دانشگاه صنعتی امیرکبیر

(پلی‌تکنیک تهران)

دانشکده ریاضی و علوم کامپیوتر

پروژه

علوم کامپیوتر

بررسی الگوریتم *A و کاربرد آن

نگارش

مهدی عباسعلی پور

استاد راهنما

جناب آقای دکتر قطعی

مهرماه ۱۴۰۲


بسم الله الرحمن الرحيم

چکیده

در این گزارش قصد بررسی یکی از الگوریتم های جست و جو به نام الگوریتم سرچ A* را داریم . پس از بیان برخی از مقدمات و پیشینه ، به برخی از شیوه های بهبود این الگوریتم متناسب با فضای مسائل متفاوت می پردازیم . این مسائل غالبا مر بوط به وسایل نقلیه خودران و بحث های مسیریابی آنان می باشد . تمرکز بیشتر مقاله به بررسی گستردگی ها و تنوع تغییراتی که می توان بر روی الگوریم A* اعمال نمود .

واژه‌های کلیدی:

هوش مصنوعی ، حمل و نقل هوشمند، مسیریابی هوشمند، بررسی الگوریتم A*

فهرست مطالب

عنوان صفحه

فهرست تصاویر

شکل صفحه

فصل اول

مقدمه ای بر الگوریتم *A

۱-۱ اهمیت مسیریابی بهینه در سیستم های حمل و نقل خودران

توسعه سیستم‌های اتومات مانند هواپیماهای بدون سرنشین، وسایل نقلیه هدایت‌شونده خودکار و ربات‌های خودکار مزایای بسیاری را برای انسان داشته اند . توسعه وسایل نقلیه خودران منجر به افزایش ایمنی جاده ها و بهبود مصرف انرژی شده است. برای خودران سازی وسایل نقلیه باید نوعی سیستم داشت تا مسیرهای خود را مطابق با محیطی که قرار است در آن حرکت کنند برنامه ریزی کند. خواسته ی ما در این گونه مسائل این است که این مسیرها تا حد امکان کوتاه باشند و وسیله نقلیه به راحتی حرکت کند و از همه مهمتر اینکه بدون مانع باشند . با این حال، تحقیق در مورد برنامه ریزی حرکتی سیستم های خودران جدید نیست و به دهه ۱۹۵۰ برمی گردد، با الگوریتم هایی مانند جستجوی عرضی و جستجوی عمقی در مرحله اولیه تحقیقات برنامه ریزی حرکتی فرموله شده است. از آن زمان تاکنون چندین پیشرفت بزرگ در توسعه الگوریتم‌های برنامه‌ریزی حرکت صورت گرفته است . [۲] . یکی از الگوریتم های مهم برای هوشمندسازی و توانمند سازی این وسایل برای مسیریابی الگوریتم جست و جوی A* می باشد .

۱-۲ تاریخچه

پیتر هارت (Peter Hart) ، نیلز نیلسون (Nils Nilsson) و برترام رافائل (Bertram Raphael) از موسسه پژوهشی استنفورد (Stanford Research Institute) که اکنون با عنوان اس‌آرآی اینترنشنال [۱] فعالیت می‌کند، برای اولین‌بار، مقاله‌ای پیرامون الگوریتم A* را در سال ۱۹۶۳ منتشر کردند. این الگوریتم را می‌توان به عنوان افزونه‌ای از «الگوریتم دیکسترا» [۲] در نظر گرفت که توسط «ادسخر دیکسترا» [۳] در سال ۱۹۵۹ ارائه شده است. الگوریتم A* با بهره‌گیری از «الگوریتم جستجوی کاشف» (جستجوی هیوریستیک Heuristics Search) برای هدایت فرایند جستجو، به کارایی بهتری دست پیدا می‌کند [۱] .

۱-۳ شیوه ی کار

کاری که الگوریتم A* انجام می‌دهد آن است که در هر گام، گره را متناسب با مقدار f که پارامتری مساوی با مجموع دو پارامتر دیگر g و h است انتخاب می‌کند. در هر گام، گره/خانه‌ای که دارای کمترین مقدار fاست را انتخاب و آن گره را پردازش می‌کند. g و h به روش ساده‌ای که در زیر بیان شده است محاسبه می‌شوند.

---

[۱] SRI International

[۲] Dijkstra's Algorithm

[۳] Edsger Dijkstra

- g هزینه حرکت از نقطه آغاز به یک مربع خاص در شبکه، با دنبال کردن مسیری که برای رسیدن به آن تولید شده است.

