



Improving Fairness of Influence Maximization in Social Networks Using Grey Wolf Optimizer

Behnam Razzaghi¹, Mehdy Roayaei Ardakany^{2*}

¹ Master Student of Computer Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
behnam.razaghi@modares.ac.ir

² Assistant professor of Computer Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
mroayaei@modares.ac.ir

Abstract

Influence Maximization is one of the most popular problems in social networks, which has many applications in real-world networks. Influence maximization is the problem of finding a small subset of nodes (seed nodes) in a social network that could maximize the spread of influence. However, fairness has not been considered widely in this domain. An important question is whether the benefits of such information propagation in a social network is fairly distributed across different groups in the population. Thus, single-objective influence maximization problem turns to the multi-objective problem, in which both the spread of influence and fairness must be considered. In this paper, we first introduce the measure we use for measuring fairness in influence maximization. Then, we propose an algorithmic framework, based on multi-objective grey-wolf optimizer, for multi-objective optimization of combinatorial problem, and use it to solve the explained problem. Finally, we compare our results on real-world datasets with some greedy algorithm to show the effectiveness of the proposed method. The results show that our algorithm improves both influence and fairness in the network.

Keywords: Influence Maximization, Fairness, Multi-Objective Optimization, Grey Wolf Optimizer



بهبود عدالت در بهینه‌سازی تاثیر در شبکه‌های اجتماعی با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی گرگ خاکستری

بهنام رزاقی^۱، مهدی رعایانی اردکانی^۲

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی کامپیوتر، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران،
behnam.razaghi@modares.ac.ir

^۲ استادیار، گروه مهندسی کامپیوتر، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران،
mroayaei@modares.ac.ir

چکیده

بهینه‌سازی تاثیر یکی از مسائل پرکاربرد در حوزه انتشار اطلاعات در شبکه‌های اجتماعی برخط و برون خط است که دارای کاربردهای متعددی در شبکه‌ها است. هدف از بهینه‌سازی تاثیر، انتخاب یک گروه کوچک از افراد در اجتماع است به طوری که با انتخاب این کاربران، انتشار و گسترش تاثیر در مسئله مورد نظر (مانند خبر، توصیه و...) را در کل آن جامعه بهینه سازد. اما مفهومی که در رابطه با این مسئله کمتر مورد توجه قرار گرفته، بحث عدالت در انتشار اطلاعات است. یک شبکه اجتماعی از گروه‌های مختلفی از افراد تشکیل شده است. عدالت در انتشار اطلاعات بدین معنی است که درصد افرادی که در هر گروه اطلاعات را دریافت می‌کنند از یک آستانه کمتر نباشد. بنابراین مسئله تک هدفه بهینه‌سازی تاثیر تبدیل به مسئله چندهدفه‌ای می‌شود که هدف در آن، علاوه بر گسترش تاثیر، رعایت عدالت می‌باشد. در این مقاله، ابتدا معیار استفاده شده برای اندازه‌گیری عدالت را معرفی می‌کنیم. سپس چارچوبی الگوریتمی برای بهینه‌سازی چند هدفه مسائل ترکیبیاتی مبتنی بر بهینه‌ساز چند هدفه گرگ خاکستری ارائه داده و از آن برای حل مسئله مطرح شده بهره می‌گیریم. در نهایت، برای نشان دادن کارایی الگوریتم ارائه شده، نتایج به دست آمده را بر روی مجموعه داده‌های واقعی با یک الگوریتم حریصانه مقایسه می‌کنیم. این مقایسه نشان می‌دهد الگوریتم ما همزمان میزان تاثیر و عدالت را در شبکه افزایش می‌دهد.

کلمات کلیدی

بهینه‌سازی تاثیر، عدالت، بهینه‌سازی چند هدفه، بهینه‌ساز گرگ خاکستری

امکان‌پذیر نیست. بنابراین هدف قرار دادن افراد کلیدی و اصلی جامعه که اطلاعات حیاتی را به دیگران منتقل می‌کنند، مهم است. به طور رسمی، اگر یک شبکه اجتماعی را با گراف G مدل کنیم هر فرد، به صورت یک گره و ارتباط بین دو فرد، به صورتی یالی از آن گراف نشان داده می‌شود. بنابراین شبکه اجتماعی را با گراف $G(V, E)$ نمایش می‌دهیم که در آن V مجموعه افراد و E مجموعه ارتباطات بین آن‌ها را بیان می‌کند [۶]. حال برای مسئله بهینه‌سازی تاثیر باید در ابتدا از بین تمامی گره‌های شبکه تعداد k گره اولیه (بذر) انتخاب و یا به اصطلاح کاشت شود. در ابتدا فقط گره‌های عضو بذر فعال هستند. سپس در هر مرحله، گره‌های فعال در انتهای مرحله قبل، می‌توانند گره‌های همسایه خود را با احتمال مشخصی فعال کنند. این فرآیند تا

۱- مقدمه

بهینه‌سازی تاثیر^۱ در شبکه‌های اجتماعی مسئله‌ای است که بسیار مورد مطالعه قرار گرفته شده و دارای کاربردهای وسیعی در دامنه‌های مختلف است، از جمله بازاریابی مویرگی [۱]، کنترل و گسترش شایعه در جامعه [۲]، توصیه‌های اجتماعی [۳]، اپیدمی‌های گیاهان [۴] و جستجوی خیره [۵]. به طور مثال، برنامه‌های توسعه‌ای سعی می‌کنند تا آنجا که ممکن است به افراد اطلاعات مفیدی ارائه دهند (برای نمونه، ایمنی در مورد HIV یا خدمات درمانی در دسترس). از آنجا که منابع (به عنوان مثال، مددکاران اجتماعی) محدود هستند، دسترسی به هر فرد در معرض خطر بصورت شخصی



وجود دارد که معروفترین آنها معیارهای مرکزیت گره^۴ و حفره‌های ساختاری است.

