Archive of SID

تخصیص منابع در شبکه‌های WiMAX مبتنی بر OFDMA برای سیستم‌های IPTV با استفاده از الگوریتم ژنتیک

گلاله عزیزی[۱]، کارشناس ارشد، علیرضا عبداله‌پوری[۲]، استادیار

۱- دانشکده مهندسی- گروه مهندسی کامپیوتر- دانشگاه کردستان- سنندج- ایران - Azizi.1989@gmail.com
۲- دانشکده مهندسی- گروه مهندسی کامپیوتر- دانشگاه کردستان- سنندج- ایران- Abdollahpour@uok.ac.ir

چکیده: تخصیص پهنای باند در استاندارد IEEE 802.16، به‌صورت اختصاص بلوک‌های دوبعدی در محدوده زمان و فرکانس (که burst نامیده می‌شوند) به کاربران، تعریف می‌گردد. تخصیص منابع برای کارایی سیستم حیاتی است اما جزئیات آن در استانداردهای IEEE 802.16 تعریف نشده و بر عهده پیاده‌سازی کننده گذاشته شده است. الگوریتم‌های زیادی برای این منظور در شبکه‌های مبتنی بر OFDMA ارائه شده‌اند. در این مقاله، یک الگوریتم ژنتیک برای ساخت burst در شبکه WiMAX پیشنهاد شده است که ساختار مستطیلی burstهای پایین‌سو در استاندارد IEEE 802.16 را رعایت می‌کند. در الگوریتم ژنتیک پیشنهادی، درخواست‌های کاربران با مساحت مشخص به کروموزوم‌ها نگاشت داده می‌شوند. پس از طی مراحل تکامل، تخصیص burstهایی با مکان و شکل بهینه برای این درخواست‌ها به دست می‌آید. هدف الگوریتم ژنتیک پیشنهادی، این است که بیشترین تعداد burst را در یک فریم جای دهد به‌نحوی که فضای هدررفته را کمینه کند. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که الگوریتم پیشنهادی می‌تواند یک تخصیص نزدیک به بهینه را به‌وسیله جستجوی تکراری به دست آورد.

واژه‌های کلیدی: ساخت burst، OFDMA، پایین‌سو، IEEE 802.16، الگوریتم ژنتیک

Resource Allocation in OFDMA-based WiMAX Networks for IPTV Systems Using Genetic Algorithm

G. Azizi, Master Graduate[1], A. R. Abdollahpouri, Assistant Professor[2]

1- Department of Computer Engineering, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran, Email: azizi.1989@gmail.com
2- Department of Computer Engineering, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran, Email: abdollahpour@uok.ac.ir

Abstract: The bandwidth allocation in IEEE 802.16 is defined as assigning two-dimensional blocks in time and frequency domain (which are called Bursts) to users. Resource allocation is vital for system efficiency; however, the detail is not defined in the standard and left open to the implementer. Many algorithms have been proposed for this purpose in OFDMA-based networks. In this paper, a genetic algorithm for burst construction in WiMAX networks is proposed which adheres to rectangular structure of downlink frames in IEEE 802.16 standard. In the proposed genetic algorithm, user requests with specific area are mapped to chromosomes. After passing the evolution stages, an optimized burst allocation is obtained for the requests in terms of shape and position. The goal of the proposed genetic algorithm is to locate maximum number of bursts in the frame such that, wasted space is minimized. Simulation results confirm that, our proposed algorithm can produce a near-to-optimal solution by means of an Iterative search.

Keywords: Burst construction, ODFMA, downlink, IEEE 802.16, genetic algorithm.

تاریخ ارسال مقاله: ۹۴/۴/۶
تاریخ اصلاح مقاله: ۹۴/۵/۹
تاریخ پذیرش مقاله: ۹۴/۹/۲۹
نام نویسنده مسئول: علیرضا عبداله‌پوری
نشانی نویسنده مسئول: ایران – سنندج - یلوار پاسداران - دانشگاه کردستان - دانشکده مهندسی – گروه کامپیوتر

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

WiMAX یک تکنولوژی بی‌سیم مبتنی بر OFDMA[1] و بر اساس استاندارد IEEE 802.16 است. ازآنجاکه یک سرویس متمایز برای ترافیک‌های حساس به تأخیر و نیازمند پهنای باند زیاد در WiMAX تعریف شده است، این تکنولوژی می‌تواند گزینه مناسبی برای تحویل سرویس تلویزیون مبتنی بر IP (IPTV) به کاربران متحرک باشد. در تکنیک OFDMA منابع موجود (زمان و فرکانس) به چندین زیرحامل عمودی در حوزه فرکانس و چندین سمبل همسایه در حوزه زمان تقسیم می‌شوند. این کار سبب انعطاف‌پذیری بیش‌تری در تخصیص منابع و سرویس‌دهی به تعداد زیادی از کاربران با پشتیبانی از چندین سرویس باکیفیت خدمات (QoS[2]) متفاوت می‌گردد. زمان‌بندی به‌روشی که بیش‌ترین تعداد کاربران/سرویس‌ها را جای دهد و داده‌ها را قبل از ارسال برای کاربران تخصیص دهد، فاکتور اصلی است که روی کارایی تخصیص منابع تأثیر مستقیم می‌گذارد. در یک شبکه WiMAX، ایستگاه پایه (BS[3]) مسئولیت زمان‌بندی و تخصیص داده را به عهده دارد [۱]. در اینجا، مسئله تخصیص پهنای باند بدین ترتیب است که چگونه بلوک‌های دوبعدی در محدوده زمان و فرکانس که burst نامیده می‌شوند، برای هر اتصال اختصاص داده شود. تخصیص منابع برای کارایی سیستم حیاتی است اما در استانداردهای IEEE 802.16 تعریف نشده و بر عهده پیاده‌سازی‌کننده گذاشته شده است [۲]. در استاندارد IEEE 802.16، تمامی منابع تخصیصی باید به شکل مستطیل (به‌منظور انعطاف‌پذیری بیش‌تر) در یک فریم مستطیلی قرار داده شوند؛ که ممکن است منابع، زمانی که در قسمت مستطیلی قرار داده می‌شوند از ظرفیت زیرفریم پایین‌سو[4] تجاوز کنند یا QoS بعضی از جریان‌ها نقض شود [۳]. هدف از الگوریتم تخصیص منابع، تعیین شکل و مکان بهینه هر burst در محدوده پهنای باند است، به‌طوری‌که کارایی کلی تمام burstهای ساخته‌شده ماکزیمم شود. مسئله تخصیص بهینه منابع OFDMA، یک مسئله NP-Complete است [۴، ۵] که می‌تواند یک راه‌حل محلی (نزدیک به بهینه) داشته باشد که یا به‌وسیله الگوریتم‌های جستجوی اکتشافی (مانند الگوریتم ژنتیک، شبکه عصبی و...) یا برنامه‌نویسی غیرخطی به دست می‌آید [۳، ۶ و ۷].

در [۸] یک روش تخصیص منابع بین‌لایه‌ای[5] مبتنی بر الگوریتم ژنتیک برای سیستم‌های OFDM بی‌سیم چندکاربری با ترافیک ناهمگون پیشنهاد شده است. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که الگوریتم ژنتیک به‌طور مؤثر نسبت به الگوریتم‌های موجود در کارآمدی پهنای باند، تأخیر ترافیک کیفیت خدمات (QoS)، و بازدهی ترافیک بهترین تلاش[6] (BE)، بهتر عمل کرده است.

