پروژه کارشناسی ارشد

پیاده سازی و ارزیابی الگوریتم مسیریابی AntNet در شبکه های ثابت و Ad hoc

نیلوفر مالکی

استاد راهنما :

دکتر وحید اسدپور

پاییز ۱۳۸۹

به نام یزدان پاک

چکیده

شبکه‌ی بی‌سیم شبکه‌ای است که در آن کاربران صرفنظر از موقعیت جغرافیایی می‌توانند به اطلاعات و سرویس‌ها دسترسی داشته باشند. شبکه‌های ادهاک نمونه نوینی از شبکه‌های بی‌سیم بدون ساختار هستند که به دلیل راندمان بالا، با وجود تحرک نودهای شبکه و عدم وجود هر گونه تقویت‌کننده‌ی ثابت، بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند. در این شبکه‌ها، نودها می‌توانند در هر لحظه به شبکه اضافه شده و یا آنرا ترک کنند از اینرو این شبکه‌ها پویایی زیادی دارند که مسئله‌ی مسیریابی را برای آنها مشکل می‌کند. برای طراحی الگوریتم‌های مسیریابی مناسب در این شبکه-ها، شاخه‌ای از هوش مصنوعی به نام هوش جمعی بسیار مورد توجه قرار گرفته و به خصوص رفتار جمعی مورچه‌ها در غذایابی، الهام‌بخش بسیاری از این الگوریتم‌ها شده است. از انواع این الگوریتم‌ها، الگوریتم *AntNet* است که از دو عامل پیشرو و پسرو هم مرتبه در مسیریابی استفاده می‌کند که رفتار مورچه‌ها را شبیه سازی می‌کنند. در این پایان-نامه، *AntNet* با استفاده از نرم‌افزار *MATLAB* پیاده‌سازی شده و رفتار این الگوریتم در شبکه های ثابت بی‌سیم و ادهاک مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین با استفاده از شبیه‌سازی های فوق مقادیر بهینه تعداد نودها، تعداد مورچه‌ها و سایر پارامترهای الگوریتم جهت دستیابی به حداقل مسیر طی شده و کمترین زمان تاخیر صف بدست آمده‌اند.

از زحمات بی‌دریغ و راهنمایی‌های ارزشمند استاد گرامی جناب آقای دکتر اسدپور که در راستای انجام این پروژه مرا یاری نموده‌اند تشکر می‌نمایم.

تقدیم به پدر و مادر مهربانم که همواره حامی من بوده‌اند.