معیارهای مرکزیت به دو دسته معیارهای محلی و معیارهای سراسری تقسیم می‌شوند. معیارهای محلی، معیارهایی هستند که تنها به ساختار شبکه در همسایگی یک گره مربوط می‌شوند. معیارهای سراسری معیارهایی هستند که به ساختار کلی شبکه وابسته اند. پنج معیار برای مرکزیت که به طور گسترده‌ای در تجزیه و تحلیل شبکه‌های اجتماعی استفاده می‌شوند، عبارتند از: مرکزیت درجه^۵، مرکزیت بینابینی^۶، مرکزیت نزدیکی^۷، مرکزیت بردار ویژه^۸ و رتبه صفحه^۹ [۱۸، ۱۹].

مرکزیت درجه به تعداد لینک‌هایی که روی یک گره حادث می‌شود، گفته می‌شود. مرکزیت بینابینی تعداد بارهایی که یک گره به عنوان پل در طول کوتاه‌ترین مسیر بین دو گره دیگر عمل می‌کند، تعریف می‌شود. مرکزیت نزدیکی یک گره میانگین طول کوتاه‌ترین مسیر بین گره و تمام گره‌های دیگر در شبکه است. مرکزیت بردار ویژه میزان تاثیر یک گره در شبکه را بیان می‌کند. رتبه صفحه با شمارش تعداد و کیفیت لینک‌ها به یک صفحه برای تعیین تخمین تقریبی از اهمیت وب سایت کار می‌کند. در جدول (۱) بطور خلاصه روابط محاسبه این معیارها بیان شده است.

عدم وجود رابطه بین دو بخش از شبکه اجتماعی را حفره‌های ساختاری می‌نامند. دو بخش فقط با اتصال به شخص سوم می‌تواند ارتباطات غیرمستقیم برقرار کنند. در این حالت بین این دو قسمت از نظر ساختار، حفره‌ای وجود دارد که به آن حفره ساختاری گفته می‌شود [۲۰]. الگوریتم‌های بیشینه‌سازی تأثیر سنتی به دلیل تاثیر یا احتمال انتشار کم، این گره‌ها را به عنوان گره‌های بذر انتخاب نمی‌کنند. در حالیکه طبق تعریف، این گره‌ها، نقش بسزایی در ارتباط بین گروه‌ها و بخش‌های جدا از هم در کلیت شبکه دارند.

جدول (۱). معیارهای مرکزیت گره

نام معیار	فرمول	توضیحات
مرکزیت درجه	$C_D(G) = \frac{\sum_i^{ V } [C_D(v^*) - C_D(v_i)]}{(V - 1)(V - 2)}$	v^* گره با بالاترین درجه
مرکزیت نزدیکی	$C_C(i) = \frac{1}{\sum_{j=1}^n d(i, j)}$	$d(i, j)$ فاصله بین گره i و j
مرکزیت بینابینی	$C_B(i) = \frac{\sum_{i \neq j \neq l} g_{jl}(i)}{g_{il}}$	جمع تعداد مسیرهای کوتاه از j به l که از i می‌گذرد
مرکزیت بردار ویژه	$x_v = \frac{1}{\lambda} \sum_{t \in G} a_{v,t} x_t$	$a_{v,t}$ عنصر ماتریس مجاورت. λ عدد ثابت
مرکزیت رتبه صفحه	$PR(u) = \sum_{v \in B_u} \frac{PR(v)}{L(v)}$	تعداد $L(v)$ همسایه‌های گره v

زمانی که گره دیگری در شبکه وجود نداشته باشد که بتوان آن را فعال کرد، ادامه خواهد داشت [۷]. هدف مسئله بیشینه‌سازی تأثیر، شناسایی k بذر به گونه‌ای است که حداکثر تعداد گره‌ها در انتهای فرآیند فعال شوند.

۲- کارهای گذشته

برای مسئله بیشینه‌سازی تأثیر مقالات و پژوهش‌های بسیاری نوشته شده است. Kempe و همکاران اولین تعریف رسمی از یافتن گره‌های تاثیرگذار به عنوان یک مسئله بهینه‌سازی گسسته و ایجاد یک الگوریتم حریصانه صخره نوردی با ضمانت تقریب $1 - \frac{1}{e}$ ارائه دادند [۸]. پس از این، بسیاری از محققان در حال کار بر روی طراحی الگوریتم‌های کارآمد برای مشکل بیشینه‌سازی تأثیر بوده‌اند که منجر به معرفی تعداد زیادی روش‌های مختلف برای حل این مسئله شد [۹-۱۱].

چندین الگوریتم فرامکاشفه‌ای و بهینه‌سازی نیز برای مسئله بیشینه‌سازی تأثیر به کار گرفته شده‌اند، از الگوریتم شبیه‌سازی ذوب فلزات [۱۲] تا الگوریتم ژنتیک [۱۳]. در [۱۴] یک الگوریتم تکاملی چند هدفه [۱۵] برای بیشینه‌سازی تأثیر، جایی که دو هدف (الف) به حداکثر رساندن تأثیر یک مجموعه بذر و (ب) به حداقل رساندن تعداد گره‌های موجود در بذر مطرح شد، پیشنهاد شد.

در رابطه با رعایت مفهوم عدالت در بیشینه‌سازی تأثیر مقالات و پژوهش‌های کمتری در سال‌های اخیر وجود دارد که به عنوان مثال میتوان به مقاله‌ای که توسط وایلدور و همکاران از دانشگاه کالیفرنیا شمالی مطرح شده است اشاره کرد [۱۶]. در این مقاله بر اساس دو معیار از معیارهای عدالت در استفاده از منابع در شبکه‌های اجتماعی با نام *Maximin* و گوناگونی^{۱۷}، عدالت را در مسئله بیشینه‌سازی تأثیر در شبکه رعایت کردند. همچنین مقاله‌ای که مفهوم عدالت را در مسئله بیشینه‌سازی تأثیر با اهمیت زمان بحرانی در شبکه‌های اجتماعی تعریف و بررسی می‌کند [۱۷]، از جمله این پژوهش‌ها در زمینه رعایت مفهوم عدالت در بیشینه‌سازی تأثیر در شبکه‌های اجتماعی است.

