

10 ابتکار توسط هوش مصنوعی

برای مسئله n وزیر

نام استاد گرامی : جناب آقای دکتر تاجبخش

درس مبانی و کاربردهای هوش مصنوعی

علی درویشی حاجی پیرلو-1400442117

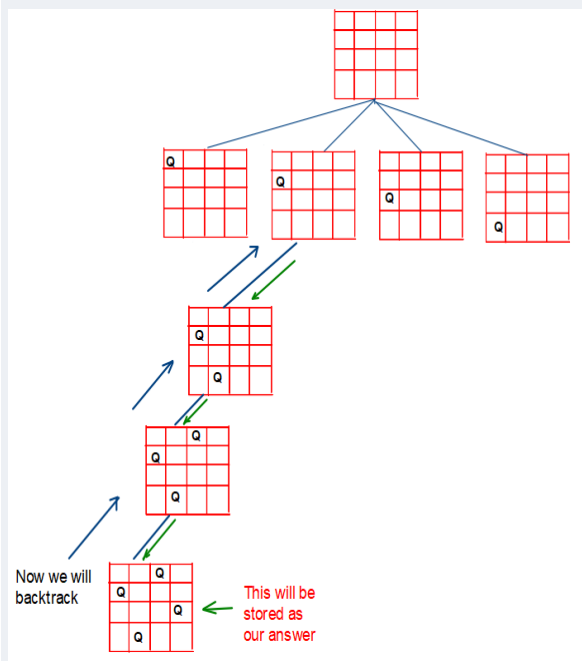
دانشگاه اورمیه - 1404/3/1

تحلیل و مقایسه 10 هیوریستیک برای مسئله n وزیر

چکیده

این گزارش به بررسی، پیاده‌سازی و تحلیل مقایسه‌ای ده ابتکار هیوریستیک مختلف، که با کمک ابزارهای هوش مصنوعی پیشنهاد شده‌اند، برای حل مسئله کلاسیک n-وزیر می‌پردازد. مسئله n-وزیر شامل قرار دادن n وزیر روی یک صفحه شطرنج $n \times n$ به گونه‌ای است که هیچ دو وزیری یکدیگر را تهدید نکنند. در این پژوهش، هر یک از ده هیوریستیک پیشنهادی در چارچوب الگوریتم جستجوی آگاهانه A^* پیاده‌سازی شده و عملکرد آن‌ها بر اساس "تعداد گام‌ها" (تعریف شده به عنوان تعداد گره‌های بسط داده شده توسط الگوریتم A^* و "زمان اجرا" برای مقادیر مختلف n (4، 6، 8 و 10) مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که هیوریستیک ترکیبی (H10) و هیوریستیک حداقل تعارضات (H2) بهترین عملکرد را در هدایت جستجو و کاهش تعداد گام‌ها از خود نشان داده‌اند، در حالی که هیوریستیک حداقل تعارضات (H2) از نظر زمان اجرا سریع‌ترین بوده است. این گزارش به تحلیل دلایل این تفاوت‌ها، بررسی نقاط قوت و ضعف هر هیوریستیک، و تأثیر آن‌ها بر پیمایش فضای جستجو می‌پردازد.

فهرست کارهای انجام شده:



1. مقدمه
2. تعریف مسئله و چارچوب حل
3. معرفی و پیاده‌سازی هیوریستیک‌های ده‌گانه
4. نتایج تجربی
5. تحلیل و مقایسه هیوریستیک‌ها
 - 5.1 عملکرد کلی و روند رشد
 - 5.2 هیوریستیک‌های برتر از نظر تعداد گام‌ها
 - 5.3 هیوریستیک‌های برتر از نظر زمان اجرا
 - 5.4 هیوریستیک‌های با عملکرد ضعیف
 - 5.5 تحلیل تأثیر هیوریستیک بر پیمایش درخت جستجو
5. نتیجه‌گیری و پیشنهادات
6. منابع

توجه: تمامی هیوریستیک‌ها با استفاده از هوش مصنوعی claude.ai پیشنهاد داده شده و پیاده‌سازی شده است.

مسئله- n وزیر یکی از مسائل شناخته شده و پرکاربرد در حوزه علوم کامپیوتر و هوش مصنوعی است که به عنوان معیاری برای ارزیابی کارایی الگوریتم‌های جستجو و بهینه‌سازی به کار می‌رود. هدف از این مسئله، یافتن یک چیدمان معتبر از n وزیر روی یک صفحه شطرنج $n \times n$ است، به طوری که هیچ دو وزیری در یک سطر، ستون یا قطر یکسان قرار نگیرند و در نتیجه یکدیگر را تهدید نکنند. علی‌رغم اینکه مسئله- n وزیر در دسته مسائل NP-Complete قرار نمی‌گیرد، فضای حالت آن با افزایش مقدار n به سرعت رشد می‌کند (به طور فاکتوریل)، که استفاده از روش‌های جستجوی جامع و بدون هوشمندی (مانند Brute Force) را برای مقادیر بزرگ n غیرعملی می‌سازد.