در [۹] یک معیار زمان‌بندی برای کمینه کردن مصرف انرژی در تخصیص منابع برای ترافیک بالاسو[7] با توجه به محدودیت در ظرفیت باتری دستگاه کاربر، پیشنهاد می‌شود. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که الگوریتم پیشنهادی می‌تواند به یک تعادل خوب بین مصرف انرژی سیستم و عدالت دست پیدا کند. در [۱۰] تخصیص انطباقی منابع در سیستم‌های چندکاربره مبتنی بر OFDMA بررسی می‌شود و یک الگوریتم حریصانه برای تخصیص منابع به‌منظور رسیدن به عدالت نسبی میان نشست‌ها پیشنهاد می‌گردد. تخصیص منابع برای گروه چندپخشی با یک آنتن انتقال و آنتن‌های انتقال چندگانه در[۱۱] و [۱۲] بررسی شده است. اگرچه کار آن‌ها توان عملیاتی کلی را نسبت به سیستم‌های چندپخشی موجود بهبود می‌بخشد، اما راه‌حل آن‌ها فاقد عدالت است به‌نحوی‌که بعضی از کاربران که شرایط کانالی بدی دارند، اطلاعات کمی دریافت می‌کنند. در [۱۳]، یک الگوریتم اکتشافی بنام RTS جهت تخصیص منابع پیشنهاد گردیده است. این الگوریتم اگرچه دارای سرعت خوبی است، اما در مورد فضای هدررفته و شکاف‌های تخصیص داده نشده، بحثی نمی‌کند.

در این مقاله، یک الگوریتم ژنتیک برای ساخت burstهای OFDMA پیشنهاد شده است. الگوریتم پیشنهادی درخواست‌های کاربران با مساحت مشخص را به burstهایی با مکان و شکل نزدیک به بهینه تخصیص می‌دهد.

ادامه این مقاله به این صورت سازمان‌دهی شده است: در بخش ۲، اطلاعات زمینه‌ای لازم در مورد IPTV، WiMAX و الگوریتم ژنتیک آمده است. بخش ۳، به تشریح روش پیشنهادی می‌پردازد. در بخش ۴، نتایج شبیه‌سازی آمده است و مقاله با نتیجه‌گیری و پیشنهاداتی برای کارهای آینده در بخش ۵ پایان می‌یابد.

۲-اطلاعات پیش‌زمینه

۲-۱- IPTV

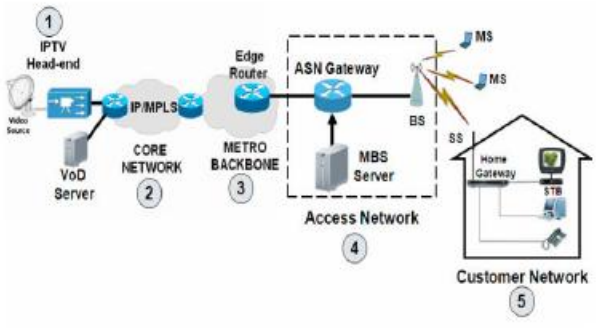
از دیدگاه اتحادیه بین‌المللی مخابرات، IPTV یک سرویس چندرسانه‌ای است که شامل تلویزیون، ویدئو، صوت، متن و گرافیک می‌شود، که از طریق یک شبکه مبتنی بر IP انتقال می‌یابد و لازم است سطوح مناسبی از کیفیت و امنیت را داشته باشد.IPTV یکی از سریع‌ترین سرویس‌های در حال رشد است به‌طوری‌که تعداد مشترکان IPTV در سراسر جهان تا سال ۲۰۱۵ از ۷۰ میلیون تجاوز می‌کند [۱۴]. این رشد سریع، بخشی به دلیل بهبود گسترده تکنولوژی‌های شبکه‌ای و بخشی به دلیل پیشرفت در تکنیک‌های کدگذاری و فشرده‌سازی است. در حالت کلی خدمات IPTV به دودسته تقسیم می‌شوند. ویدئو برحسب تقاضا[8] (VoD) برای محتویات ذخیره‌شده، و تلویزیون‌های پخش گسترده[9] (BTV) برای کانال‌های زنده تلویزیونی.

- ویدئو برحسب تقاضا: در این نوع، آیتم‌ها مانند یک لیست نمایش که بر اساس عنوان یا دسته‌هایی مانند اخبار، ویدئوهای ورزشی یا موسیقی مرتب شده‌اند، نمایش داده می‌شوند.

- پخش گسترده زنده: این نوع پخش، مانند تماشای تلویزیون زنده روی صفحه نمایش کامپیوتر است. کاربر نمی‌تواند آن را متوقف کند یا به عقب برگرداند؛ یا از قسمتی از پخش گسترده که دوست ندارد، پرش کند.

www.SID.ir

Archive of SID

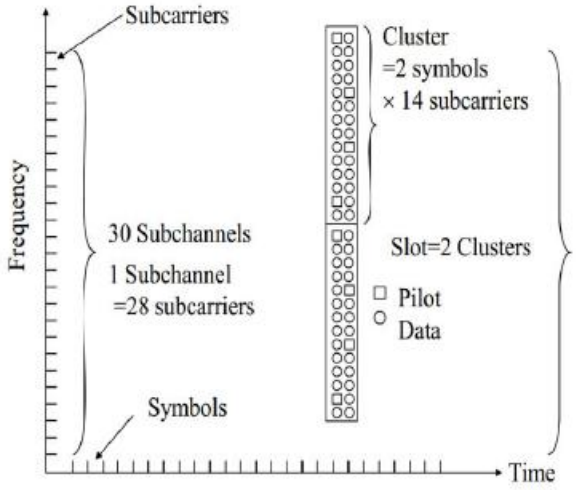


شکل 1: معماری سیستم IPTV

یک نمونه نوعی از معماری شبکه خدمات IPTV در شکل ۱ آمده است که پخش چهارگانه[۱۰] (صدا، تصویر، داده و تحرک) را از طریق شبکه WiMAX فراهم می‌کند. یک سیستم IPTV اصول شامل ۵ قسمت اصلی است که عبارت‌اند از: IPTV head-end، شبکه هسته، شبکه توزیع، شبکه دسترسی و شبکه مشتری. سرویس‌دهنده IPTV خدمات خود را به دو صورت تک‌پخشی و چندپخشی[۱۱] ارائه می‌دهد. این دو روش ازلحاظ سرباری که بر شبکه وارد می‌آورند و همچنین ازلحاظ امنیتی، تفاوت‌هایی باهم دارند. در تک‌پخشی، ترافیک به‌سوی یک مشترک خاص که درخواستی را به سرویس‌دهنده ارائه داده است، روانه می‌شود. اما ممکن است چندین مشترک یک درخواست یکسان داشته باشند. درنتیجه، با استفاده از چندپخشی، یک ترافیک برای همه آن‌ها ارسال می‌شود. هدف از چندپخشی، ارسال پیام به گروهی از گیرندگان است که علاقه مشترکی در دریافت یک داده به‌خصوص (یک کانال تلویزیونی) دارند.

۲-۲- WiMAX

WiMAX یک تکنولوژی دسترسی پخش گسترده بی‌سیم مبتنی بر استانداردهای IEEE 802.16 است که واسط‌های بی‌سیم در لایه‌های فیزیکی و MAC را تعریف می‌کند. WiMAX برای ارسال داده از تکنیک OFDMA استفاده می‌کند که در آن، کانال به چندین زیرحامل تقسیم می‌شود. تعداد زیرحامل‌ها متناسب با پهنای باند کانال است. به‌عنوان‌مثال، برای کانال MHz ۱۰، ۱۰۲۴ زیرحامل استفاده می‌شود. این زیرحامل‌ها به تعدادی زیرکانال گروه‌بندی می‌شوند. تخصیص پهنای باند در فریم WiMAX شامل سمبل OFDMA (زمان) در یک بعد و زیرکانال فرکانس در بعد دیگر است. در استاندارد IEEE 802.16 بر مبنای OFDMA، داده‌های پایین‌سو به قالب مستطیلی شکل بنام burst قرار داده می‌شوند [۱]. هر burst از تعدادی شکاف تشکیل شده است. شکاف کوچک‌ترین واحد منطقی برای تخصیص پهنای باند است که تعریف آن به نوع نگاشت زیرحامل بستگی دارد و برای پایین‌سو[۱۲] و بالاسو متفاوت است [۱۵].



