دانشگاه شهید باهنر کرمان

دانشکده فنی و مهندسی

بخش مهندسی برق

گزارش فنی

الگوریتم جستجوی گرانشی

عصمت راشدی

حسین نظام آبادی پور

۱۳۸۸

فهرست

۱- مقدمه

۲- نیروی گرانش در طبیعت

۳- الگوریتم جستجوی گرانشی

۴- الگوریتم جستجوی گرانشی باینری

۵- جمع‌بندی

۶- مراجع

۱- مقدمه

در این گزارش، الگوریتم جستجوی گرانشی آورده شده است. این الگوریتم با الهام از قانون گرانش در طبیعت و با استفاده از قوانین گرانش نیوتن نوشته شده است. در این الگوریتم، عاملهای جستجو کننده، مجموعه ای از اجسام می‌باشند که می‌توانند به صورت سیاره‌های یک منظومه تصور شوند. منطقه بهینه، مثل یک سیاه‌چاله سیاره‌ها را به سمت خود می‌کشد. اطلاعات مربوط به برازندگی هر جسم، در قالب جرم‌های گرانشی و اینرسی ذخیره می‌شوند. تبادل اطلاعات و اثر گذاری اجسام روی یکدیگر تحت نیروی گرانش انجام می‌پذیرد. در ادامه در بخش دوم الگوریتم جستجوی گرانشی و در بخش سوم نسخه باینری آن اورده شده است.

۲- نیروی گرانش در طبیعت

در طبیعت چهار نیروی اصلی وجود دارد. نیروی گرانش[۱]، نیروی ضعیف[۲]، نیروی الکترومغناطیسی[۳] و نیروی قوی[۴] [Hol93]. در میان این نیروها، نیروی جاذبه از بقیه ضعیف‌تر است اما به خاطر محدوده عمل وسیع و داشتن قدرت فقط جذب، سرنوشت عالم را در دست دارد. نیروی جاذبه بسیار فراگیر است و تمام عالم هستی را در بر دارد در حالی که سایر نیروها محلی هستند. این نیرو قدیمی‌ترین و از بعضی جهات جدیدترین نیروی شناخته شده برای انسان است و بعضی جنبه‌های آن هنوز ناشناخته باقی مانده است. گرانش نیروی غالب در هر جایی از سطح زمین است و نیرویی است که تمام اجسام را به سمت هم می‌کشاند، عالم را دور هم نگه می‌دارد و حرکت اجسام را تعیین می‌کند. این ویژگیها، نیروی جاذبه را از سایر نیروهای طبیعت متمایز ساخته است.

بزرگترین نظریه پردازان تئوری جاذبه، اسحاق نیوتن و آلبرت اینشتن می‌باشند. تئوری نیوتن در زمینه جاذبه، بسیاری از پدیده-های طبیعت در کهکشان‌ها و زمین، مثل حرکت سیارات و ماهواره‌ها، ساختار کهکشانها و تولد ستارگان را توجیه می‌کند. تئوری نسبیت عام اینشتن، پدیده هایی مثل سیاه‌چاله[۵] ها، امواج گرانشی[۶] و انفجار بزرگ[۷] که جاذبه نیوتنی قادر به توضیح آنها نیست را توجیه می‌کند چرا که جاذبه نیوتنی تنها تقریبی از حقیقت است [Sch03, Tei00, Sil95].

---

[1] - Gravitational force.
[2] - Weak force.
[3] - Electromagnetic force.
[4] - Strong force.
[5] - Black hole.
[6] - Gravitational waves.
[7] - Big bang.

وجود جاذبه، توسط نیوتن پس از داستان مشهور افتادن سیب از درخت کشف شد. نیوتن عنوان کرد هر جسمی جسم دیگر را به سمت خود جذب می‌کند و مقدار نیروی جاذبه بین دو جسم با جرم M_1 و M_1 و فاصله R، با حاصلضرب جرم آن دو جسم و عکس توان دوم فاصله بین آنها متناسب است. نیوتن با محاسبه ثابت G در زمین که ثابت گرانش نامیده می‌شود، رابطه ۱ را برای میزان نیروی F، نیروی جذبی بین دو جسم به دست آورد [Hol93].