فهرست مطالب

فصل ۱ – مقدمه ۱۳

۱-۱- مقدمه ۱۴

۱-۲- مورچه ها در طبیعت ۱۶

۱-۳- الگوریتم های مسیریابی *ACO* ۱۹

۱-۴- تاریخچه و مروری بر مقالات ۲۱

۱-۵- کارهای انجام شده در پایان نامه ۲۳

۱-۶- جمع بندی ۲۳

فصل ۲ – معرفی الگوریتم *AntNet* ۲۴

۲-۱- مقدمه ۲۵

۲-۲- ساختارهای داده موجود در نودها ۲۵

۲-۳- توضیح الگوریتم ۲۷

۲-۳-۱- تولید مورچه به صورت پرواکتیو ۲۷

۲-۳-۲- ذخیره اطلاعات در مسیر پیشرو ۲۸

۲-۳-۳- تصمیم‌گیری مورچه های پیشرو برای مسیریابی ۲۹

۲-۳-۴- جلوگیری از تشکیل حلقه ۳۱

۲-۳-۵- تبدیل مورچه‌های پیشرو به مورچه‌های پسرو ۳۲

۲-۳-۶- بروزرسانی جدول‌ها در هر گره ۳۳

۲-۳-۷- مسیریابی بسته‌های داده ۳۵

۲-۴- جمع‌بندی ۳۶

فصل ۳ – پیاده‌سازی الگوریتم ۳۸

۳-۱- مقدمه ۳۹

۳-۲- توضیح الگوریتم با شبه‌کد ۳۹
۳-۳- توضیح الگوریتم با استفاده از فلوچارت..... ۴۳
۳-۴- برنامه پیاده‌سازی شده ۴۶
۳-۵-جمع بندی ۴۸
فصل ۴ –شبیه سازی و تحلیل نتایج..... ۴۹
۴-۱-مقدمه ۵۰
۴-۲- تغییر در تعداد تکرار..... ۵۰
۴-۳- تغییر در تعداد نودها ۵۱
۴-۴- تغییر در تعداد مورچه‌ها ۵۳
۴-۵- تغییر در مقدار آستانه ۵۵
۴-۶- تغییر در مقدار α..... ۵۶
۴-۷- تغییر در سرعت حرکت نودها..... ۵۷
۴-۸- تغییر در تعداد تکرار برای نودهای متحرک ۵۸
۴-۹- تغییر در تعداد نودها برای نودهای متحرک..... ۶۱
۴-۱۰- تغییر در تعداد مورچه ها برای نودهای متحرک ۶۱
۴-۱۱- تغییر در در مقدار α برای نودهای متحرک..... ۶۲
۴-۱۲- تغییر در در مقدار آستانه برای نودهای متحرک..... ۶۳
۴-۱۳- یک نمونه اجرا شده از برنامه ۶۴
۴-۱۴- جمع بندی ۶۵
فصل ۵ – جمع بندی و پیشنهادات..... ۶۶
۵-۱ جمع بندی ۶۷
۵-۲ پیشنهادات ۶۸

مراجع ۷۰

فهرست شکل‌ها

شکل (۱-۱) مکانیزم کوتاهترین مسیر مورد استفاده مورچه‌ها ۱۸

شکل(۲-۱) ساختارهای داده موجود در نود kام از شبکه ۲۵

شکل (۲-۲) ساختارهای داده برای نود ۲ در شبکه ای با ۷ نود ۲۶

شکل (۲-۳) به خاطر سپردن مسیر توسط مورچه‌ی پیشرو ۲۸

شکل (۲-۴) روش تصمیم گیری تصادفی مورچه‌های پیشرو ۳۰

شکل (۲-۵) پاک شدن نودهای موجود در حلقه از حافظه مورچه ۳۱

شکل (۲-۶) به ارث بردن حافظه مورچه‌ی پیشرو توسط مورچه‌ی پسرو ۳۲

شکل (۲-۷) حرکت مورچه های پیشرو و پسرو ۳۳

شکل (۲-۸) آپدیت جداول در مسیر پسرو ۳۵

شکل (۲-۹) تبدیل نمایی محتویات جدول فرومون ۳۶

شکل (۳-۱) توضیح الگوریتم *AntNet* با استفاده از شبه‌کد ۴۰

شکل (۳-۲) فاز پیشرو در الگوریتم *AntNet* ۴۱

شکل (۳-۳) فاز پسرو در الگوریتم *AntNet* ۴۲

شکل (۳-۴) فلوچارت مسیر پیشرو در الگوریتم *AntNet* ۴۴

شکل (۳-۵) فلوچارت مسیر پسرو در الگوریتم *AntNet* ۴۵

شکل (۴-۱) نمودار متوسط و واریانس دفعات به مقصد رسیدن مورچه‌ها با تغییر در تعداد تکرار ۵۱

شکل (۴-۲) نمودار متوسط دفعات به مقصد رسیدن مورچه‌ها حاصل از تغییر در تعداد نودها ۵۲

شکل (۴-۳) نمودار متوسط طول صف با تغییر در تعداد نودها ۵۳

شکل (۴-۴) نمودار متوسط و واریانس دفعات به مقصد رسیدن مورچه‌ها با تغییر در تعداد مورچه‌ها ۵۴

شکل (۴-۵) نمودار متوسط دفعات به مقصد رسیدن مورچه‌ها حاصل از تغییر در مقدار آستانه ۵۵