۳- مسئله بیشینه‌سازی تأثیر و مفهوم عدالت

در مسئله بیشینه‌سازی تأثیر از بین تمامی گره‌های شبکه تعداد k گره اولیه طوری انتخاب می‌شوند که بیشترین گره‌های شبکه را فعال کنند. فعال کردن گره‌ها در شبکه با استفاده از یک مدل انتشار صورت می‌پذیرد که نحوه انتشار اطلاعات در شبکه را مدلسازی می‌کند.

اهمیت گره‌ها یک موضوع اساسی در توصیف ساختار و پویایی شبکه‌های اجتماعی است. یکی از مشکلات اساسی در کنترل فرآیند انتشار، ارزیابی توانایی انتشار برای هر گره در شبکه است. هرچه توانایی انتشار یک گره بیشتر باشد، سرعت و میزان انتشار اطلاعات در کل شبکه بیشتر خواهد بود. برای ارزیابی توانایی گره‌ها در شبکه‌های اجتماعی، معیارهای متفاوتی



۳-۱- مدل‌های انتشار در شبکه‌های اجتماعی

در مقالات مختلف از دو مدل انتشار اصلی برای مدلسازی نحوه انتشار اطلاعات در شبکه‌های اجتماعی استفاده می‌شود که این دو مدل عبارتند از [۲۱]:

• مدل آبخاری مستقل^{۱۰}

در این مدل یک گره می‌تواند در وضعیت فعال یا غیرفعال باشد. در ابتدا تمامی گره‌ها به جز گره‌های عضو بذر در وضعیت غیرفعال هستند. هر گره فعال در زمان t یک شانس برای فعال کردن همسایه‌ی غیرفعال خود با احتمال وزن یال بین آن‌ها، احتمال انتشار، دریافت خواهد کرد. این فرآیند آبخاری تا زمانی که هیچ گره‌ی فعال دیگری در یک برچسب زمانی وجود نداشته باشد، ادامه خواهد یافت.

• مدل آستانه خطی^{۱۱}

در این مدل برای هر گره v در زمان t تمام همسایگانش که در زمان $t-I$ فعال شده‌اند، سعی می‌کنند آن گره را فعال کنند. اگر مقدار احتمال همسایه‌های فعال شده‌ی ورودی، بالاتر یا برابر با آستانه‌ی گره باشد، فرآیند فعال شدن موفق خواهد بود و گره v فعال می‌شود.

در این مقاله، ما از مدل آبخاری مستقل برای مدلسازی انتشار اطلاعات در شبکه اجتماعی استفاده کرده‌ایم.

۳-۲- مفهوم عدالت

غالباً، گروه‌های کوچک و حاشیه‌ای در یک جامعه بزرگتر نادیده گرفته می‌شوند. به عنوان مثال، در حوزه پیشگیری از برخی بیماری‌های مسری اعضای اقلیت‌های نژادی یا قومی به طور نامتناسب از مطالعه حذف می‌شوند و اتفاقاً این‌ها بیشترین سود را از توجه و رسیدگی می‌برند. بنابراین حصول اطمینان از اینکه تخصیص منابع، ترکیب متنوع جوامع ما را منعکس کند و هر گروه تخصیص عادلانه‌ای از منابع جامعه را داشته باشد، مهم است. در واقع انتشار منابع در شبکه می‌بایست به گونه‌ای باشد که تمامی گروه‌ها در شبکه تحت تاثیر قرار گیرند. در نتیجه، در نظر گرفتن مسئله انصاف و عدالت در سهمیه‌بندی منابع و تخصیص آن به گروه‌ها در جوامع امری جدی و مهم به شمار می‌رود. برای اندازه‌گیری معیار عدالت در انتشار اطلاعات در شبکه اجتماعی می‌توان از مفهوم *Maximin* که الهام گرفته از مفهوم حقوقی اثر نابرابر است، استفاده کرد. این مفهوم بیانگر این است که برای ارزیابی هر گزینه از نظر بدترین نتیجه ممکن، که می‌تواند در نتیجه انتخاب آن گزینه باشد، گزینه‌ای انتخاب شود که بهترین بدترین نتیجه را داشته باشد [۲۲]. معادل این مفهوم در مسئله بیشینه‌سازی تاثیر آن است که مقدار حداقل درصد گره‌های فعال شده در بین تمامی گروه‌ها را به حداکثر برسانیم.

با توجه به موارد ذکر شده، مسئله‌ای که ما در این مقاله بررسی می‌کنیم مسئله رعایت عدالت در بیشینه‌سازی تاثیر در شبکه‌های اجتماعی است که می‌تواند نتایج بسیار کاربردی و مهمی را در پی داشته باشد. بنابراین مسئله تک هدفه بیشینه‌سازی تاثیر تبدیل به مسئله دوهدفه‌ای می‌شود که هدف در

آن، علاوه بر بیشینه‌سازی گسترش تاثیر، بیشینه‌سازی عدالت با در نظر گرفتن معیار Maximin است.

۴- بهینه‌سازی گرگ خاکستری چند هدفه^{۱۲}

اگر بیش از یک هدف برای بهینه‌سازی وجود داشته باشد، یک مسئله چند هدفه نامیده می‌شود. دو دیدگاه برای رسیدگی به مسئله چند هدفه وجود دارد: پیشینی^{۱۳} و پسینی^{۱۴} [۲۳].

پیشینی بدین صورت است که اهداف یک مسئله چند هدفه را به یک هدف واحد و مجموعه‌ای از وزن‌ها که اهمیت هر یک از اهداف را تعیین می‌کند ترکیب خواهد کرد. و پسینی فرمول‌بندی چند عاملی از مسائل چند عاملی را حفظ می‌کند. در این حالت، تصمیم گیرندگان در نهایت یکی از راه حل‌های به دست آمده را بر اساس نیاز خود انتخاب می‌کنند.

