بهبود رفتار ربات در یک بازی بلادرنگ استراتژیک با استفاده از روش گرگ خاکستری

پرهام زیلوچیان مقدم ، فرید لطفعلی

دانشگاه کاشان

دپارتمان مهندسی برق و کامپیوتر

ایمیل : [p.zilouchian@gmail.com](mailto:p.zilouchian@gmail.com)

[Farid9lotfali@gmail.com](mailto:Farid9lotfali@gmail.com)

چکیده – در این مقاله ما قصد داریم تا قدرت و نتایج استفاده از روش گرگ خاکستری که به طور خاص برای چنین بازی‌هایی طراحی شده است را بسنجیم (که حالا در این بازی‌ها به آن‌ها ربات نیز میگویند.) ما به طور خاص قصد داریم بررسی خود را روی بازی Planet Wars که یک بازی است که برای رقابت هوش مصنوعی گوگل در سال 2010 انتخاب شد که این بازی نیاز دارد به یک بازیکن مصنوعی که قادر است تا با چندین هدف تعامل داشته باشد ، وقتی که قرار است به یک درجه‌ای خاص از سازگاری برسد برای این که حریفان متفاوتی را در سناریوها متفاوتی شکست دهند. موتور تصمیم این ربات براساس مجموعه‌ای از قوانین که براساس یادگیری تجربی به دست میآید تعریف میشود. الگوریتم‌های تکاملی (Evolutionary Algorithms) برای تنظیم مجموعه‌ای از مقادیر ثابت ، وزن‌ها واحتمالات که قوانین را تعریف میکنند استفاده میشود و بنابراین عملکرد عمومی ربات را تعریف میکنند. الگوریتم گرگ خاکستری یک روش متا هیوریستیک است که برگرفته از سلسله مراتب درون زندگی گرگ‌های خاکستری و نحوه شکار کردن آن‌ها در طبیعت است. به طور کلی گرگ‌های خاکستری را در چهار دسته به نام‌های آلفا ، بتا ، دلتا و امگا دسته‌بندی میکنند و از این دسته‌بندی برای بیان نحوه سلسله مراتب گرگ‌های خاکستری استفاده میکنیم. و علاوه بر این موارد سه مرحله شکار، شامل جستجو برای شکار ، محاصره طعمه و حمله به طعمه نیز در این روش به کار گرفته میشود. الگوریتم گرگ خاکستری به وسیله 29 تابع تست معروف مورد آزمون و بنچ مارک قرار گرفته و نتایج آن به وسیله یادگیری مقایسه‌ای و الگوریتم بهبود ذره ذره‌ای (PSO)، الگوریتم جستجوی گرانشی (GSA)، تکامل دیفرانسیل (DE)، برنامه نویسی تکاملی (EP)و استراتژی تکاملی مورد تایید قرار گرفته‌اند. و تمامی این نتایج نشان‌داده اند که الگوریتم گرگ خاکستری در مقایسه با سایر روش‌های متا-هیوریستیک میتواند نتایج بسیار قابل رقابتی را ارائه کند.

# معرفی

روش‌های متا-هیوریستیک در طول دو دهه گذشته بسیار محبوب شده‌اند و بعضی از این روش‌ها مانند الگوریتم ژنتیک (GA) ، الگوریتم بهینه سازی کلونی مورچگان (ACO) و الگوریتم بهینه‌سازی ذرات بسیار محبوب شده‌اند و نه فقط در بین دانشمندان علوم کامپیوتر بلکه در میان سایز فیلدها نیز محبوب شده‌اند. به خاطر کارهای علمی زیادی که در این زمینه انجام شده است، این روش‌های بهینه سازی در فیلدهای گوناگون تحصیلی اضافه شده‌اند. یک سوالی که در اینجا پیش می‌آید این است که چرا روش‌های متا-هیورستیک تا این حد معمول شده‌اند. و پاسخ به این سوال میتواند در چهار دلیل اصلی خلاصه شود که عبارت‌اند از : راحتی ، قابلیت انعطاف ، مکانیزم غیرقابل مشتق سازی آن‌ها و همین طور جلوگیری از گیر افتادن در بهینه‌های محلی.

اول از همه که روش‌های متا-هیوریستیک بسیار آسان هستند. و آن‌ها عموما از مفاهیم بسیار ساده‌ای الهام گرفته‌اند. آن‌ها عموما از مربوط میشوند به پدیده‌های فیزیکی ، رفتار حیوانات یا مفاهیم تکاملی. سادگی اجازه میدهد به دانشمندان کامپیوتری تا مفاهیم مختلف طبیعی را شبیه سازی کنند ، هدف برخی از متا-هیوریستیک‌های جدید ، ترکیب کردن دو یا چند متاهیوریستیک بایکدیگر یا این که بهبود متا-هیوریستیک‌های موجود است. علاوه‌براین ، سادگی به سایر دانشمندان کمک میکند تا متا-هیوریستیک‌ها را به سادگی یاد بگیرند و آن‌ها را در مسائل خود به کار بگیرند.