شکل (۴-۶) نمودار متوسط دفعات به مقصد رسیدن مورچه‌ها حاصل از تغییرات α ۵۶

شکل (۴-۷) نمودار متوسط تغییر مکان نودها حاصل از تغییر سرعت حرکت نودها ۵۸

شکل (۴-۸) نمودار واریانس و متوسط دفعات به مقصد رسیدن مورچه‌ها در سرعت ۱ برابر ۵۸

شکل (۴-۹) نمودار واریانس و متوسط دفعات به مقصد رسیدن مورچه‌ها در سرعت ۲ برابر ۵۹

شکل (۴-۱۰) نمودار واریانس و متوسط دفعات به مقصد رسیدن مورچه‌ها در سرعت ۵ برابر ۶۰
شکل (۴-۱۱) نمودار واریانس و متوسط دفعات به مقصد رسیدن مورچه‌ها در سرعت ۱۰ برابر ۶۰
شکل (۴-۱۲) نمودار متوسط دفعات به مقصد رسیدن مورچه‌ها حاصل از تغییردر تعداد نودها ۶۱
شکل (۴-۱۳) : نمودار واریانس و متوسط دفعات به مقصد رسیدن مورچه‌ها با تغییر تعداد مورچه ها ۶۲
شکل (۴-۱۴) نمودار متوسط دفعات به مقصد رسیدن مورچه‌ها با تغییر در مقدار α ۶۲
شکل (۴-۱۵) نمودار متوسط دفعات به مقصد رسیدن مورچه‌ها با تغییر در مقدار آستانه ۶۳
شکل (۴-۱۶) یک نمونه شکل‌های بدست آمده حاصل از اجرای برنامه در محیط *MATLAB* ۶۴

فهرست جدولها

جدول (۴-۱) جدول حاصل از تغییر در تعداد تکرار ۵۰
جدول (۴-۲) جدول حاصل از تغییر در تعداد نودها ۵۲
جدول (۴-۳) نتایج حاصل از تغییر در تعداد مورچه‌ها ۵۴
جدول (۴-۴) جدول نتایج حاصل از تغییرات در میزان سرعت نودها ۵۷

فهرست اختصارات

ABC ..... Ant-Based Control

ACO ..... Ant Colony Optimization

ADVR ..... Agent-based Distance Vector Routing

AHWMN ..... Ad Hoc Wireless Multi-hop Networks

AODV ..... Ad hoc On-demand Distance Vector routing

ARA ..... Ant-colony-based Routing Algorithm

DV ..... Distance Vector

MANET ..... Mobile Ad hoc NETwork

SI ..... Swarm Intelligence

TSP ..... Traveling Sales Person

UWB ..... Ultra Wide Band

WiFi ..... Wireless Fidelity

WiMax ..... Worldwide Interoperability for Microwave Access

WMN ..... Wireless Mesh Networks

فصل اول

مقدمه

فصل ۱– مقدمه

۱-۱- مقدمه

از جمله پیشرفت‌های مهمی که در سال‌های اخیر در زمینه‌ی شبکه‌های مخابرات از راه دور[۱] انجام شده، استفاده‌ی روزافزون از مخابرات بی‌سیم بوده است. تاکنون استانداردها و تکنولوژی‌های مختلفی در این زمینه معرفی شده‌اند که از جمله‌ی آنها، *WiFi*[۲]، *Bluetooth*، *Zigbee*، *UWB*[۳] و *WiMax*[۴] می‌باشند. استفاده از این تکنولوژی‌ها امکان اتصال انواع شبکه‌ها را به یکدیگر فراهم کرده است[۲].

در زمینه‌ی مخابرات بی‌سیم، شبکه‌های فاقد زیرساختار[۵] و دارای زیرساختار[۶] تعریف می‌شوند[۶]. در شبکه‌های دارای زیر ساختار، یک بدنه‌ی اصلی[۷] وجود دارد که که تمامی ارتباطات از طریق این بدنه هدایت می‌شود. در شبکه-های فاقد زیرساختار، چنین بدنه‌ای وجود ندارد و وسایل بی‌سیم مستقیما با یکدیگر ارتباط برقرار می‌کنند. یکی از ویژگی‌های مهم شبکه‌های فاقد زیرساختار این است که در آنها، فرستادن اطلاعات به صورت چندگامه صورت می-گیرد. شبکه‌های فاقد زیر ساختار، به نام شبکه‌های ادهاک[۸] نیز شناخته می‌شوند[۲]. شبکه‌های ادهاک عمر ۷۰ ساله دارند و به دلایل نظامی به وجود آمدند. یک مثال کلاسیک از شبکه‌های ادهاک، شبکه جنگنده‌ها و پایگاه‌های موبایل آنها می‌باشد. بعدا مشخص شد که این شبکه‌ها در قسمت‌های تجاری و صنعتی نیز می‌توانند مفید واقع شوند. انواع مختلفی از شبکه‌های ادهاک چندگامه یا *AHWMN*[۹] وجود دارد. نمونه‌های آن، عبارتند از : شبکه‌های ادهاک متحرک یا *MANET*[۱۰]ها، شبکه‌های مش بی‌سیم یا *WMN*[۱۱]ها و شبکه‌های حسگر[۱۲].