شکل ۲: مفاهیم سمبل، خوشه و شکاف [۱۴]

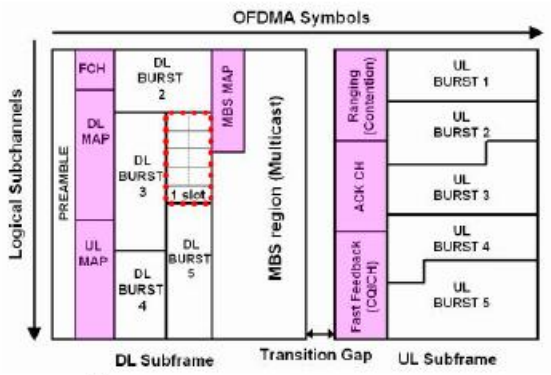
شکل ۲ مفاهیم سمبل، خوشه و شکاف در فضای دوبعدی زمان-فرکانس را نشان می‌دهد. ارتباط دوطرفه یا به‌وسیله تقسیم دوقسمتی فرکانس (FDD[۱۳]) که بالاسو و پایین‌سو از باندهای فرکانس مختلف استفاده می‌کند و یا تقسیم دوقسمتی زمان (TDD[۱۴]) که ترافیک پایین‌سو و به دنبال آن ترافیک بالاسو در محدوده زمان می‌آید، انجام می‌شود. در FDD دو زیرفریم در زمان موازی هستند [۱]. الگوریتم‌های تخصیص می‌توانند هم برای ساختار FDD و هم ساختار TDD استفاده شوند. به دلایل زیر در این مقاله از ساختار TDD استفاده شده است [۱۶]:

۱. این حالت تخصیص دینامیک منابع DL و UL را طوری امکان‌پذیر می‌سازد که به‌صورت مؤثر از ترافیک نامتقارن DL/UL پشتیبانی کند.
۲. برخلاف FDD که به یک جفت کانال نیاز دارد، TDD تنها به یک کانال برای پایین‌سو و بالاسو نیاز دارد و انعطاف‌پذیری بیشتری را برای تطبیق با تخصیص‌های متنوع فراهم می‌کند.
۳. طراحی فرستنده و گیرنده برای اجرای TDD ساده‌تر و درنتیجه کم‌هزینه‌تر است.

در شکل ۳، یک ساختار از فریم WiMAX نشان داده شده است که زیرفریم پایین‌سو به‌صورت ترکیب تک‌پخشی و چندپخشی است. فریم به دو بخش DL و UL تقسیم می‌شود که به‌وسیله یک شکاف گذر جدا می‌شوند تا از تصادم انتقال DL و UL جلوگیری شود. در زیرفریم DL، از مقدمه (Preamble) برای همزمانی استفاده می‌شود. سرآغاز کنترل فریم اطلاعات پیکربندی فریم شامل طرح کدگذاری، طول پیام MAP و زیرکانال‌های قابل‌استفاده را فراهم می‌کند. DL-MAP و UL-MAP تخصیص زیرکانال‌ها، نوع مدولاسیون و کدگذاری که burstهای شامل اطلاعات داده‌ای استفاده می‌کنند را فراهم می‌کنند. در شکل، یک burst با سایز ۵ شکاف به‌صورت نقطه‌چین مشخص شده است.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۳:ساختار فریم WiMAX TDD [۱۷]

۲-۳- الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک یک تکنیک جستجوی اکتشافی انطباقی است که برای یافتن راه‌حل تقریبی یا نزدیک به بهینه در مسائل جستجو یا بهینه‌سازی، استفاده می‌شود. الگوریتم ژنتیک در مسائل بهینه‌سازی کاربردهای زیادی دارد. مثلاً می‌توان از آن جهت بهبود پایداری سیستم قدرت برای توربین‌های بادی استفاده کرد [۱۸]. الگوریتم‌های ژنتیک کلاس خاصی از الگوریتم‌های تکاملی هستند که از تکنیک‌های زیست‌شناسی تکاملی از قبیل وراثت، جهش، انتخاب و تقاطع الهام گرفته شده‌اند [۱۹]. این الگوریتم‌ها نوعی شبیه‌سازی کامپیوتری هستند که در آن‌ها راه‌حل‌های کاندید (با نام افراد، مخلوق یا فنوتایپ) به‌صورت یک جمعیت از نمایش‌های انتزاعی (با نام کروموزوم یا ژنوتایپی از ژنوم‌ها) نمایش داده می‌شوند. در یک مسئله بهینه‌سازی، راه‌حل‌های کاندید به‌سوی راه‌حل‌های بهتر تکامل می‌یابند. معمولاً راه‌حل‌ها به‌صورت دودویی از یک‌رشته ۰ و ۱ نمایش داده می‌شوند؛ اما رمزگذاری‌های دیگری نیز وجود دارند.

تکامل معمولاً با یک جمعیت از افرادی که تصادفی تولید شده‌اند، شروع می‌شود. در هر نسل، میزان برازندگی هر فرد در جمعیت ارزیابی می‌شود. آنگاه تعدادی از بهترین افراد با استفاده از یک تابع احتمال (رابطه ۱) از جمعیت فعلی، انتخاب می‌شوند و با استفاده از ترکیب دوباره یا جهش تصادفی یک نسل جدید تولید می‌شود. سپس این جمعیت جدید در تکرار بعدی الگوریتم استفاده می‌شود. الگوریتم معمولاً زمانی که ماکزیمم تعداد نسل تولید شود یا یک سطح برازندگی مطلوب برای جمعیت به دست آید، خاتمه می‌یابد. اگر الگوریتم به علت ماکزیمم تعداد نسل خاتمه یابد، راه‌حل مطلوب ممکن است به دست آمده یا نیامده باشد.

$$p_i = \frac{f_i}{\sum_{i=1}^{N} f_i} \qquad (۱)$$

در رابطه ۱، f_i مقدار برازندگی کروموزوم i و N تعداد افراد یک نسل و p_i مقدار احتمال تخصیص‌یافته به کروموزوم i است.

یک الگوریتم ژنتیک به موارد زیر نیاز دارد:

- یک نمایش ژنتیکی از دامنه راه‌حل
- یک تابع برازندگی برای ارزیابی دامنه راه‌حل

یک راه‌حل را می‌توان به‌صورت آرایه‌ای از بیت‌ها نمایش داد. ویژگی اصلی این نوع نمایش این است که به دلیل ثابت بودن اندازه، عملیات تقاطع تسهیل می‌گردد. نمایش با طول متغیر نیز امکان‌پذیر است؛ ولی پیاده‌سازی تقاطع را پیچیده‌تر می‌کند.

تابع برازندگی روی نمایش ژنتیکی تعریف می‌شود و کیفیت راه‌حل نمایش داده‌شده را اندازه‌گیری می‌کند. تابع برازندگی همیشه وابسته به مسئله است.

پس از تعیین نمایش ژنتیک و تابع برازندگی، گام بعدی در الگوریتم ژنتیک، مقداردهی اولیه یک جمعیت از راه‌حل‌ها به‌صورت تصادفی است. سپس با به کار بردن عملگرهای جهش، تقاطع و انتخاب به‌صورت مکرر، راه‌حل بهبود می‌یابد. در ادامه، هرکدام از مراحل فوق به‌صورت جزئی‌تر توضیح داده شده است.

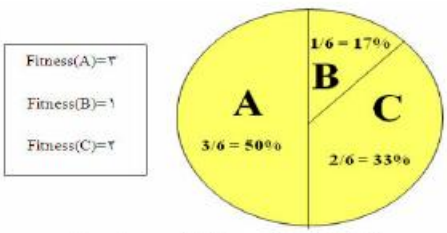
الف- مقداردهی اولیه

این گام برای تولید جمعیت اولیه استفاده می‌شود. ابتدا افراد زیادی از راه‌حل به‌صورت تصادفی به‌منظور تشکیل جمعیت اولیه تولید می‌شوند. اندازه جمعیت به ماهیت مسئله بستگی دارد اما معمولاً شامل صدها یا هزاران راه‌حل ممکن است. معمولاً جمعیت به‌صورت تصادفی به‌طوری که کل محدوده راه‌حل‌های ممکن (فضای جستجو) را پوشش دهد، تولید می‌شود.

