

حل مسئله تخصیص فرکانس با استفاده از الگوریتم جستجوی گرانشی

مهناز میری^{۱*}، سید حمید ظهیری^۲

*۱- نویسنده مسئول: کارشناس ارشد الکترونیک، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه بیرجند، ایران، mmiri103@yahoo.com

۲- دانشیار، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه بیرجند، ایران، hzahiri@birjand.ac.ir

چکیده- امروزه به طور گسترده‌ای از روش‌های ابتکاری برای حل مسائل گوناگون استفاده می‌شود. دسته مهمی از این الگوریتم‌ها با الهام از فرایندهای فیزیکی یا رفتارهای موجودات به وجود آمده‌اند. الگوریتم جستجوی گرانشی (GSA) از سری الگوریتم‌های بهینه یابی است که با الهام از قانون جاذبه و مفهوم جرم شکل یافته است و عامل‌های جستجوگر، مجموعه‌ای از اجرام می‌باشند. در این مقاله با استفاده از این الگوریتم به حل مسئله تخصیص فرکانس (FAP) پرداخته شده است. برای محک قابلیت الگوریتم در حل مسئله، از نمونه‌های محک استاندارد CALMA استفاده گشته و نتایج بدست آمده، گویای توانایی خوب الگوریتم جستجوی گرانشی در حل مسئله تخصیص فرکانس می‌باشد.

کلید واژه‌ها- روش ابتکاری، الگوریتم جستجوی گرانشی (GSA)، مسئله تخصیص فرکانس (FAP).

۱- مقدمه

است. محققان به منظور مدل سازی مسئله از سه ویژگی رایج شبکه‌های بی سیم استفاده می‌کنند و ایده‌های مختلف مدل سازی و حل مسئله را ارائه می‌دهند. این سه ویژگی عبارتند از: تداخل بین سیگنال‌های رادیویی، فرکانس‌های در دسترس و معیار بهینه سازی [۲]. با توجه به ابعاد مختلف مسئله، یک مسئله بهینه سازی با عملیات ریاضی پیچیده به وجود می‌آید که می‌توان با استفاده از تکنیک‌های مختلفی آن را حل نمود. مدل‌ها و الگوریتم‌های متفاوت بسیاری با توجه به دیدگاه محققان، هدف از ایجاد شبکه و شرایط خاص موجود در مسئله پیشنهاد داده شده است. به طور کلی این مدل‌ها به دو دسته تقسیم می‌شوند:

۱. تکنیک‌هایی بر مبنای ریاضی شامل تکنیک‌های بهینه سازی و کاهش محدوده [۲ و ۳]؛
۲. تکنیک‌های جستجوی ابتکاری [۲ و ۳].

در سال‌های اخیر، گسترش سریع استفاده از ارتباطات سیار به خصوص شبکه‌های GSM^۴ سبب شده است که تحقیقات پیرامون مسئله تخصیص فرکانس که برخی آن را مسئله تخصیص کانال (CAP)^۵ نیز می‌نامند، رشد سریع و چشم گیری داشته باشد.

ارتباطات بی سیم در زمینه‌های مختلفی مانند تلفن همراه، پخش امواج رادیو و تلویزیون، ارتباطات ماهواره‌ای، شبکه‌های محلی بی-سیم (WLAN)^۱ و ارتباطات نظامی، کاربرد دارد. در تمام این موارد با توجه به ویژگی‌های کاربرد، به تخصیص فرکانس بهینه و کارآمد نیاز است؛ بنابراین به نوعی مسئله تخصیص فرکانس (FAP)^۲ مطرح می‌گردد.

در شبکه‌های سلولار منبع مورد استفاده جهت برقراری ارتباط فرکانس‌های موجود در طیف رادیویی می‌باشد که در دهه‌های اخیر به علت رشد و توسعه سریع سیستم‌های بی سیم، مسئله کمبود فرکانس در این طیف به وجود آمده است. بنابراین استفاده بهینه از این منبع محدود، بسیار مهم است. از جمله راه حل‌ها برای استفاده بهینه از این منبع، استفاده مجدد فرکانس‌ها در شبکه ارتباطی بی سیم می‌باشد اما این استفاده مجدد، ممکن است به علت به وجود آمدن تداخل بین سیگنال‌ها سبب از بین رفتن کیفیت ارتباط شود [۱].

منظور از حل مسئله تخصیص فرکانس، برقراری مصالحه بین استفاده مجدد فرکانس‌های طیف رادیویی و کاهش کیفیت شبکه

³ Heuristic search techniques

⁴ Global system for mobile communications (GSM)

⁵ Channel assignment problem (CAP)

¹ Wireless local area network (WLAN)

² Frequency assignment problem (FAP)

کاربردهای مسئله، مدل‌های مختلفی را سبب می‌شود که تمام آن‌ها دارای دو ویژگی اصلی هستند:

۱. بازه‌ای از فرکانس‌ها در اختیار است و باید آن‌ها را به مجموعه‌ای از آنتن‌ها اختصاص داد به نحوی که انتقال داده بین فرستنده و گیرنده ممکن گردد؛
۲. فرکانس‌های اختصاص یافته به دو آنتن، ممکن است در یکدیگر تداخل ایجاد کنند و در نتیجه کیفیت سیگنال کاهش یابد.

تکنیک‌های بر مبنای ریاضی، تکنیک‌هایی تقریبی هستند، در زمانی طولانی اجرا می‌شوند و حلی که بیشترین فاکتور بهینه سازی را دارد، می‌یابند. در مقابل در تکنیک‌های هوشمند، تضمینی برای یافتن بهترین پاسخ وجود ندارد اما در عمل این تکنیک‌ها حل‌هایی خوب برای بیشتر مسائل به دست می‌آورند. در عمل، بیشتر الگوریتم‌های تقریبی در مقابل الگوریتم‌های هوشمند شکست می‌خورند زیرا الگوریتم‌های هوشمند برای بیشتر داده‌های ورودی، حل‌هایی بهینه در زمانی کوتاه می‌یابند. با توجه به دلایل فوق در سال‌های اخیر، بسیاری از محققان به استفاده از الگوریتم‌های هوشمند برای حل مسئله روی آورده‌اند [۴].

در ادامه، در بخش دوم مقاله، الگوریتم جستجوی گرانشی (GSA)^۱ و نسخه باینری آن و در بخش سوم، مسئله تخصیص فرکانس مرور می‌شود. در بخش چهارم نتایج و در نهایت نتیجه گیری در بخش پنجم آورده می‌شود.

۲- الگوریتم‌های هوشمند

الگوریتم‌های هوشمند، تکنیک‌هایی کارآمد برای حل مسائل بهینه سازی پیچیده و بزرگ هستند. برخی محققان این الگوریتم‌ها را الگوریتم‌های تکاملی، و محاسباتی که به وسیله این الگوریتم‌ها انجام می‌شود را محاسبه تکاملی (EC)^۲ می‌نامند. به نظر این محققان، تفاوت‌هایی که در تعریف EC وجود دارند ناشی از این است که هر یک از آن‌ها مستقل از دیگری در برهه زمانی خاصی گسترش یافته‌اند. به نظر آنها اصطلاحاتی که در این الگوریتم‌ها وجود دارند، زمینه کلی EC را مشخص می‌کنند و برنامه نویسی تکاملی^۳، استراتژی‌های تکامل^۴، الگوریتم ژنتیک (GA)^۵ و برنامه نویسی ژنتیک^۶ را به عنوان زیر بخش دربر می‌گیرند.

