر سیستم بینایی انسان نسبت به تغییر در زیرباند فرکانس پایین، مقدار α برای زیرباند فرکانس پایین برابر 0.07

۴- نتایج شبیه‌سازی شده

در این بخش برای بررسی الگوریتم پیشنهادی به تحلیل میزان شفافیت و مقاومت تصاویر نشانه‌گذاری شده می‌پردازیم. نتایج با الگوریتم [۹]، که دارای شفافیت و مقاومت بیشتری نسبت به کارهای مشابه می‌باشد، مقایسه می‌گردد.

بدین منظور تصاویر مختلفی با اندازه 512×512 پیکسل

و برای سایر زیرباندهای فرکانسی برابر ۰/۲۵ در نظر گرفته شده است. از تصویر اصلی به کمک فیلتر Daubechies (db1) دو مرحله تبدیل موجک گسسته گرفته می‌شود. برای بررسی کارایی روش پیشنهادی آزمایشهای مختلفی شامل شفافیت و تست مقاومت در برابر هجومهای مختلف بر روی تصاویر نشانه‌گذاری صورت گرفت که به تشریح آنها می‌پردازیم.

۴-۱- شفافیت

بعد از تعبیه نشانه در داخل تصویر اصلی، میزان شفافیت تصویر نشانه‌گذاری شده با معیار PSNR سنجیده شده است. شکل ۴ تصاویر اصلی نشانه‌گذاری شده را نشان می‌دهد.

$$PSNR = 10 \log_{10} \left(\frac{255^2}{MSE} \right) (dB) \quad (13)$$

$$MSE = \frac{\sum_{M,N} [X_1(m,n) - X_2(m,n)]^2}{M \times N} \quad (14)$$

که X_1 و X_2 به ترتیب تصاویر اصلی و نشانه‌گذاری شده می‌باشد. میزان شفافیت الگوریتم پیشنهادی برای تصاویر مختلف در مقایسه با الگوریتم ارائه شده [۹] در جدول ۱ نشان داده شده است که بیانگر برتری آشکار الگوریتم پیشنهادی نسبت به الگوریتم مورد مقایسه می‌باشد.

۴-۲- پایداری

نشانه‌های استخراج شده از تصاویر Lena, Pepper, Pirate.

جدول ۱: مقایسه PSNR (برحسب dB) روش پیشنهادی و روش [۹]

	Lena	Pepper	Pirate	Bridge	Mandrill	Lake
روش [۹]	43.65	44.12	42.44	42.44	40.93	41.60
روش پیشنهادی	46.91	48.74	46.11	43.21	43.09	45.31

جدول ۲: مقایسه ضریب همبستگی روش پیشنهادی و روش [۹]

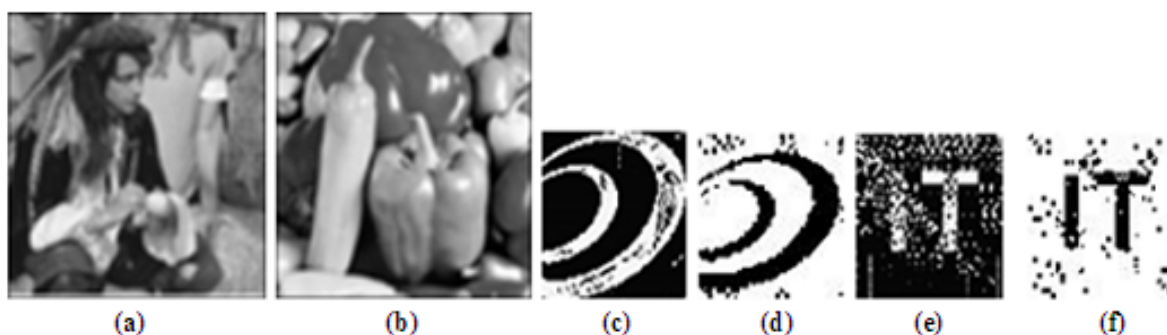
Images	Lena	Pepper	Pirate	Bridge	Mandrill	Lake
روش [۹]	0.9996	0.9996	0.9996	0.9994	0.9995	0.9996
روش پیشنهادی	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000



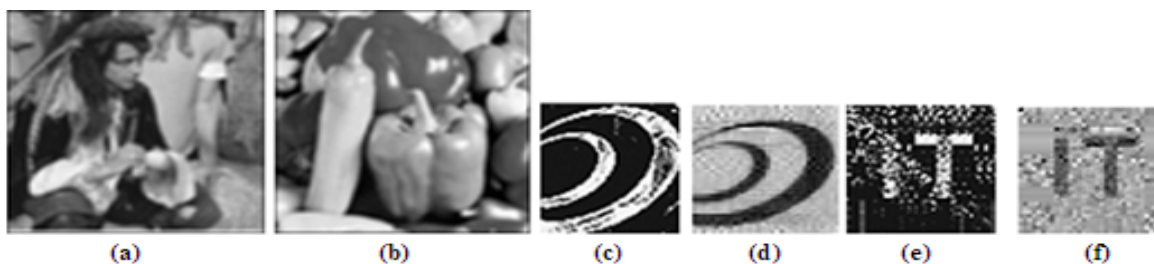
شکل ۵: نشانه‌های استخراج شده.

فیلتر می‌باشد. نتایج حاصل از به کار بردن فیلترهای میانگین و میانه به ترتیب در اشکال ۶، ۷ آورده شده‌اند. اگر چه با اعمال این فیلترها کیفیت تصاویر نشانه‌گذاری شده به شدت افت کرده، با این حال همانطور که از این شکل‌ها پیداست نشانه‌ها همچنان واضح و قابل تشخیص می‌باشند. علاوه بر این همانطور که این اشکال نشان می‌دهند نتایج روش پیشنهادی خصوصا در برابر فیلتر میانگین بهتر از روش [۹] می‌باشد.

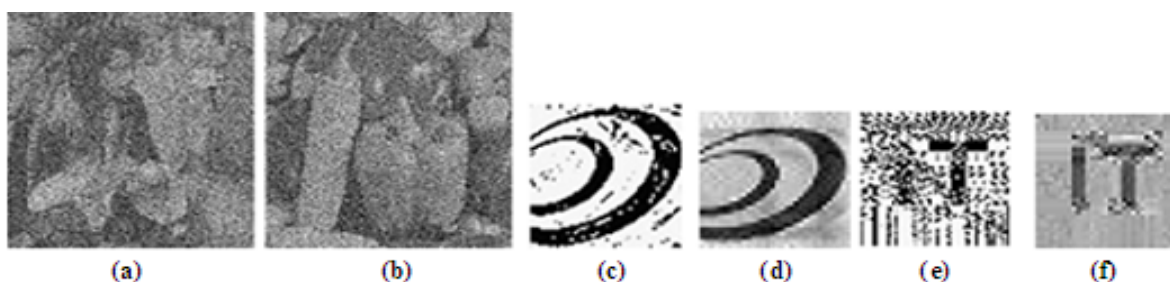
برای بررسی مقاومت روش پیشنهادی و مقایسه با الگوریتم [۹] هجومی‌های مختلفی از جمله فیلتر میانگین (۱۳×۱۳)، فیلتر میانه (۱۳×۱۳)، اضافه کردن نویز گوسین ۷۵ درصد، چیدن ۵۰ درصد از تصویر نشانه‌گذاری شده، تغییر اندازه تصویر نشانه‌گذاری شده از ۵۱۲ به ۱۲۸ و سپس برگرداندن به ۵۱۲، چرخش ۵۰ درجه‌ای تصویر نشانه‌گذاری شده، افزایش ۵۰ درصدی کنتراست تصویر و تنظیم هیستوگرام تصویر نشانه‌گذاری شده بر روی تصاویر Pirate و Pepper اعمال شد. یکی از مرسوم‌ترین پردازش‌ها بر روی تصاویر اعمال



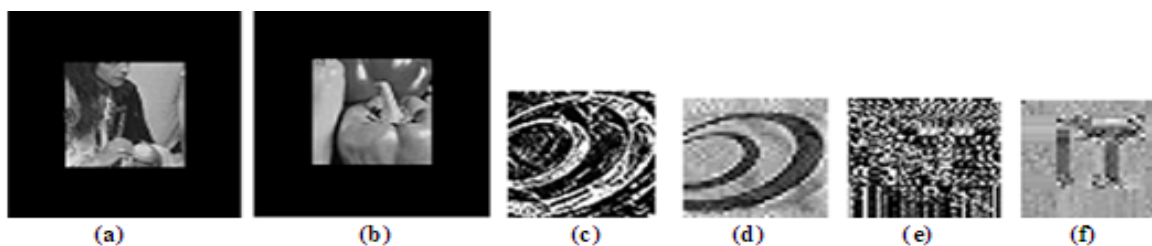
شکل ۶: (b) تصاویر نشانه‌گذاری شده بعد از اعمال فیلتر میانگین و (c) نشانه‌های استخراج شده به روش [۹] (d و f) نشانه‌های استخراج شده به روش پیشنهادی



شکل ۷: (b) تصاویر نشانه‌گذاری شده بعد از اعمال فیلتر میانه و (c) نشانه‌های استخراج شده به روش [۹] (d و f) نشانه‌های استخراج شده به روش پیشنهادی



شکل ۸: (b) تصاویر نشانه‌گذاری شده بعد از اعمال فیلتر میانه و (c) نشانه‌های استخراج شده به روش [۹] (d و f) نشانه‌های استخراج شده به روش پیشنهادی

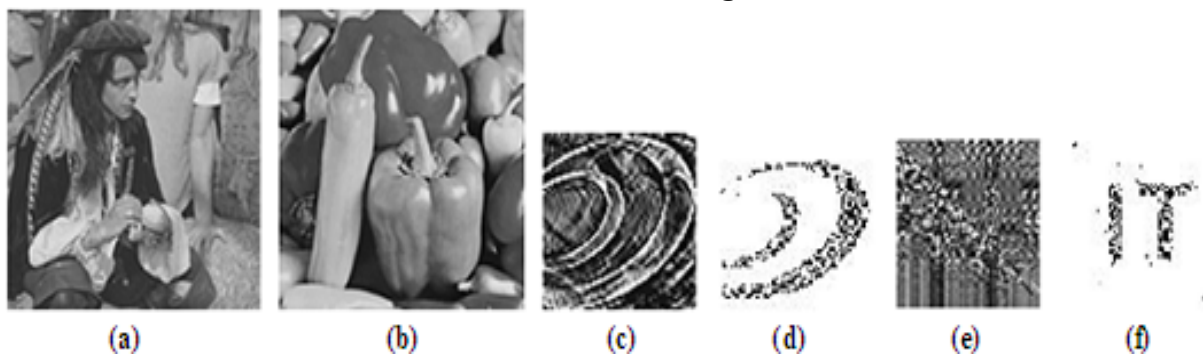


شکل ۹: (b) تصاویر نشانه‌گذاری شده بعد از چیدن تصویر و (c) نشانه‌های استخراج شده به روش [۹] (d و f) نشانه‌های استخراج شده به روش پیشنهادی

اندازه با کاهش اندازه تصویر نشانه‌گذاری شده و سپس برگرداندن به اندازه اصلی صورت می‌گیرد. نتایج حاصل از اعمال این هجوم و نشانه‌های استخراجی حاصل از هر دو روش در شکل ۱۰ نشان داده شده‌اند. نشانه استخراجی حاصل از اعمال روش پیشنهادی به خصوص در تصویر Pepper بسیار واضحتر از نشانه استخراجی حاصل از روش [۹] می‌باشد. شکل ۱۱ نتایج حاصل از اعمال چرخش ۵۰ درجه برای هر دو روش (پیشنهادی و مورد مقایسه) را نشان می‌دهد. همانطور از شکل پیداست نشانه‌های استخراجی با استفاده روش پیشنهادی واضح و قابل مقایسه با روش [۹] می‌باشند.