ب- انتخاب

در این گام، افراد از یک جمعیت برای تولیدمثل بعدی (ترکیب دوباره یا تقاطع) انتخاب می‌شوند. رویکردهای متفاوتی برای انتخاب وجود دارند. سه رویکرد متداول انتخاب عبارت‌اند از:

چرخ رولت: یک عملگر انتخاب است که شانس یک کروموزوم برای انتخاب، متناسب با میزان برازندگی‌اش (یا رتبه‌اش) است. به‌عبارت‌دیگر شانس انتخاب کروموزوم‌های بهتر، بیش‌تر است (شکل ۴).



شکل ۴: مکانیسم انتخاب چرخ رولت

مسابقه: یک عملگر انتخاب است که N بار از انتخاب رولت استفاده می‌کند تا یک زیرمجموعه (به نام مسابقه) از کروموزوم‌ها تولید کند. سپس بهترین کروموزوم در این زیرمجموعه به‌عنوان کروموزوم انتخابی برگزیده می‌شود.

نخبه‌گرایی: زمانی که از عملگرهای ژنتیکی (تقاطع و جهش) استفاده می‌شود، ممکن است بهترین کروموزوم‌ها از دست بروند. الیتیسم (نخبه‌گرایی)، روشی برای نگه‌داری یک کپی از بهترین کروموزوم‌ها در نسل جدید است. به تجربه ثابت شده است که این

www.SID.ir

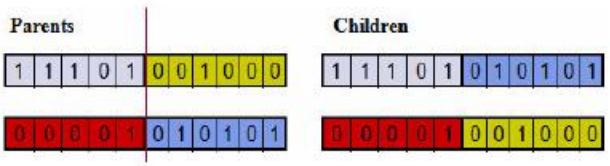
Archive of SID

مکانیسم، عملکرد الگوریتم ژنتیک را بهبود داده و در ضمن زمان همگرایی را کوتاه می‌نماید.

ج- تقاطع

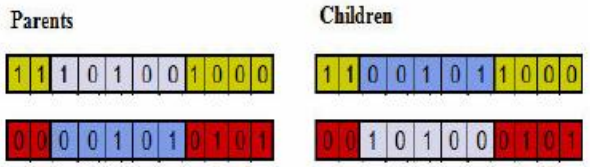
تقاطع یک عملگر ژنتیکی است که برای تنوع بخشیدن به کروموزوم‌ها، از یک نسل به نسل بعدی استفاده می‌شود. بعد از این‌که والدین انتخاب شدند، آن‌ها تنها با احتمال Pcross دستخوش تقاطع می‌شوند. تکنیک‌های زیادی برای عمل تقاطع وجود دارد: ازجمله:

تقاطع تک‌نقطه‌ای: در این نوع تقاطع که در شکل ۵ نشان داده شده است، یک نقطه از هر دو رشته والد انتخاب می‌شود. همه بیت-های بعدازاین دونقطه در دو والد باهم جابه‌جا می‌شوند و فرزندان را تولید می‌کنند.



شکل ۵: تقاطع تک‌نقطه‌ای

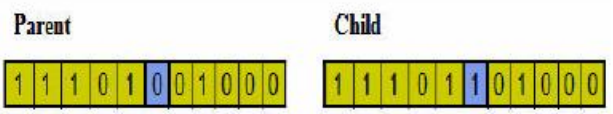
تقاطع دونقطه‌ای: همان‌طور که در شکل ۶ دیده می‌شود، در این نوع تقاطع، دونقطه از دو رشته والد انتخاب می‌شوند و همه بیت‌های بین این دونقطه از والدین باهم جابه‌جا می‌شوند و دو فرزند را نتیجه می‌دهند.



شکل ۶: تقاطع دونقطه‌ای

د- جهش

جهش یک عملگر ژنتیکی است که برای نگه‌داشتن تنوع از یک نسل از جمعیت به نسل بعدی استفاده می‌شود. روش پیاده‌سازی عملگر جهش شامل تولید یک عدد تصادفی برای هر بیت در رشته است. این عدد تصادفی مشخص می‌کند که آیا این بیت خاص تغییر کند یا خیر. احتمال جهش با Pmut مشخص می‌شود که معمولاً حداقل صدبار کم‌تر از Pcross است. هدف جهش این است که به الگوریتم کمک می‌کند تا از مینیمم محلی اجتناب کند. به این صورت که از این‌که کروموزوم‌های جمعیت بسیار شبیه هم شوند و درنتیجه تکامل کُند یا متوقف شود، جلوگیری می‌کند (شکل ۷).



شکل ۷: جهش

ه- خاتمه

تکامل تا زمانی تکرار می‌شود که یک شرط پایانی به دست آید. شرایط پایانی متداول عبارت‌اند از:

- یک راه‌حل که مینیمم معیار را ارضا کند، پیدا شود.
- تعداد ثابتی از نسل‌ها به دست آید.
- هزینه تخصیص‌یافته (زمان محاسبات/بودجه) تمام شود.

۳- روش پیشنهادی

در الگوریتم ژنتیک، تعیین کروموزوم و تابع برازندگی همانند عملگرهای ژنتیکی به نوع مسئله بستگی دارند. در این مسئله، یک کروموزوم را به‌صورت یک‌رشته با طول 2*M عنصر که M تعداد burstهای درخواستی کاربران است، تعریف می‌کنیم. درواقع هر کروموزوم، یک راه‌حل یا یک تخصیص برای مسئله تخصیص منابع است. در کروموزوم، هر دو عنصر متوالی، متناظر با درخواست یک کاربر است. به این صورت که عنصر اول، مختصات مکان و عنصر دوم، شکل burst تخصیص داده‌شده به درخواست آن کاربر را تعیین می‌کند. اگر عنصر i دارای مختصات نقطه شروع Xi و Yi باشد، باید $0 \le x_i \le H$ و $0 \le Y_i \le W$ باشد تا نقطه شروعش در محدوده فریم باشد و اگر دارای مساحت Ai باشد، شکل مستطیل تخصیص داده‌شده با عرض wi و ارتفاع hi باید دارای شرایط $X_i + h_i \le H$ و $Y_i + W_i \le W$ صدق کند تا از محدوده فریم تجاوز نکند. عرض و ارتفاع هر عنصر را از میان ترکیب‌های ممکن برای مساحت هر burst انتخاب می‌کنیم.

اگر M تعداد burstهای درخواستی کاربر برای تخصیص باشد، کروموزوم y از جمعیت، یک بردار با طول K است که K=2*M است. یعنی برای هر burst دو ژن برای مختصات مکان و شکل آن burst تخصیص داده شده است. ساختار این کروموزوم در شکل ۸ نشان داده شده است.