با توجه به تعریف مسئله چند هدفه، فرموله‌سازی یک بهینه‌سازی چندهدفه برای مسئله بیشینه‌سازی بصورت (۱) تعریف می‌شود:

$$\begin{aligned} \text{Maximize: } F(\vec{x}) &= f_1(\vec{x}), f_2(\vec{x}), \dots, f_m(\vec{x}) \\ \text{Subject to: } g_i(\vec{x}) &\geq 0, i = 1, 2, \dots, m \\ h_i(\vec{x}) &= 0, i = 1, 2, \dots, p \\ L_i \leq x_i \leq U_i, & i = 1, 2, \dots, n \end{aligned} \quad (1)$$

که n تعداد متغیرها، o تعداد توابع هدف، m تعداد قیود نابرابر، p تعداد قیود برابر، g_i مشخص کننده i امین قیود نابرابری، h_i بیان کننده i امین قیود برابر و $[L_i, U_i]$ محدوده i امین متغیر است.

در بهینه‌سازی یک هدفه، راه حل‌ها به سادگی به واسطه تابع هدف مقایسه می‌شوند. اما راه حل‌ها در یک فضای چند هدفه با توجه به معیارهای مقایسه چند ضابطه‌ای، توسط عملگرهای رابطه‌ای قابل مقایسه نیستند. در این حالت، یک راه حل، بهتر از راه حل دیگر است اگر و فقط اگر ارزش عینی بهتر یا مساوی را در تمام اهداف نشان دهد و ارزش حداقلی را در حداقل یکی از توابع هدف فراهم کند. مفاهیم مقایسه دو راه حل در مسائل چند هدفه ابتدا توسط Francis Ysidro مطرح و سپس توسط Vilfredo Pareto گسترش یافت که تعریف ریاضی آن برای یک مسئله بهینه‌سازی بصورت زیر است:

تعریف اول: پوشش پارتو [۲۴]

فرض کنید که دو بردار \vec{x} و \vec{y} وجود دارد، بردار x بردار y را پوشش می‌دهد، اگر و فقط اگر:

$$\forall i \in \{1, 2, \dots, k\}, [f(x_i) \geq f(y_i)] \wedge [\exists i \in \{1, 2, \dots, k : f(x_i) > f(y_i)]$$

تعریف دوم: پارتوی بهینه [۲۵]

یک راه حل x بهینه است اگر و فقط اگر:

$$\nexists \vec{y} \in X | F(\vec{y}) > F(\vec{x})$$

تعریف سوم: مجموعه بهینه پارتو

مجموعه‌ای است شامل تمام راه حل‌های غالب مسأله

$$P_s := \{x, y \in X | \nexists F(y) > F(x)\}$$



$$\vec{D}_a = |\vec{C}_1 \cdot \vec{X}_a - \vec{X}| \quad (۶)$$

$$\vec{D}_\beta = |\vec{C}_2 \cdot \vec{X}_\beta - \vec{X}| \quad (۷)$$

$$\vec{D}_\delta = |\vec{C}_3 \cdot \vec{X}_\delta - \vec{X}| \quad (۸)$$

$$\vec{X}_1 = \vec{X}_a - \vec{A}_1 \cdot (\vec{D}_a) \quad (۹)$$

$$\vec{X}_2 = \vec{X}_\beta - \vec{A}_2 \cdot (\vec{D}_\beta) \quad (۱۰)$$

$$\vec{X}_3 = \vec{X}_\delta - \vec{A}_3 \cdot (\vec{D}_\delta) \quad (۱۱)$$

$$\vec{X}(t+1) = \frac{\vec{X}_1 + \vec{X}_2 + \vec{X}_3}{3} \quad (۱۲)$$

• مرحله جستجو

در هنگام جستجو گرگ‌ها از یکدیگر دور می‌شوند تا شکار را ردیابی کنند. در حالی که پس از ردیابی شکار، گرگ‌ها در فاز حمله به یکدیگر نزدیک می‌شوند. به این فرآیند واگرایی در جستجو-همگرایی در حمله می‌گویند.

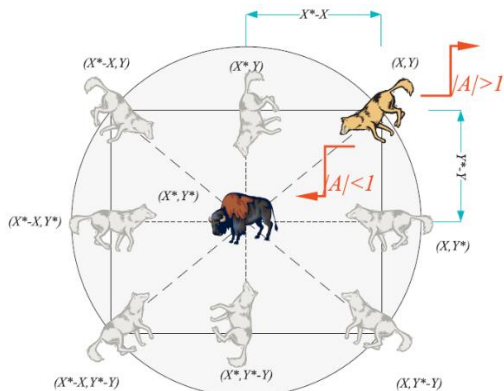
بردار C ، در رابطه (۵)، به عنوان موانع موجود در طبیعت که نزدیک شدن گرگ‌ها به شکار را کند می‌کند، در نظر گرفته می‌شود. بردار C به شکار وزن داده و آن را برای گرگ‌ها غیر قابل دستیابی‌تر می‌کند. این بردار برخلاف a به صورت خطی از ۲ تا صفر کاهش نمی‌یابد. ترتیب الگوریتم بصورت زیر است:

۱. برزندگی کلیه جواب‌ها محاسبه شده و سه جواب برتر به عنوان آلفا، بتا و دلتا تا پایان الگوریتم انتخاب می‌شوند.

- در هر تکرار بعد از تعیین موقعیت گرگ‌های آلفا و بتا و دلتا، بروزرسانی موقعیت بقیه جواب‌ها با تبعیت از آن‌ها انجام می‌شود.
- در هر تکرار بردار a (و به تبع آن A) و C بروزرسانی می‌شوند.
- در پایان تکرارها، موقعیت گرگ آلفا به عنوان جواب بهینه معرفی می‌شود.

• بهینه‌ساز گرگ خاکستری چند هدفه

الگوریتم گرگ خاکستری از جمله الگوریتم‌های بهینه‌سازی است که نسخه چندهدفه آن نیز ارائه شده است. برای چندهدفه کردن این الگوریتم نیاز به دو مولفه جدید است که در ادامه توضیح داده می‌شود [۲۷].