دوم، قابلیت انعطاف است که به کاربرد متا-هیوریستیک‌ها در مسائل مختلف بدون نیاز به تغییرات خاصی در ساختار الگوریتم مربوط میشود. متا-هیوریستیک‌ها به راحتی قابل اضافه کردن به مسائل مختلف هستند، چون که این‌ها مسائل را عموما به عنوان جعبه‌های سیاه در نظر میگیرند. به بیان دیگر ، فقط ورودی‌ها و خروجی‌های یک سیستم برای مسائل متا-هیوریستیک مهم هستند. بنابراین ، تمام چیزی که یک طراح نیاز دارد این که بداند که چگونه مسئله‌اش را برای متا-هیوریستیک بیان کند.

سوم ، اکثریت متا-هیوریستیک‌ها از اشتقاق عاری هستند. در تضاد با روش‌های بهینه سازی براساس شیب ، مسئله‌های بهینه سازی تصادفی متا-هیوریستیک قرار دارند. فرآیند بهبود با یک راه حل تصادفی آغاز میشود و نیازی به محاسبه مشتق فضای کاری برای پیدا کردن بهینه وجود ندارد. این موضوع باعث میشود تا متا-هیوریستیک‌ها برای مسائل واقعی با اطلاعات هزینه دار و یا اشتقاقی بسیار مناسب باشند.

در نهایت، متا-هیوریستیک‌ها توانایی‌های برتری برای مقابله با بهینه‌های محلی در مقایسه با روش‌های مرسوم دارند. این موضوع به خاطر طبیعت تصادفی بودن متا-هیوریستیک‌ها است که اجازه میدهد به آن‌ها تا از ایستایی در راه حل‌های محلی جلوگیری کند و تمام فضای جستجو را به صورت گسترده بگردد. فضای جستجوی مسائل واقعی عمدتا مشخص نیست و بسیار پیچیده است با تعداد زیادی از مینیمم‌های محلی بنابراین متا-هیوریستیک‌ها گزینه‌های خوبی با تعداد زیادی مینیمم محلی هستند بنابراین متا-هیوریستیک‌ها گزینه‌های خوبی برای بهبود چالش این مسائل واقعی هستند.

به صورت کلی متا-هیوریستیک‌ها به دو دسته کلی تقسیم میشوند : براساس یک راه حل و مبتنی بر جمعیت.

در روش مبتنی بر راه‌حل ، فرآیند جستجو با یک راه‌حل کاندید شروع میشود. و آن تک راه‌حل در هر مرحله بهبود میابد. اما روش‌های مبتنی بر جمعیت بهبود را در براساس یک مجموعه‌ای از جواب‌ها (جمعیت) اعمال میکنند. در این حالت فرآیند جستجو با یک جمعیت اولیه داده شده شروع میشود (چندین راه‌حل) و این جمعیت در هر تکرار بهبود میابد. متا-هیوریستیک‌های مبتنی بر جمعیت یک سری مزیت‌ها در مقایسه با الگوریتم‌های تک راه حلی دارند:

* روش چند راه‌حلی اطلاعات را درباره فضای جستجو به اشتراک میگذارد که باعث پرش‌های ناگهانی به سمت قسمت‌های امیدارکننده فضای جستجو بشود.
* روش‌ راه‌حلی به یکدیگر کمک میکنند تا از گیر افتادن در مینیمم‌های محلی راه حل‌ها جلوگیری شود.
* متا-هیوریستیک‌های مبتنی بر جمعیت به صورت عمومی حالت اکتشافی بیشتری در مقایسه با روش‌های تک راه‌حلی دارد.

یکی از شاخه‌های جالب متا-هیوریستیک‌های مبتنی بر جمعیت هوشمندی ازدحامی است (SI).