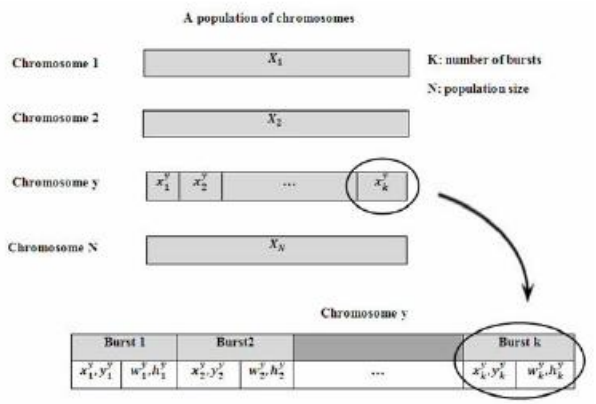
گام‌های الگوریتم ژنتیک پیشنهادی برای تخصیص منابع در زیر آمده است:

گام ۱: مقداردهی اولیه

پس از تعیین ساختار کروموزوم‌ها، یک جمعیت اولیه از N کروموزوم را تشکیل می‌دهیم. طول هر کروموزوم دو برابر تعداد درخواست‌ها است. درخواست‌ها دارای مساحت مشخص هستند که در آرایه Area ذخیره شده‌اند. برای هر درخواست، مختصات نقطه ابتدایی را به‌صورت تصادفی در محدوده عرض W و ارتفاع H فریم و طول و عرض را به‌صورت تصادفی از آرایه D که عامل‌های مساحت هر درخواست در آن نگه‌داری می‌شود، ایجاد می‌کنیم.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۸: نمایش جمعیت و ساختار کروموزوم‌ها

گام ۲: تابع برازندگی

هر کروموزوم یک راه‌حل قابل‌قبول است. بنابراین، باید تمام محدودیت‌های مسئله را رعایت کند. اگر یک کروموزوم محدودیت‌های مسئله را برآورده نکند، روند تولید کروموزوم‌ها تکرار می‌شود. به همین دلیل، به هر کروموزوم یک مقدار برازندگی نسبت داده می‌شود که نشان می‌دهد این کروموزوم تا چه اندازه یک راه‌حل خوب برای مسئله بهینه‌سازی است. در تابع برازندگی، از تأثیر سه تابع استفاده می‌شود که برای اعمال تأثیر این تابع‌ها از روش مجموع وزنی استفاده می‌کنیم. تابع برازندگی به‌صورت مجموع وزنی سه تابع f_1 و f_2 و f_3 به‌صورت رابطه ۲ تعریف می‌شود.

$$Fitness\left(Chromosome_i\right)=w_1\cdot f_1(i)+w_2\cdot f_2(i)+w_3\cdot\left(\frac{1}{(1+f_3(i))}\right) \quad (۲)$$

روش مجموع وزنی به‌صورت رابطه ۳ است که: m عدد تصادفی $r_1, r_2, \ldots, r_m$ در بازه [0,1] تولید می‌کنیم. سپس:

$$w_i=\frac{r_i}{(r_1+r_2+\ldots+r_m)} \quad (۳)$$

که در رابطه (۳) به ازای i=1, 2, …, m تمامی w_iها بزرگ‌تر از صفر بوده و $w_1+w_2+\ldots w_m=1$ است که در اینجا، m=۳ است. در تابع برازندگی (۲)، f_1 تعداد burstهایی است که به‌صورت کامل (در محدوده عرض و ارتفاع فریم) در فضای مستطیلی فریم جای گرفته‌اند؛ f_2 مجموع مساحت‌های burstهایی که به‌صورت کامل در فریم جای گرفته‌اند و f_3 تعداد اشتراک‌هایی است که این burst با burstهای دیگر دارد. به این صورت کروموزومی (تخصیصی) که بیش‌ترین تعداد burst را به‌درستی در فریم جای دهد یعنی فضای هدررفته کم‌تری به‌جای بگذارد، برازندگی بیش‌تری خواهد داشت.

گام ۳: انتخاب

پس از محاسبه مقدار برازندگی افراد، عملگر انتخاب انجام می‌شود. انتخاب، متناسب با برازندگی است. از مکانیسم‌های زیر جهت انتخاب افراد برای نسل جدید استفاده شده است:

- **نخبه‌گرایی:** کروموزوم با بالاترین میزان برازندگی نخبه نامیده می‌شود که ممکن است در طی عملگرهای انتخاب، تقاطع و جهش از بین برود. به همین دلیل، کروموزوم نخبه مستقیماً به نسل جدید منتقل می‌شود.
- **چرخ رولت:** برای این‌که نسل بعدی از نسل قبلی بهتر باشد، باید کروموزوم‌هایی با درصد برازندگی بیش‌تر، شانس بیش‌تری برای شرکت در عمل پیوند داشته باشند. لذا برای تعیین اینکه چه کروموزوم‌هایی در عمل پیوند شرکت می‌کنند، از مکانیسم چرخ رولت استفاده می‌کنیم که متناسب با درصد برازندگی هر کروموزوم آن را در عمل پیوند شرکت می‌دهد.

گام ۴: تقاطع

کروموزوم‌های انتخاب‌شده عملگر تقاطع را انجام می‌دهند. ما در اینجا از تقاطع تک‌نقطه‌ای استفاده می‌کنیم. تعداد افرادی که تقاطع انجام می‌دهند، به نرخ تقاطع (crossover rate) بستگی دارد که این تعداد به‌صورت تصادفی از جمعیت انتخاب می‌شوند. از کروموزوم‌های انتخاب‌شده، دو کروموزوم به‌عنوان والد انتخاب می‌شوند. در هر دو والد، یک نقطه به‌صورت تصادفی به‌عنوان نقطه تقاطع انتخاب شده و تمامی درخواست‌های پس‌ازاین نقطه در والد اول با والد دوم جابه‌جا می‌شوند و درخواست‌های قبل از این نقطه، بدون جابه‌جایی به فرزندان منتقل می‌شوند.

گام ۵: جهش

مرحله پس از تقاطع، جهش است. تعداد افرادی که جهش انجام می‌دهند به نرخ جهش (mutation rate) بستگی دارند که این تعداد به‌صورت تصادفی از جمعیت انتخاب می‌شوند. برای هر ژن از کروموزوم (هر درخواست)، یک عدد تصادفی تولید می‌شود که اگر مقدار این عدد برای هر ژن از نرخ جهش کم‌تر باشد، درنتیجه جهش روی آن ژن انجام می‌شود. یعنی مختصات مکان و طول و عرض با مقادیر ممکن عوض می‌شود. اگر کروموزوم‌های نسل جدید محدودیت‌های مسئله را برآورده نکنند، تقاطع و جهش تکرار می‌شوند. زمانی که نسل جدید از طریق انتخاب و تقاطع و جهش ایجاد می‌شود، جایگزین نسل قبلی می‌شود.

گام ۶: شرایط خاتمه

الگوریتم در صورت اتفاق یکی از شرایط زیر خاتمه می‌یابد:

- اگر میزان اختلاف میانگین برازندگی چند نسل آخر از مقدار موردنظر کم‌تر باشد یعنی تکامل دیگر پیشرفت نمی‌کند و درنتیجه الگوریتم خاتمه می‌یابد.
- رسیدن به تعداد نسل مشخص: این تعداد در طول اجرا تعیین می‌شود.

گام ۷: مرحله نهایی

در پایان، الگوریتم باید تخصیصی از burstها را در فریم انجام دهد که بیش‌ترین تعداد burst در فریم باشد تا فضای هدررفته کمینه شود. همان‌گونه که ذکر شد، الگوریتم ژنتیک می‌تواند یک راه‌حل بهینه یا

www.SID.ir

Archive of SID

نزدیک به بهینه را پیدا کند. این احتمال وجود دارد الگوریتم تخصیصی را انجام دهد که burstها در فریم باهم اشتراک داشته باشند. یعنی یک burst روی یک burst یا burstهای دیگر قرار گرفته باشد. به همین دلیل، پس از اجرای الگوریتم یک مرحله پردازش انجام می‌دهیم. در این مرحله، تخصیص حاصل از الگوریتم بررسی می‌شود تا اگر burstها باهم اشتراک داشته باشند، این اشتراک حذف شود. حذف اشتراک‌ها به این صورت است که از burstهایی شروع می‌کند که بیش‌ترین تعداد اشتراک را با بقیه burstها دارد و پس از حذف این burst دوباره تخصیص نتیجه بررسی می‌شود تا در صورت از بین رفتن تمام اشتراک‌ها به این مرحله خاتمه دهد. جدول ۱ شبه‌کد الگوریتم پیشنهادی را نشان می‌دهد.

