



استفاده از الگوریتم فرا ابتکاری خفاش ترکیبی برای حل مساله زمانبندی پروژه با منابع محدود

محمد صادق سلیمانی اصطهباناتی، رضا اکبری، سید مصطفی فخر احمد

دانشجوی ارشد، گروه نرم افزار کامپیوتر، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم تحقیقات، فارس

عضو هیئت علمی گروه فناوری اطلاعات دانشگاه صنعتی شیراز

عضو هیئت علمی گروه فناوری اطلاعات، دانشکده مهندسی، دانشگاه شیراز

S.soleimani29@yahoo.com

چکیده:

در این مقاله از یک روش فراابتکاری که برگرفته شده از رفتار خفاشها می باشد برای حل مساله زمانبندی پروژه با منابع محدود استفاده شده است. در این روش خفاشها به دو دسته خفاشهای انتخابی و خفاشهای تنبل تقسیم می شوند که به همین دلیل به این روش GB (GROUPED BATS) گفته می شود. روش کلی به این صورت است که یک سری لیستهای اولویت اولیه که همان ترتیب اجرای فعالیتهای یک پروژه می باشند، با استفاده از حرکت دو دسته خفاش گفته شده به منظور کمینه کردن زمان اتمام پروژه برورسانی می شود.

واژگان کلیدی: الگوریتم فراابتکاری، زمانبندی پروژه، زمانبندی پروژه با منابع محدود، لیست اولویت شدنی.

قانون اولویت

امروزه روشهای فراابتکاری بسیاری که از رفتار
جمعی موجودات زنده جهت حل مسائل استفاده

۱ - مقدمه



باشد می توان از این منبع در طول پروژه در هر زمانی استفاده کرد.

۳- الگوریتم پیشنهادی

۳-۱ الگوریتم ترکیبی خفاش (GB)

GB مخفف عبارت GROUPED BATS می باشد. در این الگوریتم جمعیتی از خفاشهایی که برای جستجوی شکار استفاده می شود در هر تکرار از الگوریتم به دو دسته تقسیم می شوند. شرح کامل الگوریتم مورد نظر در زیر آمده است.

۱- در ابتدای الگوریتم یک جمعیت نمونه ای از خفاشها به طور تصادفی و در جستجوی شکار پرواز کرده و در مکانهای تصادفی $(x(i))$ قرار می گیرند. سپس میزان نزدیکی به شکار $(f(x))$ برای هر خفاش محاسبه شده، و تمامی خفاشها بر اساس میزان نزدیکی به شکار مرتب می شوند.

۲- در این مرحله نیمی از بهترین خفاشها (که به صورت صعودی مرتب شده بودند) انتخاب شده که تا انتهای هر تکرار الگوریتم به صورت جداگانه بروز رسانی می شوند. به این دسته از خفاشها، خفاشهای انتخابی^۱ گفته می شود. شرح مرحله بروز رسانی برای دسته خفاشهای انتخابی به صورت زیر می باشد.

در این مرحله هر خفاش جستجوی محلی را انجام می دهد. بدین صورت که در اطراف مکان خود جستجویی را بر اساس فرکانس تنظیمی و عدد تصادفی β انجام می دهد (طبق رابطه ۱). با این تفاوت که به جای تنظیم فرکانس برای هر خفاش، برای تمامی ابعاد خفاش بصورت جداگانه فرکانسی $(\emptyset(i,j))$ اختصاص داده می شود. بر این اساس هر خفاش ابتدا $\emptyset(i,j)$ را بر اساس \emptyset_{min} و \emptyset_{max} تنظیم کرده، سپس سرعت جدید خود را

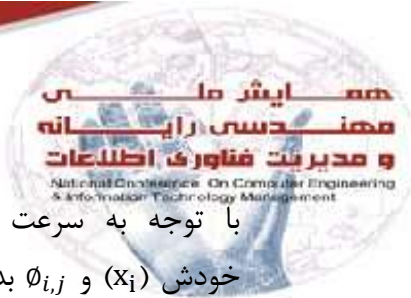
می کنند، ارائه شده اند. نمونه هایی از آنها عبارتند از الگوریتم کلونی زنبورها [۲]، الگوریتم بهینه زنبورهای مصنوعی [۷،۳،۲]، الگوریتم گروهی زنبورها [۲]، الگوریتم کلونی مورچگان [۶]، الگوریتم خفاش [۱۳،۱۲،۱۱،۴]، الگوریتم پرندگان [۱۴]، جستجوی ممنوع [۱] و الگوریتم ژنتیک [۸] مسأله ای که در این تحقیق با استفاده از الگوریتمهای فرا ابتکاری حل می شود، مسأله زمانبندی پروژه با منابع محدود می باشد. اساس کار الگوریتم مورد استفاده، رفتار خفاشها می باشد که برخی از قانونهای آنها تغییر یافته و همچنین ایده جدیدی برای انتخاب دسته ای از خفاشها جهت جستجوی دیگر خفاشها اطراف آنها، تحت عنوان ضریب شباهت، به الگوریتم خفاش افزوده شده است.

