

کاربردهای مالی الگوریتم کلونی مورچگان^۱

دکتر فرزین رضایی

استادیار حسابداری دانشکده مدیریت و حسابداری دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین*

بابک نژاد تولمی

کارشناس ارشد حسابداری - دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین

چکیده

بشر همیشه در پی کشف راز طبیعت و شبیه سازی از طبیعت بوده است. در این باره می توان از اختراع هواپیما تا کاربرد شبکه های عصبی مصنوعی و اکنون استفاده از رفتار مورچگان برای بهینه یابی در حل مسائل یاد کرد. در بهینه یابی، هدف عمده دستیابی به چیدمان خاصی از متغیرها است برای بهینگی تابع هدف. الگوریتم مورچگان از روش های ناپارامتریک مبتنی بر هوش مصنوعی انبوه زیان می باشد که در علوم غیرمالی و مالی کاربرد زیادی یافته است. در کاربردهای مختلف الگوریتم مورچگان، متغیرها و تابع هدف متفاوت است که بطور مشروحتر به آن پرداخته شده است. در این مقاله بطور خلاصه به ویژگی مورچگان طبیعی، الگوریتم مورچگان و کاربردهای مالی آن پرداخته شده است.

درباره مورچگان طبیعی

۱) اجتماعی بودن: مطالعات دانشمندانی چون دنوبورگ (۱۹۸۳) نشان داده است که مورچه ها حشراتی اجتماعی هستند که در کلونی ها زندگی می کنند و رفتار آنها بیشتر در جهت بقاء کلونی است تا در جهت بقاء یک جزء از آن و دارای تقسیم کار و توانایی حل مسایل پیچیده زندگی شان هستند و از کلونی آنها با نام ابر سازمان یاد می شود.

۲) هوشمندی توده ای: مورچه ها با وجود کوری تقریبی و کم هوش بودن کوتاهترین مسیر رفت و برگشت از خانه تا غذا را پیدا می کنند. این یکی از مهمترین و جالبترین رفتار مورچه ها می باشد که این نوع رفتار مورچه ها دارای نوعی هوشمندی توده ای^۱ است که عناصر رفتاری تصادفی (احتمال) دارند و بین آنها (همدیگر) هیچ نوع ارتباط مستقیمی وجود ندارد و آنها تنها بصورت غیرمستقیم و با استفاده از نشانه ها با یکدیگر در تماس هستند. این نوع هوشمندی در زنبوران، پرستوها و بسیاری از جانداران دیده می شود که مبنایی برای الگوریتم های دیگر می باشند.

۳) فرومون: مورچه ها هنگام راه رفتن از خود ردی از ماده شیمیایی فرومون^۲ بجای می گذارند که البته این ماده

زود تبخیر^۳ می شود ولی در کوتاه مدت بعنوان رد مورچه بر سطح زمین باقی می ماند.

۴) تصمیم گیری: آنها هنگام انتخاب بین دو مسیر، بصورت احتمالاتی مسیری را انتخاب می کنند که فرومون بیشتری داشته باشد یا بعبارت دیگر مورچه های بیشتری قبلاً از آن جا عبور کرده باشند که گراسه (۱۹۵۲) این هوشمندی برای مسیر یابی را محیط رسانی یا پیرارسانش^۴ نامید. در این تصمیم گیری دو تابع نقش دارد که یکی مقدار ترشحات است و دیگری طول مسیر که از اولی با نام تابع فرومون یاد می شود و از دومی با نام تابع ابتکاری.

در مثالی از چنین عملکردی برای انسان، می توان به انتخاب صف بنزین از چند مسیر منتهی به دستگاه های پمپاژ بنزین یاد کرد. تعداد خودروهای هر صف نوعی تابع فرومون هستند و تعداد دستگاه های پمپاژ هر مسیر نیز نوعی تابع ابتکاری هستند. رانندگان با توجه به این دو تابع، تصمیم می گیرند. اگر زمان بنزین زدن دقیقه باشد و در صفی با ۲ دستگاه پمپاژ و ۶ دستگاه خودرو و صف دیگر با ۱ دستگاه و ۴ خودرو مواجه شویم، طبعاً زمان انتظار صف اول ۳ دقیقه و برای صف دوم ۴ دقیقه خواهد بود.