جدول ۱: شبه‌کد الگوریتم ژنتیک پیشنهادی

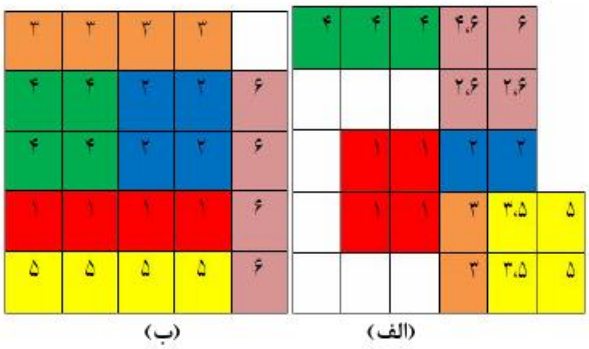
```
Algorithm 1 GA implementation for the problem

Input: M:number of requests, N:size of population, Nitr:number of
iteration, Pcross:crossover probability, Pmut:mutation probability,
Area:array of area of requests, W:width of frame, H:height of frame
Output: as individual
Begin
    Empty new_population
    Generate initial population, P0 of size N
    r=1 and Exit-flag=false
    While (r ≤ Nitr || Exit-flag==false)
        Calculate Fitness value for each individual
        Perform selection using roulette wheel sampling
scheme
        Add selected individual to new_population
        For i=1:N*Pcross
            x=random-selection(new_population)
            y=random-selection(new_population)
            x,y=Single-point crossover(x,y)
        End
        For i=1:N*Pmut
            x=random-selection(new_population)
            x=Mutate(x)
        End
        population=new_population
        Exit-flag=Check-termination-conditions
        r=r+1
    End
    Remove-overlap(best-chromosome)
    Return final-chromosome
End
```

۴- نتایج شبیه‌سازی

برای شبیه‌سازی از نرم‌افزار MATLAB استفاده شده است. جهت ارزیابی عملکرد الگوریتم ژنتیک یک سناریو در نظر گرفته شده است که در آن ابعاد فریم ۵ × ۵ (دارای ۲۵ شکاف) است و ۶ کاربر با درخواست‌های یکسان با مساحت ۴ وجود دارند. برای ساده‌سازی شبیه‌سازی، هر ایستگاه مشتری تنها یک اتصال پایین‌سو دارد. در تکرار اول الگوریتم ژنتیک، burstهایی با مختصات مکان و شکل تصادفی به درخواست کاربران تخصیص داده می‌شود. این تخصیص تصادفی، برای هر درخواست بدون در نظر گرفتن تخصیص برای درخواست‌های دیگر است. پس از تعیین میزان برازندگی و مراحل انتخاب و تقاطع و جهش در هر تکرار، تخصیص به سمتی هدایت می‌شود که تعداد burstهای بیش‌تری در فریم جای گیرند و فضای هدررفته کم‌تری باقی بماند.

شکل ۹ تخصیص burstها را در تکرار اول و تکرار آخر الگوریتم ژنتیک نشان می‌دهد. پارامترهای شبیه‌سازی به‌صورت جدول ۲ تنظیم شده است.

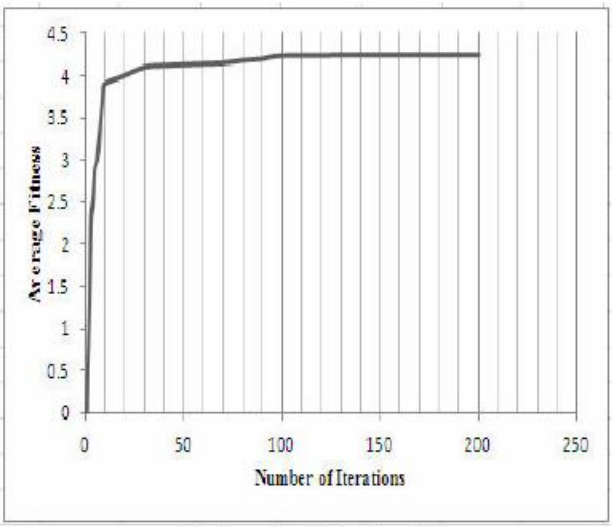


شکل ۹: تخصیص حاصل از اجرای الگوریتم ژنتیک پیشنهادی؛ الف) در تکرار اول، ب)در تکرار ۲۰۰ام

جدول ۲: پارامترهای الگوریتم ژنتیک [۵]

پارامتر	مقدار
تعداد کاربران	۶
جمعیت اولیه	۲۰۰
نرخ تقاطع P_{cross}	۰/۸
نرخ جهش P_{mut}	۰/۰۱
تعداد تکرار	۲۰۰

برای نشان دادن سرعت همگرایی، بهترین مقدار برازندگی کروموزوم در هر تکرار در شکل ۱۰ نشان داده شده است. منحنی به‌طور یکنواخت به دلیل تکنیک نخبه‌گرایی (بهترین فرد در جمعیت فعلی به جمعیت بعدی منتقل می‌شود) افزایش می‌یابد. بنابراین بهترین مقدار برازندگی هیچوقت افت نمی‌کند.



شکل ۱۰: همگرایی تابع برازندگی

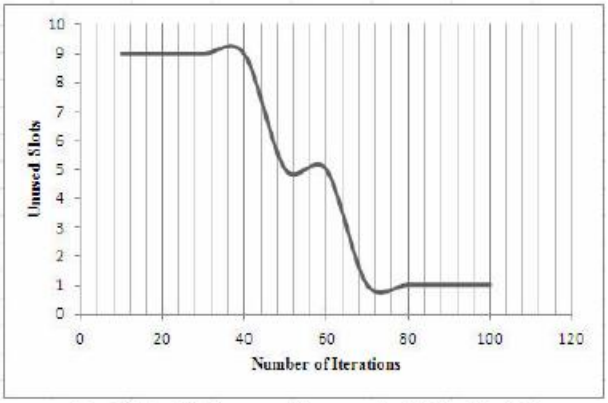
www.SID.ir

Archive of SID

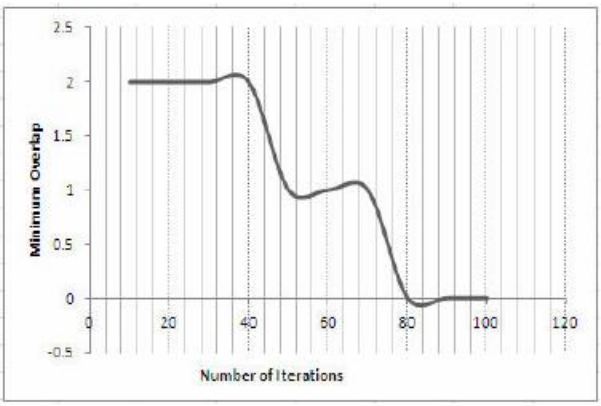
در ادامه ارزیابی، عملکرد الگوریتم ژنتیک پیشنهادی برای ساختن burstها را بر مبنای دو معیار میزان فضای هدررفته و تعداد burstهایی که باهم اشتراک دارند، انجام می‌دهیم.

الف- فضای هدررفته

به‌منظور ارزیابی عملکرد الگوریتم ژنتیک، میزان فضای هدررفته را برای مورد گفته‌شده در طول تکامل با تعداد تکرارهای مختلف اندازه‌گیری می‌کنیم. تعداد کل شکاف‌ها ۲۵ است. منظور از فضای هدررفته تعداد شکاف‌هایی است که در آن هیچ burstای تخصیص داده نشده است؛ یعنی بدون استفاده مانده است. چون هدف از الگوریتم ما یافتن تخصیص بهینه است، پس لازم است که فضای هدررفته مینیمم شود یعنی بیش‌ترین استفاده ممکن از فریم شود. همان‌طور که در شکل ۱۱ نشان داده شده است، در تکرارهای اول بیش‌تر burstهای تخصیص داده‌شده یا خارج از فریم هستند یا باهم اشتراک دارند و درنتیجه فضای (شکاف) هدررفته زیادی تولید می‌کنند. اما در طول تکامل، با توجه به این‌که راه‌حل‌هایی که فضای هدررفته بیش‌تری تولید کنند میزان برازندگی کم‌تری خواهند داشت، این راه‌حل‌ها کم‌کم حذف می‌شوند و تکامل به‌سمت تولید راه‌حل‌هایی که burstهای بیش‌تری در فریم جای دهد، یعنی فضای هدررفته را کمینه کند، پیش می‌رود.