به اعتقاد این محققان ایده کلی در پس تمام این الگوریتم‌ها یعنی الهام از طبیعت، یکسان است: فشار محیطی در جمعیت موجود، سبب بقای بهترین می‌شود و برآزندگی جمعیت افزایش می‌یابد. در این فرآیند دو پیشرفت اجباری وجود دارد؛ یکی انتخاب که حکم عامل پیش برنده کیفیت را دارد و دیگری عملگرهای تغییر که تنوع در جمعیت را سبب می‌شوند. استفاده ترکیبی این دو، بهبود برآزندگی جمعیت را در تکرارهای متوالی سبب می‌شود به طوری که تکامل، بهینه می‌گردد. در حقیقت، تکامل، "بهینه" نیست چون یافتن یک بهینه در آن قطعی نیست بلکه تکامل، "تقریبی" است که در هر تکرار به مقدار بهینه نزدیک و نزدیک‌تر می‌شود [۴].

برخی دیگر از محققان، بعضی از این الگوریتم‌ها را روش‌های ابتکاری می‌نامند اما در مجموع این الگوریتم‌ها در دو گروه طبقه بندی می‌شوند: (۱) الگوریتم‌های تکاملی و (۲) الگوریتم‌های هوش جمعی.

در زیر بخش آتی به معرفی یک الگوریتم هوش جمعی که مبتنی بر تعاملات مکانیکی بین عوامل جستجو است پرداخته می‌شود. این روش همان الگوریتمی است که در ادامه مقاله برای حل مسئله تخصیص فرکانس از آن استفاده می‌شود.

۲-۱- الگوریتم جستجوی گرانشی

الگوریتم جستجوی گرانشی یا الگوریتم بهینه سازی گرانشی با الهام از مفاهیم جرم و نیروی جاذبه و با شبیه سازی قوانین موجود در طبیعت ارائه شده است [۵]. این الگوریتم از الگوریتم‌های شهودی جدید است که با بهره گیری از قانون جاذبه در طبیعت پایه ریزی شده است. در GSA بهینه یابی به کمک طرح قوانین گرانشی و حرکت، در یک سیستم مصنوعی با زمان گسسته انجام می‌شود. محیط سیستم، محدوده تعریف مسئله می‌باشد. طبق قانون گرانش، هر جرم، محل و وضعیت سایر اجرام را از طریق نیروی جاذبه گرانشی درک می‌کند. بنابراین می‌توان از این نیرو به‌عنوان ابزاری برای تبادل اطلاعات استفاده کرد. از بهینه یاب طراحی شده می‌توان برای حل هر مسئله بهینه سازی که در آن هر جواب مسئله به صورت یک موقعیت در فضا قابل تعریف است و میزان شباهت آن با سایر جواب‌های مسئله بصورت یک فاصله قابل بیان باشد، استفاده نمود. میزان اجرام با توجه به تابع هدف تعیین می‌شوند.

در قدم اول فضای سیستم مشخص می‌شود. محیط، شامل یک دستگاه مختصات چند بعدی در فضای تعریف مسئله است. هر نقطه از فضا، یک جواب مسئله است. عامل‌های جستجوکننده،

¹ Gravitational Search Algorithm (GSA)

² Evolutionary computing (EC)

³ Evolutionary programming

⁴ Evolution strategies

⁵ Genetic algorithm (GA)

⁶ Genetic programming

طبق قانون دوم نیوتن، هر جرم در جهت بعد d شتابی می‌گیرد که متناسب با نیروی وارد بر جرم در آن جهت، بخش بر جرم اینرسی جرم است:

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

که M_{ii} جرم اینرسی آمین جرم است. سرعت هر جرم برابر مجموع ضریبی از سرعت فعلی جرم و شتاب جرم تعریف می‌شود:

$$v_i^d(t+1) = rand_i \times v_i^d(t) + a_i^d(t) \quad (6)$$

مجدداً $rand_i$ عددی تصادفی در بازه $[0,1]$ می‌باشد و بر اساس آن موقعیت جدید بعد d از جرم i طبق رابطه زیر محاسبه می‌شود:

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

اعداد رندم درون روابط، برای حفظ خاصیت تصادفی بودن جستجو استفاده شده‌اند.

ثابت گرانش G ، با یک مقدار اولیه شروع می‌شود و با گذشت زمان کاهش می‌یابد. این ثابت برای کنترل دقت جستجو استفاده می‌شود:

$$G(t) = G(G_0, t) \quad (8)$$

معمولاً برای تنظیم ضریب گرانش از رابطه زیر استفاده می‌شود؛ در این رابطه، T تعداد کل تکرارهای الگوریتم است:

$$G(t) = G_0 e^{-a_T t} \quad (9)$$

اجرام گرانشی و اینرسی با استفاده از ارزیابی هدف، محاسبه می‌شوند: به اجرام با شایستگی بهتر، جرم بیشتری نسبت داده می‌شود. یعنی اجرام بهتر، جاذبه بیشتری دارند و آهسته‌تر حرکت می‌کنند. با یکسان در نظر گرفتن اجرام گرانشی و اینرسی، مقادیر اجرام با استفاده از نگاشت هدف محاسبه می‌شود. اجرام گرانشی و اینرسی با استفاده از روابط زیر محاسبه می‌شوند:

$$M_{ai} = M_{pi} = M_{ii} = M_i, \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (10)$$

$$m_i(t) = \frac{fit_i(t) - worst(t)}{best(t) - worst(t)} \quad (11)$$

$$M_i(t) = \frac{m_i(t)}{\sum_{j=1}^N m_j(t)} \quad (12)$$

که $fit_i(t)$ میزان برازندگی جرم i در زمان t است و در مسائل کمینه یابی $worst(t)$ و $best(t)$ بصورت زیر تعریف می‌شوند:

$$best(t) = \min_{j \in \{1, \dots, N\}} fit_j(t) \quad (13)$$

$$worst(t) = \max_{j \in \{1, \dots, N\}} fit_j(t) \quad (14)$$

و در مسائل بیشینه سازی:

$$best(t) = \max_{j \in \{1, \dots, N\}} fit_j(t) \quad (15)$$

مجموعه‌ای از اجرام می‌باشند. هر جرم چهار مشخصه دارد: (۱) موقعیت؛ (۲) جرم اینرسی^۱؛ (۳) جرم گرانشی اکتیو^۲ و (۴) جرم گرانشی پسیو^۳.