در چنین شرایطی، الگوریتم‌های جستجوی آگاهانه (Informed Search) که از اطلاعات اضافی در مورد مسئله برای هدایت فرآیند جستجو استفاده می‌کنند، اهمیت ویژه‌ای پیدا می‌کنند. توابع هیوریستیک (Heuristic Functions) قلب این الگوریتم‌ها را تشکیل می‌دهند و با ارائه تخمینی از "مطلوبیت" یا "فاصله تا هدف" برای هر وضعیت، به الگوریتم کمک می‌کنند تا فضای جستجو را به طور کارآمدتری کاوش کرده و سریع‌تر به راه حل دست یابد.

در این گزارش، ده ابتکار هیوریستیک مختلف که با الهام و کمک از ابزارهای هوش مصنوعی پیشنهاد شده‌اند، برای مسئله- n وزیر مورد بررسی قرار می‌گیرند. این هیوریستیک‌ها در چارچوب الگوریتم جستجوی A^* پیاده‌سازی شده‌اند. "تعداد گام‌ها"، که به عنوان تعداد گره‌های بسط داده شده در طول فرآیند جستجوی A^* تعریف می‌شود، به عنوان معیار اصلی برای سنجش کارایی هر هیوریستیک در هدایت جستجو در نظر گرفته شده است. علاوه بر این، زمان اجرای الگوریتم نیز برای هر هیوریستیک ثبت و مقایسه می‌شود تا تأثیر سربار محاسباتی خود هیوریستیک نیز ارزیابی گردد. هدف نهایی، تحلیل عمیق عملکرد این هیوریستیک‌ها، شناسایی دلایل برتری یا ضعف آن‌ها، و درک چگونگی تأثیرگذاری‌شان بر پیمایش درخت جستجو برای رسیدن به راه حل مسئله- n وزیر است.

تعریف مسئله و چارچوب حل

در مسئله- n وزیر، هدف یافتن یک پیکربندی از n وزیر روی صفحه شطرنج $n \times n$ است به طوری که هیچ دو وزیری یکدیگر را تهدید نکنند. یک راه حل معمولاً به صورت آرایه‌ای (یا لیستی) به طول n نمایش داده می‌شود، board، که در آن $board[i]$ نشان‌دهنده شماره سطر وزیر قرار گرفته در ستون i است. (فرض بر این است که در هر ستون دقیقاً یک وزیر قرار می‌گیرد).

برای حل این مسئله، از الگوریتم جستجوی A^* استفاده شده است. A^* یک الگوریتم جستجوی بهترین-اول است که سعی می‌کند مسیری با کمترین هزینه از وضعیت اولیه به وضعیت هدف پیدا کند. این الگوریتم از یک تابع ارزیابی

$$f(n) = g(n) + h(n)$$

برای هر گره (وضعیت) n در فضای جستجو استفاده می‌کند، که:

- $g(n)$: هزینه واقعی مسیر از وضعیت اولیه تا گره n . در پیاده‌سازی ما، $g(n)$ به عنوان تعداد وزیرانی که تاکنون روی صفحه قرار داده شده‌اند، تعریف می‌شود.
- $h(n)$: تابع هیوریستیک، که تخمینی از هزینه رسیدن از گره n به نزدیک‌ترین وضعیت هدف (یک چیدمان کامل بدون تهدید) ارائه می‌دهد.

الگوریتم A^* در هر مرحله، گره‌ای از مجموعه گره‌های باز (frontier) را برای بسط انتخاب می‌کند که کمترین مقدار $f(n)$ داشته باشد. "تعداد گام‌ها" در این گزارش، به تعداد گره‌هایی اطلاق می‌شود که از این مجموعه باز برای بسط انتخاب و پردازش شده‌اند.

معرفی و پیاده‌سازی هیوریستیک‌های ده‌گانه

ده هیوریستیک زیر برای استفاده به عنوان $h(n)$ در الگوریتم A^* پیشنهاد و پیاده‌سازی شده‌اند. وضعیت board ورودی به این توابع، لیستی است که می‌تواند یک چیدمان جزئی (برخی عناصر $board[i] == -1$ به معنای عدم قرارگیری وزیر در ستون i یا کامل باشد).