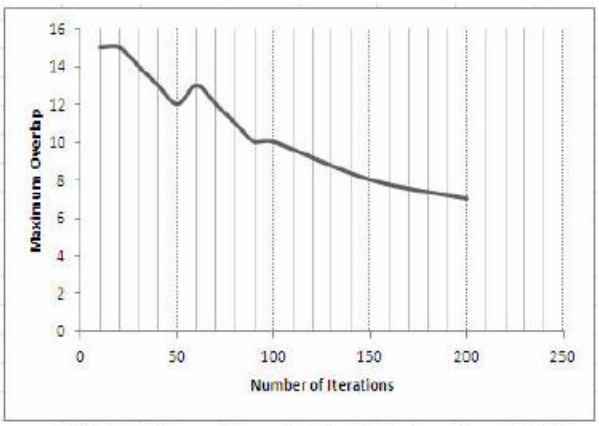
شکل ۱۱: شکاف‌های هدررفته در ۱۰۰ تکرار از الگوریتم



شکل ۱۲: کمینه تعداد اشتراک‌ها در طول ۱۰۰ تکرار از الگوریتم

ب- تعداد burstهایی که باهم اشتراک دارند

در هنگام ساختن burstها، با توجه به این‌که مختصات مکان هر burst در طول تکامل تغییر می‌کند، تعدادی از burstها باهم اشتراک پیدا می‌کنند. یعنی قسمتی از یک burst روی burst دیگر قرار می‌گیرد. اما یک درخواست در یک زمان مشخص تنها از یک زیرحامل می‌تواند استفاده کند و بنابراین، دو burst نمی‌توانند باهم اشتراک داشته باشند. این فاکتور در تابع برازندگی در نظر گرفته شده است. راه‌حل‌هایی که اشترک داشته باشند، میزان برازندگی کم‌تری خواهند داشت. شکل ۱۲ کمینه تعداد اشتراک‌ها را در ۱۰۰ تکرار برای نمونه ذکرشده نشان می‌دهد. از نمودار دو نکته را می‌توان برداشت کرد. نکته اول این‌که تعداد اشتراک‌ها در طول تکامل کاهش می‌یابد که نشان‌دهنده درستی حرکت تکاملی الگوریتم است. نکته دوم هم این است که مینیمم تعداد اشتراک‌ها در طول تکامل کم است. یعنی در بهترین حالت الگوریتم با تعداد اشتراک‌های کم‌تری به‌سمت تکامل می‌رود؛ که این امر به یافتن سریع‌تر راه‌حل کمک می‌کند چون باعث می‌شود که تابع برازندگی زودتر ثابت شود. شکل ۱۳ ماکزیمم تعداد اشتراک‌ها را نشان می‌دهد. در این حالت هم تعداد اشتراک‌ها در طول تکامل در ۱۰۰ تکرار، کاهش می‌یابد. البته ذکر این نکته ضروری است که الگوریتم ژنتیک از یک جمعیت که به‌صورت تصادفی مقداردهی شده‌اند، شروع به اجرا می‌کند و اختلاف زیاد بیشینه و کمینه تعداد اشتراک‌ها هم به این دلیل است.



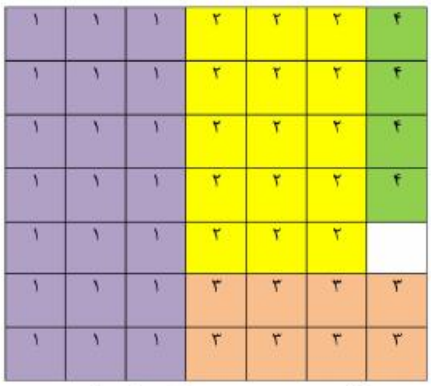
شکل ۱۳: بیشینه تعداد اشتراک‌ها در طول ۱۰۰ تکرار از الگوریتم

در ادامه، برای مقایسه الگوریتم پیشنهادی با الگوریتم eOCSA [۳]، دو مثال آورده شده است. ابتدا یک فریم ۷ x ۷ و تعداد چهار درخواست به ترتیب از راست به چپ با اندازه‌های ۲۱، ۱۵، ۸ و ۴ شکاف داده شده است. برای این حالت، در روش پیشنهادی و eOCSA تخصیص به ترتیب، به‌صورت شکل‌های ۱۴-الف و ۱۴-ب پیشنهاد گردید. همان‌طور که مشاهده می‌گردد، در هر دو حالت، همه درخواست‌ها تخصیص داده

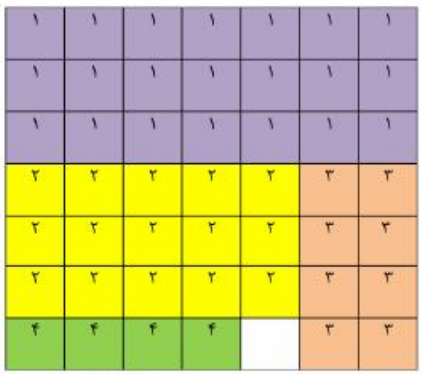
www.SID.ir

Archive of SID

شده و درنهایت یک شکاف بلااستفاده در فریم باقی مانده است.



الف - تخصیص به روش پیشنهادی



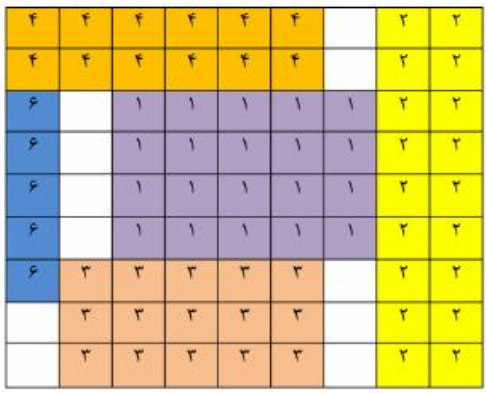
ب- تخصیص به روش eOCSA

شکل ۱۴: تخصیص چهار درخواست در فریم ۷ در ۷ به روش پیشنهادی و روش eOCSA

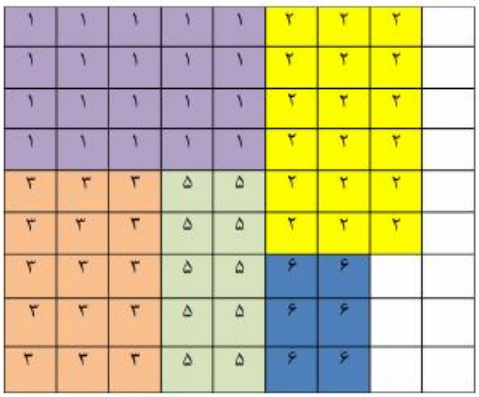
در مثال دوم، یک فریم بزرگ‌تر با ابعاد ۹ x ۹ و تعداد شش درخواست به ترتیب از راست به چپ به‌صورت ۲۰، ۱۸، ۱۵، ۱۲، ۱۰ و ۵ شکاف در نظر گرفته شد.

نتایج تخصیص منابع در شکل‌های ۱۵-الف و ۱۵-ب نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل ۱۵-الف مشخص است، در روش پیشنهادی ما، درخواست شماره ۵ با تعداد ۱۰ شکاف اجابت نشده و تخصیص داده نشده است. در این حالت، اگرچه فضای هدررفته (۱۱ شکاف) از تعداد شکاف‌های موردنیاز برای درخواست پنجم بیشتر است، اما به دلیل اینکه باید درخواست به‌صورت فضای متوالی و در یک burst مستطیلی تخصیص داده شود، امکان پوشش دادن آن وجود ندارد.