شکل ۸ نتایج حاصل از اضافه کردن نویز گوسین ۷۵ درصد را نشان می‌دهد. اگر چه با اعمال این هجوم اطلاعات زیادی از تصویر نشانه‌گذاری شده از بین رفته است ولی نشانه‌های استخراجی حاصل از روش پیشنهادی و روش مورد مقایسه همچنان واضح بوده و روش پیشنهادی نتایج بهتری از روش [۹] ارائه می‌دهد.

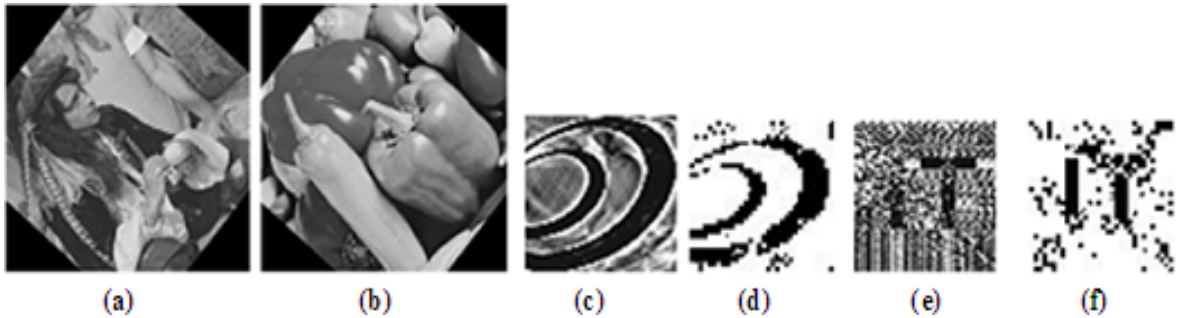
چیدن، تغییر اندازه و چرخش از حملات مرسوم هندسی بوده که به طور گسترده در پردازش تصویر کاربرد دارند. نتایج حاصل از چیدن ۵۰ درصد از تصاویر نشانه‌گذاری شده و نشانه‌های استخراجی بعد از اعمال این هجوم برای هر دو روش در شکل ۹ نشان داده شده است. با اعمال این هجوم تصاویر نشانه‌گذاری شده ۵۰ درصد از اطلاعات خود را از دست می‌دهند. با وجود این روش پیشنهادی توانسته در مقایسه با روش [۹] به خوبی نشانه را استخراج کند. تغییر



شکل ۱۰: (b) تصاویر نشانه‌گذاری شده بعد از تغییر اندازه تصویر (c و e) نشانه‌های استخراج شده به روش [۹] (d و f) نشانه‌های استخراج شده به روش پیشنهادی

جدول ۳: ضریب همبستگی نشانه‌های استخراجی بعد از هجوم‌های مختلف به روش پیشنهادی و روش [۹].

تصاویر	Pirate		Pepper	
	روش پیشنهادی	روش [۹]	روش پیشنهادی	روش [۹]
حملا				
فیلتر میانگین	0.9688	-0.3696	0.5869	-0.6209
فیلتر میانه	0.8411	-0.3233	0.5058	-0.5636
اضافه کردن نویز	0.9277	0.2843	0.5505	0.5604
چیدن	0.8196	0.3840	0.4705	-0.2492
تغییر اندازه	0.9725	0.5648	0.7158	0.0326
چرخش	0.9767	0.3309	0.7052	0.6297
افزایش کنتراست	0.9752	0.7557	0.7634	0.7690
تنظیم هیستوگرام	0.9801	0.8620	0.6539	0.8464



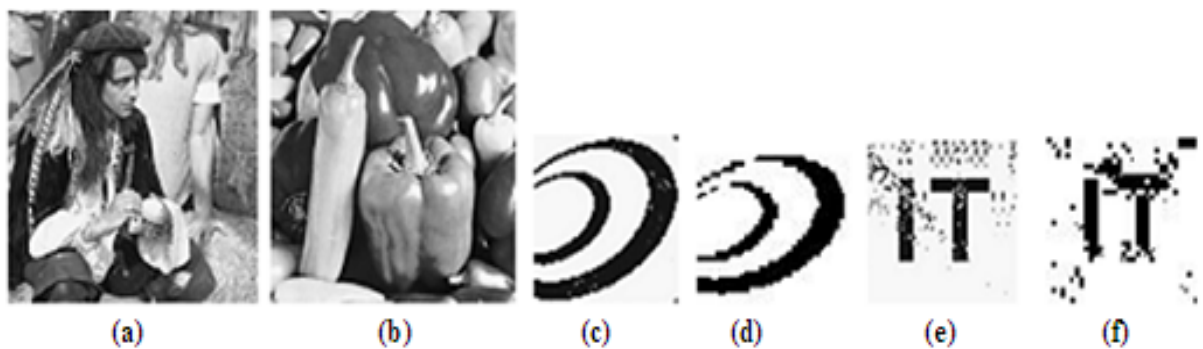
شکل ۱۱: (b) تصاویر نشانه‌گذاری شده بعد از چرخش تصویر (e) نشانه‌های استخراج شده به روش [9] (f) نشانه‌های استخراج شده به روش پیشنهادی

نتایج تصویری نشان از برتری روش پیشنهادی نسبت به روش مورد مقایسه دارد، این حقیقت را می‌توان از جدول ۳ که نشان دهنده ضریب همبستگی نشانه‌های استخراجی بعد از هجومهای مختلف است مشاهده کرد.

به منظور تست مقاومت روش پیشنهادی در برابر حملات مرسوم پردازش تصویر و مقایسه با روش [9]، هجومهای افزایش کنتراست و تنظیم هیستوگرام بر روی تصاویر نشانه‌گذاری اعمال شد که به ترتیب در شکل‌های ۱۲ و ۱۳ نشان داده شده‌اند.



شکل ۱۲: (b) تصاویر نشانه‌گذاری شده بعد از افزایش کنتراست (e) نشانه‌های استخراج شده به روش [9] (f) نشانه‌های استخراج شده به روش پیشنهادی



شکل ۱۳: (b) تصاویر نشانه‌گذاری شده بعد از تنظیم هیستوگرام (e) نشانه‌های استخراج شده به روش [9] (f) نشانه‌های استخراج شده به روش پیشنهادی

فرکانسی مرحله آخر تجزیه برای تعبیه نشانه بهره می‌گرفت. تعبیه با تغییر مقادیر منحصر به فرد زیرباندهای فرکانسی تصویر مرجع به وسیله مقادیر منحصر به فرد زیرباندهای فرکانسی تصویر نشانه صورت می‌گیرد. کارایی روش پیشنهادی به وسیله هجومهای مختلف هندسی و غیر هندسی مورد بررسی قرار گرفت که نتایج شبیه

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله، یک روش جدید نیمه‌کور برپایه تبدیل موجک گسسته با استفاده از تبدیل SVD ارائه گردید که از تمامی زیر باندهای

سازیهای مختلف نشان دهنده برتری روش پیشنهادی از لحاظ شفافیت (PSNR بالا) و مقاومت (ضریب همبستگی بالا) نسبت به روش [۹] می‌باشد.

مراجع

- [8] A. Sverdllov, S. Dexter, A. M. Eskicioglu, "Robust DCT-SVD domain image watermarking for copyright protection: embedding data in all frequencies", 2005.
- [9] G. Bhatnagar, B. Raman, "A new robust reference watermarking scheme based on DWT-SVD" Computer Standards & Interfaces, Vol. 31, pp. 1002-1013, 2009.
- [10] G.H. Golub, W. Kahan, "Calculating the singular values and pseudo-inverse of a matrix" Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics: Series B, Numerical Analysis Vol. 2, No. 2, pp. 205-224, 1965.
- [11] E. Ganic and A. M. Eskicioglu, "Robust embedding of visual watermarks using DWT-SVD" Journal of Electronic Imaging, Vol. 14, No. 4, 2005.
- [12] P. Bao and Ma. Xiaohu, "Image adaptive watermarking using wavelet domain singular value decomposition" IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, Vol. 15, No. 1, pp. 96-102, 2005.
- [13] K. Konstantinides, G. S. Yovanof, "Improved compression performance using SVD-based filters for still images," SPIE Proceedings, Vol. 2418, San Jose, CA, February 7-8, pp. 100-106, 1995.
- [14] K. Konstantinides, B. Natarajan and G. S. Yovanof, "Noise Estimation and Filtering Using Block-Based Singular Value Decomposition" IEEE Transactions on Image Processing, pp. 479-483, 1997.
- [1] A.G. Bors and I. Pitas, "Image watermarking using DCT domain constraints," Proceeding of IEEE International Conference on Image Processing, vol. 3, pp. 231-234, 1996.
- [2] R.G.V. Schyndle, A.Z. Tirkel and C.F. Osbrone, "A digital watermark," Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing, vol. 2, pp. 86-90, 1994.
- [3] M. S. Raval, P. P. Rege, Discrete wavelet transform based multiple watermarking scheme, Conference on Convergent Technologies for Asia-Pacific Region, vol. 3, 2003, pp. 935 - 938.
- [4] W. H. Lin, Y. R. Wang, S. J. Horng, A wavelet-tree-based watermarking method using distance vector of binary cluster, Expert Systems with Applications 36(2009), 9869-9878.
- [5] R. Liu and T. Tan, "A SVD-based watermarking Scheme for protecting rightful ownership" IEEE Transactions on Multimedia, Vol. 4, No. 1, pp. 121-128, March 2002.
- [6] Q. Li, C.Yuan and Y.Z. Zong, "Adaptive DWT-SVD domain image watermarking using human visual model," ICACT-2007, pp. 1947-1951, 2001.
- [7] E. Ganic, A. M. Eskicioglu, Robust DWT-SVD domain image watermarking: embedding data in all frequencies, ACM Multimedia and Security Workshop 2004, Magdeburg, Germany, 2004, pp. 20-21.