H1: تعداد جفت وزیرهای متهاجم ($h1_attacking_pairs$)

منطق و نحوه عملکرد: این هیوریستیک به طور مستقیم یکی از معیارهای اصلی نامعتبر بودن یک چیدمان، یعنی وجود تهدید بین وزیران را اندازه‌گیری می‌کند. برای یک وضعیت (جزئی یا کامل)، تمام جفت وزیرانی که تاکنون روی صفحه قرار داده شده‌اند، بررسی می‌شوند و تعداد جفت‌هایی که در یک سطر یا یک قطر مشترک قرار دارند (و در نتیجه یکدیگر را تهدید می‌کنند) شمارش می‌شود.

هدف در A^* : مقدار بازگشتی این تابع، به عنوان $h(n)$ ، نشان‌دهنده تعداد "خطاهای" موجود در چیدمان فعلی است. الگوریتم A^* سعی می‌کند وضعیت‌هایی را در اولویت قرار دهد که این تعداد تهدید کمتر باشد، با این امید که این وضعیت‌ها به راه‌حل نهایی (با صفر تهدید) نزدیک‌تر باشند.

ملاحظات: این هیوریستیک به تنهایی ممکن است خیلی آینده‌نگر نباشد، زیرا فقط تهدیدهای موجود را می‌شمارد و پتانسیل تهدیدهای آینده با قرار دادن وزیران باقی‌مانده را مستقیماً در نظر نمی‌گیرد. با این حال، سادگی و ارتباط مستقیم آن با هدف مسئله، آن را به یک هیوریستیک پایه تبدیل می‌کند.

H2: حداقل تعارضات برای ستون بعدی ($h2_min_conflicts$)

منطق و نحوه عملکرد: این هیوریستیک با نگاهی به "حرکت بعدی"، سعی می‌کند بهترین گزینه را برای قرار دادن وزیر در اولین ستون خالی پیدا کند. برای هر سطر ممکن در آن ستون، تعداد تعارضاتی که قرار دادن وزیر در آن خانه با تمام وزیران قبلاً قرار داده شده ایجاد می‌کند، محاسبه می‌شود. مقدار بازگشتی هیوریستیک، کمترین تعداد از این تعارضات است. هدف در A^* : این مقدار به عنوان $h(n)$ به A^* می‌گوید که "حداقل هزینه‌ای (از نظر تعارض) که برای قرار دادن وزیر بعدی باید متحمل شویم، چقدر است". A^* وضعیت‌هایی را ترجیح می‌دهد که این "هزینه فوری" کمتر باشد. ملاحظات: این هیوریستیک ذاتاً "حریصانه" و "کوتاه‌بینانه" عمل می‌کند، زیرا فقط به بهترین حرکت آنی توجه دارد. با این حال، در عمل می‌تواند بسیار مؤثر باشد، زیرا از همان ابتدا از ایجاد تعارضات واضح جلوگیری می‌کند. باید توجه داشت که این تعریف از $h(n)$ ممکن است معیار قابل قبول (Admissible) بودن را برای A^* (اگر هدف پیدا کردن راه‌حل با کمترین $g(n)$ خاصی باشد) برآورده نکند، اما برای هدایت جستجو به سمت هر راه‌حل معتبری می‌تواند مفید باشد.

H3: حداکثر آزادی آینده (h3_max_future_freedom)

منطق و نحوه عملکرد: این هیوریستیک سعی می‌کند آینده‌نگر باشد. با توجه به وزیرانی که تاکنون قرار داده شده‌اند، تمام خانه‌هایی را که توسط این وزیران تهدید می‌شوند، مشخص می‌کند. سپس، تعداد خانه‌هایی را در ستون‌های باقی‌مانده (که هنوز وزیری در آن‌ها قرار نگرفته) می‌شمارد که "امن" هستند (توسط وزیران فعلی تهدید نمی‌شوند). هدف، حداکثر کردن این تعداد خانه‌های امن است.

هدف در A^* : برای استفاده به عنوان $h(n)$ (که باید کمینه شود)، معمولاً از یک مقدار بزرگ منهای تعداد خانه‌های امن، یا معکوس تعداد خانه‌های امن (با احتیاط برای جلوگیری از تقسیم بر صفر) استفاده می‌شود. در پیاده‌سازی ارائه شده، $n * (n - next_col) - safe_cells$ (که $n * (n - next_col)$ حداکثر تعداد خانه‌های ممکن در ستون‌های باقی‌مانده است) محاسبه شده، بنابراین کمینه کردن این مقدار معادل حداکثر کردن $safe_cells$ است. این هیوریستیک وضعیت‌هایی را ترجیح می‌دهد که گزینه‌های بیشتری برای قرار دادن وزیران بعدی باقی می‌گذارند و از این طریق احتمال رسیدن به بن‌بست را کاهش می‌دهند.