تحقیق روی شبکه‌های ادهاک روز به روز در حال گسترش است و به خصوص پروتکل‌های مسیریابی در این زمینه بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند. مسئله‌ی مسیریابی در این زمینه بسیار بغرنج است زیرا توپولوژی همواره در حال

---

[1] TeleCommunication Network
[2] Wireless-Fidelity
[3] Ultra Wide Band
[4] Worldwide Interoperability for Microwave Access
[5] Infrastructureless Networks
[6] Infrastructured Networks
[7] backbone
[8] Ad hoc
[9] Ad Hoc Wireless Multi-hop Networks
[10] Mobile Adhoc Networks
[11] Wireless Mesh Networks
[12] Sensor Networks

تغییر است. مسیرهایی که تاکنون کارآمد بوده‌اند می‌توانند به سرعت بی‌تاثیر شوند یا حتی از دسترس خارج شوند به علاوه کنترل مرکزی‌ای وجود ندارد و پهنای باند بی‌سیم که مشترک است، بسیار کم می‌باشد. به دلیل کم بودن پهنای باند، جریان اطلاعات کنترلی بسیار محدود است. نودها تنها هنگامی می توانند اطلاعات را ارسال یا دریافت کنند که نود دیگری در همسایگی رادیویی آنها، مشغول به این کار نباشد[۴]. الگوریتم‌هایی که برای مسیریابی در این شبکه‌ها استفاده می‌شوند باید چندین ویژگی داشته باشند. یکی اینکه قابل‌تطبیق[۱] باشند یعنی بتوانند خود را با پویایی شبکه وفق دهند. از آنجا که مخابره‌ی بی‌سیم غیرقابل‌اطمینان[۲] است و دیتا و بسته های کنترلی می‌توانند به راحتی در شبکه گم شوند، الگوریتم مسیریابی باید در مقابل چنین فقدان‌هایی قدرتمند[۳] باشد. ویژگی سوم از محدودیت‌های موجود در نودهای شبکه حاصل می‌شود مثل محدودیت پهنای باند، توان پردازش نود، حافظه، توان باتری و غیره. از این‌رو الگوریتم‌ها باید کارآمد[۴] باشند. مسئله‌ی آخر سایز شبکه است. با افزایش تعداد وسایل بی‌سیم سیم قابل‌حمل انتظار می‌رود که سایز شبکه‌ها تا میزان زیادی گسترش یابد به همین خاطر الگوریتم‌ها باید قابل-توسعه[۵] باشند علاوه بر این‌ها الگوریتم‌ها به علت موجود نبودن کنترل مرکزی و زیرساختار، باید به صورت محلی کار کنند. سیستم‌های خود- سازمانده طبیعی مانند اجتماع حشرات دقیقا ویژگی‌های مطلوب ما را دارا هستند. رمز موفقیت آنها، قدرت و کارایی رفتارهای اجتماعیشان در مواجهه با انواع شرایط محیطی است. با استفاده از تعدادی عامل بیولوژیک ساده (مانند مورچه‌ها)، رفتارهای سازمان یافته‌ی متفاوتی از فعل و انفعالات، بین عامل‌ها و محیط، تولید می‌شوند. حشرات اخیرا منبع الهام بخش الگوریتم‌های مسیریابی برای شبکه‌های دینامیک شده‌اند (همان طور که الهام‌بخش یافتن راه حل‌هایی برای مسائل گوناگون دیگر نیز شده‌اند). به منظور غلبه بر مشکلات موجود در شبکه‌های ادهاک، روش‌هایی از هوش مصنوعی را اعمال می‌کنیم و مخصوصا به استفاده از تکنیک‌هایی از هوش جمعی یا SI[۶] علاقه‌مندیم که ACO[۷] که چارچوب مورد استفاده در بحث این پروژه است نیز، از زیر مجموعه‌های SI می باشد[۵].

[1] Adaptive
[2] Unreliable
[3] Robust
[4] Efficient
[5] Scalable
[6] Swarm Intelligence
[7] Ant Colony Optimization