الگوریتم کلونی مورچگان

۱) تاریخچه

مطرح کننده این الگوریتم، مارکو دوریگو^۵ [۵] می باشد که در سال ۱۹۹۱ در قالب رساله دکتری آنرا برای حل مساله دوره گرد با ۷۵ شهر عرضه نمود با نام سیستم مورچگان که مدل اولیه الگوریتم مورچگان می باشد. دوریگو این الگوریتم را با سه ویژگی معرفی می نماید (۱۹۹۶).

۱. تطبیق پذیری: با این الگوریتم می توان مسائل مشابه دیگر را حل نمود، مانند استفاده از الگوریتم دوره گرد متقارن (Dij=Dji) برای حل مساله دوره گرد نامتقارن (Dij#Dji)

۲. توانمندی: با تغییرات کوچک در الگوریتم می توان مسائل دیگر در بهینه یابی ترکیبی را حل نمود، مانند مساله تخصیص درجه دوم و قابلیت الگوریتم متأثر از تغییرات پارامتریک نیست.

۳. جمعیت محوری: که اجازه می دهد الگوریتم دارای مکانیسم بازخورد مثبت^۶ باشد تا امکان یافتن جواب بهتر را سریعتر ممکن سازد و همچنین امکان اجرای موازی^۷ را نیز ممکن می کند و علاوه بر این بدلیل محاسبات غیرمتمرکز^۸ از همگرایی و گرفتار شدن در جواب های بهینه اولیه جلوگیری می کند.

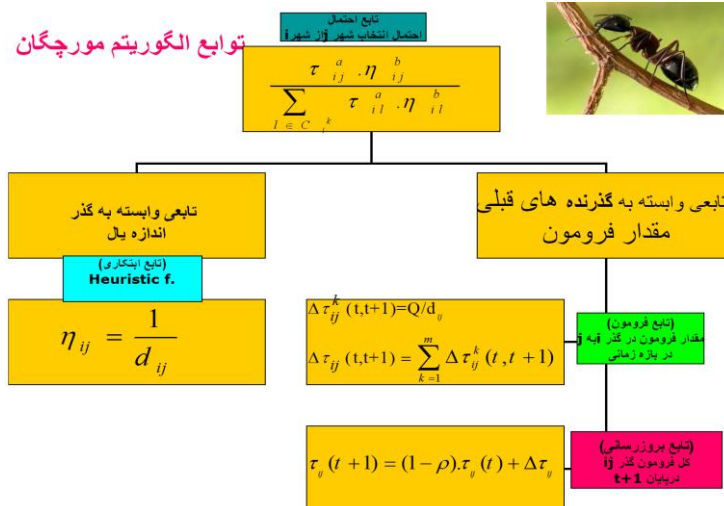
باید افزود که به مرور زمان بر پایه مدل دوریگو، الگوریتم مورچگان توسعه یافت و مدل های دیگری مانند AntNET, Ant-Q, MMAS, ACS ظهور کرد. فرایند الگوریتم عبارت است از

۱. تعیین مقدار اولیه برای تابع فرومون و تابع ابتکاری
۲. قرارداد شهر مبدا برای هر مورچه در لیست ممنوعه^۹ که حق گذر مجدد به آن برای آن مورچه وجود نداشته باشد
۳. محاسبه تابع احتمال برای انتخاب شهر بعدی برای هر مورچه در هر شهر
۴. تعدیل جمعیت شهرها بابت انتخابهای هر دور
۵. افزودن شهر انتخابی هر مورچه به لیست ممنوعه آن مورچه

۶. تعیین بهترین مسیر

۷. بروزرسانی و رفتن به ۳ (اگر پایان تور همه مورچه ها نیست)

۲) توابع و عناصر الگوریتم مورچگان



شکل ۱: توابع و عناصر الگوریتم مورچگان (دوریگو و همکاران-۱۹۹۶)

و اکنون توابع و پارامترهای الگوریتم عبارتند از:

۱-۲) تابع فرومون

$$\Delta \tau_{ij}^k(t,t+1) = Q/d_{ij}$$

$$\Delta \tau_{ij}^k(t,t+1) = \sum_{k=1}^m \Delta \tau_{ij}^k(t,t+1)$$

در رابطه اول مقدار فرومون مورچه k ام بر روی یال d_{ij} محاسبه می شود و در رابطه دوم کل فرومون بر روی آن یال با گذر m مورچه

۲-۲) تابع ابتکاری (پدیداری)^{۱۰}

$$\eta_{ij} = \frac{1}{d_{ij}}$$

رابطه بالا را پدیداری نیز گویند و نسبت عکس فاصله هر یال است و طبعاً برای هر مقدار ثابت فرومون، هر چقدر طول یال کوتاهتر باشد، چگالی آن بیشتر است.