۲- زمان بندی پروژه با منابع محدود

در اینجا مدل RCPSP تعریف می شود. مجموعه فعالیتهای پروژه با $N=\{0.1.2.3.....n\}$ نشان داده می شود. در اینجا فعالیت های ۰ و n فعالیت های زائد پروژه نامیده می شوند. مدت زمان اجرای فعالیت i ام در این پروژه با d_i نشان داده می شود. زوج مرتب (i, j) نشان دهنده ی این خاصیت می باشد که فعالیت i ام پیش نیاز فعالیت j ام است، بدین معنی که لازم است قبل از اجرای فعالیت i ام حتما فعالیت j ام اجرا شده باشد. مجموعه همه این زوج مرتب ها را با A نمایش داده می شود. فرض کنید که R مجموعه ی همه منابع تجدید شدنی باشد که دارای K منبع متفاوت است.

در این مسئله منبع i ام دارای ظرفیت $R(i) \in R \geq 0 \cup \{\infty\}$ واحد می باشد که در طول اجرای پروژه می تواند مورد استفاده قرار گیرد. $R(i)=\infty$ به این معنی می باشد که منبع هیچ محدودیت ظرفیتی ندارد و به هر اندازه که لازم

¹ - selected bats



دارند و $N1$ تعداد کل ابعاد خفاشها می باشد. خفاش تنبل پس از انتخاب خفاش راهنما موقعیت جدید خود را طبق رابطه زیر بروز رسانی می کنند.

$$x_{j,t+1} = x_{j,t} + (x_{i,t} - x_{j,t}) \rho_i \mu \quad (5)$$

در رابطه بالا $x_{j,t}$ موقعیت قبلی خفاش ناظر j ام را نشان می دهد و $x_{j,t+1}$ موقعیت جدید خفاش ناظر و $x_{i,t}$ موقعیت خفاشهای راهنما را مشخص می کند. ρ_i درصد میزان شباهت و μ یک عدد تصادفی می باشد که مولفه های آن از بازه $[0, 1]$ انتخاب می شوند. e_i نیز موقعیت کنونی خفاش انتخابی k ام است که با استفاده از معیار درصد میزان شباهت به عنوان راهنمای خفاش تنبل i ام انتخاب شده است.

۴- در نهایت برای هر خفاش در موقعیت جدیدشان تابع هدف محاسبه می شود. در این مرحله بر اساس مقدار بدست آمده برای هر خفاش تنبل بر اساس روش گفته شده، و همچنین بر اساس نتایج بدست آمده برای کلیه خفاشهای انتخابی، بهترین خفاش (X^*) از بین کل خفاشها انتخاب می شود.

۵- در تکرار بعدی دو باره تمامی خفاشها اعم از خفاشهای انتخابی و خفاشهای تنبل بر اساس میزان نزدیکیشان به شکار مرتب شده، که ترتیب جدید ممکن است ترکیبی از خفاشهای انتخابی و تنبل در تکرار قبلی باشد. همانند قبل دسته جدیدی از خفاشهای انتخابی و خفاشهای تنبل ایجاد می شود که اعضاء هر گروه ممکن است با همان اعضاء در تکرار قبلی متفاوت باشد یعنی بعضی از خفاشهای گروه تنبل ممکن است در این تکرار جزء گروه خفاشهای برگزیده باشند و بالعکس.