۱-۲- مورچه‌ها در طبیعت

الگوریتم کلونی مورچه برای اولین بار توسط مارکو دوریگو[1] به عنوان یک راه حل چندعامله[2] برای مسائل بهینه‌سازی مثل فروشنده دوره‌گرد[3] ارائه شد. در مسئله‌ی فروشنده‌ی دوره گرد، یک فروشنده، سفر خود را از یک شهر آغاز کرده و پس از یک سفر کامل دوباره به شهر خودش باز می‌گردد و از هر شهر فقط یک بار عبور می‌کند و در ضمن باید از همه‌ی شهرها نیز عبور کند. هدف، یافتن کوتاه‌ترین مسیر برای این سفر می‌باشد. در این الگوریتم، عامل هوشمند، از طریق حسگرها قادر به درک پیرامون خود بوده و از طریق تاثیر گذارنده‌ها می‌تواند روی محیط اثر بگذارد. منبع اصلی‌ای که الگوریتم کلونی مورچه از آن الهام گرفته شده، رفتار گونه‌ی خاصی از مورچه‌ها در هنگام جمع‌آوری غذا می‌باشد. مشاهده شده مورچه‌هایی از خانواده‌ی مورچه‌های آرژانتینی با نام علمی «لینه پثیما هیومایل»[4] ، قادرند کوتاه‌ترین مسیر بین لانه تا غذا را پیدا کنند. این مسئله بسیار قابل توجه است زیرا مورچه موجودی ساده و بدون قدرت محاسباتی است و پیدا کردن کوتاه‌ترین مسیر بین مسیرهای موجود قطعا از توانایی-های او خارج است. تنها چیزی که می‌تواند این مورد را توضیح دهد، همکاری مورچه‌ها در کلونی‌شان است. مورچه‌ها حشراتی اجتماعی هستند که در کلونی‌ها زندگی می‌کنند و رفتار آن‌ها بیشتر در جهت بقاء کلونی است تا درجهت بقاء یک جزء از آن. این نوع رفتار مورچه‌ها دارای نوعی هوشمندی توده‌ای (کلونی) است.

باید تفاوت هوشمندی توده‌ای و هوشمندی اجتماعی را روشن کنیم. در هوشمندی اجتماعی عناصر میزانی از هوشمندی را دارا هستند. به عنوان مثال در فرآیند ساخت ساختمان توسط انسان، زمانی که به یک کارگر گفته می‌شود تا یک توده آجر را جابجا کند، آنقدر هوشمند هست تا بداند برای اینکار باید از چه وسیله‌ای استفاده کند. نکته‌ی دیگر تفاوت سطح هوشمندی افراد این جامعه است. مثلا هوشمندی لازم برای فرد معمار با یک کارگر ساده متفاوت است. در هوشمندی توده‌ای، عناصر رفتاری تصادفی دارند و بین آن‌ها هیچ نوع ارتباط مستقیمی وجود ندارد و تنها بصورت غیر مستقیم و با استفاده از نشانه‌ها با یکدیگر در تماس هستند.

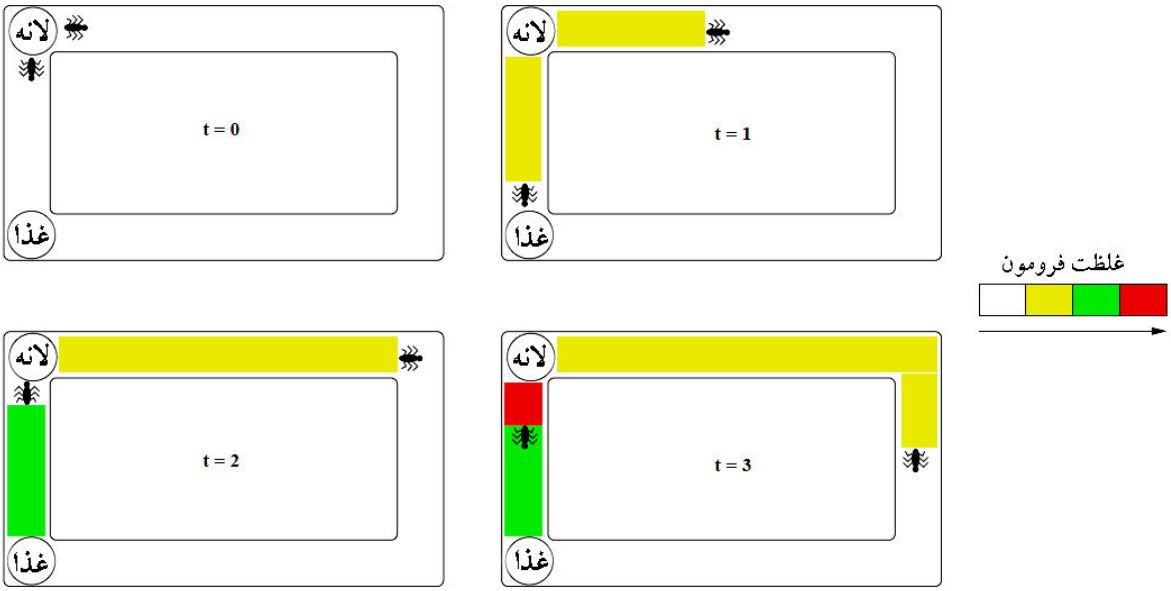
تفاوت‌های هوشمندی اجتماعی انسان با هوشمندی توده‌ای مورچه‌ها را در همین رفتار پیدا کردن کوتاه‌ترین مسیر می‌توان مشاهده کرد. کارگران ساختمانی کاملا بر اساس یک طرح از پیش تعیین شده عمل می‌کنند، در حالی که رفتار اولیه‌ی مورچه‌ها کاملا تصادفی است. علاوه بر این ارتباط مابین کارگران ساختمانی مستقیم و از طریق کلمات