اجرام فوق برگرفته از مفاهیم جرم گرانشی و جرم اینرسی در فیزیک هستند:

ا. جرم گرانشی اکتیو معیاری از میزان شدت نیروی گرانشی حول یک جسم است. نیروی گرانشی جسمی با جرم گرانشی اکتیو کوچک از نیروی گرانشی جسم دارای جرم گرانشی اکتیو بزرگ‌تر، ضعیف‌تر است؛

ب. جرم گرانشی پسیو معیاری از میزان شدت برهم کنش جسم با نیروی گرانشی است. در حضور نیروی گرانشی یکسان، بر جسم دارای جرم گرانشی پسیو کمتر نسبت به جسم دارای جرم گرانشی پسیو بیشتر، نیروی کمتری اثر می‌گذارد؛

ج. جرم اینرسی معیاری از مقاومت جسم در مقابل حرکت است. جسم دارای جرم اینرسی بزرگ‌تر، آهسته‌تر حرکت می‌کند در مقابل جسم با جرم اینرسی کوچک‌تر، سریع‌تر حرکت می‌کند.

موقعیت جرم، نقطه‌ای در فضا است که جوابی از مسئله است. با در نظر گرفتن سیستم بصورت مجموعه‌ای از N جرم، موقعیت بعد d از جرم i با x_i^d مشخص می‌شود:

$$x_i = (x_i^1, \dots, x_i^d, \dots, x_i^p) \quad (1)$$

در سیستم در زمان t ، به هر جرم i از سوی جرم j در جهت بعد d نیرویی به اندازه $F_{ij}^d(t)$ وارد می‌شود:

$$F_{ij}^d(t) = G(t) \frac{M_{pi}(t) \times M_{aj}(t)}{R_{ij}(t) + \epsilon} (x_j^d(t) - x_i^d(t)) \quad (2)$$

در رابطه فوق $G(t)$ ثابت گرانش در زمان t ، M_{pi} جرم گرانشی پسیو جرم i ، M_{aj} جرم گرانشی اکتیو جرم j و R_{ij} فاصله اقلیدسی بین دو جرم i و j می‌باشند:

$$R_{ij}(t) = \|x_i(t) - x_j(t)\|_2 \quad (3)$$

به این ترتیب نیروی وارد بر جرم i در جهت بعد d در زمان t برابر مجموع تمام نیروهایی است که سایر اجرام سیستم بر جرم وارد می‌کنند:

$$F_i^d(t) = \sum_{j=1, j \neq i}^N rand_j F_{ij}^d(t) \quad (4)$$

که $rand_j$ عددی تصادفی در بازه $[0,1]$ می‌باشد.

¹ Inertial mass

² Active gravitational mass

³ Passive gravitational mass

۲-۲- الگوریتم جستجوی گرانشی باینری (BGSA)^۲

در فضای گسسته، موقعیت ذره در هر بعد با صفر و یک نمایش داده می‌شود. حرکت ذره در هر بعد به معنای تغییر مقدار آن از صفر به یک یا از یک به صفر خواهد بود. در این حالت سرعت جرم در هر بعد، بصورت یک تابع احتمال در نظر گرفته می‌شود و بر مبنای آن ذره با یک احتمال در آن بعد تغییر موقعیت می‌دهد. در واقع در نسخه باینری، v_i^d به جای آنکه بیانگر جابجایی ذره باشد، احتمال صفر یا یک بودن x_i^d را نشان می‌دهد [۶].

در مدل باینری الگوریتم، روابط مربوط به محاسبه نیروی وارد بر هر جرم، سرعت هر جرم و به روزرسانی اجرام تغییری نمی‌کنند فقط در محاسبه نیروی بین اجرام، به جای فاصله اقلیدسی از فاصله همینگ استفاده می‌شود. در این حالت رابطه G بصورت خطی کاهش می‌یابد:

$$G(t) = 2 - \frac{t}{T} \quad (18)$$

و

$$S(v_i^d(t)) = |\tanh(v_i^d(t))| \quad (19)$$

برای همگرایی مناسب الگوریتم، v_i^d باید به یک بازه مناسب محدود شود: $|v_i^d| < v_{max}$ که با اقتباس از الگوریتم بهینه سازی گروه ذرات باینری (BPSO)^۳، مقدار v_{max} برابر با ۶ در نظر گرفته می‌شود.

حرکت جرم در هر بعد مطابق رابطه زیر می‌باشد:

$$\begin{aligned} & \text{if } rand < S(v_i^d(t+1)) \\ & \text{then } x_i^d(t+1) = complement(x_i^d(t)) \\ & \text{else } x_i^d(t+1) = x_i^d(t) \end{aligned} \quad (20)$$

طبق رابطه فوق، جرم با یک احتمال تغییر موقعیت می‌دهد که هر چه سرعت جرم در یک بعد بیشتر باشد، احتمال حرکت جرم در آن بعد بیشتر می‌شود و $rand$ عددی تصادفی در بازه $[0,1]$ می‌باشد.

در بخش بعد ضمن معرفی و توضیح مسئله تخصیص فرکانس نحوه به خدمت گرفتن آن، در این حوزه شرح داده خواهد شد.

۳- مسئله تخصیص فرکانس

۳-۱- مقادیر فرکانس‌های در دسترس و تداخل آن‌ها

بطور معمول اتحادیه ارتباطات بین المللی (ITU)^۴ و دولت ملی هر کشور، محدوده فرکانسی در دسترس اپراتورهای شبکه‌های GSM را تعیین می‌کنند. این محدوده فرکانسی، $[f_{min}, f_{max}]$ به

$$worst(t) = \min_{j \in \{1, \dots, N\}} fit_j(t) \quad (16)$$

در ابتدای تشکیل سیستم، هر جسم بصورت 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 با استفاده از روابط فوق محاسبه می‌شود و پارامترهای سیستم، شامل اجرام گرانشی و اینرسی و ثابت گرانش، در هر مرحله به‌روز رسانی می‌شوند.

شبه کد الگوریتم بصورت زیر است:

۱. تعیین محیط سیستم و مقاردهی اولیه.
۲. جابجایی اولیه اجرام.
۳. ارزیابی اجرام.
۴. به روزرسانی پارامترهای $G(t)$ ، $best(t)$ ، $worst(t)$ و $M_i(t)$ ، $i=1,2,\dots,N$
۵. محاسبه نیروی وارد بر هر جرم.
۶. محاسبه شتاب و سرعت هر جرم.
۷. به روزرسانی موقعیت اجرام.
۸. اگر شرط توقف برآورده نشده است به مرحله ۳ برو.
۹. پایان.

شکل ۱: شبه کد الگوریتم جستجوی گرانشی

در نسخه نخبه گرای الگوریتم، تنها K جرم مناسب‌تر جمعیت، امکان وارد آوردن نیرو به سایر اجرام را دارند. یعنی در هر تکرار الگوریتم نیروی وارد بر هر جرم، برابر برآیند نیروی وارد از سوی K جرم برتر جمعیت است. یعنی رابطه (۴) بصورت زیر تغییر می‌کند:

$$F_i^d(t) = \sum_{j \in Kbest, j \neq i} rand_j F_{ij}^d(t) \quad (17)$$

در این رابطه $Kbest$ بیانگر مجموعه K جرم برتر جمعیت است. در تکرارهای اولیه الگوریتم، هنوز مسئله به کاوش بالا احتیاج دارد اما با گذشت زمان، جمعیت به نتایج بهتری می‌رسد بنابراین مقدار K بصورت متغیر با زمان تعریف می‌شود. به این ترتیب که در زمان شروع، تمام اجرام روی یکدیگر تاثیر می‌گذارند و با گذشت زمان از تعداد اعضای تاثیرگذار بر جمعیت، به صورت یک نسبت خطی کم می‌شود تا اینکه در انتها تنها ۲ درصد جمعیت بر سایر اعضا نیرو وارد می‌کنند. این روش از بار محاسباتی الگوریتم می‌کاهد.