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۰۳/۱۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۰۶/۱۹

کنترل مود لغزشی برای ازدحام در شبکه های TCP/IP

روح اله برزمینی*
مسعود شفیعی**

* دانشجوی دکتری، دانشکده‌ی مهندسی برق، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

**استاد تمام، دانشکده‌ی مهندسی برق، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

چکیده

پدیده ازدحام یکی از مشکلات مهم پیش روی طراحان شبکه های کامپیوتری است و در سالهای اخیر باعث کاهش کارایی شبکه‌ها شده است. تاکنون روش‌های مختلفی به منظور پیشگیری و کنترل این پدیده پیشنهاد شده‌اند که بر اساس تئوری کنترل می‌باشند. بدین منظور می‌توان ساختار حلقه بسته فرایند انتقال داده‌ها در شبکه‌های کامپیوتری را بدین صورت در نظر گرفت که در آن، کنترل‌کننده‌ای از خانواده مدیریت پویای صف^۱ (AQM) به منظور پیاده سازی در مسیر یاب‌های شبکه طراحی شده و بقیه شبکه از دید مسیر یاب، به عنوان سیستم هدف کنترل یا پلنت تعریف می شود. در زمینه‌ی طراحی کنترل‌کننده AQM، تحقیقات بسیاری صورت گرفته است و کنترل‌کننده‌های متعددی طراحی شده است. در این مقاله کنترل مود لغزشی بعنوان کنترل‌کننده AQM معرفی شده است. کنترل مود لغزشی در مقابل نامعینی‌های مدل‌سازی و اغتشاشات وارد شده تا حدود زیادی مقاوم است. در کنترل مود لغزشی، مسیرهای حالت باید به یک سطح از پیش تعریف شده (سطح لغزش)، در یک مدت زمان محدود رسیده و در طول زمان در همان سطح باقی بمانند. حرکت بر روی سطح لغزش، مستقل از نامعینی‌ها می‌باشد؛ لذا این تکنیک یکی از روش‌های کنترل مقاوم می‌باشد. بعد از پیاده سازی کنترل مود لغزشی بر روی مدل شبکه، به کمک نرم افزار Matlab نحوه رفتار شبکه را در حضور این

کنترل کننده مورد بررسی قرار گرفته شد و نتایج بدست آمده با نتایج حاصل از چند کنترل کننده دیگر مقایسه گردید. **کلیدواژگان:** کنترل ازدحام، مدیریت پویای صف، کنترل مود لغزشی، TCP/IP.

۱- مقدمه

امروزه اکثر شبکه های کامپیوتری بزرگ و اغلب سیستم های عامل موجود از پروتکل TCP/IP، استفاده می نمایند. اینترنت بعنوان بزرگترین شبکه موجود، از پروتکل فوق بمنظور ارتباط دستگاه های متفاوت استفاده می نماید. به دلیل ظرفیت محدود بافر مسیریاب ها و محدودیت پهنای باند، در هنگامی که درخواست سرویس در شبکه افزایش می یابد منابع شبکه قادر به پاسخگویی نخواهند بود و اگر روش مناسبی برای تنظیم و مدیریت ترافیک وجود نداشته باشد ممکن است شبکه به کلی ناپایدار شود. در این شرایط طول صف تشکیل شده در مسیریاب ها -که متشکل از بسته هایی است که می خواهند از آن مسیریاب/گلوگاه عبور کنند- آنقدر بزرگ می شود که تأخیر رسیدن بسته ها به مقصد از حد مجاز بیشتر می شود، حتی ممکن است شرایطی پیش آید که دیگر هیچ بسته داده ای به مقصد نرسد. پس مسأله پایدارسازی طول صف در یک مقدار از پیش تعیین شده از اهمیت بالایی برخوردار است. به دلیل توانایی ذاتی علم کنترل در بحث پایدارسازی، ورود آن به حیطه کنترل ترافیک در شبکه های مخابراتی طبیعی به نظر می

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات (barzamini@aut.ac.ir)

1. Active Queue Management (AQM)

- یک کنترل کننده AQM که نرخ رسیدن بسته‌ها به صف مسیر یاب را با به دست آوردن احتمال انداختن بسته‌ها به عنوان سیگنال کنترلی، کنترل می‌کند.

- متغیر کنترلی که می‌تواند طول صف یا نرخ داده رسیده به مسیر یاب باشد و با q نمایش داده می‌شود.

- طول صف/نرخ داده مطلوب در هر مسیر یاب (ورودی مرجع) که با q_{ref} نمایش داده می‌شود.

- سیگنال پس خورد که نمونه‌گیری شده خروجی (طول صف) است و برای محاسبه ترم خطا به کار می‌رود.

از این رو، برای کنترل چنین سیستمی ابتدا باید مدل مناسبی از پلنت به دست آید و سپس بر این اساس، کنترل کننده AQM طراحی شود.

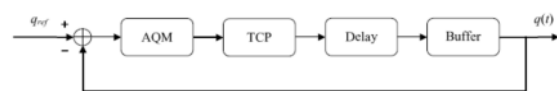
یکی از تکنیک‌های کنترلی که امروزه بیشتر مورد توجه قرار گرفته، کنترل مود لغزشی است؛ چرا که این تکنیک در مقابل نامعینی‌های مدل‌سازی و اغتشاشات وارد شده تا حدود زیادی مقاوم است. در کنترل مود لغزشی، مسیرهای حالت باید به یک سطح از پیش تعریف شده (سطح لغزش)، در یک مدت زمان محدود رسیده و در طول زمان در همان سطح باقی بماند. حرکت بر روی سطح لغزش، مستقل از نامعینی‌ها می‌باشد؛ لذا این تکنیک یکی از روش‌های کنترل مقاوم می‌باشد. با استفاده از یک مدل مرتبه پایین‌تر، سطح لغزش به گونه‌ای طراحی می‌شود که اهداف کنترل بدست آید [۸،۷]. در این مقاله، ابتدا مدل شبکه های TCP/IP ارائه می‌شود. سپس به بررسی کنترل مود لغزشی در مورد یک سیستم مرتبه دوم نمونه می‌پردازیم. در بخش چهارم، کنترل مود لغزشی را بر روی شبکه TCP/IP پیاده سازی کرده و نتایج بدست آمده را با نتایج حاصل از چند کنترل کننده دیگر مقایسه می‌کنیم.

۲- دینامیک شبکه در فاز اجتناب از ازدحام

در سال‌های اخیر چندین مدل ریاضی از شبکه‌های متشکل از شارهای TCP که روش‌های مدیریت پویای صف را پشتیبانی می‌کنند، پیشنهاد شده است، که می‌توان از آنها برای طراحی و آنالیز روش‌های مدیریت پویای صف مبتنی بر مبنای تئوری کنترل استفاده نمود. یکی از معروف‌ترین این مدل‌ها، مدل مطرح شده در [۹] و فرم ساده شده آن در [۴] است. این مدل متشکل

رسد. اصولاً مهمترین بحث در حیطه تئوری کنترل همین پایداری و پایداری‌سازی سیستم‌های دینامیکی است. از آنجا که شبکه‌های مخابراتی را می‌توان به صورت یک سیستم دینامیکی مدل نمود، علم کنترل در این زمینه توانسته بسیار مشکل گشا باشد.

تاکنون روش‌های مختلفی به منظور پیشگیری و کنترل پدیده ازدحام پیشنهاد شده‌اند که عمدتاً روش‌های شهودی می‌باشند [۱،۲]. در کنار این روش‌ها، از اواخر دهه ۱۹۹۰ میلادی، ایده به کارگیری مفاهیم تئوری کنترل در حل مسائل کنترل ازدحام مورد توجه قرار گرفته است، که هدف از آن‌ها استفاده از ابزارهای موجود در مهندسی کنترل به منظور تحلیل و طراحی کنترل‌کننده‌های ازدحام مناسب برای شبکه‌ها به عنوان سیستم‌های حلقه بسته است [۳]. به طور کلی، برای حل این مساله با نگرش سیستمی و استفاده از تئوری کنترل می‌توان ساختار حلقه بسته فرایند انتقال داده‌ها در شبکه‌های کامپیوتری را بدین صورت در نظر گرفت که در آن، کنترل‌کننده‌ای از خانواده مدیریت پویای صف به منظور پیاده سازی در مسیر یاب‌های شبکه طراحی شده و بقیه شبکه از دید مسیر یاب، به عنوان سیستم هدف کنترل یا پلنت تعریف می‌شود [۴،۵،۶]. در این روش‌ها، دینامیک شار در TCP و AQM بر حسب تئوری کنترل به صورت یک سیستم دارای پس خورد، مدل و آنالیز می‌شوند (شکل (۱)). سپس با استفاده از تئوری کنترل، الگوریتم‌های AQM برای افزایش سرعت پاسخ (کارایی کوتاه مدت) و بهبود پایداری و مقاوم بودن (کارایی بلند مدت) در کنترل رفتار ازدحام در شبکه طراحی می‌شوند. این اهداف اغلب با تنظیم طول هدف صف حول یک مقدار مطلوب به دست می‌آید.



شکل (۱) دیاگرام بلوکی یک سیستم TCP/AQM

اجزای این مدل عبارتند از:

- یک پلنت که مبین مجموعه‌ای از زیر سیستم‌هایی مانند منابع TCP، مسیر یاب‌ها و گیرنده‌های TCP می‌باشد، که به ترتیب کار ارسال، پردازش، مسیریابی و دریافت بسته‌های TCP را انجام می‌دهند.