- h هزینه تخمین زده شده برای حرکت از یک خانه داده شده در شبکه به مقصد نهایی است. از h معمولا با عنوان هیوریستیک یاد می‌شود. هیوریستیک چیزی به جز نوعی حدس هوشمندانه نیست. کاربر واقعا فاصله واقعی را تا هنگام یافتن مسیر نمی‌داند، زیرا هر مانعی (دیوار، آب و سایر موانع) ممکن است در مسیر باشد. راه‌های زیادی برای محاسبه h وجود دارد که در ادامه به آن‌ها اشاره شده است.

Algorithm 1 Classical A* Algorithm

$OpenList \leftarrow [StartingNode]$
$ClosedList \leftarrow []$
$g(start) = 0$
$h(start) = heuristic(start, end)$
$f(start) = g(start) + h(start)$
while $OpenList \neq \phi$ **do**
  $n \leftarrow$ node with lowest f in $OpenList$
  if $n = goal$ **then**
    return $ClosedList$
  else
    $OpenList \leftarrow OpenList \backslash n$
    $ClosedList \leftarrow ClosedList \cup n$
    for all n' (each n' is a neighbor of n) **do**
      $costnn' = g(n) + distance(n, n')$
      if $n' \in ClosedList$ **then**
        continue
      else if $n' \in OpenList$ and $costnn' < g(n')$ **then**
        $OpenList \leftarrow OpenList \backslash n'$
      else if $n' \in ClosedList$ and $costnn' < g(n')$ **then**
        $ClosedList \leftarrow ClosedList \backslash n'$
      else
        $OpenList \leftarrow OpenList \cup n'$
        $f(n') = g(n') + h(n')$
      end if
    end for
  end if
end while

شکل ۱-۱: شبه کد مربوط به الگوریتم A*
[۲]

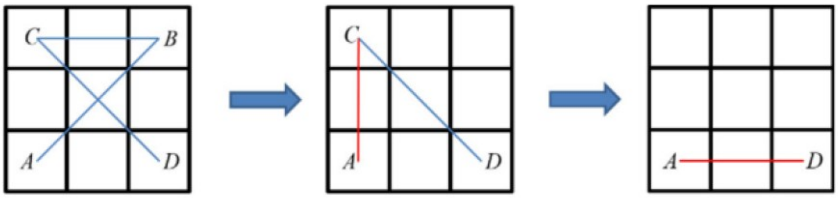
۱-۴ ورژن ها

این الگوریتم به شیوه های متفاوت متناسب با شرایط فضای مسئله گسترش یافته است . در ادامه به برخی از این ورژن ها می پردازیم :

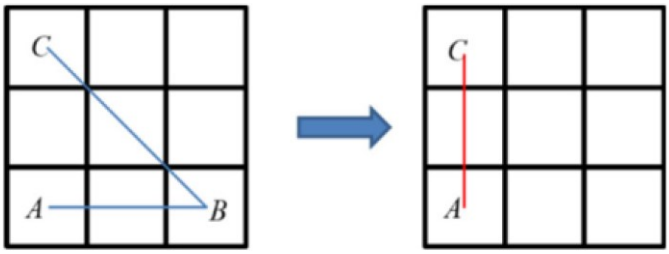
۱-۴-۱ هندسی

الگوریتم هندسی A* نخستین بار در مسائل مسیریابی در محیط‌های بندری بیان شد؛در این محیط ها عامل علاوه بروظیفه ی حمل و نقل کالا، بایستی خود را در زمان مناسب به ایستگاه شارژ می رساندند . این الگوریتم اساساً برای رسیدگی به مسائلی مانند زوایای چرخش بزرگ، گره‌های متعددی که معمولاً در مسیرهای متقاطع وجود دارند و مسیرهای دندانه‌اره‌ای که توسط الگوریتم کلاسیک A* تولید می‌شوند، توسعه داده شد.