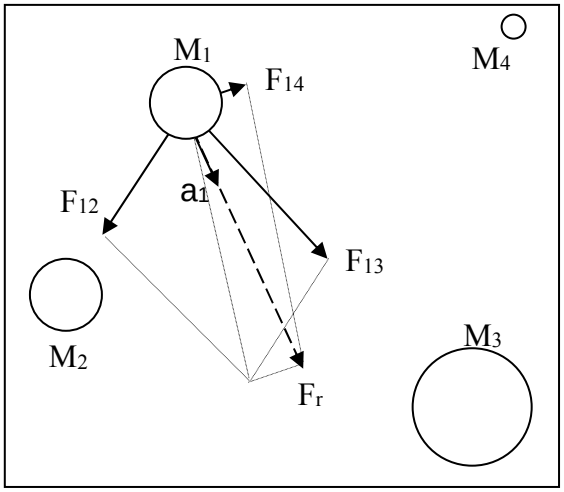
$$F = G\frac{M_1 M_2}{R^2} \tag{۱}$$

این رابطه نشان می‌دهد که هر جسم به واسطه نیروی جاذبه، محل و جرم سایر اجسام را درک می‌کند و هر جسم به نسبت میزان جرمش و فاصله‌ای که با دیگر اجسام دارد، روی سایر اجسام تاثیر می‌گذارد و به آنها نیرو وارد می‌کند.

از دیگر کارهای بزرگ نیوتن، قوانین حرکت نیوتن [Hol93] است که از قوانین پایه ای فیزیک هستند. طبق قانون اول نیوتن، هر جسم حالت سکون یا حرکت یکنواخت خود را بر روی خط راست حفظ می‌کند مگر اینکه تحت تاثیر نیرو یا نیروهایی مجبور به تغییر آن حالت شود. طبق قانون دوم نیوتن، وقتی به جسمی نیرویی وارد می‌شود شتابی می‌گیرد که به نیرو و جرم جسم بستگی دارد. هر چه نیرو بزرگتر باشد شتاب نیز بزرگتر است و هر چه جرم جسم بیشتر باشد شتاب آن کوچکتر است. نیوتن، رابطه بین شتاب، نیرو و جرم را طبق رابطه ۲ به دست آورد. در این رابطه شتاب با a، نیرو با F و جرم با M نشان داده شده است. خاطر نشان می‌شود که شتاب برابر تغییر سرعت در واحد زمان است و مفهوم سرعت عبارتست از طی کردن فاصله ای معین در زمانی معین.

$$a = \frac{F}{M} \tag{۲}$$

طبق قانون گرانش، به هر جسم از یک مجموعه، از جانب سایر اجسام نیروهای گرانشی وارد می‌شود. در نتیجه جسم فوق به سمت برآیند این نیروها که با F_r نشان داده می‌شود، شتاب می‌گیرد (مطابق شکل ۱).



شکل ۱- هر جسم تحت تاثیر نیروی گرانشی سایر اجسام شتابی می‌گیرد که با برآیند نیروهای وارد بر آن و عکس جرم اینرسی آن متناسب است.

روابط ۱ و ۲ بیان می‌کند که هر جسم، جسم دیگر را به سمت خود دعوت می‌کند اما تاثیر جسم بزرگتر و نزدیکتر بیشتر است. مثلا سیبی که از درخت می‌افتد به سمت زمین حرکت می‌کند. با در نظر گرفتن قانون جاذبه و قوانین حرکت، میزان و جهت حرکت هر جسم، توافقی است بین تاثیر نیروی ثقل وارد بر آن و سرعت فعلی جسم.

نکته دیگر اینست که در فیزیک برای هر جسم سه نوع جرم قابل تعریف است. جرم گرانشی فعال[۸]، جرم گرانشی غیر فعال[۹] و جرم اینرسی[۱۰] که مقدار این سه جرم برای یک جسم با یکدیگر برابرند. جرم گرانشی فعال، معیاری از میزان شدت نیروی گرانشی حول یک جسم است. هر چه یک جسم، جرم گرانشی فعال بزرگتری داشته باشد، نیروی گرانشی بیشتری در اطراف خود ایجاد می‌کند. جرم گرانشی غیر فعال نشان دهنده قدرت اثر متقابل در میدان گرانشی است. هر چه جسم، جرم گرانشی غیر فعال بزرگتری داشته باشد، نیروی گرانشی بیشتری را تجربه می‌کند. جرم اینرسی نیز معیاری از مقاومت شی در مقابل تغییر موقعیت مکانی و حرکت است. شی با جرم اینرسی کمتر، تغییر سرعت به مراتب سریعتری دارد. در فیزیک مقدار این سه جرم برای یک جسم با یکدیگر برابرند.