۳-۲) تابع احتمال

$$\frac{\tau_{ij}^a \cdot \eta_{ij}^b}{\sum_{l \in C_i^k} \tau_{il}^a \cdot \eta_{il}^b}$$

این تابع احتمال انتخاب شهر بعدی را تعیین می کند و برای همه شهرهایی که مورچه k امکان گزینش از شهر i را دارد، محاسبه می شود. و بر اساس بیشترین مقدار برای این تابع از i به شهر منتخب بر اساس مقدار این تابع، حرکت ادامه می یابد.

۲-۴) تابع بروزرسانی^{۱۱}

پس از انتخاب شهر بعدی، و قبل از آغاز مرحله بعدی برای شناخت شهر بعدی ممکن بر مسیر، تابع فرامون بروز می شود بابت تبخیر مقداری از فرامون که به مرور زمان رخ می دهد و برای پرهیز از همگرایی سریع در الگوریتم.

$$\tau_{ij}(t+1) = (1-\rho) \cdot \tau_{ij}(t) + \Delta \tau_{ij}$$

رابطه بالا مقدار فرامون را در زمان $t+1$ محاسبه می کند. این رابطه از دو جزء تشکیل یافته است.

۱.

این بخش مقدار کل فرامون ترشح شده در فاصله $(t, t+1)$ را شامل می شود.

۲.

از آنجا که به مرور زمان بخشی از فرامون، بخار می شود، بنابراین این بخش از رابطه، مقدار فرامون زمان t را با ضریب $(1-\rho)$ بروز می کند. و بنابراین کل رابطه، خالص مقدار فرامون را در زمان $t+1$ محاسبه می کند.

کاربردهای مالی الگوریتم مورچگان

۱) انتخاب بهترین پورتفوی سهام

تخصیص بهینه منابع مالی در بازار سرمایه یکی از اصلی ترین موضوعات در حوزه تصمیمات سرمایه گذاری است [۱].

هدف در اینجا آن است که بهترین چیدمان را از انواع سهام در بازار داشته باشیم که تابع بازده پورتفو ماکزیمم شود و تابع ریسک پورتفو می نیمم شود. در این الگوریتم هر کدام از سهام بردارهایی هستند که ضریبی از ۰ تا k را می توانند بپذیرند که میزان وزن هر سهم در پورتفو است. در اینجا با ماتریس فرامون مواجه هستیم که شامل n ستون به تعداد انواع سهام بازار، و m سطر که ضرایب انتخابی هر سهم می باشد. عدد صفر در معنای نبود آن سهم در پورتفو می باشد. الگوریتم برای یافتن بهترین چیدمان ممکن، از اولین ضریب اولین سهم با ترکیب با اوزان سایر سهام جستجو را بر پایه توابع تعریف شده آغاز می کند و تا یافتن بهترین ترکیب ادامه می دهد. از جمله تحقیق در این زمینه می توان به کارهای دنور (۲۰۰۱)، ونگ و یانگ (۲۰۰۹) و فرقاندوست و کاظمی (۲۰۱۲) اشاره کرد. بر اساس تحقیق فرقاندوست و کاظمی (۲۰۱۲) [۶]، توابع آن عبارتست از:

۱. تابع مقدار افزایش فرامون:

$$\delta_{ci} = Q \cdot \frac{\frac{K_p}{\sigma_p}}{\frac{K_p^*}{\sigma_p^*}}$$

که متغیرهای ستاره دار، بازده و ریسک بهترین پورتفو مورد انتظار می باشد.

۲. تابع فرامون نهایی:

$$\tau_{cs}(t+1) = \tau_{cs}(t)(1-\gamma) + \delta_{cs}$$

۳. تابع احتمال

$$p_c = \frac{\tau_{cs}}{\sum_{\forall c} \tau_{cs}}$$

۴. تابع برازندگی

$$\text{Fitness function} = \frac{R_p}{\sigma_p}$$

۲) رتبه بندی اعتباری برای بهترین پورتفوی اعتبار

در اینجا نیز هدف کلی همچون پورتفوی سهام، عبارتست از چیدمانی از اعتبار که حداقل ریسک و حداکثر بازده را برای نهاد اعتباردهنده ایجاد کند که بویژه ریسک ناتوانی اعتبار گیرنده در ایفای تعهدات^{۱۲} بسیار مهم است و در واقع اعتبار دهنده بدنبال بهترین پورتفوی اعتبار^{۱۳} است.