[1] Marco Dorigo
[2] Multi Agent
[3] TSP :Traveling Sales Person
[4] Linepethima Humile

و غیره است ولی بین مورچه‌ها هیچ نوع ارتباط مستقیمی وجود ندارد و آنها تنها بصورت غیرمستقیم و از طریق نشانه‌ها با یکدیگر در تماس‌اند. دانشمند فرانسوی ،«گاس[1]»، تحت تاثیر رفتار موریانه‌ها در ساخت لانه‌شان ، نام این رفتار را استیگمرجی گذاشت، که به معنی رفتاری است که هماهنگی مابین موجودات را تنها از طریق تغییرات ایجاد شده در محیط ممکن می‌سازد. (موریانه‌ها برای ساخت لانه سه فعالیت مشخص از خود بروز می‌دهند. در ابتدا صدها موریانه به صورت تصادفی به این طرف و آن طرف حرکت می‌کنند. هر موریانه به محض رسیدن به فضایی که کمی بالاتر از سطح زمین قرار دارد شروع به ترشح بزاق می‌کند و خاک را به بزاق خود آغشته می‌کند. به این ترتیب گلوله‌های کوچک خاکی با بزاق خود درست می‌کند. علیرغم خصلت کاملا تصادفی این رفتار، نتیجه تا حدی منظم است. در پایان این مرحله، در منطقه‌ای محدود تپه‌های بسیار کوچک مینیاتوری از این گلوله‌های خاکی آغشته به بزاق شکل می‌گیرد. پس از این، همه‌ی تپه‌های مینیاتوری باعث می‌شوند تا موریانه‌ها رفتار دیگری از خود بروز دهند. در واقع این تپه‌ها به صورت نوعی نشانه برای موریانه‌ها عمل می‌کنند. هر موریانه به محض رسیدن به این تپه ها با انرژی بسیار بالایی شروع به تولید گلوله‌های خاکی با بزاق خود می‌کند. این کار باعث تبدیل شدن تپه‌های مینیاتوری به نوعی ستون می‌شود. این رفتار ادامه می‌یابد تا زمانی که ارتفاع هر ستون به حد معینی برسد. در این صورت موریانه‌ها رفتار سومی از خود نشان می‌دهند. اگر در نزدیکی ستون فعلی ستون دیگری نباشد، بلافاصله آن ستون را رها می‌کنند در غیر این صورت یعنی در حالتی که در نزدیکی این ستون تعداد قابل ملاحظه‌ای ستون دیگر باشد، موریانه‌ها شروع به وصل کردن ستون‌ها و ساختن لانه می‌کنند).

مورچه‌ها ماده شیمیایی فراری به نام فرومون[2] از خود ترشح می‌کنند تا رفتار سایر مورچه‌ها را تحت تاثیر قرار دهند. مورچه‌ها با تولید فرومون، مسیری را که طی کرده‌اند علامت‌گذاری کرده و به مورچه‌های تازه نفس نشان می‌دهند. مورچه‌هایی که بین لانه و غذا حرکت می‌کنند، دنباله‌ای از فرومون بر جا می‌گذارند و خود ترجیحا در مسیری حرکت می‌کنند که بیشترین مقدار یا غلظت فرومون را داشته باشد. برای توضیح بیشتر این مطلب از شکل ۱-۱ استفاده می‌کنیم.

[1] Goss
[2] Pheromone



شکل۱-۱ : مکانیزم کوتاه‌ترین مسیر که توسط مورچه‌ها استفاده می‌شود. رنگ‌های مختلف غلظت فرومون را نشان می‌دهند.