در یک سیستم ایزوله با دو جسم i و j، جسم i تحت تاثیر نیروی جاذبه جسم j شتابی برابر a_i می‌گیرد که طبق رابطه ۴ محاسبه می‌شود. F_{ij}، مقدار نیروی گرانشی وارد بر جسم i از جانب جسم j است که مطابق رابطه ۳ محاسبه می‌شود. در این

[8] - Active gravitational mass.
[9] - Passive gravitational mass.
[10] - Inertia mass.

روابط M_{pi} و M_{ii} به ترتیب جرم گرانشی غیر فعال و جرم اینرسی جسم i و M_{aj} جرم گرانشی فعال جسم j می‌باشند. R بیانگر فاصله دو جسم می‌باشد.

$$F_{ij} = G\frac{M_{aj} \times M_{pi}}{R^2} \quad (۳)$$

$$a_i = \frac{F_{ij}}{M_{ii}} \quad (۴)$$

در رابطه ۳، ضریب G ثابت گرانش نیوتن است. در فیزیک ثابت شده است که ضریب گرانشی با آهنگ بسیار کندی در طول زمان، طبق رابطه ۵ کوچک می‌شود [Man99].

$$G(t) = G(t_0) \times (\frac{t_0}{t})^{\beta} \qquad \beta < 1 \quad (۵)$$

در الگوریتم جستجوی گرانشی، با شبیه سازی قوانینی شبیه به قانون گرانش و قوانین حرکت نیوتن در محیطی با زمان گسسته در فضای جستجو، بهینه یابی نام بهینه ساز گرانشی طراحی شده است که در بخش سوم به آن پرداخته می‌شود.

۳- الگوریتم جستجوی گرانشی

در الگوریتم جستجوی گرانشی یا GSA [11] [Ras09a]، بهینه‌یابی به کمک طرح قوانین گرانشی و حرکت در یک سیستم مصنوعی با زمان گسسته انجام می‌شود. محیط سیستم همان محدوده تعریف مسئله است. طبق قانون گرانش، هر جرم، محل و وضعیت سایر اجرام را از طریق قانون جاذبه گرانشی درک می‌کند. بنابراین می‌توان از این نیرو به عنوان ابزاری برای تبادل اطلاعات استفاده کرد. از بهینه یاب طراحی شده برای حل هر مسئله بهینه‌سازی که در آن هر جواب مسئله به صورت یک موقعیت در فضا قابل تعریف و میزان شباهت آن با سایر جوابهای مسئله به صورت یک فاصله قابل بیان باشد، می‌توان استفاده کرد. میزان اجرام با توجه به تابع هدف تعیین می‌شوند.

الگوریتم جستجوی گرانشی در دو قدم کلی توضیح داده می‌شود: الف- تشکیل یک سیستم مصنوعی با زمان گسسته در محیط مسئله، موقعیت یابی اولیه برای اجسام، وضع قوانین حاکم و تنظیم پارامترها، ب- گذر زمان، حرکت اجسام و به روز رسانی پارامترها تا پیش آمدن زمان توقف.

[11]- Gravitational Search Algorithm.

۳-۱- تشکیل سیستم، وضع قوانین و تنظیم پارامترها

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 جستجو کننده مجموعه‌ای از اجسام می‌باشند. هر جسم چهار مشخصه دارد: الف: موقعیت جسم، ب: جرم گرانشی فعال، ج: جرم گرانشی غیر فعال و د: جرم اینرسی. موقعیت جرم، نقطه ای در فضا است که جوابی از مسئله است. مقدار اجرام گرانشی و اینرسی، با توجه به برازندگی هر جرم تعیین می‌شوند.