قواعد و توابع این کاربرد بر اساس تحقیق مارتینز و همکاران^{۱۴} (۲۰۱۰) [۷] عبارتند از:

۱. قاعده کلاس اعتبار گیرندگان

Example credit scoring rule set

```
R1: if (Checking Account < 100€ and Duration > 15 m and
      Credit History = no credits taken and Savings Account < 500€)
then class = bad
R2: else if (Purpose = new car/repairs/education/others and
      Credit History = no credits taken/all credits paid back duly at this bank and
      Savings Account < 500€)
then class = bad
R3: else if (Checking Account < 0€ and
      Purpose = furniture/domestic appliances/business and
      Credit History = no credits taken/all credits paid back duly at this bank and
      Savings Account < 250€)
then class = bad
R4: else if (Checking Account < 0€ and Duration > 15 m and
      Credit History = critical account and Savings Account < 250€)
then class = bad
R5: else class = good
```

در اینجا برای اعتبار گیرندگان رتبه ها و کلاس های خوب و بد در قالب قاعده هایی در نظر گرفته شده است. جنس اعتبار گیرنده، طول مدت اعتبار و وضعیت تملک واحد شخصی و برای دو متغیر کمی، فواصلی در نظر گرفته می شود که الگوریتم با توجه به قواعد کلاس و توابع، بین مقادیر کیفی و کمی تعریف شده برای متغیرها، بهترین ترکیب ممکن را معرفی می کند.

۲. تابع فرمون

$$\tau_{(v_{i-1,k}, v_{i,j})}(0) = \tau_{max}$$

$$\tau_{(v_{i-1,k}, v_{i,j})}(t+1) = \rho \cdot \tau_{(v_{i-1,k}, v_{i,j})}(t) + \frac{Q_{best}^+}{10}$$

$$Q^+ = \underbrace{\frac{|rule_{ant}^c|}{|rule_{ant}|}}_{\text{confidence}} + \underbrace{\frac{|rule_{ant}^c|}{|Cov = 0|}}_{\text{coverage}}$$

که ρ برای لحاظ تبخیر است و $rule_{ant}$ تعداد اعتبارگیرندگان منطبق با همه نوع کلاس ها از دید تجربی اعتباردهنده است و $rule_{ant}^c$ تعداد اعتبار دهندگان با انطباق درست هر کلاس خاصی از قواعد با دید تجربی اعتباردهنده است و $cov=0$ تعداد اعتبارگیرندگان با عدم انطباق از مجموعه قواعد است. و بر اساس تعداد قاعده $r1, r2 \dots rn$ طبعاً، n مقدار برای Q بدست می آید که با MAX آنها Q^+ است.

۳. تابع ابتکاری

$$\eta_{ij} = \frac{|T_{ij} \& CLASS = class_{ant}|}{|T_{ij}|}$$

که T_{ij} معرف تعداد اعتبار گیرنده از جنس مرد یا زن است و $CLASS$ هم معرف تعداد مشمولین کلاس بد یا غیر بد است.

۴. تابع احتمال

$$P_{ij}(t) = \frac{[\tau_{(v_{i-1,k}, v_{i,j})}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{v_{i,j}}(t)]^\beta}{\sum_{l=1}^{p_i} [\tau_{(v_{i-1,k}, v_{i,l})}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{v_{i,l}}(t)]^\beta}$$

۳) برنامه ریزی پروژه و جریان های نقدی تنزیلی

با استفاده از الگوریتم و توابع خاص تعریف شده، بدنال ترکیب بهینه ای از انواع فعالیت های یک پروژه هستیم چرا که با توجه به منابع و محدودیت های هر پروژه، مدیریت پروژه با چالش مهمی مواجه است و طبعاً بدنال اجرای بهتر پروژه برای دستیابی به بهترین نتیجه می باشد. از جمله کاربرد الگوریتم برای این منظور می توان به کار چن و همکاران (۲۰۰۹) [۲] اشاره کرد.