بدون در نظر گرفتن تفاوت بین متا-هیوریستیک‌ها، یک ویژگی مشترکی که دارند، تقسیم‌بندی فرآیندهای جستجو به دو فاز است : اکتشاف و بهره‌برداری. فاز اکتشاف مربوط میشود به فرآیند تحقیق و بررسی ناحیه نوید بخش از فضای جستجو تا جایی که ممکن است. یک الگوریتم نیاز دارد که متغیرهای شانسی داشته باشد تا به صورت تصادفی و عمومی فضای جستجو را جستجو کنند تا به این مرحله کمک کند. هرچند که بهره‌برداری به توانایی جستجوی محلی اطراف مناطق امیددهنده به‌دست آمده فاز اکتشاف اشاره دارد. پیدا کردن یک تعادل مناسب بین دو فاز به خاطر ماهیت تصادفی بودن متا-هیوریستیک‌ها یک کار چالش برانگیز است.

# Grey Wolf Optimizer (GWO)

در ابتدای توضیح الگوریتم بهینه‌سازی گرگ خاکستری خوب است به این موضوع هم اشاره کنم که این الگوریتم را دو برادر ایرانی به نام سید علی و سید محمد میرجلالی با همکاری استاد خود با نام اندرو لوییس از دانشگاهی در استرالیا ابداع کرده‌اند. روش بسیار جالبی است که بر مبنای زندگی اجتماعی گرگ‌های خاکستری و نحوه شکار آن‌ها عمل میکند.

علت این که ما تصمیم گرفتیم از این الگوریتم استفاده کنیم شباهت بسیار زیاد نحوه عملکرد بازی Planet Wars با نحوه عمل این الگوریتم است به گونه‌ای که به راحتی میتوان این الگوریتم را با Planet Wars مطابقت داد.

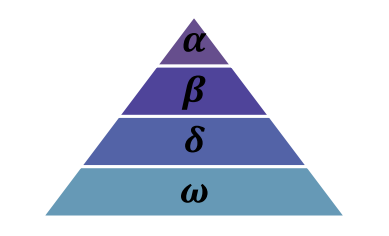
در این بخش در ابتدا الهام بخشی روش گرگ خاکستری مطرح میشود. و سپس مدل ریاضی آن بیان میشود.

## الهام بخشی

گرگ خاکستری به خانواده سگ سانان تعلق دارد. گرگ‌های خاکستری از بهترین شکارچیان به حساب می‌آیند. به این معنی است که آن‌ها در راس هرم غذایی هستند. گرگ‌های خاکستری بیشتر ترجیح میدهند تا به صورت گروهی زندگی کنند. و سایز گروه آن‌ها به طور متوسط بین 5 تا 12 است. به عنوان یک مثال گرگ‌های خاکستری یک سلسله مراتب بسیار سخت‌گیرانه‌ مبتنی بر برتری دارند که در شکل1 نشان داده شده است. رهبران گروه نرها و یا ماده‌هایی هستند که آلفا نامیده میشوند. آلفاها عموما مسئول هستند تا در مورد شکار، مکان خواب، زمان بیدار شدن و ... تصمیم گیری کنند. و تصمیمات آلفاها به اعضای گروه دیکته میشود. هرند که بعضی رفتارهای دموکراتیک نیز مشاهده میشود که در آنها آلفاها سایر گرگ‌های دسته را دنبال میکنند. در گردهمایی‌های آن‌ها سایر گرگ‌ها، آلفاها را با بالابردن دست خود تصدیق میکنند. همچنین گرگ آلفا گرگ مافوق نیز نامیده میشود چون دستوراتش باید به وسیله دسته دنبال شود[46]. گرگ‌های آلفا همچنین فقط اجازه دارند تا در دسته خودشان جفت‌گیری کنند. نکته‌ای که جالب است این است که گرگ‌ آلفا لزوما قوی‌ترین عضو گروه نیست اما بهترین عضو از لحاظ مدیریت گروه است. این موضوع نشان میدهد که تشکیلات، نظم و انظباط گروه بسیار از قدرت و زور مهم‌تر است.

سطح بعدی سلسله مراتب گرگ‌های خاکستری، بتا هست. بتا گرگ‌های زیردست هستند آلفا را در تصمیم‌گیری و سایر فعالیت‌های گروهی یاری میدهند. گرگ‌های بتا میتوانند نر یا ماده باشند، و همچنین بتا میتواند بهترین کاندید برای آلفا شدن باشد در حالتی که یکی از گرگ‌های آلفا بمیرد یا پیر شود. گرگ بتا باید به آلفا احترام بگذارد، اما به سایر گرگ‌های زیر دست درون دسته دستور میدهد. بتا نقش یک نصیحت‌کننده را برای آلفا و نقش نظم‌دهنده را برای دسته بازی میکند. بتا همچنین دستورات آلفا را در گروه پخش میکند و به اطلاع همه میرساند و فیدبکی که از گروه دریافت میکند را به اطلاع آلفا میرساند.