شکل (۱): مدل قرارگیری گرگ‌ها نسبت به شکار

تعریف چهارم: جبهه بهینه^{۱۵} پارتو

مجموعه‌ای حاوی مقدار توابع هدف برای مجموعه راه حل‌های پارتو

$$P_f := \{f(x) | x \in P_s\}$$

هدف اصلی الگوریتم‌های بهینه‌سازی چند هدفه، یافتن تخمین بسیار دقیق از راه‌حل‌های بهینه پارتو یا بالاترین گوناگونی است.

• بهینه‌ساز گرگ خاکستری^{۱۶}

الگوریتم گرگ خاکستری، یکی از الگوریتم‌های بهینه‌سازی است که اخیراً برای حل مسائل مختلف مورد استفاده قرار گرفته است. در بهینه‌ساز گرگ خاکستری [۲۶]، که الگوریتمی تکاملی و مبتنی بر جمعیت است، هر گرگ خاکستری به عنوان یک جواب در نظر گرفته می‌شود. در این الگوریتم، مناسب‌ترین راه حل را به عنوان آلفا در نظر می‌گیریم، و راه حل‌های دوم و سوم مناسب به ترتیب بتا و دلتا نامگذاری می‌شوند. بقیه راه حل‌ها امگا در نظر گرفته می‌شوند. در این الگوریتم، شکار توسط آلفا، بتا و دلتا هدایت می‌شود. وقتی شکار توسط گرگ‌ها احاطه شده و از حرکت بایستد، حمله به رهبری گرگ آلفا، شروع می‌شود. در شکل (۱) این مطلب قابل مشاهده است.

مدل کردن این فرآیند با استفاده از کاهش بردار a انجام می‌گردد. از آنجا که A برداری تصادفی در بازه $[-2a, 2a]$ تعریف شده است (رابطه ۲)، با کاهش a ، بردار ضرایب A هم کاهش می‌یابد. اگر $|A| < 1$ باشد، گرگ‌ها به شکار نزدیک شده و اگر $|A| > 1$ باشد گرگ‌ها از شکار دور خواهند شد. الگوریتم گرگ خاکستری الزام دارد که تمام گرگ‌ها موقعیت خود را برحسب موقعیت آلفا، بتا و دلتا به روز کنند. این کار از طریق محاسبه فاصله هر گرگ با طعمه (رابطه ۳) و کم یا زیاد کردن این فاصله (رابطه ۴) انجام می‌شود.

• محاصره طعمه توسط گرگ‌های خاکستری

در طول شکار، گرگ‌ها طعمه را محاصره می‌کنند. مدل ریاضی رفتار محاصره در روابط (۲-۵) ارائه شده است که t تکرار فعلی، A و C بردارهای ضریب، X_p بردار موقعیت طعمه و X بردار موقعیت گرگ را نشان می‌دهد.

$$\vec{D} = |\vec{C} \cdot \vec{X}_p(t) - \vec{X}(t)| \quad (۲)$$

$$\vec{X}(t+1) = \vec{X}_p(t) - \vec{A} \cdot \vec{D} \quad (۳)$$

$$\vec{A} = 2\vec{a} \cdot \vec{r}_1 - \vec{a} \quad (۴)$$

$$\vec{C} = 2\vec{r}_2 \quad (۵)$$

در روابط بالا متغیر a به طور خطی در طول تکرارها از ۲ به ۰ کاهش می‌یابد و \vec{r}_1 و \vec{r}_2 بردارهای تصادفی در بازه $[0, 1]$ هستند. همچنین $\vec{X}(t)$ مکان گرگ را در زمان t و $\vec{X}_p(t)$ مکان قرارگیری طعمه را نشان می‌دهند. در مدل ریاضی رفتار شکار گرگ‌های خاکستری، ما فرض می‌کنیم که آلفا، بتا و دلتا دانش بهتری در مورد موقعیت بالقوه طعمه دارند. بنابراین بهترین سه راه حل اول، ذخیره می‌شوند و عامل‌های دیگر موظف هستند موقعیت خود را مطابق با موقعیت بهترین عوامل جستجو مطابق با روابط (۱۲-۶) به روز کنند.



۱. مولفه بایگانی^۱

طول u ایجاد می‌کنیم و به صورت تصادفی k خانه از آرایه را مقدار 1 و مابقی خانه‌ها را به صفر مقداردهی می‌کنیم.

• محاسبه تابع هدف

برای محاسبه تابع چند هدفه، دو هدف Maximin و درصد گره‌های فعال شده را محاسبه می‌کنیم. تابع هدف، مختصات یک گرگ خاکستری را که در واقع یک بذر اولیه برای مسئله بیشینه‌سازی تاثیر است را به عنوان ورودی گرفته و بر اساس مدل انتشار آبشاری مستقل، گره‌های فعال شده را مشخص کرده و بر اساس آن، مقدار هدف Maximin و هدف درصد گره‌های فعال شده را محاسبه می‌کند.

• انتخاب بهترین نمونه‌ها در هر تکرار

از آنجایی که مسئله، چند هدفه است، لزوماً نمی‌توان یک جواب را بهتر از جواب دیگر دانست. ممکن است تعداد بیش از یک جواب وجود داشته باشد که از دیگر جواب‌ها بهتر باشند. بنابراین جواب‌هایی که در شرایط بهینه پارتو باشند، در بایگانی ذخیره می‌شوند.