پس از تشکیل سیستم، قوانین حاکم بر آن مشخص می‌شوند. فرض می‌شود تنها قانون گرانش و قوانین حرکت حاکمند. صورت کلی این قوانین تقریبا شبیه قوانین طبیعت است و به صورت زیر تعریف شده‌اند.

قانون گرانش: هر جسم در سیستم مصنوعی، تمام اجسام دیگر را به سمت خود جذب می‌کند. مقدار این نیرو متناسب است با حاصلضرب جرم گرانشی فعال آن جسم در جرم گرانشی غیر فعال جسم مقابل و عکس فاصله آن دو جسم.

قوانین حرکت: سرعت فعلی هر جسم برابر است با مجموع ضریبی از سرعت قبلی و تغییر سرعت آن. تغییر سرعت یا شتاب هر جسم نیز برابر است با نیروی وارد بر آن تقسیم بر جرم اینرسی.

حال سیستم را به صورت مجموعه‌ای از N جسم تصور کنید. موقعیت هر جسم، نقطه‌ای از فضا است که جوابی از مسئله است. موقعیت بعد d از جرم i با x_i^d نشان داده شده است (رابطه ۶). m بعد مساله است.

$$X_i = (x_i^1, ..., x_i^d, ..., x_i^m) \quad for\ i = 1,2,...,N \tag{۶}$$

جهت مکان یابی اجسام، فرض می‌شود که در فضای جستجو، تمام ابعاد دارای گستردگی یکسانی هستند. در صورتی که شرط فوق برقرار نباشد، با مقیاس کردن[۱۲] شرط فوق برقرار می‌شود.

در این سیستم، در زمان t به جسم i از سوی جسم j در جهت بعد d نیرویی به اندازه $F_{ij}^d(t)$ وارد می‌شود. مقدار این نیرو به صورت رابطه ۷ محاسبه می‌شود. M_{aj} و M_{pi} به ترتیب جرم گرانشی فعال جسم j و جرم گرانشی غیر فعال جسم i می‌باشند، $G(t)$ ثابت گرانش در زمان t و R_{ij} فاصله بین دو جسم i و j می‌باشند. برای تعیین فاصله بین اجسام مطابق رابطه ۸ از فاصله اقلیدسی (نرم ۲) استفاده شده است. ε یک عدد بسیار کوچک است. p توان فاصله است که یک عدد حقیقی بزرگتر از یک می باشد. این مقدار غالبا برابر یک در نظر گرفته شده است.

$$F_{ij}^d(t) = G(t)\frac{M_{pi}(t) \times M_{aj}(t)}{R_{ij}(t)^p + \varepsilon}(x_j^d(t) - x_i^d(t)) \tag{۷}$$

[12] - Scaling.

$$R_{ij}(t) = \left\| X_i(t), X_j(t) \right\|_2 \quad (۸)$$

نیروی وارد بر جسم i در جهت بعد d در زمان t ($F_i^d(t)$)، مطابق رابطه ۹ برابر مجموع ضریبهای تصادفی نیروهایی است که K جسم برتر بر جسم وارد می‌کنند. در این رابطه $rand_j$ یک عدد تصادفی با توزیع یکنواخت در بازه [۱-۰] است.

در رابطه ۹ می‌توان مجموع تمام نیروهای وارد بر جسم را در نظر گرفت، اما برای بهبود دادن قدرت کشف الگوریتم، تنها به مجموعه $Kbest$ شامل K عضو برتر، اجازه تاثیرگذاری بر سایر اعضا داده می‌شود. در الگوریتمهای جمعیتی در زمانهای اولیه، نیاز به جستجوی فراگیر فضا احساس می‌شود و الگوریتم باید در تکرارهای اولیه به جستجوی هر چه بهتر فضا تاکید کند اما با گذشت زمان توانایی کشف الگوریتم بیشتر نمود پیدا می‌کند و الگوریتم باید به کمک یافته های جمعیت، به سمت نقاط بهینه حرکت کند. در GSA، راهکار پیشنهادی برای تنظیم مناسب کاوش و بهره‌وری، تاثیر گذاری انتخابی اجسام است. $Kbest$ بیانگر مجموعه K جسم برتر جمعیت است. در تکرارهای اولیه الگوریتم، هنوز مسئله احتیاج به جستجوی مناسب دارد اما با جلو رفتن زمان، جمعیت به نتایج بهتری رسیده است. بنابراین، مقدار K به صورت متغیر با زمان تعریف می‌شود. به این صورت که در زمان شروع تمام اجسام روی یکدیگر تاثیر می‌گذارند و با گذشت زمان از تعداد اعضا تاثیر گذار بر جمعیت، به صورت یک نسبت خطی کم می‌شود تا اینکه در انتها تنها ۲ درصد از بهترین‌های جمعیت بر سایر اعضا نیرو وارد می‌کنند.