آنچه در بالا ذکر شد نسخه حقیقی^۱ روش GSA بود. با توجه به نیاز روش پیشنهادی در این تحقیق به نسخه باینری آن، در زیر بخش بعد به معرفی نسخه باینری این الگوریتم پرداخته می‌شود.

² Binary gravitational search algorithm (BGSA)

³ Binary particle swarm optimization (BPSO)

⁴ International telecommunication union (ITU)

¹ Real valued

فرکانس‌های اختصاص یافته به هر آنتن باید شرایطی را برآورده سازند: (۱) در دسترس بودن، به خصوص در مرزهای کشور، (۲) سطوح تداخل، (۳) ملزومات فنی و (۴) اندازه ناحیه با تداخل غیرقابل قبول.

چهار نوع محدودیت در نظر گرفته می‌شود [۱ و ۷]:

محدودیت جدایی هم-سلول^۲: فرکانس‌های اختصاص یافته به آنتن v باید حداقل $\delta(v, v)$ واحد (معمولا $\delta(v, v) = 3$) فاصله داشته باشند.

محدودیت جدایی هم-سایت (CSC)^۳: فرکانس‌های اختصاص یافته به آنتن‌های درون یک سلول باید از یک حداقل فاصله برخوردار باشند. به عبارتی اگر u و v آنتن‌های درون یک سلول هستند، معمولا فاصله $\delta(u, v) = 2$ بین فرکانس‌های اختصاص یافته به آن‌ها در نظر گرفته می‌شود.

محدودیت تداخل^۴: بین فرکانس‌های اختصاص یافته به آنتن‌هایی که درون یک سلول نیستند، فاصله‌ای اضافه برای جلوگیری از تداخل در نظر گرفته می‌شود؛ بنابراین آنتن‌های u و v باید فرکانس‌هایی با حداقل فاصله ۲ واحد داشته باشند.

محدودیت‌هایی که استفاده دو سلول از فرکانسی یکسان را ممنوع می‌سازند، اغلب محدودیت‌های هم کانال (CCC)^۵ نامیده می‌شوند. در واقع به یک زوج آنتن در دو سلول، نباید فرکانسی یکسان اختصاص داده شود مگر اینکه از لحاظ جغرافیایی به خوبی از یکدیگر جدا باشند.

محدودیت‌هایی که فرکانس‌های با فاصله ۱ واحد را ممنوع می‌سازند، معمولا فاصله صفر را شامل می‌شوند، که به این محدودیت-ها، محدودیت‌های کانال مجاور (ACC)^۶ می‌گویند. به عبارتی فرکانس‌های مجاور در طیف فرکانسی نمی‌توانند به طور هم زمان به آنتن‌های درون یک سلول اختصاص داده شوند.

محدودیت جدایی تحویل^۷: همانطور که موبایل از سلول u به سلول مجاور v حرکت می‌کند باید کنترل آن از u به v منتقل شود (hand-over یا hand-off). در این حالت باید فرکانس‌های اختصاص یافته به u و v که موبایل را پذیرش می‌کنند حداقل یک واحد اختلاف داشته باشند. در عمل وضعیت شبکه‌های GSM، بسیار پیچیده‌تر است چون کانال‌های کنترلی، به محافظت بیشتری نیازمندند. در برخی کشورها این حالت با فاصله ۲ واحد پیاده سازی می‌شود.

مجموعه‌ای از فرکانس‌ها (کانال‌ها) با پهنای باند فرکانسی یکسان Δ تقسیم شده و از ۱ تا $N = \frac{f_{max} - f_{min}}{\Delta}$ شماره گذاری می‌شوند؛ بنابراین کانال‌های موجود برای اختصاص دادن به آنتن‌ها مجموعه $F = \{1, \dots, N\}$ را تشکیل می‌دهند. اگر بیش از یک محدوده فرکانسی، در دسترس است، هر یک از این محدوده‌ها به طور مجزا تقسیم بندی و شماره گذاری می‌شوند. شماره گذاری‌ها باید به صورت متوالی باشد. برای آنتن نزدیک به مرز کشور، تخصیص فرکانس باید با توجه به قوانین تقسیم کشورها صورت گیرد و به این ترتیب تعداد فرکانس‌های اختصاص یافته به آن کاهش یابد. برای هر آنتن v ، فرکانس‌های اختصاص یافته به آن، زیرمجموعه $F(v)$ از F را تشکیل می‌دهند.

تداخل سیگنال‌ها با نسبت سیگنال به نویز یا نسبت سیگنال به تداخل در سمت گیرنده، اندازه گیری می‌شود. در این حالت سیگنال سمت فرستنده، مقداری مشخص دارد و نویز، حاصل از دیگر سیگنال‌های تداخلی منتشر شده می‌باشد. به طور معمول با در نظر گرفتن فاصله فرکانسی بین فرکانس انتشار سیگنال‌ها، سطح تداخل بین آن‌ها سریعاً کاهش می‌یابد.

نسبت سیگنال به نویز (تداخل) سمت گیرنده به عواملی همانند فرکانس انتخابی، توان سیگنال، جهت انتشار سیگنال، شکل محیط و شرایط آب و هوایی بستگی دارد بنابراین پیش بینی دقیق آن، امری دشوار است. به طور معمول برای داشتن پیش بینی آسان‌تر، از محیط صرف نظر کرده و آنتن سمت گیرنده را تمام جهت^۱ فرض می‌نمایند. با در نظر گرفتن دو سیگنال، که یکی سیگنال اصلی است و دیگری سیگنال دارای فرکانس یکسان با سیگنال اصلی (سیگنال تداخلی)؛ تداخل ناشی از سیگنال دوم در گیرنده سیگنال اول با استفاده از رابطه $\frac{P}{d^{\gamma}}$ محاسبه می‌گردد که P توان فرستنده تداخلی، d فاصله فرستنده تداخلی تا گیرنده مختل شده و γ فاکتور محوشدگی (فیدینگ) می‌باشند. با توجه به فرکانس استفاده شده دارای مقداری بین ۲ تا ۴ است، برای مثال فرکانس-های GSM 1800 سریع‌تر از فرکانس‌های GSM 900 محو می‌شوند. در صورتی که فاصله فرکانسی سیگنال تداخلی تا سیگنال اصلی بیشتر از یک واحد باشد، در محاسبه تداخل فاکتور فیلترینگ $15(1 + \log^2 n)$ dB نیز اضافه می‌گردد.

تمام سیگنال‌های دارای فرکانس یکسان با فرکانس گیرنده و یا نزدیک به آن در نویز (تداخل) دریافتی آن سهیم هستند، چنین حالتی را تداخل چندگانه می‌گویند. بیشتر محققان در مدل‌هایشان از این نوع تداخل صرف نظر کرده و فقط تداخل بین دو آنتن را در نظر می‌گیرند، با این فرض رابطه تداخل باینری می‌شود.