۴) کاربرد الگوریتم مورچگان در پیش بینی درماندگی مالی

ورشکستگی از پدیده هایی است که استفاده کنندگان از صورتهای مالی انتظار آنها ندارند ولی همیشه نگران آن هستند و از طرفی کشور را هم از لحاظ اجتماعی و هم اقتصادی به چالش می کشد [۳]. کاربرد الگوریتم

مورچگان در پیش بینی درماندگی مالی، اولین بار توسط میلی (۲۰۰۵) [۸] مطرح شده است. این روش نیز همچون سایر روش های پیش بینی، متکی بر نسبت ها و شاخص های مالی است. در مدل های آماری از ترکیب موزون چند شاخص یک عدد بحرانی بدست می آید که ملاک تفکیک درمانده از غیر آن خواهد بود. در این روش دامنه هر شاخص (تفاوت ماکزیمم و مینیمم) به چند فاصله کوچکتر تقسیم می شود و هر فاصله از هر شاخص با فواصل دیگر شاخص ها در ترکیباتی دوگانه تا چندگانه مورد بررسی قرار می گیرد و قواعد بالقوه بر پایه توابع احتمالات مبتنی بر تشخیص های درست هر ترکیب ایجاد می شود. قواعدی که بیان می دارد اگر متغیر اول در فاصله $[a,b]$ و متغیر دوم در فاصله $[c,d]$ و سایر فواصل سایر متغیرها باشد، شرکت غیر درمانده یا درمانده است. یعنی با ایجاد مجموعه ای از قواعد منطقی شرکت ها برای پیش بینی درماندگی، دسته بندی می شوند که در واقع با داده کاوی مواجه هستیم. در بهینه یابی، به هر ترکیب از ابتدای داده کاوی فواصلی از متغیری اضافه می شود که توان پیش بینی را افزایش دهد و در پایان، الگوریتم بهترین متغیرها و فواصل را معرفی می کند. و البته تعداد قواعد ایجاد شده منحصر بفرد نیست و با توجه به پراکندگی داده ها، قواعد افزایش می یابد و همچنین از توان مدل کاسته می شود. و همانند روش های پارامتریک باید بدنبال عدد بحرانی هر شاخص بود تا با روابط $>$ یا $<$ به قواعد کمتر رسید.

❖ گام ها

۸. تعیین شاخص هایی برای پیش بینی درماندگی (k شاخص)

۹. تعیین اعداد بحرانی بالقوه برای هر شاخص (a_{ij})

۱،۲. تعیین فاصله مناسب برای گسست های آن شاخص

۲،۲. تقسیم تفاوت ماکزیمم و مینیمم هر شاخص بر فاصله آن شاخص

۳،۲. ایجاد ماتریسی از اعداد بحرانی بالقوه

$$a_{11} \dots a_{12} \dots \dots \dots a_{1m}$$

$$a_{21} \dots a_{22} \dots \dots \dots a_{2m}$$

$$\dots$$

$$a_{k1} \dots a_{k2} \dots \dots \dots a_{km}$$

۱۰. مسیر حرکت: از هر عدد بحرانی هر شاخص به اعداد بحرانی شاخص بعدی در ترکیبهای دوگانه تا چندگانه با

توابع الگوریتم (پس از مقدار دهی اولیه به پارامترهای الگوریتم مانند α, b, r و Q)

۱،۳. تابع برازندگی: تعداد تشخیص درست یا نسبت تشخیص درست (درمانده و غیردرمانده)

۲،۳. تابع فرومون: مقدار تابع برازندگی برای همه متغیرهای ترکیب مورد بررسی

$$FIT_{Rk} = B_{Rk}^+ + NB_{Rk}^+$$

(B: درمانده NB: غیردرمانده)

بغیر از ترکیب های اولیه آغاز جستجو، این تابع بروز رسانی می شود و

در تابع احتمال مورد استفاده قرار می گیرد. که Δ تفاوت فرومون دو

مرحله است و فرومون مرحله قبل با ضریب $(1-\rho)$ تعدیل می شود.

۳،۳) تابع ابتکاری (هروستیک): مقدار تابع برازندگی برای دو متغیر آخر هر ترکیب مورد

بررسی

$$D_{Cim,Cjn} = B_{Cim,Cjn} + NB_{Cim,Cjn}$$

(۴،۳) تابع احتمال:

$$p_j(t) = \frac{[\tau_j(t)]^\alpha [\eta_j(t)]^\beta}{\sum_{i \in P_k(i)} [\tau_{ii}(t)]^\alpha [\eta_{ii}(t)]^\beta}$$

❖ هدف

دستیابی به تابع تشخیص مانند ترکیب زیر با حداکثر مقدار برای تابع برازندگی

اگر $X_{1,i} < a_{1,j}$ و $X_{2,i} < a_{2,j}$ و ... $X_{k,i} < a_{k,j}$ آنگاه درمانده

i: ۱.....n؛ تعداد شرکت های مورد بررسی الگوریتم

j: ۱.....m؛ تعداد اعداد بحرانی بالقوه

قابل ذکر است که بالاترین تفکیک پذیری با الزام به وجود یک عدد بحرانی برای هر متغیر در تابع تشخیص و یا بالاترین تشخیص در تابعی با ترکیب بهینه از متغیرها با داده کاوی بی الزام اشاره شده، دو روش اجرای الگوریتم می باشد.