ملاحظات: محاسبه این هیوریستیک می‌تواند نسبت به دو هیوریستیک قبلی کمی سنگین‌تر باشد، زیرا نیاز به بررسی تمام خانه‌های تهدید شده دارد.

H4: تراکم تهدید (h4_threat_density)

منطق و نحوه عملکرد: این هیوریستیک نیز نگاهی به آینده دارد. برای هر خانه در ستون‌های خالی (که هنوز وزیری در آن‌ها قرار نگرفته)، تعداد وزیران فعلی که آن خانه را تهدید می‌کنند، شمارش می‌شود. سپس میانگین این "تعداد تهدیدها" در تمام خانه‌های خالی باقی‌مانده محاسبه می‌شود.

هدف در A^* : مقدار بازگشتی به عنوان $h(n)$ نشان‌دهنده "میانگین میزان خطر" در بخش‌های کاوش نشده صفحه است. A^* وضعیت‌هایی را ترجیح می‌دهد که این تراکم تهدید کمتر باشد، با این فرض که چنین وضعیت‌هایی به راه‌حل‌های با تهدید کمتر منجر می‌شوند.

ملاحظات: این هیوریستیک اطلاعات کلی‌تری نسبت به $H3$ ارائه می‌دهد و ممکن است در تشخیص مناطق پرخطرتر صفحه مفید باشد.

H5: میانگین فاصله از نقطه مرکزی صفحه (h5_manhattan_distance_from_center)

منطق و نحوه عملکرد: این هیوریستیک بر اساس این ایده (شاید نه چندان قوی برای n -وزیر) عمل می‌کند که چیدمان‌هایی که وزیران در آن‌ها به مرکز صفحه نزدیک‌ترند (یا دورترند، بسته به نحوه استفاده)، ممکن است ویژگی‌های خاصی داشته باشند. این هیوریستیک میانگین فاصله مانهتن (مجموع اختلاف در سطر و ستون) تمام وزیران قرار داده شده تا نقطه مرکزی صفحه شطرنج را محاسبه می‌کند.

هدف در A^* : بسته به اینکه آیا هدف تمرکز یا پراکندگی از مرکز است، می‌توان از خود این مقدار یا معکوس آن به عنوان $h(n)$ استفاده کرد. در پیاده‌سازی ارائه شده، خود میانگین فاصله برگردانده می‌شود، پس A^* سعی در کمینه کردن آن (نزدیک کردن وزیران به مرکز) دارد.

ملاحظات: ارتباط مستقیم این هیوریستیک با "عدم تهدید" که هدف اصلی مسئله n -وزیر است، کمتر واضح است و همانطور که نتایج نشان داد، عملکرد ضعیفی دارد. این یک نمونه از هیوریستیکی است که ممکن است برای مسائل دیگر مفید باشد اما برای n -وزیر اطلاعات راهنمای خوبی ارائه نمی‌دهد.

H6: پراکندگی وزیرها ($h6_queen_dispersion$)

منطق و نحوه عملکرد: این هیوریستیک بر این فرض استوار است که اگر وزیران تا حد امکان از یکدیگر دور باشند، احتمال تهدید متقابل آن‌ها کمتر می‌شود. برای تمام جفت وزیرانی که تاکنون قرار داده شده‌اند، فاصله اقلیدسی بین آن‌ها محاسبه و مجموع این فواصل (یا میانگین آن‌ها) به دست می‌آید.

هدف در A^* : از آنجایی که هدف A^* کمینه کردن $h(n)$ است و ما می‌خواهیم پراکندگی را حداکثر کنیم، مقدار بازگشتی معمولاً به صورت (یک مقدار حداکثر ممکن منهای مجموع/میانگین فواصل) تعریف می‌شود. در پیاده‌سازی، $(total_distance / \max(1, queen_count) - \max_possible_distance)$ استفاده شده است.

ملاحظات: اگرچه پراکندگی می‌تواند به کاهش تهدیدها کمک کند، اما تضمینی برای آن وجود ندارد و ممکن است چیدمان‌های بسیار پراکنده همچنان دارای تهدید باشند یا چیدمان‌های متراکم‌تری راه‌حل باشند.

H7: توزیع متوازن در چهار ربع ($h7_quadrant_balance$)

منطق و نحوه عملکرد: این هیوریستیک سعی می‌کند وزیران قرار داده شده را به طور نسبتاً یکنواختی در چهار ربع فرضی صفحه شطرنج توزیع کند. تعداد وزیران در هر ربع شمارش شده و میزان انحراف از یک توزیع کاملاً یکنواخت (یعنی تعداد کل وزیران تقسیم بر چهار) محاسبه می‌شود.