است. در غیر این صورت، می‌توان با یک تبدیل ساده، نقطه تعادل را در مبدا قرار داد. فرض کنید قانون کنترلی را طراحی کرده‌ایم که حرکت سیستم را به سطح لغزش $s = wx_1 + x_2$ محدود می‌سازد. در این سطح، حرکت سیستم با معادله $\dot{x}_1 = -wx_1$ هدایت خواهد شد. با انتخاب $w > 0$ ، حرکت $x(t)$ به سمت صفر تضمین شده خواهد بود. توجه کنید که سرعت همگرایی را می‌توان با انتخاب w کنترل نمود. حرکت بر روی سطح لغزش s ، مستقل از h و g خواهد بود. سوال اساسی این است که چگونه می‌توان مسیرهای حالت را به سطح $s = 0$ رساند و در آنجا نگه داشت؟

قانون پایداری لیپانوف را می‌توان در پاسخ به پرسش فوق به کار گرفت. بنا به قانون لیپانوف، باید یک تابع کاندید معین مثبت تعریف کرده و مشتق آن را کوچکتر از صفر قرار دهیم. بدین وسیله می‌توان به یک قانون کنترلی رسید که رفتن به سطح لغزش و ماندن در آنجا را تضمین می‌کند. مثلاً فرض کنید تابع معین مثبت زیر را به عنوان تابع لیپانوف تعریف کنیم:

$$V = \frac{1}{2}\rho s^2 + \varepsilon |s| \quad (4)$$

که در آن ρ و ε اعداد ثابت مثبت است. بنابراین داریم:

$$\dot{V} = \rho \dot{s}s + \varepsilon \dot{s} \operatorname{sgn}(s) = \dot{s}[\rho s + \varepsilon \operatorname{sgn}(s)] \quad (5)$$

لذا برای این که تابع فوق منفی شود می‌توان فرض کرد:

$$s = -\frac{1}{\rho}[\dot{s} + \varepsilon \operatorname{sgn}(s)] \rightarrow \dot{V} = -\dot{s}^2 \quad (6)$$

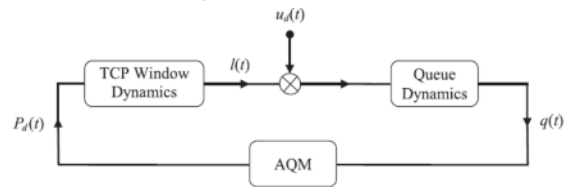
با در نظر گرفتن این که
 $s = wx_1 + x_2 = wx_2 + h(x) + g(x)u$
 صورت زیر بدست می‌آوریم:

$$s = -\frac{1}{\rho}[wx_2 + h(x) + g(x)u + \varepsilon \operatorname{sgn}(s)]$$

$$\rightarrow u = \frac{1}{g(x)}[-\rho s - wx_2 - h(x) - \varepsilon \operatorname{sgn}(s)] \quad (7)$$

با اعمال سیگنال کنترل فوق می‌توان انتظار داشت که سیستم به حالت تعادل پایدار رسیده و بر روی سطح لغزش از پیش تعریف شده حرکت نماید. ولی سرعت حرکت به سمت نقطه تعادل و مقدار سیگنال کنترل مقادیری نامعلوم هستند. یک صفحه فاز^۳ نمونه تحت کنترل مود لغزشی در شکل (۳) نشان داده شده است.

از دو معادله دیفرانسیل تاخیردار است که براساس آنالیز شار-سیالی و معادلات دیفرانسیل تصادفی به دست آمده است. پس از آن، این مدل بهبود داده شده است تا اثر شارهای غیر پاسخگو را نیز در بر بگیرد. شکل (۲)، دیاگرام بلوکی این مدل را برای حالت وجود یک صف در ورودی خط گلوگاه نشان می‌دهد، که با شارهای TCP همسان و طولی‌المدت و شارهای کوتاه مدت و غیرپاسخگو u تغذیه می‌شود. شارهای غیرپاسخگو عمدتاً شامل شارهای کوتاه مدت TCP و شارهای UDP^۱ هستند. همانطور که از شکل (۲) مشخص است، شارهای طولی‌المدت تحت کنترل مستقیم پویای صف قرار دارند؛ در حالی که، اثر این کنترل بر شارهای غیر پاسخگو، غیر مستقیم است.



شکل ۲: مدل دینامیکی کنترل ازدحام TCP به همراه AQM

بر اساس توضیحات داده شده، معادله دیفرانسیل توصیف‌کننده رفتار یک شار طولی‌المدت (در استراتژی افزایش جمع شونده - کاهش ضربی) برای شبکه TCP به صورت زیر است [۴]:

$$\dot{W}(t) = \frac{1}{R(t)} - \frac{W(t)W(t-R(t))}{2R(t-R(t))} p(t-R(t))$$

$$\dot{q}(t) = \begin{cases} -C(t) + \frac{N(t)}{R(t)}W(t), & q > 0 \\ \max(0, -C(t) + \frac{N(t)}{R(t)}W(t)) & q = 0 \end{cases} \quad (1)$$

که در آن، W اندازه پنجره ازدحام بر حسب بسته، $R = q/C + T_p$ زمان مسافت چرخشی بر حسب ثانیه و p احتمال انداخته شدن یا علامت‌گذاری شدن بسته‌هاست. همچنین q و C به ترتیب عبارتند از طول صف در مسیر یاب میانی مربوط به خط گلوگاه (بر حسب بسته).

۳- کنترل مود لغزشی استاندارد

سیستم مرتبه دو زیر را در نظر بگیرید [۸]:

$$\dot{x}_1 = x_2$$

$$\dot{x}_2 = h(x) + g(x)u \quad (2)$$

که h و g توابع غیرخطی نامعلوم بوده و داریم:

$$g(x) \geq g_0 > 0 \quad \forall x \quad (3)$$

هدف یافتن یک قانون فیدبک حالت است به گونه‌ای که مبدا پایدار گردد (فرض می‌کنیم که مبدا نقطه تعادل سیستم فوق

2. Sliding Surface (or Manifold)
 3. Phase Portrait

1. User Datagram Protocol (UDP)

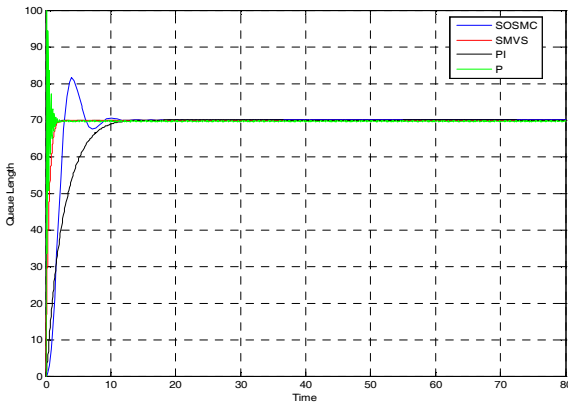
معلوم باشد. $p(t-R(t))$ احتمال دور ریختن بسته است و یا عبارتی سیگنال کنترلی می باشد.

۵- شبیه سازی و مقایسه

برای مقایسه روش پیشنهادی با روشهای قبلی دو سناریوی مختلف در محیط شبیه سازی MATLAB در این مقاله آورده شده است.

سناریوی اول

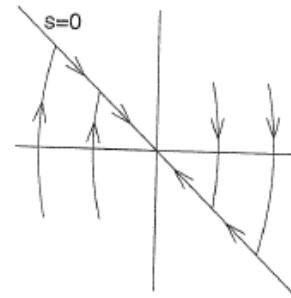
شبکه ای با پارامترهای $N=60$ جریان، $C=3750$ Packets/s، $R_0=0.246s$ و صف مطلوب ۷۰ بسته، مانند [۴] در نظر بگیرد. حال کنترل کننده بدست آمده در این مقاله را با شرایط بالا شبیه سازی کرده و نتایج را با چند کنترل کننده دیگر مقایسه خواهیم کرد. نتایج را با کنترل کننده مود لغزشی مرتبه دوم و کنترل کننده های P و PI از مرجع [۴] مقایسه می کنیم.



شکل ۴: مقایسه پاسخهای به کنترل کننده های مختلف

همانطور که در شکل (۴) دیده می شود، کنترل کننده P دارای سریعترین و در عین حال نوسانی ترین پاسخ می باشد. البته می توان با کم کردن مقدار بهره، میزان نوسانات را تا حدودی کاهش داد، ولی این کار باعث کاهش سرعت و حتی نرسیدن به تعداد صف مطلوب می شود. بعد از کنترل کننده P، کنترل کننده مود لغزشی استاندارد (SMVS) دارای سریعترین پاسخ و بدون فرابجهش است. سرعت بالای آن به خاطر نوع طراحی آن است که برای رسیدن به حالت ماندگار، سوئیچ های زیادی انجام می دهد و اثر این سوئیچ ها در سیگنال کنترلی به راحتی قابل مشاهده است.

کنترل کننده های مود لغزشی مرتبه دوم (SOSMC) و PI دارای پاسخ های نسبتاً کندتری هستند و در حدود ۱۵ ثانیه به حالت ماندگار می رسند. علت این پاسخ کند به خاطر انتگرال گیری است که در هر دو کنترل کننده به کار گرفته شده است.



شکل ۳: یک صفحه فاز نمونه تحت کنترل مود لغزشی [۸]

۴- طراحی کنترل مود لغزشی

حال بمنظور طراحی کنترل مود لغزشی استاندارد برای سیستم TCP با انتخاب مدل بیان شده در معادله شماره (۱) و $x_2 = \dot{x}_1$ و $x_1 = q(t) - q_0$ بعنوان حالت های سیستم، می توان سطح لغزش را به صورت زیر انتخاب کرد:

$$s(t) = x_1 + \dot{x}_1 = 0 \quad (8)$$

$$V(t) = \frac{1}{2}s^2(t), \quad \dot{V}(t) < 0 \Rightarrow s(t)\dot{s}(t) < 0 \quad (9)$$

حال بمنظور طراحی یک کنترل کننده مقاوم فرض می کنیم:

$$\dot{s}(t) = -k_1 s - k_2 \text{sgn}(s) \quad (10)$$

جایی که k_1 و k_2 پارامترهای طراحی هستند.

$$\dot{x}_1 = -x_1 - k_1 s - k_2 \text{sgn}(s) \Rightarrow$$

$$\ddot{x}_1 = \ddot{q} = -\dot{x}_1 - k_1 s - k_2 \text{sgn}(s) \quad (11)$$

با جایگذاری $\ddot{q}(t)$ از رابطه (۷) **Error! Reference source not found.**

$$\ddot{q}(t) = -\dot{C}(t) + \frac{\dot{N}(t)}{R(t)}W(t) - \frac{N(t)\dot{R}(t)}{R^2(t)}W(t) + \frac{N(t)}{R(t)}\dot{W}(t) \quad (12)$$

با جایگذاری $\ddot{q}(t)$ از رابطه (۱۲):

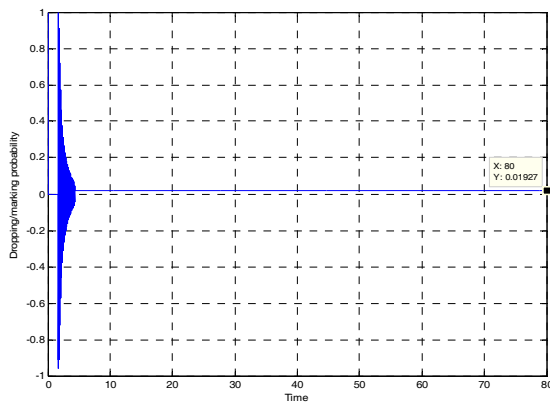
$$\frac{N(t)}{R(t)}\dot{W}(t) = \dot{C}(t) - \frac{\dot{N}(t)}{R(t)}W(t) + \frac{N(t)\dot{R}(t)}{R^2(t)}W(t) - \dot{x}_1 - k_1 s - k_2 \text{sgn}(s) \quad (13)$$

با جایگذاری $\dot{W}(t)$ از رابطه (۷):