^۱ Omni-directional

^۲ Co-cell separation constraint

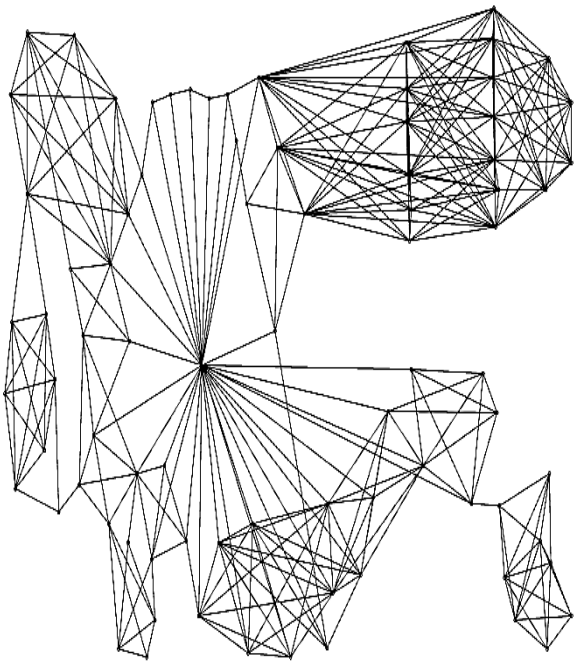
^۳ Co-site separation constraint (CSC)

^۴ Interference constraint

^۵ Co-channel constraints (CCC)

^۶ Adjacent channel constraints (ACC)

^۷ Hand-over separation constraint



شکل ۲: مثالی از گراف تداخل از طرح CALMA

در گراف تداخل انتخاب هم زمان زوج‌های فرکانسی با توجه به سطح تداخل بین آن‌ها جریمه می‌شود. منظور از جریمه، قرار دادن وزن‌هایی برای لبه‌های گراف است. عبارتی با توجه به سطح تداخل بین زوج‌های فرکانسی $f \in f(V)$ و $g \in f(W)$ مربوط به رئوس v و w ، انتخاب هم زمان آن‌ها جریمه گشته و این جریمه با $p_{vw}(f, g)$ یا p_{vwfg} نمایش داده می‌شود. معمولاً این جریمه فقط به v و w و فاصله بین فرکانس‌های آن‌ها، $|f-g|$ ، بستگی دارد. مسائل تخصیص فرکانسی که چنین ساختاری دارند، مسائل تخصیص فرکانس فاصله^۱ نامیده می‌شوند.

پیاده سازی جریمه به دو روش صورت می‌گیرد [۲]: ۱) یک فاصله d_{vw} در نظر گرفته می‌شود و اگر فرکانس‌های اختصاص یافته به f و g دارای فاصله‌ای کمتر از این مقدار باشند، $|f-g| < d_{vw}$ ، جریمه p_{vw} اتفاق می‌افتد. باید دقت داشت که انتخاب جریمه‌های بسیار بزرگ، حل مسئله را دشوار می‌سازد و ۲) فقط یک جریمه هم کانال^۲ p_0 (اگر $|f-g|=0$) و یک جریمه کانال مجاور^۳ p_1 (اگر $|f-g|=1$) در نظر گرفته می‌شود که $p_0 > p_1 \geq 0$.

حاصل تعریف جریمه به روش فوق، یک ماتریس جریمه است. معمولاً این ماتریس ابعادی بزرگ داشته و حل مسئله بوسیله آن دشوار است بنابراین برخی محققان برای ساده سازی حل، ترجیح می‌دهند از مقدار آستانه برای حل مسئله استفاده کنند. در این

برای شناختی صحیح از نحوه عملکرد انواع الگوریتم‌ها و ایجاد قابلیت مقایسه در آن‌ها، اصولاً از نمونه‌هایی عمومی و پذیرفته شده برای محک استفاده می‌شود. برای مثال: نمونه‌های Bell Mobility و CNET، CSELT، COST 259، Philadelphia. که نمونه‌هایی "واقع گرایانه" و بر مبنای شبکه‌های واقعی هستند. در زیر بخش بعد، طبقه بندی‌های مربوطه توضیح داده می‌شود.

۳-۲- طبقه بندی‌ها

مسئله تخصیص فرکانس، شامل جمع محدودیت‌های تخصیص، محدودیت‌های تداخل و یک تابع هدف می‌باشد. در هر یک از مدل‌های مسئله تخصیص فرکانس، برای هر آنتن v باید تعداد $m(v)$ فرکانس از زیرمجموعه $F(v) \subseteq F$ به آن اختصاص داده شوند [۸].

به صورت قراردادی برای نمایش تداخل، از گراف $G=(V,E)$ که گراف تداخل یا گراف محدودیت نامیده می‌شود، استفاده می‌گردد. هر آنتن با یک راس $v \in V$ نمایش داده می‌شود. دو راس v و w که ممکن است تداخل داشته باشند، با یک لبه $vw \in E$ بهم متصل می‌شوند. چندین فرکانس اختصاص یافته به یک آنتن می‌توانند با شکافتن رئوس آنتن، نمایش داده شوند. این کار اندازه گراف تداخل را بزرگ می‌کند، بنابراین در برخی روش‌ها ترجیح می‌دهند که تعداد در گره‌های آنتن داشته باشند و با آن‌ها کار کنند. چنین گرافی را گراف تداخل دوبخشی می‌نامند. در گراف حاصل، اگر لبه‌ها روی یک راس، حلقه تشکیل دهند باید بین فرکانس‌های اختصاص یافته به آن راس (آنتن)، فاصله در نظر گرفت. شکل (۲) مثالی از یک گراف تداخل از طرح CALMA را نشان می‌دهد [۹]. در این شکل، رئوس، نشان دهنده آنتن‌ها بوده و وجود خطوط بین رئوس بیان کننده وجود تداخل، بین آنتن‌های متناظر رئوس می‌باشد.

¹ Distance frequency assignment problems

² Co-channel penalty

³ Adjacent channel penalty

معمولا دو رابطه فوق را محدودیت‌های چندگانه یا محدودیت‌های پوشش می‌نامند.

زمانی که فقط سعی می‌گردد حلی امکان پذیر برای مسئله به دست آورده شود با مسئله تخصیص فرکانس امکان پذیر (F-FAP)^۳، مواجه هستیم. در این حالت باید حل بدست آمده، با روابط (۲۱) و (۲۲) سازگار باشد عبارتی محدودیت‌های چندگانه را برآورده سازد. می‌توان گفت معمولا در حل مسئله با استفاده از الگوریتم‌های هوشمند با چنین مسئله‌ای مواجه می‌شویم.