پایین‌ترین رتبه در دسته گرگ‌های هاکستری امگا نام دارد. امگا نقش قربانی را بازی میکند. امگا باید همواره گرگ‌های مافوق خود را تصدیق کند. آنها آخرین گرگ‌هایی هستند که اجازه دارند غذا بخورند. شاید اینطور به نظر برسد که امگا به تنهایی اهمیت چندانی در گروه نداشته باشد، اما مشاهده شده است که کل گروه با درگیری‌های داخلی و مشکلات زیادی موقع از دست دادن امگا مواجه میشود. این موضوع به خاطر تخلیه خشونت، ناامیدی و ناکامی تمامی گرگ‌ها به وسیله امگا(ها) است. این موضوع به رضایت‌مندی تمام دسته و پایداری ساختار تسلط در گروه کمک بسیاری میکند. در بعضی از مواقع نیز گرگ‌های امگا نقش نگهداری از بچه‌های گروه را بر عهده دارند.

اگر یک گرگ آلفا، بتا یا امگا نباید در نتیجه اون گرگ، گرگ تابع نامیده میشود ( و در بعضی از منابع به آن‌ها دلتا نیز گفته میشود. ). گرگ‌های دلتا باید آلفاها و بتاها را تایید کنند اما آنها بر امگاها غالب هستند و برآنها حکم فرما هستند. دیدبانان،ارشدها، مراقبان، کشیک‌ها، محافظان و شکارچیان به این دسته تعلق دارند. دیدبانان وظیفه دارند تا مرزهای قلمرو را دیدبانی بدهند و به گروه را در صورت خطر هشدار بدهند. نگهبانان از گروه محافظت میکنند و سلامت گروه را تضمین میکنند. ارشدها گرگ‌های باتجربه‌ای هستند قرار است آلفا یا بتا شوند. شکارچیان موقع شکار طعمه گرگ‌های آلفا و بتا را کمک میکنند و برای گروه غذا فراهم میکنند. و مراقبان نیز وظیفه دارند تا به ضعیف‌ها، زخمی‌ها و بیماران گروه کمک کنند و یا آن‌ها را حمل کنند.

شکل 1: سلسه مراتب گرگ‌های خاکستری ( رتبه ‌آن‌ها از بالا به پایین کاهش میابد).

علاوه بر سلسله مراتب اجتماعی گرگ‌ها، شکار گروهی یک رفتار اجتماعی جالب گرگ‌های خاکستری است.

فازها و قسمت‌های اصلی شکار گرگ‌های خاکستری عبارت‌اند از :

* پیگیری، تعقیب و نزدیک شدن به طعمه
* دنبال‌کردن، محاصره، خسته‌کردن و آزار و اذیت طعمه تا از حرکت باز بایستند.
* حمله کردن به سمت طعمه

این مراحل در شکل 2 نشان داده شده اند.

## سلسله مراتب اجتماعی گرگ‌های خاکستری

برای این که به صورت ریاضی سلسله مراتب اجتماعی گرگ‌ها را موقعی که الگوریتم گرگ خاکستری را طراحی میکنیم، مدل کنیم، ما مناسب‌ترین راه حل را به عنوان آلفا (α). در نتیجه دومین و سومین بهترین راه‌حل به‌دست آمده بتا (β) و دلتا (δ) معرفی میشوند. و مابقی راه‌حل‌های کاندیدا به عنوان امگا (ω) معرفی میشوند. در الگوریتم گرگ خاکستری شکار (بهینه‌سازی) به وسیله α، β و δ انجام میشود. و گرگ‌های ω این سه دسته گرگ را دنبال میکنند.

## محاصره طعمه

همان‌طور که در بالا اشاره شد، گرگ‌های خاکستری طعمه را در طول شکار محاصره میکنند. برای این که به صورت ریاضی رفتار محاصره‌ای را مدل کنیم، معادله زیر به دست می‌آید :



که در آن‌ها t مشخص کننده تکرار است. و بردارهای ضریب هستند و بردار موقعیت طعمه است و بردار موقعیت گرگ خاکستری را مشخص میکند.

بردارهای و به صورت زیر محاسبه میشوند :



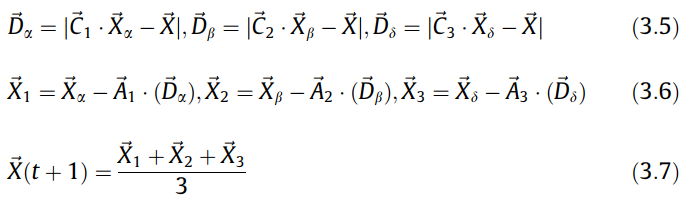
که اجزای به صورت خطی از مقدار 2 تا 0 در طول تکرارها کاهش میابند و بردارهای تصادفی در بازه هستند.