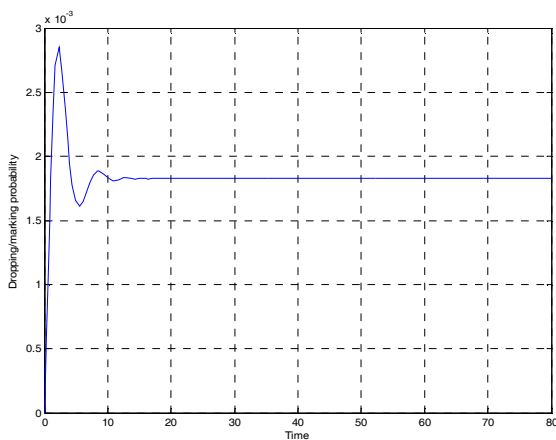
$$\frac{1}{R(t)} - \frac{W(t)W(t-R(t))}{2R(t-R(t))} p(t-R(t)) = \frac{R(t)}{N(t)}\dot{C}(t) - \frac{\dot{N}(t)}{R(t)}W(t) + \frac{N(t)\dot{R}(t)}{R^2(t)}W(t) - \dot{x}_1 - k_1 s - k_2 \text{sgn}(s) \quad (14)$$

$$p(t-R(t)) = -\frac{2(R(t)-R(t))}{W(t)W(t-R(t))} \left(-\frac{1}{R(t)} + \frac{R(t)}{N(t)}\dot{C}(t)\right) - \frac{\dot{N}(t)}{R(t)}W(t) + \frac{N(t)\dot{R}(t)}{R^2(t)}W(t) - \dot{x}_1 - k_1 s - k_2 \text{sgn}(s) \quad (15)$$

$\dot{N}(t), \dot{R}(t), \dot{C}(t)$ نامعینی هایی هستند که باید باند بالایی آنها



شکل ۷: سیگنال کنترلی در کنترل کننده SMVS



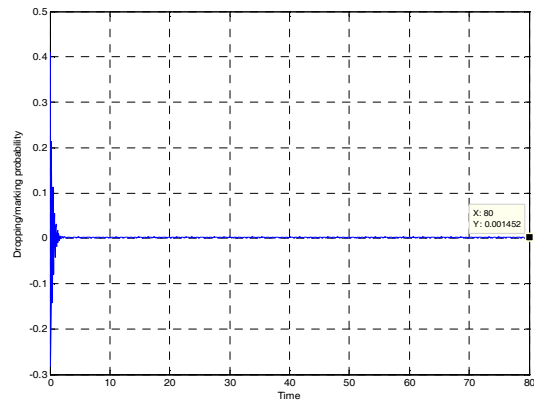
شکل ۸: سیگنال کنترلی در کنترل کننده SOSMC

سیگنال کنترلی در مورد کنترل کننده SOSMC تغییرات و مقدار مطلوبی دارد. در نهایت می‌توان گفت که کمترین میزان نوسان سیگنال کنترلی مربوط به کنترل کننده‌های PI و SOSMC است. مقدار نهایی هر دو سیگنال در حدود 0.002 است ولی کند هستند. سیگنال‌های کنترلی مربوط به کنترل کننده‌های SMVS و P دارای نوسان زیادی هستند ولی سریع هستند.

سناریوی دوم

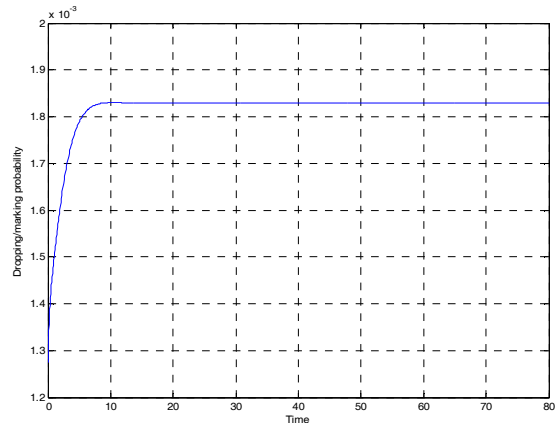
شبکه‌ای با پارامترهای که دارای نامعینی هستند با مقادیر $N = 60 \pm 6$ جریسان، $C = 3750 \pm 375$ Packets/s و $R_0 = 0.246 \pm 0.02$ s را در نظر بگیرید. برای بررسی تاثیر جریان‌های لحظه‌ای در ثانیه ۲۵ یک جریان به اندازه نصف طول صف نامی به شبکه وارد می‌شود. همچنین برای بررسی تاثیر اغتشاش در ورودی به صورت تصادفی 10% به ورودی اضافه و کم می‌کنیم. حال با شرایط فوق سعی بر آن است کنترل کننده مود لغزشی استاندارد پیشنهادی را شبیه‌سازی کرده و نتایج را با چند کنترل کننده دیگر مقایسه کنیم. در شکل زیر

سیگنال‌های کنترلی برای کنترل کننده‌های فوق در شکلهای بعدی آورده شده است.



شکل ۹: سیگنال کنترلی در کنترل کننده P

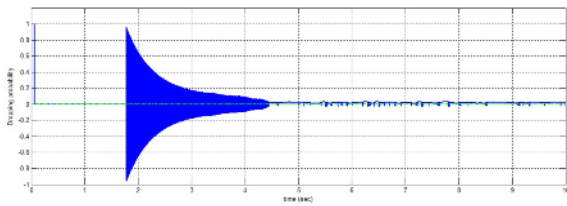
سیگنال کنترلی در مورد کنترل کننده P، دارای نوسانات زیادی در شروع کار است و حتی در لحظاتی منفی نیز می‌شود. علت منفی شدن سیگنال کنترلی آن است که کنترل کننده P تنها از یک بهره تشکیل شده و چنانچه ورودی آن منفی شود، خروجی منفی خواهد شد.



شکل ۱۰: سیگنال کنترلی در کنترل کننده PI

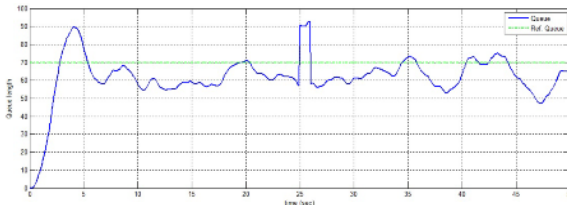
سیگنال کنترلی در مورد کنترل کننده PI مقدار معقول و مناسبی دارد و بدون نوسان در نهایت به حدود 0.002 می‌رسد. علت هموار بودن سیگنال استفاده از یک انتگرال‌گیر است که خطاها را جمع نموده و مانع از تغییرات سریع می‌شود. سیگنال کنترلی در کنترل کننده SMVS نیز با سرعت زیاد همگرا شده است و کارآمدی این کنترل کننده را نشان می‌دهد (شکل (۷)).

در شکل زیر سیگنال کنترلی کنترل کننده مود لغزشی استاندارد آورده شده است.



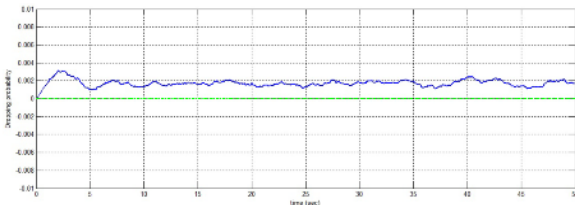
شکل ۱۳: سیگنال کنترلی کنترل کننده مود لغزشی استاندارد

همانطور که در شکل (۱۴) نشان داده شده است، پاسخ کنترل کننده مود لغزشی مرتبه دوم اگرچه با نوساناتی همراه است ولی مناسب است و به طول صف مطلوب رسیده است.



شکل ۱۴: پاسخ کنترل کننده مود لغزشی مرتبه دوم

شکل (۱۵) سیگنال کنترلی کنترل کننده مود لغزشی مرتبه دوم را نشان می دهد.



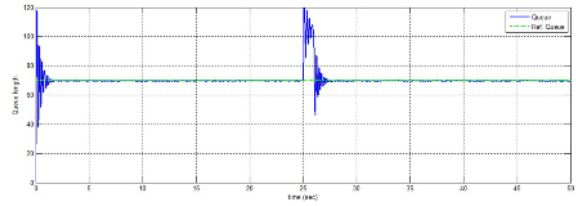
شکل (۱۵) سیگنال کنترلی کنترل کننده مود لغزشی مرتبه دوم

همانطور که دیده می شود که پاسخ کنترل کننده مود لغزشی استاندارد و P مطلوب می باشد و طول صف در زمانی کم به مقدار مطلوب می رسد. پاسخ کنترل کننده مود لغزشی مرتبه دوم (SOSMC) و PI مناسب است. هر چند که هر دو کنترل کننده دارای سیگنال های کنترلی به یک میزان می باشند، ولی پاسخ کنترل کننده PI تا حدودی هموارتر بوده و اثر اغتشاش وارد شده را بهتر دفع می کند.

۶- نتیجه گیری

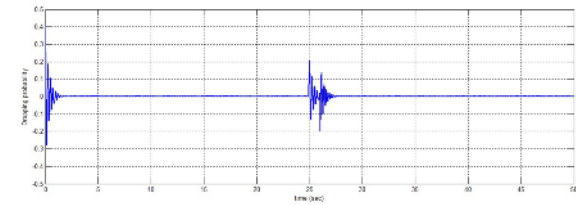
در این مقاله یک کنترل کننده مود لغزشی استاندارد برای یک شبکه TCP/IP ارائه گردید. برای این که کارایی روش پیشنهادی بررسی گردد، نتایج آن را در شرایط متفاوت با کنترل کننده های مختلف مقایسه گردید. کنترل کننده مود لغزشی

نحوه کنترل و نحوه در نظر گرفتن نا معینی ها با کنترل کننده های مختلف آورده شده است.



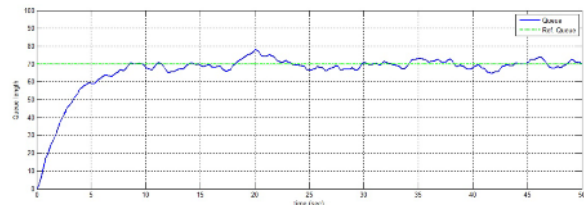
شکل ۹: پاسخ کنترل کننده P

پاسخ کنترل کننده P در شکل (۹) نمایش داده شده است. پاسخ کنترل کننده P مطلوب می باشد و طول صف پس از نوساناتی بزرگ ابتدایی به مقدار مطلوب رسیده است. سیگنال کنترلی کنترل کننده P در شکل زیر نشان داده شده است.



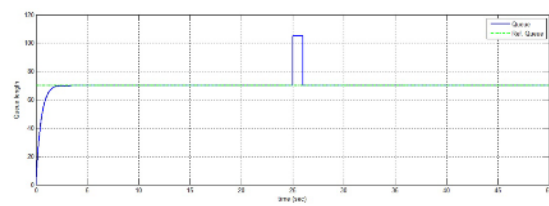
شکل ۱۰: سیگنال کنترلی در کنترل کننده P

کنترل کننده PI دارای پاسخی مناسب است. در شکل (۱۰) پاسخ کنترل کننده PI برای این حالت آورده شده است.