$$F_i^d(t) = \sum_{j \in Kbest, j \neq i} rand_j^d F_{ij}^d(t) \quad (۹)$$

طبق قانون دوم نیوتن، هر جسم در جهت بعد d ام شتابی می‌گیرد که متناسب است با نیروی وارد بر آن جسم در جهت d ام، بخش بر جرم اینرسی آن که در رابطه ۱۰ بیان شده است. شتاب جسم i در جهت بعد d در زمان t با $a_i^d(t)$ و جرم اینرسی جسم i با M_{ii} نشان داده شده است.

$$a_i^d(t) = \frac{F_i^d(t)}{M_{ii}(t)} \quad (۱۰)$$

سرعت بعدی هر جسم برابر مجموع ضریبی از سرعت فعلی جسم و شتاب جسم تعریف می‌شود (رابطه ۱۱). موقعیت جدید بعد d از جسم i طی رابطه ۱۲ محاسبه می‌شود. $v_i^d(t)$ سرعت بعد d جسم i در زمان t است.

$$v_i^d(t+1) = rand_i \times v_i^d(t) + a_i^d(t) \quad (۱۱)$$

$$x_i^d(t+1) = x_i^d(t) + v_i^d(t+1) \quad (۱۲)$$

$rand_i$ و $rand_j$ اعداد تصادفی با توزیع یکنواخت در بازه [۱-۰] می‌باشند که برای حفظ خصوصیت تصادفی بودن جستجو استفاده شده‌اند.

برای تنظیم ثابت گرانش، از یک مقدار اولیه شروع کرده، با گذشت زمان مقدار آن کاهش داده می‌شود. ثابت گرانش طبق رابطه ۱۳، تابعی از ثابت گرانش اولیه و زمان است. این موضوع در دنیای واقعی نیز صدق می‌کند و ثابت گرانش با آهنگ بسیار کندی در طول زمان کوچک می‌شود. در نسخه پیوسته این الگوریتم، یک پیشنهاد برای این تابع، استفاده از رابطه نمایی جهت کاهش ثابت گرانش می‌باشد. رابطه فوق به صورت ۱۴ قابل بیان است. لازم به ذکر است در کاربردهای مختلف، می‌توان از روابط مناسب دیگری استفاده کرد. درکاربردهای خاص، می توان با تعریف روابط مناسب جهت ثابت گرانش، کارایی الگوریتم را بالا برد.

$$G(t) = G(G_0, t) \tag{۱۳}$$

$$G(t) = G_0 e^{-\alpha \frac{t}{T}} \tag{۱۴}$$

در رابطه ۱۴، G_0 ثابت گرانش اولیه، α یک ثابت مثبت و T کل تکرارهای الگوریتم و به عبارتی طول عمر سیستم است.

در این الگوریتم، اجرام گرانشی و اینرسی مطابق رابطه ۱۵، برابر در نظر گرفته شده، برای تنظیم آنها، از مقدار تابع هدف اجسام با استفاده از رابطه ۱۶ استفاده می‌شود. مقدار اجرام در رابطه ۱۷، نرمالیزه می‌شود. در این روابط، به اجسام با شایستگی بهتر، جرم بیشتری نسبت داده شود.

$$M_{ai} = M_{pi} = M_{ii} = M_i \quad , \quad i = 1,2,\ldots,N \tag{۱۵}$$

$$q_i(t) = \frac{fit_i(t) - worst(t)}{best(t) - worst(t)} \tag{۱۶}$$

$$M_i(t) = \frac{q_i(t)}{\sum_{j=1}^{N} q_j(t)} \tag{۱۷}$$

در این روابط $fit_i(t)$ بیانگر میزان برازندگی جسم i در زمان t است. در مسایل کمینه‌یابی می‌توان از روابط ۱۸ و ۱۹ برای محاسبه بهترین و بدترین مقدار شایستگی استفاده کرد. در مسایل بیشینه‌یابی بهترین و بدترین طبق روابط ۲۰ و ۲۱ تعریف می-شود.