با توجه به سرعت قبلی، مکانی در همسایگی خودش (X_i) و $\phi_{i,j}$ بدست می آورد. (طبق رابطه (۲)).

$$\phi_{i,j} = \phi_{min} + (\phi_{max} - \phi_{min})\beta \quad (1)$$

$$V_i^t = V_i^{t-1} + (X_i)\phi_{i,j} \quad (2)$$

X_i برای هر خفاش مکانی در همسایگی مکان فعلیشان است که با یک عدد تصادفی بین $[0, 1]$ بدست می آید. بر اساس سرعت جدید بدست آمده، مکان جدید و update شده برای خفاش به صورت زیر بدست می آید.

$$X_i^t = V_i^t + \epsilon A^t \quad (3)$$

ϵ ضریب تصادفی و A^t میانگین بلندی صداهای تمامی خفاشها در تکرار قبلی می باشد. ۳- پس از تعیین مکان جدید خفاشهای انتخابی بر اساس مرحله بروز رسانی گفته شده، نوبت به بروز رسانی خفاشهای دیگر می شود که به این دسته خفاشهای تنبل گفته می شود. بروز رسانی این دسته از خفاشها نیز به صورت زیر انجام می شود. در این مرحله خفاشهای تنبل با استفاده از معیار جدیدی به نام سنجش میزان شباهت، از بین گروه خودشان و گروه خفاشهای انتخابی (کل مجموعه خفاشها)، تعدادی از آنها را که شباهت بیشتری به بهترین خفاش (X^*) از لحاظ ترتیب ابعاد دارند را به عنوان خفاشهای راهنما طبق رابطه (۴) انتخاب کرده، سپس تمامی خفاشهای تنبل در اطراف هر خفاش راهنما به صورت جداگانه جستجویی را انجام می دهند.

$$\rho_i = \frac{db_i}{N1} \times 100 \quad (4)$$

جایی که ρ_i درصد میزان شباهت، db_i تعداد ابعادی از مکان هر خفاش که به هم شباهت

۴-۱ تبدیل جواب های نشدنی به جواب های شدنی

برای این منظور از انتهای لیست اولویت یکی یکی فعالیتها را چک می شود و هر فعالیت که شرط پیش نیازی را نقض کرده باشد با اولین پیش نیازش در لیست اولویت جابجا می شود. به تعداد خفاشها روند فوق برای رسیدن به یک لیست اولویت شدنی طی می شود. در الگوریتم ارائه شده بردار متناظر با مقدار اولویت برورسانی می شود.

۵- نتایج محاسباتی الگوریتم GB

#schedules			Method
50000	5000	1000	
85.40%	82.15%	79.04%	BABC-OIE

جدول ۵- نتایج مربوط به نرخ همگرایی مسائل J60

فاصله درصدی از جواب بهینه و فاصله درصدی از طول مسیر بحرانی :

فاصله درصدی که طبق رابطه ۶ بدست می آید برای همه پروژه های J30، J90 و J120 در جداول ۶ و ۷ و ۸ آمده است

$$dev = \frac{1}{instances} \sum_{instances} \left(\frac{E-CPM}{CPM} \right) \times 100 \quad (6)$$

۴-۲ حل مسأله زمانبندی پروژه با منابع محدود به وسیله الگوریتم GB

در این بخش به بررسی حل مسأله زمانبندی پروژه با منابع محدود بوسیله الگوریتم فراابتکاری GB پرداخته می شود. هر لیست اولویت پروژه معادل با یک خفاش ترکیبی در نظر گرفته می شود که معادل تعداد فعالیتهای آن به هر خفاش به همان تعداد، ابعاد اختصاص داده می شود.

نرخ همگرایی:

برای هر آزمایش، نسبت تعداد پروژه های حل شده به تعداد کل پروژه را مشخص کرده و درصد آن را در جدول نتایج درج می کنیم مثلا اگر ۱۸۰ پروژه داشته باشیم و از بین همه آنها ۱۱۰ پروژه حل شود و نتایج بهتری نسبت به نتیجه پیشین آنها بدست بیاید آنگاه داریم

$$\frac{110}{180} \times 100 = 61.11$$

با توجه به این فاکتور نرخ همگرایی را برای همه پروژههای J30، J60، J90 و J120 بدست می آوریم. نتایج بدست آمده در جداول ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ آمده است.

#schedules			Method
50000	5000	1000	
97.23%	93.77%	89.81%	GB

جدول ۱ نتایج مربوط به نرخ همگرایی مسائل J30

#schedules			Method
50000	5000	1000	



83.27%	80.40%	78.72%	GB
--------	--------	--------	----

جدول ۲- نتایج مربوط به نرخ همگرایی مسائل J90

#schedules			Method
50000	5000	1000	
41.84%	38.17%	36.83%	GB

جدول ۳- نتایج مربوط به نرخ همگرایی مسائل J120

#schedules			Method
50000	5000	1000	
85.40%	82.15%	79.04%	GB

جدول ۴- نتایج مربوط به نرخ همگرایی مسائل J60

j60	SGS	1000	5000	50000
ABC	Serial	14.57	13.12	12.53
BSO	Serial	13.67	12.70	12.45
BA	Serial	13.35	12.83	12.41
GB	Serial	11.74	11.24	11.21