برای این که اثرات معادله‌های (3.1) و (3.2) و یک بردار موقعیت دوبعدی و بعضی از همسایه‌های ممکن ببینید، آن‌ها در شکل 3 نشان داده شده‌اند. همان طور که در این تصویر نیز میبینید یک گرگ خاکستری در موقعیت میتواند موقعیتش را بر طبق موقعیت طعمه به روزرسانی کند. مکان‌های متفاوتی در اطراف بهترین عامل میتواند باتوجه به موقعیت فعلی به وسیله تنظیم کردن بردارهای و به دست بیاید. به عنوان نمونه، میتواند با مقدار دهی و به دست آید. موقعیت‌های ممکن به روزرسانی موقعیت گرگ خاکستری در فضای سه بعدی در شکل 3(b) نشان داده شده است. توجه کنید که بردارهای تصادفی و به گرگ‌ها اجازه میدهد تا به هر موقعیتی بین نقاط نشان داده شده در شکل3 برسند. بنابراین یک گرگ‌ خاکستری میتواند مکانش را در داخل فضای اطراف طعمه در هر موقعیت تصادفی‌ای با استفاده از معادله‌های (3. 1) و (3. 2) به روزرسانی کند.

همین مفهوم میتواند در فضای جستجوی n-بعدی تعمیم یابد و گرگ‌های خاکستری در مکعب‌های هایپر (یا کره‌های هایپر) اطراف بهترین جوابی که تاکنون به‌دست آمده است حرکت میکنند.

## شکار

گرگ‌های خاکستری این توانایی را دارند تا موقعیت طعمه را شناسایی کنند و آن را محاصره کنند. شکار عمدتا به وسیله آلفا رهبری میشود. بتا و دلتا نیز امکان دارد در شکار بسته به موقعیت نقش داشته باشند. هر چند ما در یک فضای جستجوی انتزاعی هیچ ایده‌ای در مورد موقعیت مطلوب یا بهینه (طعمه) نداریم. برای این که به طور ریاضی رفتار شکاری گرگ‌های خاکستری را نشان دهیم، ما فرض میگیریم که آلفا (بهترین راه حل کاندید)، بتا و دلتا دانش بهتری در مورد موقعیت پنهانی طعمه دارند. بنابراین ما 3 تا از بهترین راه حل‌هایی را که تاکنون به دست آمده است را ذخیره میکنیم و مابقی عامل‌های جستجو را وادار میکنیم (شامل امگاها) تا موقعیتشان را بر طبق موقعیت بهترین عامل‌ها به‌روزرسانی کنند. فرمول‌های زیر در این باره به‌دست آمده‌اند.



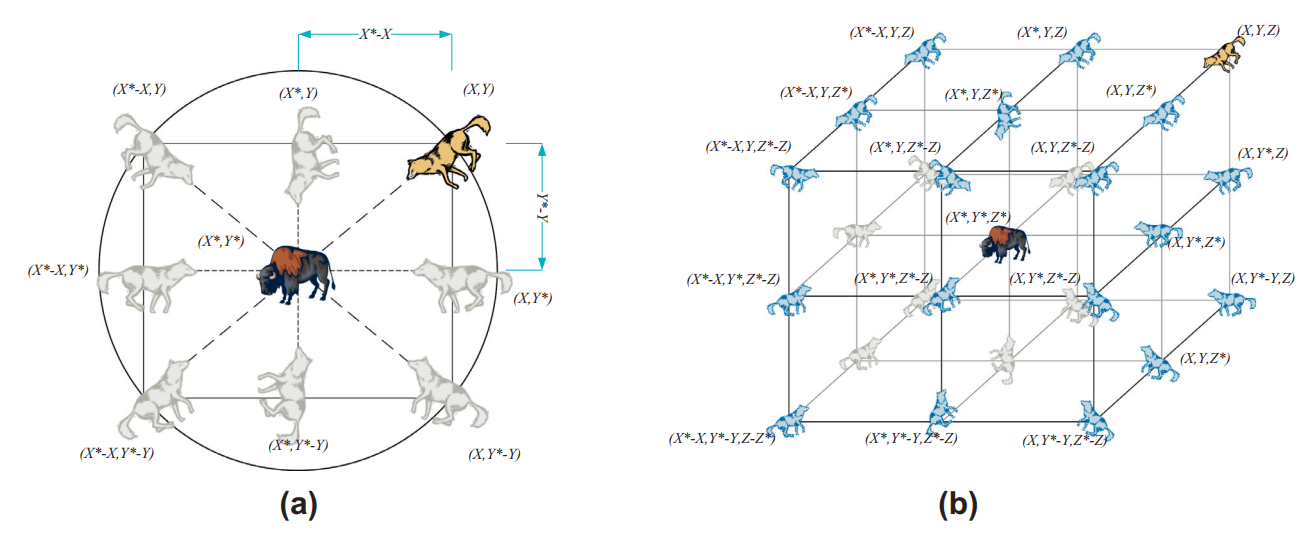
شکل4 نشان میدهد که چگونه یک عامل موقعیتش را بر طبق آلفا، بتا و دلتا در یک فضای دو بعدی به روزرسانی میکند. میتواند مشاهده شود که موقعیت نهایی در یک مکان تصادفی در دایره‌ای که به‌وسیله موقعیت‌های آلفا، بتا و دلتا در فضای جستجو تعریف شده است، قرار میگیرد. به بیان دیگر آلفا، بتا و دلتا مکان قرار گیری طعمه را تخمین میزنند و سایر گرگ‌ها موقعیتشان را به صورت تصادفی اطراف طعمه به‌روزرسانی میکنند.