شکل ۱۱: پاسخ کنترل کننده PI

سیگنال کنترلی کنترل کننده PI در شکل (۱۱) آورده شده است. سیگنال کنترلی هیچگاه منفی نمی شود و تغییراتی آرام دارد که نشان دهنده کارایی بالا برای این کنترل کننده می باشد. در شکل (۱۲) پاسخ کنترل کننده مود لغزشی استاندارد آورده شده است. پاسخ کنترل کننده مود لغزشی استاندارد مطلوب می باشد و طول صف در زمانی کم به مقدار مطلوب می رسد. همانطور که ملاحظه می شود در ثانیه ۲۵ ورودی ناگهانی عینا به خروجی انتقال داده شده است.



شکل ۱۲: پاسخ کنترل کننده مود لغزشی استاندارد

- [3] Barzamini R., Shafiee M. (2011). LMI Based Switching Congestion Controller for Multiple Bottleneck Packet Switching Networks. *Journal of American Science*, 2011;7(6), pp. 254-261.
- [4] Holot C.V., Misra V., Towsley D., Gong W.B., Analysis and design of controllers for AQM routers supporting TCP flows, *IEEE Transactions on Automatic Control* 47 (6) (2002) 945-959.
- [5] Barzamini R., Shafiee M. (2011). Adaptive Generalized Minimum Variance Congestion Controller for Dynamic TCP/AQM Networks. Accepted for publication in *Elsevier Journal of Computer Communications (COMCOM)*.doi:10.1016/j.comcom.2011.08.010.
- [6] Fengyuan Ren, Chuang Lin, and Xunhe Yin, "Design a congestion controller based on sliding mode variable structure control," *Computer Communications*, vol. 28, pp. 1050-1061, 2005.
- [7] Zinober, A.S.I., ed (1990). *Deterministic control of uncertain systems*, London: Peter Peregrinus Press. ISBN 978-0863411700.
- [8] Hassan K. Khalil, *Nonlinear Systems*, 3rd ed. New Jersey, Upper Saddle River: Prentice Hall, 2002.
- [9] V. Misra, W.B. Gong, and D. Towsley, "Fluid-based Analysis of a Network of AQM Routers Supporting TCP Flows with an Application to RED", *Proceedings of ACM/SIGCOMM*, pp. 151-160, 2000.

مرتبه دوم از مرجع و کنترل کننده های P و PI را برای این مقایسه استفاده کردیم. نتایج این مقایسه گواه بر کارایی روش پیشنهادی در همه شرایط می باشد. کنترل کننده مود لغزشی استاندارد، در اکثر موارد پاسخهای مطلوب و سریعی داشت. یک کنترل کننده ترکیبی مود لغزشی استاندارد و مرتبه دوم برای یک شبکه TCP/IP می تواند از کا های آینده باشد.

۷- سپاسگزاری

بخش‌هایی از این مقاله با حمایت مرکز تحقیقات مخابرات ایران اجرا شده است؛ از این رو نگارندگان بر خود لازم می‌دانند از پشتیبانی‌های آن مرکز صمیمانه سپاسگزاری کنند.

مراجع

- [1] Nagle J., "Congestion Control in IP/TCP Internetworks", RFC 896, FACC, January 1984.
- [2] Jacobson V., Karels M. J. *Congestion Avoidance and Control* (1988). *Proceedings of the Sigcomm '88 Symposium*, vol.18(4): pp.314-329. Stanford, CA. August, 1988. This paper originated many of the congestion avoidance algorithms used in TCP/IP.

راهنمای نگارش

مقالات فصلنامه علمی - پژوهشی فناوری

اطلاعات و ارتباطات ایران

فصلنامه علمی-پژوهشی «فناوری اطلاعات و ارتباطات ایران»، نشریه‌ای علمی است که با هدف ایجاد ارتباط میان پژوهشگران و اندیشمندان عرصه فناوری اطلاعات و اعتلای سطح دانش نظری این حوزه علمی منتشر می‌شود. این فصلنامه در پی آن است که زمینه‌ای مناسب را برای ارائه آخرین یافته‌های علمی محققان در حوزه‌های مختلف فناوری اطلاعات در داخل و خارج از ایران پدید آورد.

فصلنامه پذیرای مقاله‌هایی است که حاصل پژوهش‌های اصیل نظری، کاربردی و توسعه‌ای در زمینه‌های تخصصی فناوری اطلاعات و فناوری ارتباطات باشد، از این رو از همه پژوهشگران و متخصصان دعوت می‌شود تا نتایج تحقیقات خود را برای انتشار به فصلنامه ارسال کنند. در این خصوص اشاره به نکات زیر ضروری است.

۱- مقاله‌های ارسالی به فصلنامه باید دربرگیرنده نتایج نو در هر یک از حوزه‌های تخصصی فصلنامه باشد و نباید قبلاً در هیچ نشریه دیگری به چاپ رسیده یا به طور همزمان به سایر نشریه‌های داخلی و خارجی برای داوری ارسال شده باشد. شایان ذکر است انتشار مقاله کاملی که خلاصه نتایج آن پیشتر در مجامع علمی ارائه و چاپ شده باشد، بلامانع است.

۲- مقاله‌های ارسالی به فصلنامه باید حاوی مطالب جدید و واجد نتایج، روشها، مفاهیم، کاربردها یا ترکیبی از این موارد باشد.

۳- فصلنامه از مقاله‌های مروری، تحلیلی و توصیفی (با دعوت از صاحب‌نظران برجسته) و نیز نامه به سردبیر (در نقد، تحلیل و تشریح مقاله‌ای خاص) استقبال می‌کند.

۴- مقاله‌ها باید بتوانند اطلاعات کافی را به خواننده منتقل کنند، از این رو لازم است حاوی بخشهای زیر باشند:

الف- عنوان مقاله: گویای اصلی‌ترین نکته و یافته مقاله

(طول عنوان نباید از ۱۵ واژه بیشتر باشد).

ب- مشخصات نویسندگان: شامل نام و نام خانوادگی، شغل، وابستگی سازمانی، نشانی پستی و الکترونیکی.

ج- چکیده: متنی حاوی حداکثر ۲۰۰ واژه که بیانگر نکات اصلی مقاله باشد.

د- کلید واژگان: شامل حداکثر ۵ واژه اصلی که بتواند در نمایه‌گذاری مقاله، ویژگیهای آن را توصیف کند.

ه- بدنه مقاله: شامل مقدمه، تبیین مسئله اصلی تحقیق، روش کاربردی برای حل مسئله و نتایج آن. این بخش باید چنان کامل باشد که خواننده با مطالعه آن به اقتناع علمی دست یابد از سویی لازم است نگارندگان از تطویل کلام بپرهیزند و بخشهای غیر ضروری را از مقاله حذف کنند.

و- مراجع: شامل همه کتابها، مقاله‌ها، گزارشها و صفحه‌های وب مورد استناد در مقاله.

یادآوری ۱: شکلها، جدولها و مراجع باید به ترتیبی که در متن آمده‌اند شماره‌گذاری شود. (عنوان شکل در زیر آن و عنوان جدول در بالای آن ذکر می‌شود).

یادآوری ۲: شیوه نگارش مراجع و ارجاع به آن در متن، مطابق استاندارد نشریات IEEE است.

یادآوری ۳: در مقاله‌های فارسی لازم است همه اصطلاحها، اسامی و اعداد کاربردی در متن مقاله، جدولها و شکلها به زبان فارسی نوشته شود و در صورت نیاز معادل فارسی آن در زیرنویس صفحه آورده شود. مبنای انتخاب معادل فارسی، مصوبات فرهنگستان زبان و ادب فارسی است.

یادآوری ۴: شیوه نگارش فارسی فصلنامه براساس «دستور خط فارسی» مصوب فرهنگستان زبان و ادب فارسی است و نگارندگان لازم است اصول نگارش آن را در مقاله رعایت کنند.

(Corresponding Author) درمقاله ارسالی معلوم

- باشد تا امکان ایجاد ارتباط با نگارندگان فراهم آید.
- ۷- حق نشر مقاله‌ها برای فصلنامه محفوظ است؛ از این رو ضروری است نویسنده عهده‌دار مکاتبات به نمایندگی از همه نویسندگان «مجوز حق انتقال نشر» را امضا کند، در غیر این صورت فصلنامه از چاپ مقاله پذیرفته شده معذور است.
- ۸- هر مقاله پس از بررسی سردبیر به سه داور ارسال می‌شود. جمع‌بندی نظریات داوران برعهده سردبیر فصلنامه است. فصلنامه حق پذیرش، ویرایش یا رد مقاله‌ها را برای خود محفوظ می‌دارد.
- ۹- فصلنامه متعهد می‌شود در ازای چاپ هر مقاله، تعداد پنج نسخه از بازچاپ مقاله (یا پنج نسخه از مجله) را برای نویسنده عهده‌دار مکاتبات ارسال کند. ضمناً دسترسی به نسخه الکترونیکی مقاله برای همه نویسندگان مقاله امکان‌پذیر خواهد بود.

۵- مقاله‌های دریافتی به هر دو زبان فارسی و انگلیسی قابل پذیرش است. فصلنامه شماره‌های ویژه‌ای را به مقاله‌های انگلیسی زبان اختصاص خواهد داد. به هر حال همه مقاله‌ها (خواه فارسی، خواه انگلیسی) باید دارای چکیده دو زبانه باشد.

۶- لازم است نگارندگان مقاله خود را در محیط MS-Word به صورت دو ستونه، با فاصله خطوط ۱ (Single) و با قلم بی‌لوتوس (B Lotus) ۱۱ (برای مقاله فارسی) و Times New Roman 11 (برای مقاله انگلیسی) و با رعایت حاشیه بالا ۳ سانتی‌متر، پایین ۱ سانتی‌متر، چپ ۲٫۵ سانتی‌متر، راست ۲٫۵ سانتی‌متر و با توجه به نکات بند ۴، آماده و به دفتر نشریه ارسال کنند. (در ضمن در صورت امکان، PDF آن را نیز ارسال شود).

یادآوری: ضروری است نشانی کامل پستی و الکترونیکی و نیز شماره تلفن نویسنده عهده‌دار مکاتبات

معرفی انجمن فناوری اطلاعات و ارتباطات ایران

اهداف

- انجمن فناوری اطلاعات و ارتباطات ایران در سال ۱۳۸۳ با اهداف زیر تشکیل گردید:
- ایجاد ارتباط با پژوهشگران و افراد خبره در حوزه‌های مرتبط با فناوری اطلاعات (IT)، فناوری ارتباطات (CT) و فراهم نمودن زمینه‌های شناسایی و همکاری مشترک بین آنها.
 - همکاری با نهادهای اجرائی، علمی و پژوهشی مرتبط با فناوری اطلاعات و ارتباطات، اقدام در جهت پیوند و همکاری دستگاههای اجرائی با مجموعه‌های علمی - تحقیقاتی.
 - توسعه فرهنگ استفاده مطلوب از توانمندیهای فناوری اطلاعات و ارتباطات.
 - ارزیابی و تحلیل عوامل رشد کشورهای مشابه دیگر و استفاده مطلوب از تجربیات دیگران در توسعه کشور درحوزه ارتباطات و فناوری اطلاعات.