$$best(t) = \min_{j \in \{1,..,N\}} fit_j(t) \tag{۱۸}$$

$$worst(t) = \max_{j \in \{1,..,N\}} fit_j(t) \tag{۱۹}$$

$$best(t) = \max_{j \in \{1,..,N\}} fit_j(t) \tag{۲۰}$$

$$worst(t) = \min_{j \in \{1,..,N\}} fit_j(t) \tag{۲۱}$$

۳-۲- گذر زمان، حرکت اجرام و به روز رسانی پارامترها

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، اجسام ارزیابی شده، تغییر مکان هر جسم پس از محاسبه روابط ۷ الی ۱۲ محاسبه شده، در زمان بعد جسم در آن موقعیت قرار می‌گیرد. جرم‌های گرانشی، جرم اینرسی و ثابت گرانش نیوتن در هر مرحله طبق روابط ۱۳ تا ۲۱ بروز رسانی می‌شوند. شرط توقف می‌تواند پس از تعداد تکرارهای مشخص تعیین شود. شبه کد الگوریتم در شکل ۲ و دیاگرام بلوکی آن در شکل ۳ آورده شده است.

۱- تعیین محیط سیستم و مقدار دهی اولیه.

۲- جایابی اولیه اجسام.

۳- ارزیابی اجسام.

۴- به روز رسانی مقادیر G، $best$ ، $worst$

۵- محاسبه جرم هر عامل (M).

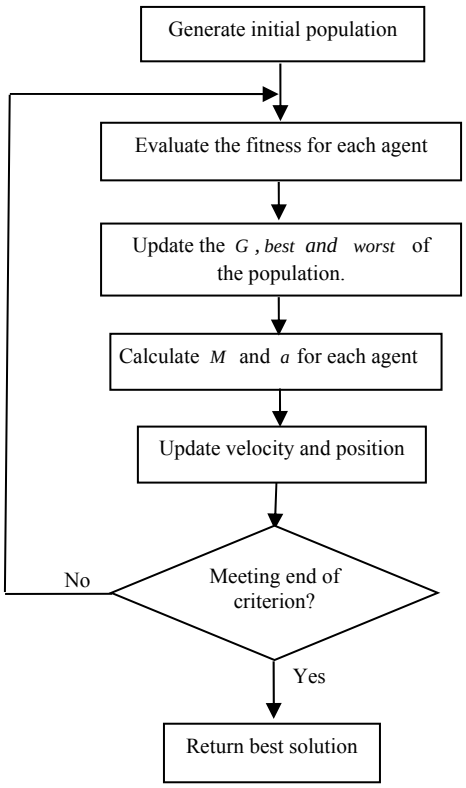
۶- محاسبه نیروی وارد بر هر جسم.

۷- محاسبه شتاب و سرعت هر جسم.

۸- به روز رسانی موقعیت اجسام.

۹- در صورتی که شرط توقف برآورده نشده، به مرحله ۳ بر می‌گردیم. در غیر اینصورت بهترین جواب دیده شده تاکنون به خروجی داده شده و الگوریتم متوقف می‌شود.

شکل ۲- شبه کد مربوط به الگوریتم جستجوی گرانشی.



شکل ۳- دیاگرام بلوکی الگوریتم جستجوی گرانشی.