## حمله به طعمه

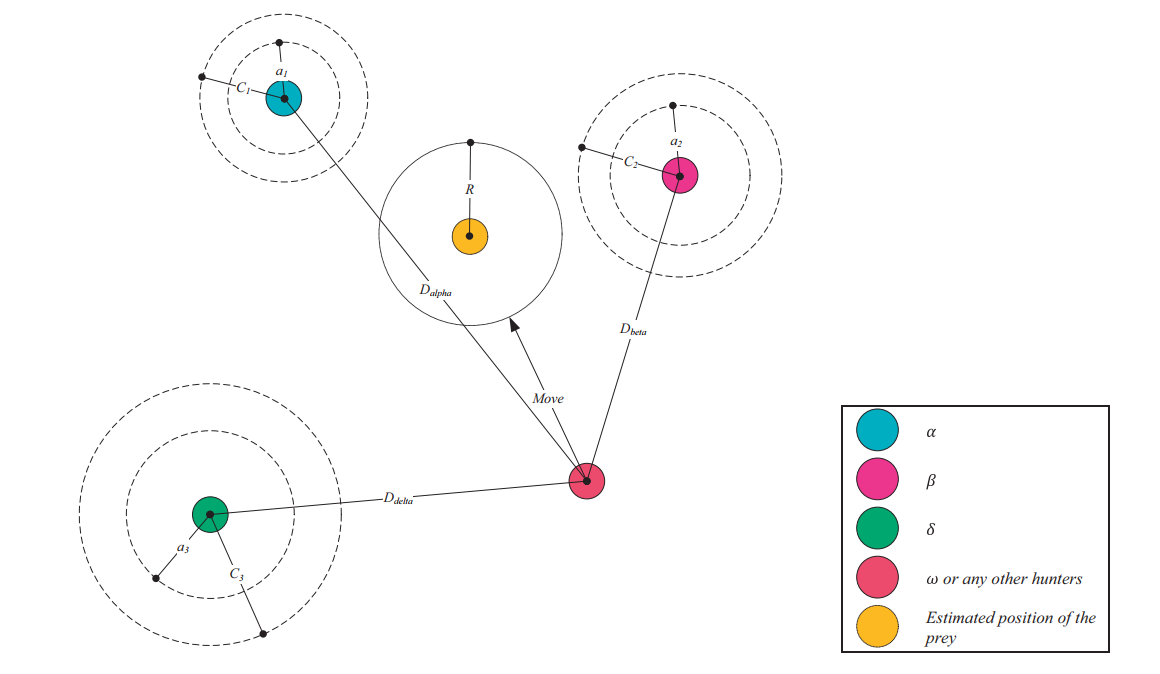
همان‌طور که در بالا اشاره شد، گرگ‌های خاکستری شکار را با حمله‌کردن به طعمه هنگامی که از حرکت باز می‌ایستد تمام میکنند. برای این که به صورت ریاضی نزدیک شدن به طعمه را مدل کنیم، ما مقدار را کاهش دادیم. توجه کنید که بازه نوسان نیز به وسیله کاهش میابد. به بیان دیگر یک مقدار تصادفی در بازه است که مقدارش از 2 تا 0 در هر تکرار کاهش میابد. وقتی که مقادیر تصادفی در بازه هستند، موقعیت بعدی یک عامل جستجو میتواند در هر موقعیتی بین موقعیت فعلی و موقعیت قرارگیری طعمه باشد.