برنامه‌ها

- انجمن به منظور تحقق اهداف خود، برنامه‌های زیر را در اولویت فعالیتهايش قرار داده است.
- ایجاد و تقویت ارتباط علمی، پژوهشی و آموزشی در سطوح ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی.
 - برگزاری همایشهای علمی در سطح ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی.
 - ایجاد تسهیلات برای نشر نتایج آخرین دستاوردهای علمی و پژوهشی مرتبط با نیازهای کشور درحوزه ارتباطات و فناوری اطلاعات (انتشار کتب و نشریات علمی).
 - برگزاری کارگاههای تخصصی درحوزه ارتباطات و فناوری اطلاعات.

برنامه‌ریزی فعالیتها

- انتشار خبرنامه انجمن
- تشکیل کمیته‌های تخصصی به منظور تحقق اهداف انجمن
- اقدامات وسیع برای معرفی انجمن در همایشهای علمی، سازمانهای اجرائی و دانشگاهها
- انتشار نشریه علمی - پژوهشی ICT
- همکاری در برگزاری همایشهای علمی از قبیل سومین کنفرانس بین‌المللی فناوری اطلاعات و دانش (IKT)
- تشکیل جلسات با مسئولین مملکتی ذیربط جهت شناساندن اهداف انجمن و مشخص شدن نحوه همکاری

کمیته‌های تخصصی انجمن

- کمیته پذیرش و اطلاع‌رسانی
- کمیته آموزش
- کمیته پژوهش
- کمیته مالی و پشتیبانی
- کمیته ارتباط صنعت دانشگاه
- کمیته جامعه اطلاعاتی

از کلیه اندیشمندان، اساتید دانشگاه، پژوهشگران و سایر علاقه‌مندان در حوزه ارتباطات و فناوری اطلاعات دعوت می‌شود با عضویت در انجمن، ما را در تحقق اهداف والای آن یاری نمایند.

نشانی دبیرخانه: تهران - خیابان حافظ - دانشگاه صنعتی امیرکبیر - ساختمان ابوریحان - طبقه ششم - اتاق ۶۱۲

تلفن: ۰۲۱-۶۶۴۸۵۸۵۶، تلفکس: ۰۲۱-۶۶۴۹۵۴۳۳

برگه اشتراک



هزینه اشتراک

هزینه اشتراک یکساله:	پست عادی: ۱۲,۰۰۰ تومان	پست پیشتاز: ۱۶,۰۰۰ تومان
هزینه اشتراک دوساله:	پست عادی: ۲۰,۰۰۰ تومان	پست پیشتاز: ۲۸,۰۰۰ تومان

اطلاعات متقاضی

• حقیقی:

نام و نام خانوادگی: سمت:

رشته و مقطع تحصیلی: نام محل تحصیل:

• حقوقی:

نام شرکت / سازمان: نام متقاضی:

سمت:

تعداد نسخه درخواستی از هر شماره:

نسخه شروع اشتراک از شماره:

اشتراک جدید تمدید اشتراک

(شماره اشتراک قبلی:)

نشانی

آدرس:

استان: شهر: کدپستی:

تلفن: همراه: پست الکترونیک:

از علاقه‌مندان به اشتراک فصلنامه فناوری اطلاعات و ارتباطات ایران درخواست می‌نماییم برگ اشتراک را به دقت و با خط خوانا تکمیل نموده و وجه اشتراک را براساس تعرفه، به شماره حساب ۶۲۶۱۰۸۷۵ بانک تجارت، شعبه فلسطین، کد ۱۸۵ به نام انجمن فناوری اطلاعات و ارتباطات ایران واریز نموده و اصل فیش بانکی و فرم اشتراک را به یکی از دو شیوه زیر برای ما ارسال نمایند.

۱- از طریق دورنگار با شماره ۶۶۴۹۵۴۳۳-۰۲۱

۲- از طریق پست به آدرس: تهران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ساختمان ابوریحان، طبقه ششم، اتاق ۶۱۲

- اعضای انجمن از ۲۰ درصد تخفیف برخوردار می‌شوند.
- خواهشمند است، مشترکان محترم در صورت تغییر نشانی، امور مشترکین را مطلع فرمایند.
- باتوجه به اینکه تنها عدم وصول مجلاتی که به صورت پیشتاز ارسال می‌شوند قابل پیگیری است لذا توصیه می‌شود از خدمات پست پیشتاز استفاده شود.



«فرم درخواست عضویت حقیقی»

لطفاً در این قسمت چیزی ننویسید

شماره عضویت:

۱- مشخصات فردی:

نام خانوادگی:

نام:

نام خانوادگی (به انگلیسی):

نام (به انگلیسی):

روز ماه سال

جنس: مرد زن تاریخ تولد:

شماره ملی: شماره شناسنامه: محل تولد: سمت:

۲- سوابق تحصیلی:

آخرین مدرک تحصیلی: دکتری کارشناسی ارشد سایر (نام ببرید):

رشته تحصیلی: فناوری اطلاعات مهندسی برق مهندسی کامپیوتر مهندسی صنایع علوم اجتماعی اطلاع‌رسانی و کتابداری سایر رشته‌های

مرتبط (نام ببرید):

۴- نوع عضویت:

پیوسته وابسته دانشجویی

۵- حق عضویت:

حق عضویت سالانه

نوع عضویت	پیوسته	وابسته	دانشجویی
مبلغ	۱۰۰,۰۰۰ ریال	۱۰۰,۰۰۰ ریال	۳۰,۰۰۰ ریال
شماره حساب: حساب جاری ۶۲۶۱۰۸۷۵ بانک تجارت، شعبه فلسطین، کد ۱۸۵			

۶- نشانی محل کار (تحصیل):

تلفن ثابت: تلفن همراه: شماره:

آدرس پست الکترونیکی: آدرس سایت:

امضا:

تاریخ:

* عضویت پیوسته: مؤسسان انجمن و کلیه افرادی که حداقل دارای درجه کارشناسی ارشد در یکی از رشته‌های فناوری اطلاعات، مهندسی برق، علوم و مهندسی کامپیوتر، مهندسی صنایع، علوم

اجتماعی، اطلاع‌رسانی و کتابداری و سایر رشته‌های مرتبط باشند می‌توانند به عضویت پیوسته انجمن درآیند.

* عضویت وابسته: اشخاصی که دارای درجه کارشناسی هستند و مدت ۵ سال به نحوی در یکی از رشته‌های مذکور در بند فوق (عضویت پیوسته) شاغل باشند.

* عضویت دانشجویی: کلیه دانشجویانی که در رشته‌های مندرج شده در بند فوق (عضویت پیوسته) به تحصیل اشتغال دارند.

اعضای حقوقی انجمن در سال ۸۹	
<p>● شرکت بیمه کارآفرین محمدسعید شفیعی: مدیر عامل شماره عضویت: ۸۹۴۳۱۵۱۵۹</p>	<p>● آگاهان ارتباط آریا حسین پهلوانیان: مدیر عامل شماره عضویت: ۸۹۴۲۱۵۱۶۰</p>
اعضای پیوسته انجمن در سال ۸۹	
<p>مهوش عفاقی - وزارت ارتباطات و فناوری اطلاعات شماره عضویت: ۸۹۱۲۱۵۵۳۱</p>	<p>شیده سرائیان - دانشگاه آزاد اسلامی واحد گرگان شماره عضویت: ۸۹۱۱۷۳۵۳۲</p>
<p>محسن شفیعی راد - دانشگاه صنعتی امیرکبیر شماره عضویت: ۸۹۱۲۱۳۵۳۳</p>	<p>سید علیرضا هاشمی گلپایگانی - دانشگاه صنعتی امیرکبیر شماره عضویت: ۸۹۱۲۱۳۵۳۴</p>
<p>مهدی شجری - دانشگاه صنعتی امیرکبیر شماره عضویت: ۸۹۱۲۱۳۵۳۵</p>	<p>شهرام خدیوی - دانشگاه صنعتی امیرکبیر شماره عضویت: ۸۹۱۲۱۳۵۳۶</p>
<p>علیرضا باقری - دانشگاه صنعتی امیرکبیر شماره عضویت: ۸۹۱۲۱۳۵۳۷</p>	<p>حمیدرضا شهریاری کاه کشی - دانشگاه صنعتی امیرکبیر شماره عضویت: ۸۹۱۲۱۳۵۳۸</p>
<p>محمد مهدی عبادزاده - دانشگاه صنعتی امیرکبیر شماره عضویت: ۸۹۱۲۱۳۵۳۹</p>	<p>امیر شهاب شاهمیری - وزارت ارتباطات و فناوری اطلاعات شماره عضویت: ۸۹۱۲۱۳۵۴۰</p>
<p>علیرضا اسماعیلی - دفتر نظارت، ارزیابی برنامه ها و امور مجامع شماره عضویت: ۸۹۱۲۱۲۵۴۱</p>	<p>فریبرز ایرانی - وزارت فناوری اطلاعات و ارتباطات ایرن شماره عضویت: ۸۹۱۲۱۲۵۴۲</p>
<p>سید مهدی حاتمیان - وزارت فناوری اطلاعات و ارتباطات ایران شماره عضویت: ۸۹۱۲۱۲۵۴۳</p>	
اعضای وابسته انجمن در سال ۸۹	
<p>عبدالرضا جان پناه - اداره مخابرات شهرستان گناوه شماره عضویت: ۸۹۳۷۷۳۵۱۶</p>	<p>صارم شیری - وزارت ارتباطات و فناوری اطلاعات شماره عضویت: ۸۹۳۲۱۳۵۱۷</p>
<p>الهه پوریان شماره عضویت: ۸۹۳۲۱۳۵۱۸</p>	