۴- الگوریتم جستجوی گرانشی باینری

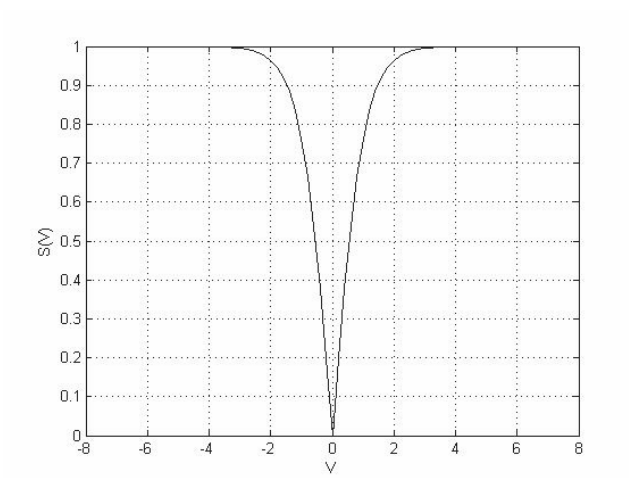
در بخش سوم، الگوریتم جستجوی گرانشی برای حل مسایل پیوسته در فضای جستجو معرفی شد. اما در بسیاری از مسایل بهینه سازی لازم است که جستجو در فضای گسسته باینری انجام پذیرد. در این قسمت، نسخه باینری الگوریتم جستجوی گرانشی معرفی شود [Ras09b]. در فضای گسسته باینری، عاملها در یک فضای صفر و یک حرکت می‌کنند. یک ابر مکعب را در نظر بگیرید که مختصات هر کدام از گوشه های آن با صفر و یک مشخص می‌شود. هر کدام از گوشه های این ابر مکعب یک جواب مسئله است. برای جستجوی این فضا، لازم است اجسام بین گوشه ها حرکت کنند. 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. ایده انجام این کار به این صورت است که سرعت جسم در هر بعد به صورت یک تابع احتمال در نظر گرفته می‌شود و بر مبنای آن ذره با یک احتمال در آن بعد تغییر موقعیت می‌دهد. در نسخه باینری، v_i^d به یک تابع احتمال تبدیل می‌شود که احتمال تغییر x_i^d از صفر به یک یا از یک به صفر را نشان می‌دهد.

در مدل باینری الگوریتم گرانشی، روابط محاسبه نیروی وارد به هر جسم و سرعت هر جسم و نیز روابط به روز رسانی اجرام، مطابق الگوریتم پیوسته انجام می‌پذیرد. با این تفاوت که به جای فاصله اقلیدسی رابطه ۸ از فاصله همینگ استفاده می‌شود. ثابت گرانش G مطابق رابطه ۱۳، تابعی از ثابت گرانش اولیه و زمان است. یک پیشنهاد برای این تابع، رابطه ۲۲ می‌باشد. در این رابطه، ثابت گرانش به صورت خطی با زمان کاهش می‌یابد که نسبت به ثابت گرانش پیشنهادی در الگوریتم پیوسته (رابطه ۱۴)، آهنگ کندتری دارد. چرا که در فضای باینری ضریب گرانش روی تغییرات هر بیت اثر می گذارد نه هر بعد و باید آهنگ کند تری داشته باشد. در نتیجه رابطه خطی جایگزین رابطه نمایی ضریب گرانش در فضای گسسته می شود.

$$G(t) = G_0(1 - \frac{t}{T}) \tag{۲۲}$$

در الگوریتم باینری، v_i^d به یک تابع احتمال تبدیل شده، به بازه [۱-۰] محدود می‌شود. این تابع باید طوری تعریف شود که با بزرگ شدن اندازه سرعت ذره، احتمال تغییر وضعیت موقعیت جسم بیشتر شود. در سرعتهای نزدیک به صفر نیز، به همان میزان احتمال تغییر وضعیت به صفر نزدیک می شود. یکی از توابع مناسب که شرایط فوق را برآورد تابع پیشنهادی رابطه ۲۳ است. ضمن اینکه می توان از توابع مناسب دیگری نیز استفاده کرد. تابع فوق در شکل ۴ آورده شده است.

$$S(V_i^d(t)) = \left|\tanh(v_i^d(t))\right| \tag{۲۳}$$



شکل ۴- تابع $S(v_i^d)$.

لازم به ذکر است برای همگرایی مناسب الگوریتم، v_i^d باید به یک بازه مناسب محدود شود. به عبارتی $\left|v_i^d\right| < v_{\max}$. مقدار $v_{\max}$ برابر ۶ در نظر گرفته می‌شود.