در مثال ما دو مسیر ممکن بین لانه‌ی مورچه و منبع غذا وجود دارد که یکی از آنها به طرز قابل توجهی از دیگری کوتاه‌تر است. اولین مورچه‌هایی که لانه را ترک می‌کنند، هیچ اطلاعاتی در دست ندارند بنابراین مسیر حرکتشان را به صورت تصادفی انتخاب می‌کنند. همین باعث می‌شود که ۵۰٪ از مورچه‌ها مسیر کوتاه و ۵۰٪ دیگر مسیر طولانی را انتخاب کنند. تمام مورچه‌های در حال حرکت دنباله‌ای از فرومون بر جای می‌گذارند. مورچه‌هایی که از مسیر کوتاه حرکت می‌کنند، زودتر به غذا می‌رسند به علاوه می‌توانند سریع‌تر برگردند و همین باعث می شود که مقدار بیشتری از فرومون در مسیر کوتاه متمرکز شود. مورچه‌های بعدی که لانه را ترک می‌کنند، بوسیله‌ی غلظت بیشتر فرومون جذب می‌شوند و ترجیحا در مسیر کوتاه حرکت می‌کنند. همین طور که این کار ادامه پیدا می‌کند، اکثر مورچه‌ها در مسیر کوتاه متمرکز می‌شوند. لازم به ذکر است که رفتار مورچه‌ها به هیچ عنوان مشخص نیست بنابراین همواره تعداد کمی از مورچه‌ها باقی می‌مانند که مسیر طولانی‌تر را انتخاب می‌کنند.

استفاده از فرومون، نمونه‌ای از مخابرات غیر مستقیم است که همان‌طور که قبلا گفته شد استیگمرجی نامیده می‌شود. در استیگمرجی، عوامل[1]، تغییرات محلی در محیط ایجاد می‌کنند و در عوض به تغییرات محلی ایجاد شده پی می‌برند. ویژگی‌های محیط که توسط عامل‌ها ایجاد شده‌اند، متغیرهای «استیگمرجیک[2] » نامیده می‌شوند. در مکانیزم کوتاه‌ترین مسیر که در بالا ذکر شد، این متغیر، فرومون است. مورچه‌ها غلظت فرومون را به صورت محلی با

[1] Agents
[2] stigmergic

ترشح آن تغییر می‌دهند و به تغییراتی که در محیط اطرافشان در غلظت فرومون ایجاد شده، پی می‌برند تا رفتار خود را با آن تغییر دهند. استیگمرجی، یک المان کلیدی در ایجاد خود- سازماندهی در سیستمی شامل عوامل مستقل است.

پروسه‌ی پیدا کردن کوتاه‌ترین مسیر توسط مورچه‌ها، ویژگی‌های بسیار جالبی دارد، اول از همه قابلیت تعمیم زیاد و خود- سازمانده[1] بودن آن است. در ضمن هیچ مکانیزم کنترل مرکزی‌ای وجود ندارد و سازماندهی از طریق ارتباط استیگمرجیک عوامل با هم حاصل می‌شود. ویژگی دوم قدرت زیاد آن است. سیستم شامل تعداد زیادی از عواملی است که به تنهایی بی‌اهمیت هستند بنابراین حتی تلفات یک عامل مهم، تاثیر زیادی روی کارآیی سیستم ندارد. سومین ویژگی این است که، پروسه یک فرآیند تطبیقی است. از آنجا که رفتار هیچ کدام از مورچه‌ها معین نیست و تعدادی از مورچه‌ها همچنان مسیر طولانی‌تر را انتخاب می‌کنند، سیستم می‌تواند خود را با تغییرات محیط منطبق کند و ویژگی آخر اینکه این پروسه قابل توسعه است و می‌تواند به اندازه‌ی دلخواه بزرگ شود.

پروسه‌ی پیدا کردن کوتاهترین مسیر براساس غذایابی مورچه‌ها که در بالا توضیح داده شد، منبع اصلی الهام بخش، برای محققان هوش مصنوعی بوده است. این یک چارچوب کلی برای توسعه‌ی الگوریتم‌های مسائل بهینه‌سازی است. ایده‌ی اصلی بهینه‌سازی کلونی مورچه‌ها یا ACO ، استفاده از کلونی مورچه‌های مصنوعی و یک ماتریس از فرومون مصنوعی است. الگوریتم‌های ACO به روش تکرار کار می‌کنند. در هر تکرار، تمامی مورچه‌های مصنوعی یک راه حل برای مسئله‌ی موجود به صورت موازی با استفاده از ماتریس فرومون مصنوعی پیدا می‌کنند. سپس ماتریس فرومون بر اساس راه حل‌هایی که پیدا شده، بروزرسانی می‌شود. به این طریق، ماتریس فرومون اطلاعاتی در مورد راه حل‌های مناسبی که تاکنون پیدا شده بدست می‌دهد و به نسل های بعدی اجازه می‌دهد تا از این اطلاعات برای ساختن راه حل‌های جدید استفاده کنند.