• بررسی دامنه مکان گرگ‌های خاکستری

در هر بار تکرار الگوریتم گرگ خاکستری، مکان همه گرگ‌ها نسبت به گرگ‌های رهبر (آلفا، بتا و دلتا) به روزرسانی شده و سعی در نزدیک‌تر شدن/ دورتر شدن به/ از آن‌ها را دارند (رابطه (۱۲)). در روش اصلی گرگ خاکستری، کافی است بررسی شود مکان قرارگیری گرگ‌ها هر مقداری در دامنه مجاز باشد. این مقدار مجاز باید برای هر بعد به صورت جداگانه مشخص شود. اما از آنجا که مسئله ما، مسئله ترکیباتی است و مقادیر ابعاد مختلف گرگ صرفاً صفر یا 1 می‌تواند باشد، با توجه به ماهیت این روابط، مکان جدید یک گره ممکن است یک جواب شدنی برای مسئله نباشد. بنابراین باید دو مورد را در رابطه با مکان جدید هر گرگ بررسی کرد: (۱) مقدار به دست آمده برای هر بعد دقیقاً صفر یا 1 باشد، (۲) ممکن است اندازه بذر هر جواب، کمتر یا بیشتر از اندازه تعیین شده برای مجموعه بذر شود. برای حل مشکل اول، بعد از به روزرسانی مکان هر گرگ، مقادیر بزرگتر از 1 به عدد 1 ، مقادیر کمتر از صفر به عدد صفر، و مقادیر غیرصحیح بین صفر و یک هم به نزدیکترین این دو مقدار گرد می‌شوند. برای حل مشکل دوم، چنانچه تعداد 1 های موجود در مکان گرگ، i تا بیش‌تر از اندازه بذر باشد، به صورت تصادفی i تا از خانه‌های آرایه مربوطه را که مقدارشان برابر با 1 است به صفر تغییر می‌دهیم و چنانچه تعداد 1 های موجود در مکان گرگ، i تا کم‌تر از اندازه بذر باشد، به صورت تصادفی i تا از خانه‌های آرایه مربوطه را که مقدارشان برابر با صفر است به 1 تغییر می‌دهیم.

• محاسبه خروجی

در نهایت، و از آنجا که ممکن است در انتهای اجرای الگوریتم، بیش از یک راه‌حل در بایگانی باقی مانده باشد، میانگین جواب‌های باقی مانده در بایگانی را به عنوان نتیجه نهایی الگوریتم برمی‌گردانیم.

این مولفه مسئول ذخیره راه‌حل‌های بهینه پارتویی است که تاکنون به دست آمده‌اند. کلید اصلی این مولفه یک کنترل کننده بایگانی برای زمانی است که یک راه حل می‌خواهد وارد بایگانی شود یا وقتی که بایگانی پر است. یک مقدار حداکثری برای تعداد اعضای بایگانی وجود دارد. اگر بایگانی پر باشد، مکانیسمی به نام مکانیسم توری^{۱۸} فضای هدف را تقسیم‌بندی کرده و سلوغ‌ترین بخش را پیدا می‌کند تا یکی از راه‌حل‌های آن را از بین ببرد. سپس، برای بهبود تنوع جبهه بهینه نهایی پارتو، باید راه حل جدید در خلوت‌ترین بخش وارد شود. مؤلفه توری وظیفه دارد تا راه‌حل‌های بایگانی را تا حد امکان متنوع نگه دارد. در این روش فضای هدف به چندین منطقه تقسیم می‌شود.

۲. مولفه انتخاب رهبر

این مولفه می‌تواند راه‌حل‌ها را با توجه به مفاهیم بهینه پارتو مقایسه کند. این مولفه، خلوت‌ترین بخش از فضای جستجو را انتخاب کرده و یکی از راه‌حل‌های غیرمغلوب خود را به عنوان گرگ‌های آلفا، بتا یا دلتا ارائه می‌دهد. انتخاب با روش چرخ رولت^{۱۹} با احتمال به دست آمده از رابطه (۱۳) برای هر ابرمکعب^{۲۰} از فضای جستجو انجام می‌شود:

$$P_i = \frac{c}{N_i} \quad (13)$$

که در آن c یک ثابت بزرگتر از 1 و N_i تعداد راه‌حل‌های بهینه پارتو بدست آمده در ابرمکعب i ام است.

۵- روش پیشنهادی

با وجود آنکه الگوریتم گرگ خاکستری برای حل مسائل بهینه‌سازی چند هدفه قابل استفاده است، برای استفاده از آن در مسائل ترکیباتی مانند مسئله ما، باید تغییراتی در آن بوجود آورد.

مسائل بهینه‌سازی ترکیباتی مسائلی هستند که در آن مجموعه‌ای متناهی از اعضا، U ، و تابع هدف، $f: S \subseteq U \rightarrow \mathbb{R}^+$ ، به عنوان ورودی داده شده است. هدف، انتخاب زیرمجموعه‌ای از U است به طوری که تابع هدف را بهینه کند. از آنجا که بیشتر مسائل بهینه‌سازی ترکیباتی، ان‌پی-سخت هستند، اغلب از روش‌های غیردقیق مانند مکاشفه‌ای برای حل این مسائل استفاده می‌شود. در ادامه، چارچوبی الگوریتمی برای بهینه‌سازی چند هدفه مسائل ترکیباتی مبتنی بر بهینه‌ساز چند هدفه گرگ خاکستری ارائه می‌دهیم که شامل تغییراتی است که بر روی بهینه‌ساز گرگ خاکستری چند هدفه انجام می‌گیرد.

• مقداردهی اولیه

فرض کنید $|U| = u$ اندازه مجموعه ورودی (تعداد گره‌های شبکه) و k اندازه جواب (اندازه بذر اولیه) را مشخص می‌کنند. در این صورت، هر گرگ خاکستری را باید به صورت برداری u بعدی در فضا نشان داد. برای مقداردهی اولیه مکان قرار گرفتن گرگ‌ها، هر گرگ را به صورت آرایه‌ای با



۶- نتایج و تحلیل خروجی

برای ارزیابی الگوریتم، الگوریتم پیشنهادی را روی ۲۳ شبکه اجتماعی برون خط که توسط وایلدور و همکاران [۱۶] جمع‌آوری شده است، اجرا کرده‌ایم. این شبکه‌ها برای مدل‌سازی پیشگیری از چاقی در منطقه آنتلویپ دره کالیفرنیا استفاده شده است. هر گره در شبکه دارای ویژگی‌هایی قومیت، سن و جنسیت است. برای هر ویژگی، به تعداد مقادیر مختلف آن، گروه در شبکه ایجاد می‌گردد. گروه‌های موجود در شبکه به ازای هر ویژگی، شامل افرادی می‌شود که دارای مقدار یکسانی برای آن ویژگی هستند. مقادیر موجود برای ویژگی قومیت شامل Black، Latino، Asian، و others، برای ویژگی سن شامل 18-24، 25-29، 30-39، 40-49، 50-59، 60-64، 65+ و برای ویژگی جنسیت شامل female و male می‌باشد. هر شبکه ۵۰۰ گره دارد که با احتمال انتشار $p = 0.1$ و اندازه بذر را ثابت $k = 25$ تنظیم کرده‌ایم.