تحقیقات مرتبط این کاربرد عبارتند از:

۱) میلی^{۱۵} (۲۰۰۵) با تابع تشخیص "ترکیب عطفی چند گزاره با عملگر کوچکتر" و با ملاک "تعداد تشخیص درست" در توابع الگوریتم و ۵ متغیر آلنمن (۱۹۶۸) در آزمایش اول مبتنی بر کل داده ها و در آزمایش دوم مبتنی بر گروه آموزشی و کنترل به ترتیب به موفقیت ۳،۸۶٪، ۹،۸۶٪ و ۵،۸۰٪ نایل شد که در مقایسه با اجرا با مدل رگرسیون خطی با موفقیت های ۸۰٪، ۱،۷۷٪ و ۷۰٪ نتایج بهتری بوده است.

۲) ونگ^{۱۶} (۲۰۰۹) [۹] با تابع تشخیص "ترکیب عطفی چند گزاره با عملگر حدود بین ماکزیمم و مینیمم" و با ملاک "نسبت تشخیص درست" در توابع الگوریتم و ۵ متغیر درآمد خالص به حقوق صاحبان سهام، نسبت آنی، سود و زیان انباشته به کل دارایی ها، حقوق صاحبان سهام به دارایی ها و هزینه های مالی به فروش کل با

$$T(t+1) = (1-p) \cdot [T(t) + \Delta]$$

تابع بروزرسانی t و t

(برای بهترین مسیر هر دور: $Q = \Delta$ و بقیه مسیرهای آن دور $\Delta = 0$)، در گروه آموزشی و کنترل به موفقیت ۱،۷۹٪ و ۳،۷۶٪ نایل شد.

۳) در تحقیق نویسندگان این مقاله در سال ۱۳۹۱ [۱]، با داده کاوی از بین ۱۵ متغیر با استفاده از داده های ۱۳۰ شرکت در بین سال های ۸۴-۸۹ در قالب ۷۱۸ سال-شرکت، دو متغیر حقوق صاحبان سهام به کل دارایی ها و سود قبل از هزینه مالی و مالیات به کل دارایی، متغیرهای برتر و موثر بر اساس بهینه یابی الگوریتم بوده اند که درصد موفقیت کلی آنها ۹۴،۹۶٪ (درمانده: ۲۱،۹۵٪، غیر درمانده: ۳۸،۹۷٪) بوده است.

خلاصه و نتیجه گیری

روش های متفاوتی برای حل مسایل بهینه یابی ترکیبی وجود دارد که از جمله الگوریتم مورچگان از آن دسته

می باشد. این الگوریتم بدلیل توابع آن و امکان تعریف متناسب اجزای مسایل، و همچنین با توجه به نتایج مطلوب تحقیقات مختلف، از روش های جالب در برخورد با مسایل گوناگون بهینه یابی می تواند باشد و گسترش دامنه کاربرد آن در علوم مهندسی تا علوم مالی نشانگر قابلیت های این الگوریتم است. در این مقاله به کاربردهای مالی الگوریتم مورچگان پرداخته شد در زمینه هایی چون انتخاب پوتفوی سهام، رتبه بندی اعتباری، برنامه ریزی جریان های نقدی پروژه ها و پیش بینی در ماندگی مالی. نتایج، از موفقیت الگوریتم حکایت دارد و بنابراین می توان نتیجه گرفت که استفاده از آن در تحقیقات مشابه زمینه های بالا و یا طراحی و تعریف سایر زمینه ها متاسب الگوریتم منطقی می باشد.

¹ Ant Colony Algorithm

¹ swarm intelligence

² pheromone

³ evaporate

⁴ stigmergy

⁵ Dorigo

⁶ positive feedback

⁷ parallel Implementation

⁸ distributed computing

⁹ black list

¹⁰ Heuristic function

¹¹ updating

¹² Pd = probability of default

¹³ credit portfolio

¹⁴ Martens

¹⁵ Milea

¹⁶ Wang