شکل 2 : رفتار شکاری گرگ‌های خاکستری: (A) دنبال کردن، نزدیک شدن و ردیابی طعمه (B-D) تعقیب کردن، آزار و اذیت و محاصره کردن (E) متوقف کردن طعمه و حمله کردن



شکل 3 : بردارهای موقعیت D2 و D3 و مکان ممکن قرارگیری بعدی آن‌ها



شکل 4 : به‌روزرسانی موقعیت در GWO

شکل5 (a) نشان میدهد که گرگ‌ها را مجبور میکند تا به سمت طعمه حمله کنند.

با متغیرهایی که تاکنون مطرح شده‌اند، الگوریتم GWO به عامل‌های جستجویش اجازه میدهد تا موقعیتشان را براساس محل قرارگیری آلفا، بتا و دلتا به‌روزرسانی کنند؛ و به سمت طعمه حمله کنند. هرچند، الگوریتم ‌GWO به ایستایی در راه‌حل‌های محلی با این متغیرها تمایل دارد. این موضوع درست است که روش محاصره‌کردن بیان شده اکتشاف را تا یم حدی نشان میدهد، اما GWO به متغیرهای بیشتری نیاز دارد تا به اکتشاف اهمیت بدهد.

## جستجو برای طعمه (اکتشاف)

گرگ‌های خاکستری بیشتر بر طبق موقعیت آلفا، بتا و دلتا جستجو میکنند. آن‌ها از یک دیگر دور میشوند تا به جستجوی طعمه بپردازند و به یکدیگر نزدیک میشوند تا به طعمه حمله کنند. برای این که دورشدن را به صورت ریاضی مدل کنیم، ما را با مقادیر تصادفی بیشتر از 1 یا کمتر از 1- به کار گرفتیم تا عامل جستجو را وادار کنیم که از طعمه دور شود. این موضوع به اکتشاف تاکید میکند و به الگوریتم GWO اجازه میدهد تا به صورت عمومی‌تر جستجو کند. شکل5(b) همچنین نشان میدهد که گرگ‌های خاکستری را مجبور میکند تا از طعمه دور شوند به این امید که یک طعمه مناسب‌تری را پیدا کنند.

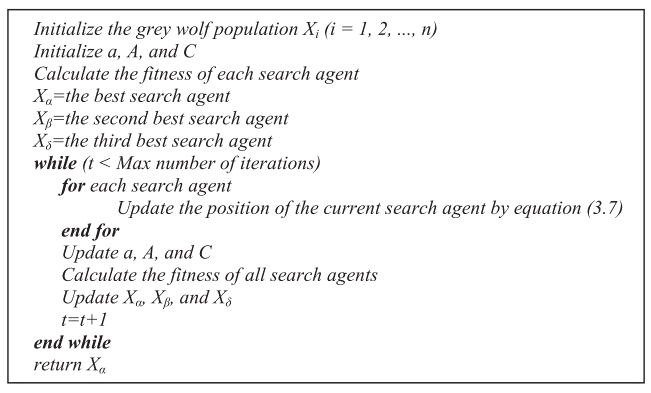
یکی دیگر از جزهای GWO که به اکتشاف توجه میکند، هست. همین‌طور که امکان دارد در معادله (3. 4) ببینید، بردار شامل مقادیر تصادفی در بازه میباشد. این جز وزن‌های تصادفی‌ای را برای طعمه در نظر میگیرد برای این‌که به صورت تصادفی به اهمیت بدهیم یا این‌که از اهمیت تاثیر طعمه در تعریف کردن فاصله در معادله بکاهیم. این موضوع به GWO کمک میکند تا یک رفتار تصادفی‌تری در سراسر بهینه‌سازی از خود نشان بدهد، و اکتشاف و جلوگیری از مینیمم‌های محلی را دوست دارد. ارزشش را دارد که در اینجا اشاره‌ای کنیم که به صورت خطی در تضاد با کاهش نمیابد. ما عمدا به نیاز داریم تا مقادیر تصادفی را در همه زمان‌ها برای ما فراهم کنند تا به اکتشاف اهمیت بدهیم نه فقط هنگام تکرارهای ابتدایی بلکه حتی در تکرارهای پایانی نیز باید به آن اهمیت بدهیم.