برای مقایسه، الگوریتم حریصانه‌ای در نظر گرفته شده که جزء بهترین الگوریتم‌های بهینه‌سازی تک هدفه به شمار می‌آید [۲۸]. هدف از این انتخاب، نشان دادن کارایی الگوریتم ارائه شده در بهبود همزمان میزان تأثیر در شبکه و رعایت عدالت در این تأثیر نسبت به الگوریتمی تک هدفه است که تنها هدف آن بیشینه کردن تأثیر در شبکه است.

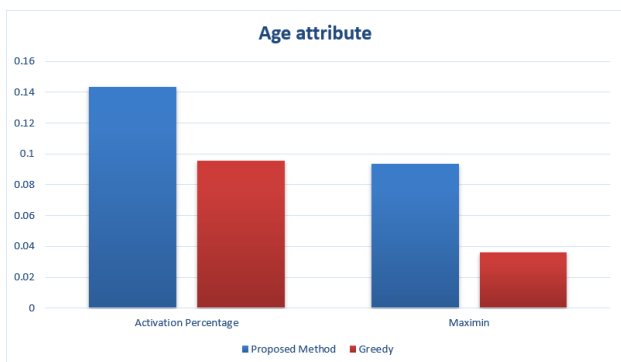
به ازای هر ویژگی، هر دو الگوریتم روی ۲۳ شبکه اجرا شده و مقادیر به دست آمده برای اهداف درصد گره‌های فعال شده و مقدار Maximin در تکرارهای مختلف میانگین گرفته شده است. نتایج حاصل را می‌توانید در شکل‌های (۲) تا (۴) مشاهده کنید.

همان‌طور که در نتایج ارائه شده قابل مشاهده است، الگوریتم پیشنهادی هر دو معیار درصد گره‌های فعال شده و مقدار Maximin را نسبت به الگوریتم حریصانه بهبود داده است. بدین معنی که نه تنها افراد بیشتری در شبکه اجتماعی فعال می‌شوند، بلکه درصد بیشتری از گروه‌های مختلف موجود در شبکه اجتماعی فعال می‌شوند و در نتیجه همزمان عدالت بیشتری در انتشار اطلاعات رخ داده است.

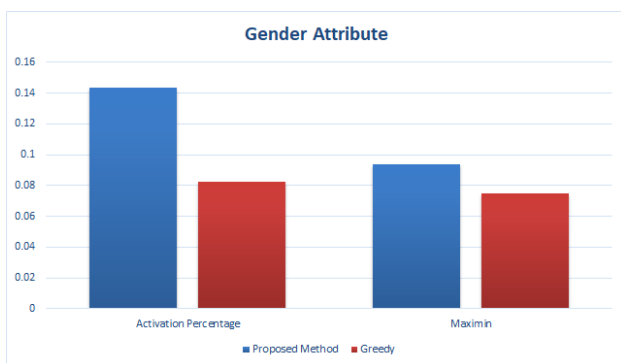
در طرف دیگر، مشخص است که الگوریتم حریصانه تمام تمرکز خود را بر روی بهبود درصد گره‌های فعال شده گذاشته است و در نتیجه نتوانسته است معیار عدالت، Maximin، را به خوبی افزایش دهد.

۷- نتیجه‌گیری و کارهای آینده

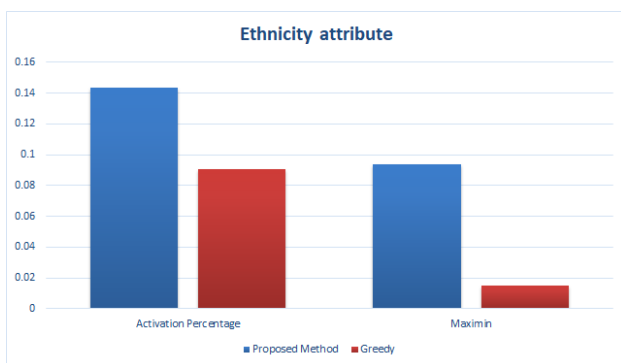
در این مقاله، مفهوم عدالت در مسئله بیشینه‌سازی تأثیر در شبکه‌های اجتماعی شرح داده شد و معیار Maximin برای اندازه‌گیری آن معرفی گردید. بر همین اساس، مسئله تک هدفه بیشینه‌سازی تأثیر به مسئله دو هدفه بیشینه‌سازی تأثیر و عدالت بازتعریف شد. سپس چارچوب الگوریتمی مبتنی بر الگوریتم گرگ خاکستری برای حل این مسئله ارائه شد تا همزمان این دو هدف را بیشینه کند. نتایج حاصل از مقایسه این الگوریتم و الگوریتم حریصانه نشان از بهبود همزمان دو هدف دارد.



شکل (۲): مقایسه دو الگوریتم بر مبنای ویژگی سن



شکل (۳): مقایسه دو الگوریتم بر مبنای ویژگی جنسیت



شکل (۴): مقایسه دو الگوریتم بر مبنای ویژگی قومیت

آنچه برای ادامه کار این مقاله می‌توان در نظر گرفت، عبارت است از:

- مقایسه چارچوب الگوریتمی پیشنهادی با بهترین الگوریتم موجود برای مسئله بیشینه‌سازی تأثیر.
- مقایسه چارچوب الگوریتمی ارائه شده با دیگر الگوریتم‌های بهینه‌سازی چند هدفه در مسئله بیشینه‌سازی تأثیر.
- در نظر گرفتن و تعریف معیارهای دیگر برای اندازه‌گیری میزان عدالت در انتشار اطلاعات.