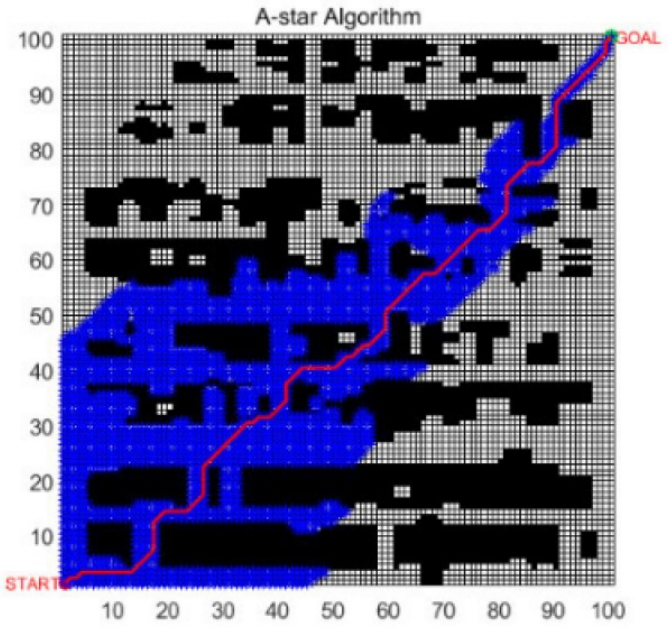
A* هندسی ابتدا یک نقشه شبکه ای از محیط ایجاد می کند و موانع غیر ضروری را از بین می برد و اشکال نامنظم را منظم می کند. پس از این، الگوریتم کلاسیک A* برای به دست آوردن یک مسیر بدون مانع از موقعیت شروع تا موقعیت نهایی اعمال می شود. چنین مسیرهایی به عنوان لیستی از نقاط به دست می آیند. سپس الگوریتم هندسی A* با استفاده از توابع فیلتر P(x, y) (۱-۲) و W(x, y) (۱-۳) گره های نامعتبر را از این لیست فیلتر می کند. نتایج حاصل از کار این فیلتر نشان می دهد که تعداد گره های بررسی شده ی حاصل از این ورژن نسبت به حالت کلاسیک کاهش قابل ملاحظه ای یافته است و در یک نمونه مسئله از ۲۲۴۶ به ۱۰۹ مورد رسیده است . در ۱-۴ و ۱-۵ نقاط آبی گره های بررسی شده توسط الگوریتم و نقاط قرمز مسینهایی الگوریتم می باشند .



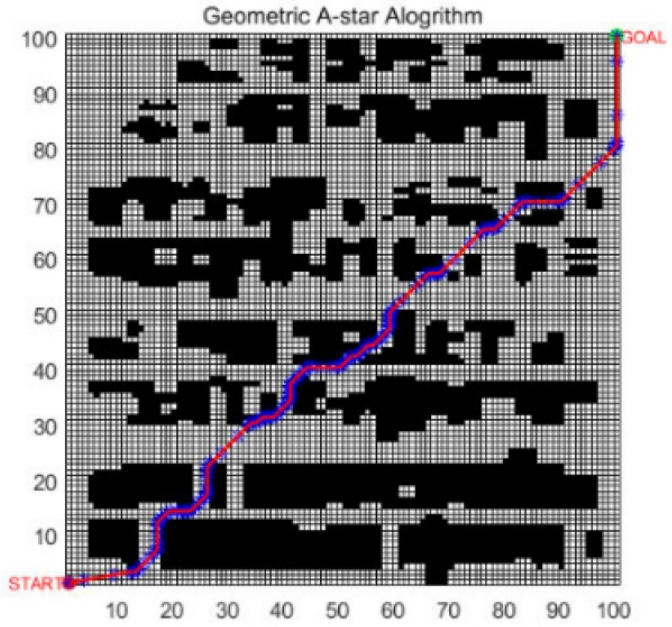
شکل ۱-۲: بهینه سازی مسیر با استفاده از فیلتر P(x,y) [۲]



شکل ۱-۳: بهینه سازی مسیر با استفاده از فیلتر W(x,y) [۲]



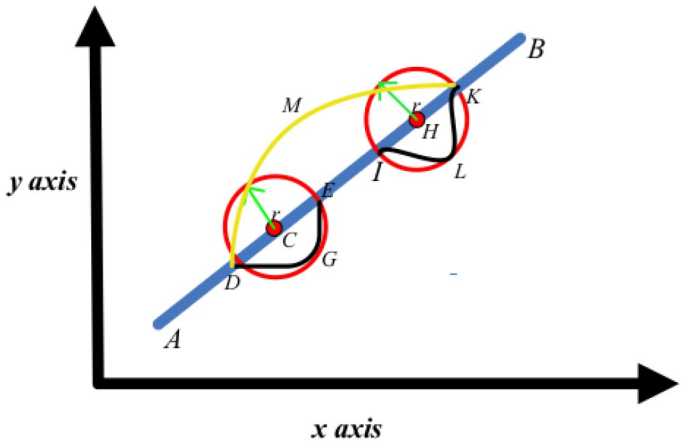
شکل ۱-۴: مسیر یابی توسط الگوریتم کلاسیک A*
[۲]