پس از محاسبه تابع احتمال فوق، جسم در هر بعد مطابق با رابطه ۲۴ حرکت می‌کند. طبق این رابطه، جسم با یک احتمال در یک بعد تغییر موقعیت می‌دهد. هر چه سرعت جسم در یک بعد بیشتر باشد، احتمال حرکت جسم در آن بعد بیشتر می‌شود. تغییر موقعیت جسم در یک بعد از فضای باینری، به معنای تغییر مقدار آن از صفر به یک یا برعکس است. $rand$ یک عدد تصادفی با توزیع یکنواخت در بازه [۱و۰] است.

$$\begin{aligned} &if \quad rand < S(v_i^d(t+1)) \quad then \quad x_i^d(t+1) = complement(x_i^d(t)) \\ &else \quad x_i^d(t+1) = x_i^d(t) \end{aligned} \tag{۲۴}$$

۵- جمع بندی

در این گزارش در ابتدا مقدمه‌ای بر قانون گرانش و قوانین حرکت نیوتن آورده شد. الگوریتم جستجوی گرانشی در بخش سوم توصیف شد. طرح کلی الگوریتم پیشنهادی، قوانین و پارامترها آورده شد. پس از معرفی نسخه اصلی، نسخه باینری الگوریتم در فصل چهارم آورده شد.

در مورد خصوصیات الگوریتم جستجوی گرانشی می‌توان به موارد زیر اشاره کرد.

- با الهام از مفاهیم جرم و قانون گرانش طراحی شده است.
- از نیروی گرانش برای تبادل اطلاعات بین اعضاء استفاده می‌کند.
- هر عامل، با استفاده از نیرویی که از جانب سایر اجسام درک می‌کند، به درک تقریبی از کیفیت فضای اطراف خود می‌رسد.
- به عاملهای با مقدار برازندگی بهتر، جرم گرانشی بیشتری داده می‌شود. در نتیجه این عاملها، سایرین را بیشتر به سمت خود دعوت می‌کنند.
- به عاملهای با مقدار برازندگی بهتر، جرم اینرسی بیشتری داده می‌شود. در نتیجه این عاملها، حرکات کندتری انجام می‌دهند و ضمن اینکه از منطقه فعلی چندان دور نمی‌شوند، فضای اطراف خود را با دقت بیشتری می‌گردند.
- ثابت گرانش، دقت جستجو در هر تکرار را کنترل می‌کند.
- حافظه ندارد اما به خوبی الگوریتمهای حافظه دار عمل می‌کند.

۶- مراجع

[راشدی، ۱۳۸۶ الف] ع. راشدی، ح. نظام آبادی پور، "بهینه یابی گرانشی"، پانزدهمین کنفرانس مهندسی برق ایران، مرکز تحقیقات مخابرات تهران، ۱۳۸۶.

[راشدی، ۱۳۸۶ ب] ع. راشدی، ح. نظام آبادی پور و س. سریزدی، "الگوریتم جستجوی گرانشی باینری"، اولین کنگره مشترک سیستمهای فازی و هوشمند، مشهد،۱۳۸۶.

[Eng05] A.P. Engelbrecht, "Fundamentals of computational swarm intelligence", John wiley and sons, 2005.

[Hol93] D.Holliday, R.resnick and J.Walker, "Fundamentals of physics", John wiley and sons, 1993.

[Ken90] I.R.Kenyon, "general relativity", Oxford university press, 1990.

[Man99] R.Mansouri, F.Nasseri and M.Khorrami, “Effective time variation of G in a model universe with variable space dimention”, Physics Letters, vol. 259, pp. 194-200, 1999.

[Ras09a] E Rashedi, H.Nezamabadi-pour and S.Saryazdi, “GSA: A gravitational search algorithm”, Information sciences, vol. 179, no. 13, pp. 2232-2248, 2009.

[Ras09b] E.Rashedi, H.Nezamabadi-pour and S.Saryazdi, “BGSA: binary gravitational search algorithm”, Natural Computation, pp.1-19, 2009.

[Sch03] B.Schutz, "Gravity, from the ground up", Cambridge university press, 2003.

[Sil95] J.Silk, "The big bang", W.H.Freeman and company, 1995.

[Tei00] C.Teitel and J.Zanelli, "Black holes and the structure of the universe", World scientific press, 2000.

[Yao99] X.Yao, Y.Liu and G.Lin, "Evolutionary programming made faster", IEEE Transaction on Evolutionary Computation, vol. 3(2), pp. 82-102, 1999.