در شکل ۱۵-ب همان درخواست‌ها به روش eOCSA تخصیص داده شده‌اند. همان‌طور که مشاهده می‌شود، این بار به درخواست چهارم (۱۲ شکاف) پاسخ داده نشده است. دلیل این امر این است که در این روش ابتدا درخواست‌ها به‌صورت نزولی مرتب شده و سپس سعی می‌شود که بزرگ‌ترین درخواست در یکی از گوشه‌های موجود جایابی شود. این کار تا زمانی که فضای پیوسته و مستطیلی شکلی یافت نشود، ادامه می‌یابد. بعد از تخصیص درخواست سوم، در هیچکدام از گوشه‌ها نمی‌توان مستطیلی به مساحت ۱۲ پیدا کرد. در مورد درخواست ششم، اگرچه تعداد شکاف موردنیاز ۵ بوده است، اما چون تخصیص باید به‌صورت مستطیلی باشد، تعداد ۶ شکاف در نظر گرفته شده است. در این حالت تعداد ۱۲ شکاف بلااستفاده و یک شکاف هدررفته در داخل burst شماره شش داریم.



الف - تخصیص به روش پیشنهادی



ب- تخصیص به روش eOCSA

شکل ۱۵- تخصیص شش درخواست در فریم ۹ در ۹ به روش پیشنهادی و روش eOCSA

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله، مسئله تخصیص منابع در شبکه‌های WiMAX مبتنی بر OFDMA برای سیستم‌های IPTV مورد مطالعه قرار گرفت. در این روش، بلوک‌های دوبعدی در محدوده زمان و فرکانس به کاربران اختصاص داده می‌شود. این مسئله NP-complete است و هیچ الگوریتمی که یک راه‌حل بهینه را برای آن تضمین کند، وجود ندارد. به همین دلیل ما از الگوریتم ژنتیک برای ساخت burstها در یک فریم پایین‌سو استفاده کردیم که می‌تواند یک راه‌حل نزدیک به بهینه را پیدا کند. الگوریتم ژنتیک پیشنهادی پس از دریافت درخواست‌های

www.SID.ir

Archive of SID

کاربران، مکان و شکل بهینه (نزدیک به بهینه) burst متناظر با آن درخواست را پس از طی مراحل تکامل تعیین می‌کرد. این الگوریتم سعی داشت که بیش‌ترین تعداد کاربران را در فریم جای دهد و کم‌ترین میزان فضای استفاده‌نشده را به‌جای بگذارد. نتایج پیاده‌سازی نشان دادند که الگوریتم ژنتیک پیشنهادی می‌تواند تخصیص قابل‌قبولی برای درخواست‌های مختلف ارائه کند.

به‌عنوان پیشنهاد برای کارهای آتی، بهتر است در هنگام ساخت burst با استفاده از الگوریتم ژنتیک، تنوع و کیفیت زیرکانال در نظر گرفته شود. همچنین، می‌توان در هنگام تخصیص منابع با استفاده از الگوریتم ژنتیک، محدودیت‌های QoS را نیز در نظر گرفت.

مراجع

[1] A. H. Shabani, M. T. Beg and A. Khader, "Survey of Downlink Data Allocation Algorithms in IEEE 802.16 WiMAX," *International Journal of Distributed and Parallel Systems (IJDPS)*, vol.3, no.4, pp. 197-207, 2012.

[2] T. Wang, H. Feng and B. Hu, "Two-dimensional Resource Allocation for OFDMA System," in *IEEE International Conference on Communications Workshops*, pp. 1-5, 2008.

[3] C. So-In, R. Jain and A. Tamimi, "eOCSA: An Algorithm for Burst Mapping with Strict QoS Requirements in IEEE 802.16e Mobile WiMAX Networks," *Proceedings of the Second IFIP Wireless Days Conference*, pp. 1-5, 2009.

[4] Y. Ben-Shimol, I. Kitroser and Y. Dinitz, "Two-dimensional mapping for wireless OFDMA systems," *IEEE Transactions on Broadcasting*, vol. 52, no. 3, pp. 388–396, 2006.

[5] S. Rostami, K. Arshad and P. Rapajic, "Aggregation-based Spectrum Assignment in Cognitive Radio Networks," *International Conference on Advanced Computing and Communication Systems (ICACCS-2013)*, pp. 1-6, 2013.

[6] N. Sharma and K. R. Anupama, "A Novel Genetic Algorithm for Adaptive Resource Allocation in Multiuser OFDM Systems with Proportional Rate Constraint," *International Journal of Recent Trends in Engineering*, vol 2, no. 5,pp. 135-139, 2009.

[7] C. So-In, R. Jain and A. Tamimi, "OCSA: An algorithm for Burst Mapping in IEEE 802.16e Mobile WiMAX Networks," *Proceeding of the 15th Asia Pacific Conference on Communications (APCC 2009)*, pp. 52-58, 2009.

[8] N. Zhou, X. Zhu and Y. Huang, "Genetic Algorithm Based Cross-Layer Resource Allocation for Wireless OFDM Networks With Heterogeneous Traffic," *17th European Signal Processing Conference (EUSIPCO 2009)*, pp. 1656-1659, 2009.

[9] H. Ye, G. Lim, J. Leonard and Z. Tan, "Energy-Efficient Scheduling and Resource Allocation in Uplink OFDMA Systems," *IEEE Communications Letters*, vol. 19, no. 3, pp. 439-442, 2015.

[10] N. Sharma and K. R. Anupama, "A Novel Genetic Algorithm for Adaptive Resource Allocation in Multiuser OFDM Systems with Proportional Rate Constraint," *International Journal of Recent Trends in Engineering*, vol 2, no. 5, pp. 135-139, 2009.

[11] C. Suh and C-S. Hwang, "Dynamic Subchannel and Bit Allocation Multicast OFDM Systems," *IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, pp. 2102-2106, 2004.

[12] C. Suh and J. Mo, "Resource Allocation for Multicast Services in Multicarrier Wireless Communications," *IEEE Transactions on Communications*, vol. 7, no. 1, pp. 27–31, 2008.

[13] C. Cicconetti, L. Lenzini, A. Lodi, S. Martello, E. Mingozzi and M. Monaci, "Efficient two-dimensional data allocation in IEEE 802.16 OFDMA," *IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol. 22, no. 5, pp. 1645-1658, 2014.

[14] IMS Research, *A Global Market Analysis*, 2011 Edition.

[15] C. So-In, R. Jain and A. Al-Tamimi, "Scheduling in IEEE 802.16e Mobile WiMAX Networks: Key Issues and a Survey," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications (JSAC)*, vol. 27, no. 2, pp. 156-171, 2009.

[16] I. Poole, *TDD FDD Duplex Schemes*, http://www. radio-electronics.com/info/cellulartelecomms/cellular concepts/ tdd-fdd-time-frequency-division-duplex.php.

[17] A. Abdollahpouri and B. E. Wolfinger, "Overhead Analysis in WiMAX-based IPTV Systems," *International Congress Ultra Modern Telecommunications and Control Systems*, pp. 1-8, 2011.

[۱۸] غلامرضا صیاد، امین خدابخشیان، رحمت‌اله هوشمند، «طراحی پایدارساز سیستم قدرت برای توربین‌های بادی مجهز به ژنراتور القایی دو تغذیه به روش کلاسیک و الگوریتم ژنتیک»، مجله مهندسی برق دانشگاه تبریز، جلد ۳۹، شماره ۱، تابستان ۱۳۸۸.

[19] A. Ghosh, "Evolutionary Algorithms for Multi-Criterion Optimization: A Survey," *International Journal of Computing & Information Sciences*, vol. 2, no. 1, pp. 38-57, 2004.

زیرنویس‌ها

[1] Orthogonal Frequency Division Multiple Access
[2] Quality of Service
[3] Base Station
[4] Downlink Sub-frame
[5] Cross-layer
[6] Best Effort
[7] Uplink
[8] Video on Demand
[9] Broadband (Broadcast) TV
[10] Quad-play
[11] Multicast
[12] Downlink
[13] Frequency Division Duplexing
[14] Time Division Duplexing

www.SID.ir