مراجع

- [19] Newman, Mark E. J. 2010. *Networks: an introduction*. Oxford [u.a.]: Oxford Univ. Press.
- [20] R.S. Burt, *Structural Holes*, Academic Press, New York, 1992.
- [21] P. Shakarian, A. Bhatnagar, A. Aleali, E. Shaabani and R. Guo, "The independent cascade and linear threshold models," in *Diffusion in Social Networks*, Springer, 2015, pp. 35-48.
- [22] Harsanyi, John. 1975. *Can the Maximin Principle Serve as a Basis for Morality? A Critique of John Rawls's Theory*. American Political Science Review 69(2): 594-606.
- [23] Branke, J., Kaußler, T. & Schmeck, H. (2001). *Guidance in evolutionary multi-objective optimization*. Advances in Engineering Software, 32(6), 499-507.
- [24] Coello, C. A. C. (2009). *Evolutionary multi-objective optimization: some current research trends and topics that remain to be explored*. Frontiers of Computer Science in China, 3(1), 18-30.
- [25] Ngatchou, P., Zarei, A., & El-Sharkawi, M. (2005). *Pareto multiobjective optimization*. In Proceedings of the 13th International Conference on the Intelligent Systems Application to Power Systems, 2005.
- [26] Mirjalili, S., Mirjalili, S.M., & Lewis, A. (2014). *Grey wolf optimizer*. Advances in Engineering Software, 69, 46-61.
- [27] Mirjalili, S., Saremi, S., Mirjalili, S., Saremi, S., Mirjalili, S. M., & Coelho, L. D. S. (April 01, 2016). *Multi-objective grey wolf optimizer: A novel algorithm for multi-criterion optimization*. Expert Systems with Applications, 47, 106-119.
- [28] Badanidiyuru, A., Vondrák J. (2014) *Fast algorithms for maximizing submodular functions*. Proceedings of the twenty-fifth annual ACM-SIAM symposium on discrete algorithms. Society for Industrial and Applied.
- [1] P. Domingos and M. Richardson, "Mining the network value of customers," in KDD, 2001, pp. 57-66.
- [2] X. He, G. Song, W. Chen, and Q. Jiang, "Influence blocking maximization in social networks under the competitive linear threshold model," in SDM, 2012, pp. 463-474
- [3] M. Ye, X. Liu, and W.-C. Lee, "Exploring social influence for recommendation: A generative model approach," in SIGIR, 2012, pp. 671-680.
- [4] Van der Plank JE. *Plant diseases: epidemics and control*. Elsevier, 2013.
- [5] Balog K, Azzopardi L, De Rijke M. *Formal models for expert finding in enterprise corpora*. Proceedings of the 29th annual international ACM SIGIR conference on Research and development in information retrieval. ACM, 2006.
- [6] Barabási and Albert-László, *Network Science*, 1 ed., Cambridge University Press, 2016.
- [7] D. Kempe, J. M. Kleinberg and E. Tardos, "Maximizing the spread of influence through a social network," *Theory of Computing*, 2015.
- [8] D. Kempe, J. Kleinberg, and E. Tardos, "Maximizing the spread of influence through a social network," in KDD, 2003, pp. 137-146.
- [9] M. Kimura and K. Saito, "Tractable models for information diffusion in social networks," in PKDD, 2006, pp. 259-271.
- [10] W.Yu, G.Cong, G.Song, and K.Xie, "Community-based greedy algorithm for mining top-k influential nodes in mobile social networks," in KDD, 2010, pp.1039-1048.
- [11] W.Chen, C.Wang, and Y.Wang, "Scalable influence maximization for prevalent viral marketing in large scale social networks," in KDD, 2010, pp. 1029-1038.
- [12] Jiang, Q., Song, G., Cong, G., Wang, Y., Si, W., Xie, K.: *Simulated annealing based in AAAI*. AAAI Press (2011).
- [13] Bucur, D., Iacca, G.: *Influence maximization in social networks with genetic algorithms*. In: European Conference on the Applications of Evolutionary Computation. pp. 379-392. Springer (2016).
- [14] Coello, C.A.C., Van Veldhuizen, D.A., Lamont, G.B.: *Evolutionary algorithms for solving multi-objective problems*, vol. 242. Springer (2002).
- [15] Bucur, D., Iacca, G., Marcelli, A., Squillero, G., Tonda, A.: Multi-objective evolutionary algorithms for in European Conference on the Applications of Evolutionary Computation. pp. 221-233. Springer (2017).
- [16] Tsang A., Zick Y., Tambe M., et al. 2019. "Group-fairness in influence maximization". *IJCAI International Joint Conference on Artificial Intelligence*. 2019-August: 5997-6005.
- [17] Ali, Junaid, Babaei, Mahmoudreza, Chakraborty, Abhijnan, Mirzasoleiman, Baharan, Gummadi, Krishna P., and Singla, Adish. 2019. *On the Fairness of Time-Critical Influence Maximization in Social Networks*.
- [18] Bonacich, Phillip (1987). "Power and Centrality: A Family of Measures". *American Journal of Sociology*. 92 (5): 1170-1182.

زیر نویس ها

- 1 Influence Maximization
- 2 Seed
- 3 Diversity
- 4 Node centrality
- 5 Degree centrality
- 6 Betweenness centrality
- 7 Closeness centrality
- 8 Eigenvector centrality
- 9 Page rank
- 10 Independent Cascade Model
- 11 Linear Threshold Model
- 12 Multi-Objective Grey Wolf Optimization
- 13 Priori
- 14 Posteriori
- 15 Optimal Front
- 16 Grey Wolf Optimizer
- 17 Archive Component



-
- 18 Grid
 - 19 Roulette-wheel
 - 20 Hypercube