اعضای دانشجویی انجمن در سال ۸۹	
مژده موسویان - دانشگاه اصفهان شماره عضویت : ۸۹۳۳۱۳۵۳۸	علی اصغر صفدری - دانشگاه اصفهان شماره عضویت : ۸۹۳۳۱۳۵۳۹
سید مرتضی فیاضی - دانشگاه اصفهان شماره عضویت : ۸۹۳۳۱۳۵۴۰	روح اله قدیری جاجائی - دانشگاه اصفهان شماره عضویت : ۸۹۳۳۱۳۵۴۱
رضا رئیس زاده دهکردی - دانشگاه اصفهان شماره عضویت : ۸۹۳۳۱۳۵۴۲	محسن ملکشاهی - دانشگاه آزاد اسلامی واحد خرم آباد شماره عضویت : ۸۹۳۶۶۳۵۴۳
پیام گائیدی - دانشگاه آزاد اسلامی واحد خرم آباد شماره عضویت : ۸۹۳۶۶۳۵۴۴	سعید حسین بیگی - دانشگاه آزاد اسلامی واحد خرم آباد شماره عضویت : ۸۹۳۶۶۳۵۴۵
امین میرزامند - دانشگاه آزاد اسلامی واحد خرم آباد شماره عضویت : ۸۹۳۶۶۳۵۴۶	محمد میرزایی فر - دانشگاه آزاد اسلامی واحد خرم آباد شماره عضویت : ۸۹۳۶۶۳۵۴۷
صادق حیدری فراهانی - دانشگاه آزاد اسلامی واحد خرم آباد شماره عضویت : ۸۹۳۶۶۳۵۴۸	هادی زیدی جودکی - دانشگاه آزاد اسلامی واحد خرم آباد شماره عضویت : ۸۹۳۶۶۳۵۴۹
آزاده حقیقت منش - دانشگاه آزاد اسلامی واحد خرم آباد شماره عضویت : ۸۹۳۶۶۳۵۵۰	راضیه سپهوند - دانشگاه آزاد اسلامی واحد خرم آباد شماره عضویت : ۸۹۳۶۶۳۵۵۱
عاطفه جمشیدی - دانشگاه آزاد اسلامی واحد خرم آباد شماره عضویت : ۸۹۳۶۶۳۵۵۲	شکوفه عالی بگی چگنی - دانشگاه آزاد اسلامی واحد خرم آباد شماره عضویت : ۸۹۳۶۶۳۵۵۳
سحر میر عالی - دانشگاه آزاد اسلامی واحد خرم آباد شماره عضویت : ۸۹۳۶۶۳۵۵۴	الهام سپهوند - دانشگاه آزاد اسلامی واحد خرم آباد شماره عضویت : ۸۹۳۶۶۳۵۵۵
حسین فراهانی راد - دانشگاه آزاد اسلامی واحد ساوه شماره عضویت : ۸۹۳۲۵۳۵۵۶	مسعود یحیی آبادی - شرکت سوره شماره عضویت : ۸۹۳۳۱۳۵۵۷

Sliding Mode Controller for TCP Congestion Control

R.Barzamini*⁷

M.Shafiee**

* Ph.D Student, Department of Electrical Engineering, Amirkabir University

** Professor, Department of Electrical Engineering, Amirkabir University of Technology

Abstract

In this paper a new sliding mode controller for congestion problem in TCP networks has been proposed. Congestion occurs due to high network loads. It affects some aspect of network behavior. Congestion control prevents or reduce load in bottle necks and manage traffic. By using control theory, closed loop data transfer processing structure in computer networks can cope with congestion problem. Sliding mode controller can provide robust behavior in presence of uncertainties and disturbances. In sliding mode control, states should be reached to a predefined surface (sliding surface), in limited time and remain on the same surface over time. Moving on the sliding surface is independent of the uncertainties, so this technique is an approach of robust control. After applying controller to the system, stability of the system with controller has been studied by Lyapunov stability approach. Simulation results show the efficiency of the sliding mode controller in different scenarios.

Keywords

Sliding mode control, Congestion control, Active queue management, TCP/IP.

7. Corresponding author (barzamini@aut.ac.ir)

DWT-SVD based semi blind digital image watermarking

M.Makhloughi *¹

H.Daniali **

F.Akhlaghian***

* Kordestan University, Department of Computer Engineering

** Shiraz University of Technology, Department of Electrical Engineering

*** Kordestan University, Department of Computer Engineering

Abstract

With development of digital multimedia technology and rapid growth of internet, illegal copy and exchange of digital multimedia sources is also spread. In such environment, copyright protection plays an essential role. In this paper a new semi blind image watermarking algorithm for proof of ownership is proposed. At first, the original image is transformed to transform domain and the low frequency sub-band is selected to make reference image. Then, 1-level wavelet decomposition is applied to reference and grey-scale watermark images. Finally, the embedding is done by modifying the singular values of reference image's sub-bands with the equivalent singular values of watermark's sub-bands. In the proposed method, the reference image is needed during the extraction process, so it is called semi blind method. Robustness of the proposed method against various attacks that are applied to the watermarked image is investigated. The experimental results show that the proposed method is more robust than previous works against different attacks and the watermarked image looks visually identical to the original image.

Keywords

Discrete Wavelet Transform; Singular Value Decomposition;
Image Watermarking; Semi Blind Watermarking

1. Corresponding author (M.Makhloughi@uok.ac.ir)

Training of MLP Neural Network in images Compression By GSA Method

M. Dehbashian*¹ S.H. Zahiri**

* M.Sc in Electronic Engineering

** Department of Electrical Engineering, Birjand University

Abstract

Image compression is one of important research fields in image processing. Up to now, different methods are presented for image compression. Neural network is one of these methods that has represented its good performance in many application. The usual method in training of neural networks is error back propagation method that its drawbacks are late convergence and stopping in points of local optimum. Lately, researchers apply heuristic algorithms in training of neural networks. This paper introduces a new training method based on the Gravitational Search Algorithm. Gravitational Search Algorithm is latest and newest version of swarm intelligence optimization approaches. In this algorithm, the candidate answers in search space are masses that interact each other by gravitational force and change their positions. Gently, the masses with better fitness obtain more mass and effect on other masses more. In this research, a MLP neural network by GSA method are trained for images compression. In order to efficiency evaluating of the presented compressor, we has compared its performance toward PSO and error back propagation methods in compression of four standard images. the final results show salient capability of the proposed method in training of MLP neural networks.

Keywords

Heuristic Algorithms, Gravitational Search Algorithm, Multi Layer Neural Network, Image Compression.

1. Corresponding author (m.dehbashian@gmail.com)

Blind Correction of Lens Aberration Using Modified Zernike Moments

K. Rahbar *¹

K. Faez **

* Young Researchers club, Islamic Azad University, Tehran-Center

** Amirkabir University of Technology, Electronic Engineering Department

Abstract

The quality of the image formed by an optical system is reduced by aberrations. This paper points out and attempts to correct blind of lens aberration. To this end modified Zernike moments introduced for presenting lens aberration model within which their coefficients are estimated through poly-spectral analysis. The model parameters are divided into asymmetric and symmetric which are estimated through bi-coherence and tri-coherence respectively. The obtained precision compares favorably to the aberration given by state of the art ploy-spectral analysis and reaches a RMSE of 0.1 pixels.

Keywords

Lens aberration, Zernike polynomials, Lens calibration

1. Corresponding author (k.rahbar@srbiau.ac.ir)

title

F. Nourazar *¹

M. Sabaie**

* Azad University of Qazvin

** Amirkabir University of Technology

Abstract

Broadcasting is one of the most fundamental operations in mobile ad hoc networks. Broadcasting serves as a building block in many routing protocols. The simplest approach for broadcasting is flooding. However, it generates many redundant messages that cause to loss of scarce resources such bandwidth and battery powers and it may lead to contention, collision and extreme decrease of network performance. Many schemes have been developed to improve the performance of flooding algorithm that are mainly classified into two basic approaches: deterministic and probabilistic approaches, which the second one is more considered. However, the existing schemes either increase the latency or decrease the reach ability of the algorithm. In this paper, we propose a new scheme to improve the performance of flooding algorithm. The basis of the new method is the probabilistic rebroadcasting based on local observations. In this method, the probability function of each node is adjusted dynamically based on local observations. Simulation results show that the new scheme considerably decrease average latency compared with similar existing schemes while maintaining the reach ability and saving messages.

Keywords

Ad-hoc networks, flooding algorithm, rebroadcast probability, counter-based algorithm.

1. Corresponding author (F.nourazar@gmail.com)

Designing a Fuzzy Expert System for Selecting an Appropriate Contractor in Information Technology Outsourcing

Shaaban Elahi*

Nadia Kalantari^{1**}

Alireza Hasanzadeh*** Ali Shayan****

*Academy member of IT management group; Tarbiat Modares University

** Ph.D Student in Science and Technology Policy Making; IT management group of Tarbiat Modares University

***Academy member of IT management group; Tarbiat Modares University

**** Ph.D Student in Science and Technology Policy Making; IT management group of Tarbiat Modares University

Abstract

Increment of complexity and costs of information technology systems have made many problems about infrastructure and manpower for organizations, which outsourcing have decreased them. All organizations try to increase the success of outsourcing projects by using different ways. One of the important reasons for failure of these projects especially in IT area in order to its major role in acquisition of competitive advantages is selecting inappropriate contractor. In order to existence of different and contradictive criteria, this selection is complex. The purpose of this research is to determine important criteria and specify the weights of each criterion and finally design a fuzzy expert system for selecting the best contractor in IT outsourcing. The method of knowledge acquisition from experts which are managers and experts of IT is questionnaire and for evaluating the validity of system, it had used in an IT company. The results show the favorable performance of contractor selection expert system.

Keywords

Outsourcing, contractor, criterion, fuzzy expert system, information technology.

¹ Corresponding author (n.kalantari@modares.ac.ir)

Performance Improvement of Automatic Language Identification Using GMM-SVM Method

F. Ghasemian^{*1}

M. Homayounpour^{}**

^{*} Laboratory for Intelligent Speech and Signal Processing
Computer Engineering Department of Amirkabir University of Technology

^{**} Laboratory for Intelligent Speech and Signal Processing
Computer Engineering Department of Amirkabir University of Technology

Abstract

GMM is one of the most successful models in the field of automatic language identification. In this paper we have proposed a new model named adapted weight GMM (AW-GMM). This model is similar to GMM but the weights are determined using GMM-VSM LID system based on the power of each component in discriminating one language from the others. Also considering the computational complexity of GMM-VSM, we have proposed a technique for constructing bigram sequences of components which could be used for higher sequence orders and decreases the complexity. Experiments on four languages of OGI corpus including English, Farsi, French and German have shown the effectiveness of proposed techniques.

Keywords

1. Corresponding author (f_ghasemian@yahoo.com)

Contents

**Iranian Journal of
Information Technology & Communication**
No. 5-6, Vol.2 , September 2010- March 2011

	1
▪ Performance Improvement of Automatic Language Identification Using GMM-SVM Method F. Ghasemian & M. Homayounpour	
▪ Designing a Fuzzy Expert System for Selecting an Appropriate Contractor in Information Technology Outsourcing Shaaban Elahi, Nadia Kalantari, Alireza Hasanzadeh & Ali Shayan	9
▪ Title ???????????????? F. Nourazar, M.Sabaie	27
▪ Blind Correction of Lens Aberration Using Modified Zernike Moments K.Rahbar & K.Faez	37
▪ Training of MLP Neural Network in images Compression By GSA Method M.Dehbashian & S.H.Zahiri	45
▪ DWT-SVD based semi blind digital image watermarking M.Makhloughi, H.Daniali & F.Akhlaghian	55
▪ Sliding Mode Controller for TCP Congestion Control R.Barzamini & M.Shafiee	67
Instruction for Authors	75
Abstracts in English	I