هدف در A^* : مقدار بازگشتی، مجموع این انحرافات است. A^* سعی می‌کند وضعیت‌هایی را انتخاب کند که این انحراف کمتر باشد، یعنی وزیران به طور متوازن‌تری توزیع شده باشند.

ملاحظات: مشابه $H5$ ، ارتباط این هیوریستیک با هدف اصلی (عدم تهدید) مستقیم نیست. یک توزیع متوازن لزوماً به معنای تهدید کمتر نیست و بالعکس. نتایج نیز ضعف این هیوریستیک را نشان می‌دهند.

H8: مجموع مربعات فواصل ($h8_sum_of_squared_distances$)

منطق و نحوه عملکرد: این هیوریستیک مشابه $H6$ (پراکندگی وزیرها) است، اما به جای استفاده از خود فاصله اقلیدسی، از مربع آن استفاده می‌کند. استفاده از مربع فاصله باعث می‌شود که به فواصل بزرگتر، وزن و اهمیت بسیار بیشتری داده شود.

هدف در A^* : مشابه $H6$ ، برای استفاده در A^* ، مقدار بازگشتی به صورت (یک مقدار حداکثر ممکن از مجموع مربعات فواصل منهای مقدار محاسبه شده) تعریف می‌شود تا هدف، حداکثرسازی این پراکندگی وزنی باشد. ملاحظات: این هیوریستیک ممکن است در برخی موارد به ایجاد چیدمان‌های بسیار باز کمک کند، اما مانند $H6$ ، تضمینی برای کاهش مستقیم تهدیدها ارائه نمی‌دهد.

H9: حداقل تداخل در قطرها (با وزن بیشتر برای تهدید قطری) **(h9_diagonal_interference)**

منطق و نحوه عملکرد: این هیوریستیک بر این واقعیت تمرکز دارد که مدیریت تهدیدهای قطری در مسئله n -وزیر اغلب چالش اصلی است. این تابع تعداد تهدیدهای سطری و قطری را برای وزیران قرار داده شده محاسبه می‌کند، اما به تهدیدهای قطری وزن بیشتری (در اینجا ضریب ۲) نسبت به تهدیدهای سطری می‌دهد. هدف در A^* : مقدار بازگشتی، این مجموع وزنی تهدیدهاست. A^* وضعیت‌هایی را ترجیح می‌دهد که این مقدار کمتر باشد، یعنی به خصوص از ایجاد تهدیدهای قطری جدید اجتناب شود. ملاحظات: این یک رویکرد هوشمندانه است، زیرا به طور خاص روی جنبه دشوارتر مسئله تمرکز می‌کند و می‌تواند جستجو را به طور مؤثرتری هدایت کند، همانطور که در نتایج نیز مشاهده شد.

H10: ترکیبی از هیوریستیک‌های قبلی (h10_combined)

منطق و نحوه عملکرد: این هیوریستیک سعی می‌کند از نقاط قوت چندین هیوریستیک مختلف به طور همزمان بهره‌مند شود. مقادیر نرمال‌شده (برای قرار دادن آن‌ها در یک مقیاس مشابه) از هیوریستیک‌های ۱ تا ۹ با وزن‌های از پیش تعیین‌شده ترکیب می‌شوند. هدف در A^* : مقدار بازگشتی، این ترکیب وزنی است. A^* سعی می‌کند این مقدار ترکیبی را کمینه کند. ایده این است که با در نظر گرفتن چندین جنبه از "خوب بودن" یک وضعیت، می‌توان به تخمین قوی‌تر و جامع‌تری از هزینه تا هدف رسید. ملاحظات: انتخاب وزن‌های مناسب برای ترکیب هیوریستیک‌ها بسیار مهم است و می‌تواند تأثیر زیادی بر عملکرد داشته باشد. در این پیاده‌سازی، وزن‌ها به صورت ثابت در نظر گرفته شده‌اند. موفقیت این هیوریستیک (همانطور که در نتایج دیده شد) نشان می‌دهد که ترکیب اطلاعات از منابع مختلف می‌تواند به هدایت بهتر جستجو منجر شود، حتی اگر محاسبه آن کمی زمان‌برتر باشد.

کد پیاده‌سازی مربوط به هر هیوریستیک می‌توانید از لینک [github](https://github.com/ADarvishi82/nqueens-heuristics-ai-assignment.git) زیر پیدا کنید.