مسائل تخصیص فرکانس با توجه به نوع تابع هدفشان، طبقه بندی می‌شوند. این طبقه بندی‌ها معمولا برای مسائل تخصیص فرکانس امکان پذیر صورت می‌گیرد: اگر هیچ حل امکان پذیری برای مسئله وجود ندارد بهترین راه حلی که به ذهن می‌رسد این است که تا حد ممکن تعداد زیادی فرکانس به هر راس اختصاص داده شود. روشی برای پیاده سازی این راه حل، استفاده از احتمال مسدود شدن (بلاک شدن) تماس در هر یک از رئوس و حداقل سازی آن است. راه حل دیگر حداقل سازی هزینه‌ها است این هزینه می‌تواند تعداد فرکانس‌های استفاده شده و یا پهنای باند استفاده شده باشد. هر یک از این راه حل‌های ارائه شده باید محدودیت‌های چندگانه را برآورده سازند. راه حل دیگر استفاده از ماتریس جریمه و حداقل سازی جریمه کلی اتفاق افتاده می‌باشد. در چنین راه حلی دیگر برآورده سازی محدودیت‌های چندگانه ملاک نیست بلکه از جریمه برای ممنوع و یا مجاز ساختن انتخاب زوج‌های فرکانسی خاص استفاده می‌شود.

بنابر آنچه گفته شد می‌توان انواع مسئله تخصیص فرکانس را به این ترتیب طبقه بندی نمود [۲]: (۱) مسئله تخصیص فرکانس دارای حداکثر سرویس دهی (Max-FAP)^۴ و مسئله تخصیص فرکانس دارای حداقل بلاک شدگی (MB-FAP)^۵، (۲) مسئله تخصیص فرکانس حداقل درجه (MO-FAP)^۶، (۳) مسئله تخصیص فرکانس حداقل محدوده (MS-FAP)^۷، (۴) مسئله تخصیص فرکانس حداقل تداخل (MI-FAP)^۸، (۵) مسئله تخصیص فرکانس طیف ثابت (FS-FAP)^۹. اما آنچه که معمول است حل مسئله

حالت مقداری آستانه برای تداخل، p_{max} ، در نظر گرفته می‌شود که متناسب با مقدار قابل قبول نسبت سیگنال به نویز (تداخل) است. به این ترتیب محدودیت‌های تداخل بیان شده، به مجموعه‌ای از زوج‌های فرکانسی ممنوع، کاهش می‌یابند و مسئله، به مسئله برآورده سازی محدودیت (CSP)^۱ باینری تبدیل می‌گردد.

در حالتی که $p_{vw}(f,g)$ فقط به فاصله $|f-g|$ بستگی دارد مجموعه‌ای از فواصل ممنوع T_{vw} همراه با مقداری آستانه بدست می‌آیند. چنین مسئله‌ای معادل با مسئله T-coloring است که در آن رنگ-ها اعداد هستند و تفاضل‌هایی خاص از اعداد، برای رئوس مجاور ممنوع می‌باشد. معمولا حاصل فواصل ممنوع، مجموعه‌ای از اعداد صحیح متوالی $\{0,1,\dots,d_{vw}-1\}$ است. در چنین مواردی با مسئله تخصیص فرکانس فاصله، مواجه هستیم.

به منظور آسان تر شدن حل مسئله، بسیاری از محققان برای نمایش دادن تخصیص فرکانسی خاص به راسی خاص از متغیرهای باینری استفاده می‌کنند [۳]. به این ترتیب برای هر راس v و فرکانس $f \in F(v)$ می‌توان این گونه نوشت:

$$x_{vf} = \begin{cases} 1 & \text{if frequency } f \in F(v) \text{ is assigned to vertex } v \in V \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

این شیوه نمایش، روابطی با تعداد بسیار زیادی متغیر را سبب می‌شود که از لحاظ برنامه نویسی، با استفاده از تکنیک‌های خطی قابل حل هستند مثلا با استفاده از روش‌های تقسیم و حذف^۲. استفاده از شیوه نمایش f_v برای انتخاب فرکانس برای راس $v \in V$ ، روابطی پیچیده‌تر را سبب می‌شود که حاصل آن‌ها برنامه‌هایی غیرخطی است. این شیوه نمایش، فقط یک فرکانس به هر راس اختصاص می‌دهد که یک نقص محسوب می‌شود.

همان طور که گفته شد باید تعداد $m(v)$ فرکانس به راس v اختصاص داده شود، این شرط با رابطه زیر بیان می‌گردد:

$$\sum_{f \in F(v)} x_{vf} = m(v) \quad \forall v \in V \quad (21)$$

ماتریس جریمه p_{vw} اغلب همراه با مقدار آستانه p_{max} استفاده می‌شود. استفاده از زوج‌های فرکانسی دارای جریمه متجاوز از این آستانه، ممنوع است. این ویژگی با استفاده از رابطه زیر مدل می‌گردد:

$$x_{vf} + x_{wg} \leq 1 \quad \forall vw \in E, f \in F(v), g \in F(w): p_{vw}(f,g) > p_{max} \quad (22)$$

³ Feasibility frequency assignment problem (F-FAP)

⁴ Maximum service frequency assignment problem (Max-FAP)

⁵ Minimum blocking frequency assignment problem (MB-FAP)

⁶ Minimum order frequency assignment problem (MO-FAP)

⁷ Minimum span frequency assignment problem (MS-FAP)

⁸ Minimum interference frequency assignment problem (MI-FAP)

⁹ Fixed spectrum frequency assignment problem (FS-FAP)

¹ Constraint satisfaction problem (CSP)

² Branch-and-cut

متفاوت است. به عنوان مثال در نمونه CELAR 01، هدف یافتن حلی است که تعداد مقادیر مختلف اختصاص داده شده به یک راس را حداقل می‌سازد ولی در نمونه CELAR 02، هدف یافتن حلی است که از کمترین تعداد مقادیر استفاده می‌کند.

جدول (۲)، نتایج مقایسه‌ای را برای نمونه‌های نوع MO-FAP نتایج حاصل با نتایج [۱۰-۱۴]؛ در بردارد. در مرجع [۱۰] از روش Clique bound برای حل مسئله تخصیص فرکانس استفاده شده است. مرجع [۱۱] از TS^۱ به این منظور استفاده نموده است. در مرجع [۱۲] نیز از TS استفاده شده است. مرجع [۱۳]، GA را به عنوان روش پیشنهادی به خدمت گرفته است و نهایتاً [۱۴] از Evolutionary Search برای حل مسئله تخصیص فرکانس بهره گرفته است. با مشاهده نتایج مندرج در جدول (۲)، بهبود چشمگیر روش پیشنهادی نسبت به سایر روش‌ها به وضوح به چشم می‌خورد. به عنوان مثال در CELAR 02 و CELAR 03 که همه مراجع فوق‌الذکر از آن‌ها به عنوان مسائل محک استفاده نموده‌اند، روش پیشنهاد شده در این مقاله بهترین عملکرد از آن روش GSA می‌باشد.

جدول (۳)، نتایج مقایسه‌ای را برای نمونه‌های نوع MS-FAP بردارد که نتایج حاصل با نتایج [۱۰]، [۱۱]، [۱۵]، [۱۶] و [۱۷] مقایسه گردیده است. در مرجع [۱۰] از روش Linear programming برای حل مسئله تخصیص فرکانس استفاده شده است. مرجع [۱۱] از TS به این منظور استفاده نموده است. در مرجع [۱۵] از Constraint satisfaction استفاده شده است. مرجع [۱۶] نیز TS را به عنوان روش پیشنهادی به خدمت گرفته است و نهایتاً [۱۷] از Potential reduction برای حل مسئله تخصیص فرکانس بهره گرفته است. با مشاهده نتایج مندرج در جدول (۳)، بهبود چشمگیر روش پیشنهادی نسبت به سایر روش‌ها به وضوح به چشم می‌خورد. به عنوان مثال در CELAR 05 که همه مراجع فوق‌الذکر از آن به عنوان مسئله محک استفاده نموده‌اند، بهترین عملکرد از آن روش GSA، روش پیشنهاد شده در این مقاله، می‌باشد.