شکل ۱-۵: مسیر یابی توسط الگوریتم روش هندسی A*
[۲]

۱-۴-۲ بهبودیافته

این الگوریتم ابتدا هدف و موقعیت شروع را توسط یک خط مستقیم به هم متصل می کند. سپس فهرستی از مراکز، که نقاطی روی خط هستند که برخورد کردن به آن ها ممنوع می باشد را ایجاد می کند. برای هر مرکز، دایره‌ای به شعاع معین r در اطراف این نقاط می‌سازد، و سپس مختصات محل ها ی برخورد این دایره ها را با خط پیدا می کند به عنوان نمونه شکل ۱-۶ ر ادر نظر بگیرید . سپس با انتخاب هر یک از این جفت ها به عنوان نقطه شروع و هدف محلی، با استفاده از آستانه ϵ بررسی می کند که آیا هدف محلی E و شروع محلی بعدی I به یکدیگر نزدیک هستند یا خیر. اگر نزدیک باشند، هدف محلی فعلی به هدف محلی بعدی تغییر می کند، یعنی برنامه ریز باید مسیری را از D به K ، همانطور که در شکل نشان داده شده است، برنامه ریزی کند. پس از انجام این کار، الگوریتم با استفاده از الگوریتم A* ، مسیرهای موضعی را در اطراف همه جفت های (D,E) و (D,K) مسیریابی می کند. در نهایت مسیری حاصل می شود که بخشی از آن شامل خطی راست است که کواه ترین مسیر است و موانع با استفاده از الگوریتم A* دور زده می شوند . در نتایج تجربی این الگوریتم مسیر بهتری نسبت به حالت کلاسیک پیدا کرد اما زمان بیشتر ی صررف شد(تقریبا ۴ برابر) .



شکل ۱-۶: شیوه کار A*بهبود یافته [۲]

۱-۴-۳ پویا ساده

الگوریتم D* Lite ،مانند الگوریتم *A کلاسیک با شروع از یک گره سعی می کند تابه نقطه ی هدف برسد اما با این فرض که گراف بتواند تغییر کند . تشخیص یک مانع همان اثری را بر روی نمودار خواهد داشت که با حذف یال بین دو گره که مانع بین آنها تشخیص داده می شود، و این معادل تغییر وزن یال به است. الگوریتم D* Lite چنین تغییرات وزنی را در نمودار محاسبه می کند و به طور مداوم مسیر خودروی خودران را دوباره برنامه ریزی می کند. الگوریتم D* Lite دو امتیاز را برای هر گره از گراف در نظر می گیرد G و RHS . که همانند *A امتیاز G هزینه رفتن از گره شروع به گره فعلی در گراف می باشد. امتیاز

RHS به صورت $RHS(n) = min(G(n) + C(n, n))$ تعریف می شود که در آن، n گره فعلی، n′ گره قبلی است. و C(n′, n) هزینه جابجایی از n به n . برای یافتن گره بهینه بعدی استفاده می شود. اگر گره بعدی مسدود شود، C برای آن لبه روی ∞ تنظیم می شود، در نتیجه، RHS نیز روی ∞ تنظیم می شود. با استفاده از این امتیازها، الگوریتم مسیری را از هدف تا شروع برنامه‌ریزی می‌کند که در نهایت یک مسیر بهینه را برای دنبال کردن به دست می‌دهد. در صورت مواجهه با یک مانع ناشناخته قبلی، امتیاز RHS با هزینه های جدید اتصال برای گره های آسیب دیده، دوباره محاسبه می شود. نتایج نشان می‌دهد که D* Lite منجر به جست و جوی راس اضافی کمتر، گسترده شدن کمتر ی می‌شود، که ثابت می‌کند که D* Lite در واقع الگوریتم خوبی برای برنامه‌ریزی مجدد و حرکت در محیط‌های ناشناخته است.