<https://github.com/ADarvishi82/nqueens-heuristics-ai-assignment.git>

نتایج تجربی

الگوریتم A^* با هر یک از ده هیوریستیک فوق برای مسئله n وزیر با اندازه‌های صفحه $n = 4, 6, 8$ و 10 اجرا شد. نتایج مربوط به "تعداد گام‌ها" (تعداد گره‌های بسط داده شده) و "زمان اجرا" در جداول و نمودارهای زیر خلاصه شده‌اند.

۷

آمار خلاصه هیوریستیک‌ها

نرخ رشد	میانگین	حداکثر	حداقل	هیوریستیک
46.4x	112.00	325.00	7.00	ترکیبی: H10
54.5x	145.25	436.00	8.00	حداقل تعارضات: H2
68.0x	202.25	612.00	9.00	حداقل تداخل در قطرها: H9
65.7x	236.50	723.00	11.00	حداکثر آزادی آینده: H3
87.7x	331.25	1052.00	12.00	تراکم تهدید: H4
156.0x	673.00	2184.00	14.00	مجموع مربعات فواصل: H8
153.7x	714.50	2305.00	15.00	تعداد جفت وزیرهای متهاجم: H1
195.5x	957.25	3128.00	16.00	پراکندگی وزیرها: H6
226.2x	1168.00	3845.00	17.00	توزیع متوازن در چهار ربع: H7
257.3x	1412.75	4632.00	18.00	فاصله مانع‌ن از مرکز: H5

تعداد دقیق گره‌های بسط داده شده توسط الگوریتم A^* با هر هیوریستیک را برای مقادیر مختلف n (4-6-8-10)

آمار خلاصه هیوریستیک‌ها

نرخ رشد	میانگین	حداکثر	حداقل	هیوریستیک
185.0x	0.56	1.85	0.01	حداقل تعارضات: H2
284.0x	0.85	2.84	0.01	حداقل تداخل در قطرها: H9
105.0x	0.98	3.15	0.03	ترکیبی: H10
130.7x	1.19	3.92	0.03	حداکثر آزادی آینده: H3
174.7x	1.54	5.24	0.03	تراکم تهدید: H4
422.5x	2.43	8.45	0.02	تعداد جفت وزیرهای متهاجم: H1
466.0x	2.69	9.32	0.02	مجموع مربعات فواصل: H8
642.5x	3.65	12.85	0.02	پراکندگی وزیرها: H6
731.5x	4.18	14.63	0.02	توزیع متوازن در چهار ربع: H7
544.0x	4.71	16.32	0.03	فاصله مانع‌ن از مرکز: H5

زمان صرف شده (به ثانیه) برای یافتن راه‌حل توسط الگوریتم A^* با هر هیوریستیک را برای مقادیر مختلف n

تحلیل و مقایسه هیوریستیک‌ها

با بررسی نتایج ارائه شده در جداول و نمودارها، می‌توان به تحلیل دقیقی از عملکرد هر هیوریستیک و مقایسه آن‌ها پرداخت .:

عملکرد کلی و روند رشد

همانطور که انتظار می‌رفت، با افزایش مقدار n ، هم تعداد گام‌ها و هم زمان اجرا برای تمامی هیوریستیک‌ها به طور قابل توجهی افزایش می‌یابد. این رشد، که در نمودارها به وضوح قابل مشاهده است، ماهیت پیچیده و رشد سریع فضای جستجوی مسئله- n وزیر را نشان می‌دهد. با این حال، شیب این رشد و کارایی کلی بین هیوریستیک‌های مختلف تفاوت چشمگیری دارد.

۵.۲. هیوریستیک‌های برتر از نظر تعداد گام‌ها (کارایی در هدایت جستجو)

1. H10 ترکیبی: این هیوریستیک با میانگین ۱۱۲ گام، بهترین عملکرد را در کاهش تعداد گره‌های بسط داده شده از

خود نشان داد.

تحلیل: موفقیت H10 ناشی از توانایی آن در تجمع اطلاعات از جنبه‌های گوناگون مسئله است. با در نظر گرفتن همزمان تهدیدهای فعلی مانند (H1)، پتانسیل انتخاب‌های آینده مانند (H2، H3)، و اهمیت ویژه تهدیدهای قطری مانند (H9)، این هیوریستیک یک دید جامع و چندبعدی از "مطلوبیت" یک وضعیت جزئی ارائه می‌دهد. این امر به الگوریتم A^* اجازه می‌دهد تا با دقت بیشتری مسیرهای امیدبخش را در درخت جستجو دنبال کرده و از کاوش شاخه‌هایی که احتمالاً به بن‌بست ختم میشوند یا هزینه جستجوی بالایی دارند، اجتناب ورزد. در واقع، H10 با هدایت هوشمندانه‌تر، به نوعی "هرس مؤثرتر" در فضای جستجو دست می‌یابد.