جدول (۴)، نتایج را برای نمونه‌های نوع MI-FAP نمایش می‌دهد که نتایج حاصل با نتایج [۱۰]، [۱۱]، [۱۸-۲۰] مقایسه گردیده است. در مرجع [۱۰] از روش Linear programming برای حل مسئله تخصیص فرکانس استفاده شده است. مرجع [۱۱] از SA^۲ به این منظور استفاده نموده است. در مرجع [۱۸] از Tree

تخصیص فرکانس، به حل سه نوع مسئله MO-FAP، MS-FAP و MI-FAP محدود می‌شود.

MO-FAP: معمولاً در حل‌های موجود برای مسئله تخصیص فرکانس امکان پذیر، به دنبال ارزان‌ترین آن‌ها هستیم. ابتدایی‌ترین تلاش در این زمینه جریمه‌های معمول فرکانس‌هاست. یک راه حل اینست که تعداد فرکانس‌های مختلف اختصاص یافته به هر راس، حداقل ممکن باشد. این روش به معرفی تلفن‌های همراه در دهه هفتاد باز می‌گردد زمانی که فرکانس‌ها همراه با دستگاه فروخته می‌شدند و بسیار گران بودند. چنین مسئله‌ای، مسئله تخصیص فرکانس حداقل درجه، MO-FAP، نامیده می‌شود. منظور از درجه، همان تعداد فرکانس‌های اختصاص یافته به هر راس می‌باشد.

MS-FAP: در این مسئله محدوده فرکانسی استفاده شده یعنی اختلاف بین حداقل و حداکثر فرکانس استفاده شده، هزینه را مشخص می‌کند و هدف، حداقل سازی آن است.

MI-FAP: مدل‌های فوق از ماتریس جریمه فقط برای ممنوع ساختن استفاده از برخی زوج‌های فرکانسی استفاده می‌کنند. می‌توان گفت این مدل‌ها به طور کامل از اطلاعات این ماتریس استفاده نمی‌کنند. راه حلی برای رفع این نقص تعریف مسئله به گونه‌ای است که جمع جریمه‌های اتفاق افتاده و انتخاب‌های فرکانسی را حداقل سازد. چنین مدلی مسئله تخصیص فرکانس حداقل تداخل، MI-FAP، نامیده می‌شود.

۴- نتایج

شبیه سازی، با استفاده از نرم افزار Matlab و CPU T6600 و 2.20GHz صورت گرفته است. جدول (۱) ویژگی‌های نمونه‌های CALMA را نمایش می‌دهد و جداول (۴) - (۲)، نتایج حاصل از پیاده سازی‌ها را ضمن مقایسه با نتایج حاصل از روش‌های دیگر نشان می‌دهد. نتایج با میانگین گیری به ازای ۱۰ بار اجرای برنامه بیان شده‌اند.

نمونه‌های CALMA شامل ۲۵ زیرنمونه می‌باشد که به سه دسته MO-FAP، MS-FAP و MI-FAP طبقه بندی می‌شوند. در جدول (۱)، برای هر زیرنمونه، تعداد رئوس و لبه‌ها در زیر ستون گراف اصلی؛ بیان شده‌اند و در صورت امکان کاهش رئوس و لبه‌ها، مقادیر کاهش یافته آن‌ها در زیر ستون گراف کاهش یافته؛ آورده شده‌اند. همانطور که در بخش ۳،۲ بیان شد؛ هر راس بیانگر یک آنتن و هر لبه بیانگر وجود تداخل بین دو آنتن می‌باشد. همچنین برای در نظر گرفتن تمامی شرایط مربوط به یک شبکه واقعی و اعمال آن، ویژگی‌های مربوط به تابع هدف هر نمونه با نمونه دیگر

^۱ Tabu Search (TS)

^۲ Simulated Annealing (SA)

جدول ۲: نتایج برای نمونه‌های نوع MO-FAP

Instance	[10]	[11]	[12]	[13]	[14]	GSA
CELAR 01	12	16	18	20	-	6.3
CELAR 02	14	14	14	14	14	1.1
CELAR 03	12	14	14	16	14	0.6
CELAR 04	-	46	46	46	-	1.9
CELAR 11	20	22	24	32	-	1.6
GRAPH 01	-	18	18	20	18	4.8
GRAPH 02	-	14	16	16	14	6
GRAPH 08	-	20	24	-	-	7.8
GRAPH 09	-	22	22	28	-	2.5
GRAPH 14	-	10	12	14	-	7

جدول ۳: نتایج برای نمونه‌های نوع MS-FAP

Instance	[10]	[11]	[15]	[16]	[17]	GSA
CELAR 05	792	792	792	792	792	53.1
GRAPH 03	-	380	380	-	380	776
GRAPH 04	-	394	394	-	394	776
GRAPH 10	-	394	394	-	394	252.4

جدول ۴: نتایج برای نمونه‌های نوع MI-FAP

Instance	[10]	[11]	[18]	[19]	[20]	GSA
CELAR 06	5	3,671	3,389	3,389	2,321	1.2
CELAR 07	5	567,949	343,592	343,592	180,525	62.5
CELAR 08	-	276	262	-	150	318.3
CELAR 09	-	15,775	15,571	15,571	15,571	1.4
CELAR 10	-	32,460	31,516	31,516	31,516	1.2
GRAPH 05	-	-	221	221	221	70.9
GRAPH 06	-	-	4,123	4,123	4,123	142.3
GRAPH 07	-	-	4,324	4,324	4,324	141.4
GRAPH 11	-	-	3,080	3,080	3,016	246.3
GRAPH 12	-	-	11,827	11,827	11,827	272.4
GRAPH 13	-	-	10,110	10,110	9,925	354.8

۵- نتیجه گیری

در این مقاله از الگوریتم GSA جهت حل مسئله تخصیص فرکانس استفاده شد. نتایج در مقایسه با سایر تحقیقات، نشان دهنده کارایی خوب الگوریتم GSA و توانایی آن در یافتن پاسخ مناسب می‌باشد. تاثیر تغییرات پارامترهای GSA بر روی عملکرد روش پیشنهاد شده به همراه مطالعات تئوریک روی نحوه همگرایی این الگوریتم و وابستگی آن به مقدار پارامترها از زمینه‌های تحقیقاتی مرتبط با کارهای آینده به شمار می‌رود.

decomposition/parallel DP استفاده شده است. مرجع [۱۹]، Constraint satisfaction/tree deco به عنوان روش پیشنهادی Integer programming از [۲۰] برای حل مسئله تخصیص فرکانس بهره گرفته است. با مشاهده نتایج مندرج در جدول (۴)، بهبود چشمگیر روش پیشنهادی نسبت به سایر روش‌ها به وضوح به چشم می‌خورد. به عنوان مثال در CELAR 06 و CELAR 07 که همه مراجع فوق الذکر از آن-ها به عنوان مسائل محک استفاده نموده‌اند، روش پیشنهاد شده در این مقاله بهترین عملکرد را داشته است.