۱-۴-۴ همیشه پویا

یکی از مهمترین مواردی که باید رد نظر گرفته شود محیط های پویاست . از آنجایی که فرد می‌خواهد کل زمان سفر به حداقل برسد، باید برنامه‌ریزی راه‌حل‌ها را با بیشترین سرعتی که می‌تواند محاسبه کند. در صورت برخورد با یک مانع جدید، زمان سفر با زمان اضافی برای محاسبه یک مسیر جدید افزایش می یابد. برای مقابله با این مشکل، الگوریتم *ADA با ترکیب ایده‌های دو الگوریتم قبلاً مورد بحث، D*lite و *ARA توسعه یافت. مشابه *ARA ، *AD راه حل هایی غیر بهینه را ابتدا جست و جو می کند . تغییری که در محیط شناسایی شود (از طریق سنسور یا دوربین)، به عنوان تغییر در گرافی که مسیر در آن برنامه ریزی شده است، منعکس خواهد شد. گره‌های آسیب‌دیده در فهرست باز مانند الگوریتم *D Lite ارسال می‌شوند، با اولویت‌های آنها در میان مقدار کلید قبلی و مقدار کلید به‌روزرسانی می شوند . سپس گره های موجود در لیست پردازش می شوند تا زمانی که راه حل فعلی تضمین شود بنابراین *ADA ، که یک الگوریتم برخط است، امکان برنامه ریزی مجدد سریع راه حل ها را با محدود کردن بهینه بودن آنها فراهم می کند.

۱-۵ جمع بندی

حوزه خودروهای خودران پیشرفت چشمگیری داشته است، اما هنوز هم دامنه پیشرفت زیادی در آینده دارد. [۲] در ابتدا تکنیک‌های مختلف برنامه‌ریزی حرکتی را ارائه کرد که تمرکز اصلی آن بر روی الگوریتم جستجوی A* و تغییرات آن بود. چندین گونه از الگوریتم A* مورد بررسی قرار گرفت و نشان داده شد که چگونه این تغییرات به حل مسائل با الگوریتم کلاسیک A * کمک می کند. بسیاری از تغییرات الگوریتم A* را می توان در آینده با بهینه سازی الگوریتم کلاسیک یا انواع آن توسعه داد و آزمایش کرد. یکی از این تغییرات بالقوه، اصلاح تابع اکتشافی مورد استفاده در این الگوریتم‌ها است. نویسنده امیدوار است که این مقاله در ارائه یک نمای کلی از انواع مختلف الگوریتم A* موفق باشد، که می تواند به عنوان مرجع در حین کار بر روی انواع جدید برای ارائه عملکرد بهتر نسبت به الگوریتم های برنامه ریزی حرکتی موجود استفاده شود. در روش های متفاویت که بررسی شد ورژن هندسی الگوریتم A* برای زمانی مطلوب است که نیاز به مسیری تاحد امکان صاف داریم و در این حالت الگوریتم هندسی با کاهش تعداد گره های گسترده شده زمان یافتن مسیر بهینه را به شدت کاهش می دهد . از مزایای آن می توان این موارد را نام برد: تعداد کمتری از گره ها را گسترش می دهد ، محاسبه مسیرهای کوتاهتر از A*کلاسیک ، مسیرهای هموارتر و واقعی تر را ایجاد می کند، و برای وسایل نقلیه خودران مناسب است . الگوریتم improved A* مسیر کوتاه تری را نسبت به حالت کلاسیک در مسئله ی بررسی شده در مقاله پیدا کرد اما زمانی بیشتر صرف شد . بنابراین زمان اجرا می توند نقطه ضعف این الگوریتم باشد . الگوریتم های دیگر مثل ARA* و ADA* زمان اجرا را بسیار پایین می آورددند و بسیار برای کاربرد های برخط مناسب اند . همین طور Anytime Dynamic A* (AD*) و ADA* برای محیط های پویا مناسب اند .در ۱-۷ می توانید یک نمای کلی از نظر تعدا گره های گسترش یافته برای هریک از الگوریتم ها در یک مسئله خاص مشاهده نمایید . الگوریتم A* پتانسیل بالایی دارد تا با سایر الگوریتم ها ترکیب شود و الگوریتم هایی با عملکرد زمانی و بهینگی بهتری پدید آورد . به عنوان مثال می توان تابع هیوریستک را تغییر داد یا برای انتخاب هر گره معیار های دیگری نیز افزود ویا ضریب ϵ را در طول مسیر تغییر داد و با نزدیک شدن به هدف به سمت ۱ برد.

Algorithm	Number of states expanded	Final Path
A*	31	Optimal
A* with $\epsilon = 2.5$	19	Optimal
D* Lite	27	Optimal
D* Lite with $\epsilon = 2.5$	13	Sub-Optimal
ARA*	24	Optimal
AD*	20	Optimal

شکل ۱-۷: مقایسه ی گسترش یافته های الگوریتم A*
[۲]

مراجع

[1] Hesaraki, Elham. A* algorithm in a simple way.

[2] Paliwal, Pulkit. A survey of a-star algorithm family for motion planning of autonomous vehicles. In *2023 IEEE International Students' Conference on Electrical, Electronics and Computer Science (SCEECS)*, pages 1–6. IEEE, 2023.