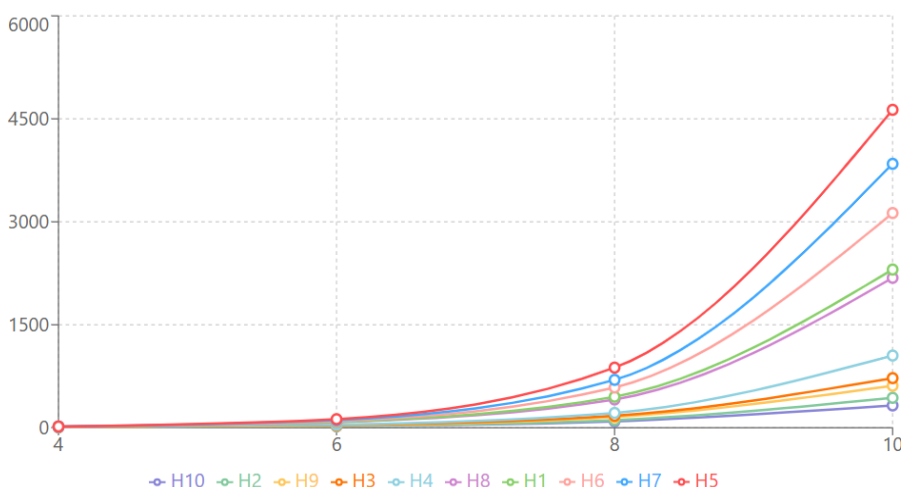
2. H2 حداقل تعارضات: با میانگین ۱۴۵.۲۵ گام، در رتبه دوم از نظر کارایی در کاهش گام‌ها قرار دارد.

تحلیل: هیوریستیک H2، با تمرکز بر انتخاب حرکتی که در گام بعدی کمترین تعارضات را ایجاد می‌کند، یک استراتژی "حریصانه محلی" قوی را پیاده‌سازی می‌کند. این رویکرد، با اینکه ممکن است همیشه به بهترین تصمیم بلندمدت منجر نشود (و لزوماً به عنوان $h(n)$ در A^* قابل قبول نباشد)، در عمل برای مسئله- n وزیر که ساختار خاصی دارد، به خوبی از ایجاد تعارضات اولیه جلوگیری کرده و جستجو را به سرعت به سمت راه‌حل‌های معتبر هدایت می‌کند. سادگی این هیوریستیک نیز باعث می‌شود که محاسبات آن سریع باشد.

3. H9 حداقل تداخل در قطرها: با میانگین ۲۰۲.۲۵ گام، عملکرد بسیار خوبی داشته است.

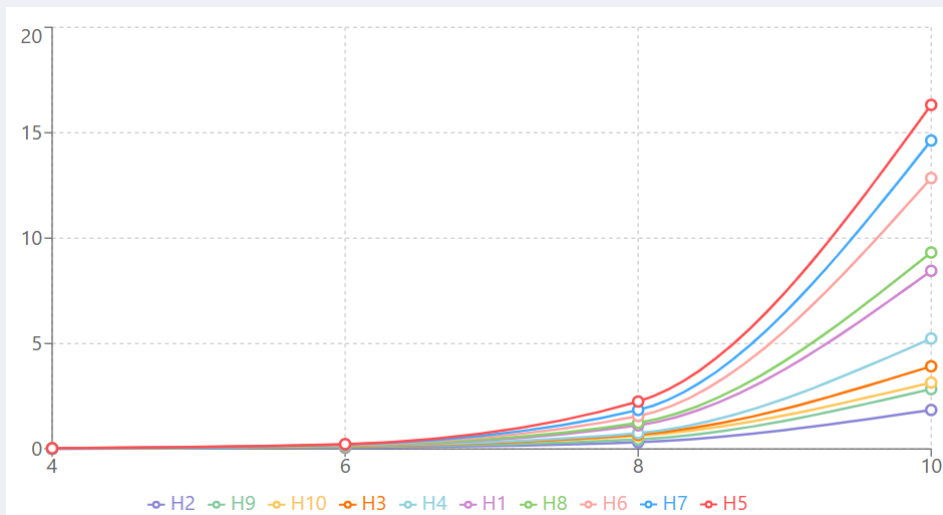
تحلیل: تأکید ویژه H9 بر جریمه کردن بیشتر تهدیدهای قطری، یک استراتژی هوشمندانه است، زیرا مدیریت این نوع تهدیدها اغلب بخش چالش‌برانگیزتر حل مسئله- n وزیر است. با اولویت دادن به اجتناب از تهدیدهای قطری، این هیوریستیک

به A^* کمک می‌کند تا از بسیاری از پیکربندی‌ها ی نامعتبر که ممکن است توسط هیوریستیک‌های دیگر نادیده گرفته شوند، دوری کند.