جدول ۱: ویژگی‌های نمونه‌های CALMA

Instance	Objective	Original graph		Reduced graph	
		V	E	V	E
CELAR 01	Minimum Order	916	5,548		
CELAR 02	Minimum Order	200	1,235		
CELAR 03	Minimum Order	400	2,760		
CELAR 04	Minimum Order	680	3,967		
CELAR 05	Minimum Span	400	2,598		
CELAR 06	Minimum Interference	200	1,322	100	350
CELAR 07	Minimum Interference	400	2,865	200	817
CELAR 08	Minimum Interference	916	5,744	458	1,655
CELAR 09	Minimum Interference	680	4,103	340	1,130
CELAR 10	Minimum Interference	680	4,103	340	1,130
CELAR 11	Minimum Order	680	4,103		
GRAPH 01	Minimum Order	200	1,134		
GRAPH 02	Minimum Order	400	2,245		
GRAPH 03	Minimum Span	200	1,134		
GRAPH 04	Minimum Span	400	2,244		
GRAPH 05	Minimum Interference	200	1,134	100	416
GRAPH 06	Minimum Interference	400	2,170	200	843
GRAPH 07	Minimum Interference	400	2,170	200	843
GRAPH 08	Minimum Order	680	3,757		
GRAPH 09	Minimum Order	916	5,246		
GRAPH 10	Minimum Span	680	3,907		
GRAPH 11	Minimum Interference	680	3,757	340	1,425
GRAPH 12	Minimum Interference	680	4,017	340	1,255
GRAPH 13	Minimum Interference	916	5,273	458	1,877
GRAPH 14	Minimum Order	916	4,638		

Informationstechnik Berlin, Berlin, Germany. 2001. Available:
www.zib.de

مراجع

- [1] T. S. Rappaport; "Wireless communications principles and practice;" 2nd edition; Prentice-Hall of India Private Limited, New Delhi-110001. 2006.
- [2] K. I. Aardal, S. P. M. van Hoesel, A. M. C. A. Koster, C. Mannino, and A. Sassano, "Models and solution techniques for frequency assignment problems," Springer Science+Business Media. Ann Oper Res 153, pp. 79–129. 2007.
- [3] www.fap.zib.de
- [4] P. Kampstra, R. D. van der Mei, and A. E. Eiben, "Evolutionary Computing in Telecommunication Network Design: A Survey," Vrije Universiteit, Faculty of Exact Sciences and CWI, Advanced Communication Networks. Amsterdam, Netherlands. 2006.
- [5] E. Rashedi, H. Nezamabadi-pour, and S. Saryazdi, "GSA: A Gravitational Search Algorithm, Information Sciences;" Elsevier. 2009.
- [6] ع. راشدی پور، ح. نظام آبادی پور و س. سریزدی، "الگوریتم جستجوی گرانشی باینری"، هشتمین کنفرانس سیستم‌های هوشمند، دانشگاه فردوسی، مشهد، سال ۱۳۸۶.
- [7] J. P. Malar Dhas, and R. S. Rajesh, "Particle swarm intelligence for Channel Assignment Problem in mobile cellular communication system," Int. J. Artificial Intelligence and Soft Computing, vol. 3, No. 1, 2012.
- [8] E. ruzgar, and O. Dagdeviren, "Performance evaluation of distributed synchronous greedy graph coloring algorithms on wireless Ad Hoc and sensor networks," International Journal of Computer Networks & Communications (IJCNC). Vol. 5, No. 2, March 2013.
- [9] CALMA website, EUCLID CALMA project, Publications and instances available at FTP Site:<ftp://ftp.win.tue.nl/pub/techreports/CALMA/>, 1995.
- [10] K. I. Aardal, C. A. J. Hurkens, J. K. Lenstra, and S. R. Tiourine, Algorithms for Frequency Assignment Problems (Extended Abstract), CWI Quarterly. vol. 9, pp. 1-8. 1996.
- [11] S. R. Tiourine, "Decision Support by Combinatorial Optimization: Case Studies," Eindhoven University of Technology. 1999.
- [12] A. Bouju, J. F. Boyce, C. H. D. Dimitropoulos, G. Vom Scheidt, and J. G. Taylor, Applied Decision Technologies {(ADT'95)}, London: 1995.
- [13] A. Kapsalis, P. Chardaire, V. J. Rayward-Smith, and G. D. Smith, "The Radio Link Frequency Assignment Problem: {A} Case Study Using Genetic Algorithms," Lecture Notes on Computer Science. vol. 993, pp. 117-131. 1995.
- [14] C. Crisan, and H. M. Hlenbein, "The Frequency Assgiment Problem: {A} Look at the Performance of Evolutionary Search," Springer, Lecture Notes in Computer Science. vol. 1363, pp. 263-274. 1998.
- [15] A. W. J. Kolen, C. P. M. van Hoesel, and R. van der Wal, A Constraint Satisfaction Approach to the Radio Link Frequency Assignment Problem, EUCLID CALMA project. 1994.
- [16] A. Bouju, J. F. Boyce, C. H. D. Dimitropoulos, G. Vom Scheidt, J. G. Taylor, A. Likas, G. Papageorgiou, and A. Stafylopatis, Int. Conf. For Digital Signal Processing {(DSP'95)}. Limassol, Cyprus. 1995.
- [17] D. V. Pasechnik, An Interior Point Approximation Algorithm for a Class of Combinatorial Optimization Problems: Implementation and Enhancements, Delft University of Technology. 1998.
- [18] D. Allouche, S. de Givry, and T. Schiex, (2010). Proc. of CP 2010, pp. 53-60.. Available: www.inra.fr
- [19] M. Sanchez, D. Allouche, S. de Givry, and T. Schiex, (2009). Proc. of IJCAI'09, 2009. Available: www.ijcai.org
- [20] K. I. Aardal, C. P. M. van Hoesel, A. M. C. A. Koster, C. Mannino, and A. Sassano, Models and Solution Techniques for the Frequency Assignment Problem. Konrad-Zuse-Zentrum für Informationstechnik Berlin, Berlin, Germany. 2001.

Gravitational Search Algorithm for Frequency Assignment Problem

Mahnaz Miri^{1*}, Seyed Hamid Zahiri²

1*- Corresponding Author: Faculty of Engineering, Birjand University, Birjand, Iran.

2- Faculty of Engineering, Birjand University, Birjand, Iran.

^{1*} mmiri103@yahoo.com, ² hzahiri@birjand.ac.ir

Abstract- Today, various heuristic optimization methods have been developed. Many of these algorithms are inspired from physical processes or swarm behaviors in nature. Gravitational Search Algorithm (GSA) is an optimization algorithm based on the law of gravity and mass interactions. In the proposed algorithm, the search agents are a collection of masses. In this paper, mentioned algorithm is used to solve of the Frequency Assignment Problem (FAP). For ability test of the algorithm, CALMA benchmarks are used and results are good.

Keywords- Heuristic search, Gravitational Search Algorithm (GSA), Frequency Assignment Problem (FAP)