۱-۳- الگوریتم های مسیریابی ACO

ایده‌ی اساسی الگوریتم‌های ACO برای مسیریابی از لزوم فراگیری اطلاعات مسیرها توسط بسته‌های کنترلی (مورچه‌ها) می‌آید. مورچه‌ها بطور مستقل و همزمان توسط نودهای شبکه تولید می‌شوند. وظیفه‌ی آنها این است که مسیرهای منتهی به مقصد را تست کنند. مورچه‌ای که از مبدا به سمت مقصد حرکت می‌کند، اطلاعاتی در مورد کیفیت مسیر طی شده (زمان، تعداد پرش‌ها و...) کسب می‌کند و در راه بازگشت، از این اطلاعات برای بروزرسانی

[1] Self-organized

اطلاعات موجود در نودهای میانی استفاده می‌کند. مورچه‌ها همیشه مسیرهای کاملی را طی می‌کنند بنابراین اطلاعات مسیریابی می‌تواند به روش «مونت کارلو[1]» آپدیت شود. مونت کارلو، یک الگوریتم محاسباتی است که از نمونه‌گیری تصادفی برای محاسبه‌ی نتایج استفاده می‌کند.

جدول‌های مسیریابی، یک بردار برای هر مقصد دارند که شامل مقادیری برای هر همسایه می‌باشد. این مقادیر، میزان خوبی عبور از آن همسایه برای رسیدن به مقصد را نشان می‌دهند و متغیرهای فرومون نامیده می‌شوند. این مقادیر، مرتب توسط مقادیر کیفیت مسیرها که توسط مورچه‌ها به دست می‌آیند، بروزرسانی می‌شوند.

تولید مکرر و همزمان مورچه‌های مسیریاب، باعث ایجاد مجموعه‌ای از مسیرها با کیفیت‌های متفاوت برای هر نود می‌شود. مورچه‌ها از جدول‌های مسیریابی استفاده می‌کنند تا بفهمند از چه مسیری به سمت مقصدشان نمونه‌برداری کنند. در هر نود، آنها پرش بعدی را به طور تصادفی انتخاب می‌کنند و احتمال بالاتر را به لینک‌هایی می‌دهند که مقادیر فرومون بالاتری دارند. این فرآیند کاملا شبیه رفتار به جا گذاشتن و دنبال کردن فرومون مورچه‌های واقعی است. مورچه‌های مصنوعی، مانند همتایان واقعیشان، عامل‌های خودمختارند و از طریق آپدیت و تعقیب تصادفی جداول فرومون، در فرآیند مخابراتی استیگمرجیک شرکت می‌کنند. نتیجه، یک رفتار آموزش جمعی است که در آن مورچه‌ها به تنهایی اهمیت و پیچیدگی چندانی ندارند اما با همدیگر می‌توانند اطلاعات مسیریابی بروزی را فراهم کنند. از این اطلاعات فرومون، برای مسیریابی بسته‌های داده استفاده می‌شود: تمام بسته‌ها به طور تصادفی مسیریابی می شوند و با احتمال بالاتر لینک‌هایی را انتخاب می‌کنند که میزان فرومون بیشتری دارند. در این روش، داده برای یک مقصد، در مسیرهای چندگانه پخش می‌شود (اکثر بسته‌ها، بهترین مسیرها را انتخاب می‌کنند) و به این طریق باعث حفظ تعادل در شبکه می‌شود. برای بسته‌های داده، معمولا از مکانیزم‌هایی استفاده می‌شود که مانع حرکت آنها در مسیرهای کم‌کیفیت شود اما مورچه‌ها، مسیرهای بدتر را نیز نمونه‌برداری می‌کنند تا در صورت نیاز مثلا شکست در ارسال یا انباشتگی ناگهانی شبکه، این مسیرها، پشتیبان مسیرهای خوب کنونی باشند. به این طریق کشف مسیر و استفاده از آن توسط داده‌ها، دو فاز کاملا جداگانه می‌باشند.

[1] Monte Carlo