بردار همچنین میتواند به عنوان نتیجه موانعی که در طبیعت به طعمه نزدیک میشوند، در نظر گرفت. به صورت کلی، موانع در طبیعت در مسیر شکار گرگ‌ها ظاهر میشوند و در حقیقت از نزدیک شدن راحت و سریع آن‌ها به طعمه جلوگیری میکنند. این دقیقا کاری است که بردار انجام میدهد. بسته به موقعیت گرگ، او میتواند به صورت تصادفی به طعمه یک وزن بدهد و آن را برای رسیدن گرگ‌ها به او سخت‌تر و دورتر بکند. برای خلاصه در الگوریتم GWO فرآیند جستجو با ایجاد یک جمعیت اولیه‌ای از گرگ‌ها شروع میشود (راه‌حل کاندید). در هر مرحله تکرار، گرگ‌های آلفا، بتا و دلتا موقعیت احتمالی طعمه را پیش‌بینی میکنند. هر راه‌حل کاندید فاصله‌اش را تا طعمه به‌روزرسانی میکند. مقدار پارامتر از 2 به 0 کاهش میابد برای این که به اکتشاف و بهره‌برداری به‌ترتیب اهمیت بدهد. راه‌حل‌های کاندید سعی میکنند تا از طعمه دور شوند وقتی که و به سمت طعمه بروند وقتی که . در نهایت، الگوریتم GWO با رضایت از یک معیار پایانی، خاتمه میابد.

شبه کد الگوریتم GWO در شکل6 معرفی شده است.

برای این که بفهمید که به صورت تئوری چگونه GWO میتواند مسائل بهینه‌سازی را حل کند، یک سری از نکات اشاره شده است:

* سلسله مراتب اجتماعی پیشنهاد شده به GWO کمک میکند تا بهترین راه‌حل به دست آمده تا اینجای در تکرار را ذخیره کند.
* مکانیزم محاصره پیشنهاد شده یک همسایگی دایره‌ای شکلی را اطراف راه‌حل‌هایی که میتواند به ابعاد بالاتری تعمیم داده شود، بهعنوان یک دایره هایپر تعریف میکند.
* پارامترهای تصادفی و به راه‌حل‌های کاندید کمک میکند تا یک دایره هایپر با شعاع‌های تصادفی داشته باشیم.
* روش‌های شکار پیشنهاد شده به راه‌حل‌های کاندید اجازه میدهد تا موقعیت احتمالی طعمه را شناسایی کنند.
* اکتشاف و بهره‌برداری به‌وسیله مقادیر تطبیقی و تضمین میشود.
* مقادیر تطبیقی پارامترهای و به GWO اجازه میدهد تا به‌آرامی بین اکتشاف و بهره‌برداری جابه‌جا شود.
* با کاهش ، نصف تکرارها به اکتشاف اختصاص میابد و نصف دیگر به بهره‌برداری اختصاص میابد .
* GWO تنها دو پارامتر اصلی دارد که باید تنظیم شوند ().



شکل 5 : شبه کد الگوریتم GWO

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

در این استراتژی به این صورت عمل میکنیم که از آن سیاره ای که در ابتدای بازی در آن قرار داریم نیروها را به سمت سیاره دشمن هدایت می نماییم و سعی در تصرف این سیاره اولیه میکنیم . به دلیل آنکه دشمن سیاره اولیه خود را برای تصرف دیگر سیاره ها خالی کرده است تصرف آن راحت تر به نظر میرسد.

سپس به کمک سیاره های جدید و نیرو های آن شروع به محاصره مابقی سیاره هایی میکنیم که دشمن در آن قرار دارد برای این منظور از سیاره های خود به سمت سیاره دشمن که نزدیک تر است و اندازه بزرگ تری دارد ( به این علت که تولید مثل در سیاره هایی که اندازه بزرگ تری دارد بیشتر است .) نیرو ارسال میکنیم. پس از تصرف یکی از سیارات به این شکل ادامه میدهیم تا دشمن در یک محدوده محاصره شود و چنانچه دشمن سعی در تصرف سیاره ای که خارج از محدوده ما است نمود نیروها را به آن سیاره ارسال کرده و آن سیاره را از او پس میگیریم و به همین صورت حلقه محاصره را بر او تنگ میکنیم و از تمام سیارات نیرو ها را به سیارات داخل محاصره خود ارسال میکنیم.

این استراتژی منطبق بر بر استراتژی گرگ خاکستری است. گرگ‌های خاکستری نیز در شکار طعمه خود به این صورت عمل میکنند که گرگ‌های آلفا حمله را رهبری میکنند و سایر گرگ‌ها از او تبعیت میکنند و حلقه محاصره را تنگ تر کرده و اجازه تحرک طمعه را از او میگیرند تا طمعه در مسیری که آن‌ها میخواهند حرکت کند و پس از خسته کردن طمعه (به دلیل عدم توانایی مانور طمعه) حمله نهایی را آغاز میکنند.