جدول ۶ فاصله درصدی از طول مسیر بحرانی برای مسائل j60

j30	1000	5000	50000
ABC	0.98	0.57	0.20
BSO	0.65	0.36	0.17
BA	0.63	0.33	0.16
GB	0.24	0.13	0.07

جدول ۷ فاصله درصدی از جواب بهینه برای مسائل j30

j120	1000	5000	50000
ABC	43.24	39.87	37.36
BSO	41.18	37.86	35.70
BA	40.38	38.12	36.12
GB	39.59	36.71	34.44

جدول ۸ فاصله درصدی از طول مسیر بحرانی برای مسائل j120

۶- نتیجه گیری

[4] Altringham, J. D.: Bats: Biology and Behaviour, Oxford University Press, (1996).

[5] Dorndorf U, Pesch E, Phan-Huy T. A branch-and-bound algorithm for the resource-constrained project scheduling problem. *Mathematical Methods of Operations Research*;52:413-39,(2000).

[6] D. Merkle, M. Middendorf, H. Schmeck, Ant colony optimization for resource-constrained project scheduling, *IEEE Transactions on Evolutionary Computation* 6 333-346, (2002).

[7] Karaboga D, Basturk B. On the Performance of Artificial Bee Colony. *Journal of Applied Soft Computing*, (2008).

[8] S. Hartmann, A competitive genetic algorithm for resource-constrained project scheduling, *Naval Research Logistics* 45 (1998) 733-750.

[9] S. Hartmann, A self-adapting genetic algorithm for project scheduling under resource constraints, *Naval Research Logistics* 49 ,433-448, (2002).

[10] Thomas, P., R., & Salhi S. A tabu search approach for the resource constrained project scheduling problem. *Journal of Heuristics*, 4, 123-139, (1998).

[11] Richardson, P.: Bats. Natural History Museum, London, (2008).

[12] Richardson, P.: The secrete life of bats. <http://www.nhm.ac.uk>.

[13] Yang XS, Gandomi AH (2012) Bat algorithm: a novel approach for global engineering optimization. *Eng Comput* 29(5):464-483

[14] Zhang, C., Sun, J., Zhu, X., & Yang, Q. An improved particle swarm optimization algorithm for flowshop scheduling problem. *Information Processing Letters*, 108(4), 204-209, (2008)

در این رساله دو روش جدید برای حل مسأله زمانبندی پروژه ها با منابع محدود بر مبنای الگوریتم خفاش ها برای اولین بار ارائه شد. این روشها براساس رفتار خفاشها برای یافتن شکار در محدوده جستجویشان الهام گرفته شده اند و بطور تکراری ترتیب اولیه فعالیتها را با استفاده از یک روش تصمیم گیری پویا بروزرسانی می کند. در این مقاله یک روش جدید بر مبنای روش خفاشها که به نام خفاش گروه بندی شده می باشد ارائه شده است. در این الگوریتم از پارامتر جدیدی به نام ضریب شباهت برای بهبود نتایج استفاده شده است. کارایی الگوریتم ارائه شده در مقایسه با تعداد زیادی از روشهای موجود ارزیابی شد. نتایج ارزیابی نشان دادند که الگوریتم مبتنی بر رفتارهای هوشمند خفاشها را می توان بعنوان یک شیوه موثر برای حل مسأله زمانبندی پروژه های با منابع محدود استفاده کرد. مقایسه نتایج نشان می دهد که الگوریتم GB در مقایسه با بسیاری از الگوریتم های فراابتکاری از کارایی بالاتری برخوردار است.

مراجع:

[1] حداد، مسعود، و حداد، حمید رضا (۱۳۸۸) توسعه الگوریتم جستجوی ممنوع (tabu search) برای حل مسأله زمانبندی پروژه های دارای محدودیت منابع با در نظر گرفتن حالت پیش نیازی عمومی (GRCPSP).

[2] ضیغمی، وحید (1389) مسائل زمان بندی پروژه با منابع محدود. پایان نامه کارشناسی ارشد، بخش ریاضی، دانشکده علوم، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.

[3] Akbari R., Zeighami V., and Ziarati K., "Artificial Bee colony for resource constrained project scheduling problem", *International Journal of Industrial Engineering omputations*, 2(1), pp. 45-60,(2011).