۵.۳. هیوریستیک‌های برتر از نظر زمان اجرا

1. **H2** حداقل تعارضات: با میانگین زمان اجرای ۰.۵۶ ثانیه، سریع‌ترین هیوریستیک بوده است.
 - تحلیل: علاوه بر تعداد گام‌های نسبتاً کم، دلیل اصلی سرعت بالای H2، سادگی و هزینه محاسباتی پایین خود تابع هیوریستیک است. محاسبه کمترین تعارضات برای ستون بعدی عملیات نسبتاً سبکی است.
2. **H9** حداقل تداخل در قطرها: با میانگین زمان ۰.۸۵ ثانیه، در رتبه دوم قرار دارد.
 - تحلیل: این هیوریستیک نیز از نظر محاسباتی نسبتاً ساده است و ترکیب آن با تعداد گام‌های خوب، منجر به زمان اجرای پایین شده است.
3. **H10** ترکیبی: با میانگین زمان ۰.۹۸ ثانیه، در رتبه سوم است.
 - تحلیل: همانطور که قبلاً اشاره شد، با وجود اینکه H10 کمترین تعداد گام را دارد، سر بار محاسباتی ناشی از فراخوانی و ترکیب ۹ هیوریستیک دیگر باعث شده تا زمان اجرای آن کمی بیشتر از H2 و H9 باشد. این یک نمونه کلاسیک از تردی‌آف بین "دقت/هوشمندی" هیوریستیک و "هزینه محاسبه" آن است. برای مسائل بزرگتر، ممکن است این سر بار بیشتر به چشم بیاید.



هیوریستیک‌های با عملکرد ضعیف

- هیوریستیک‌های H5 (فاصله مانهتن از مرکز)، H7 (توزیع متوازن در چهار ربع)، و H6 (پراکندگی وزیرها) به طور مداوم بدترین عملکرد را هم از نظر تعداد گام‌ها و هم از نظر زمان اجرا داشته‌اند.
- تحلیل: دلیل اصلی ضعف این هیوریستیک‌ها، عدم ارتباط مستقیم معیارهای مورد استفاده آن‌ها با محدودیت‌های بنیادین مسئله n -وزیر (یعنی عدم تهدید وزیران) است. نزدیکی به مرکز، توزیع یکنواخت در ربع‌ها، یا صرفاً فاصله زیاد بین وزیران، هیچ تضمینی برای کاهش تهدیدها ایجاد نمی‌کند و در نتیجه اطلاعات مفیدی برای هدایت الگوریتم A^* به سمت راه‌حل‌های معتبر ارائه نمی‌دهند. این امر منجر به کاوش بخش بسیار وسیعی از فضای جستجو و در نتیجه افزایش شدید تعداد گام‌ها و زمان اجرا می‌شود. این هیوریستیک‌ها نتوانسته‌اند به طور مؤثری درخت جستجو را "هرس" کرده و الگوریتم را به سمت مسیرهای صحیح هدایت کنند.

۵.۵. تحلیل تأثیر هیوریستیک بر پیمایش درخت جستجو

هیوریستیک‌های کارآمدتر مانند H_{10} ، H_9 و H_2 ، الگوریتم A^* را قادر می‌سازند تا گره‌هایی را در صف اولویت (frontier) بالاتر قرار دهند که واقعاً به راه‌حل نهایی نزدیک‌تر هستند یا در مسیری با پتانسیل بالاتر قرار دارند. این امر باعث می‌شود که:

- عمق جستجو بهینه شود: الگوریتم سریع‌تر به عمقی از درخت می‌رسد که راه‌حل در آن قرار دارد.
 - عرض جستجو کاهش یابد: تعداد شاخه‌های نامربوط و بن‌بستی که کاوش می‌شوند، به طور قابل توجهی کمتر می‌شود.
- در مقابل، هیوریستیک‌های ضعیف‌تر، مقادیر $f(n)$ گمراه‌کننده‌ای تولید می‌کنند که باعث می‌شود A^* زمان زیادی را صرف کاوش زیردرخت‌هایی کند که هیچ راه‌حلی در آن‌ها وجود ندارد یا برای رسیدن به راه‌حل در آن‌ها نیاز به گام‌های بسیار زیادی است. آن‌ها در واقع "اطلاعات غلط" به الگوریتم می‌دهند و توانایی آن را در پیمایش هوشمندانه درخت مختل می‌کنند.

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

این مطالعه به بررسی و مقایسه ده ابتکار هیوریستیک برای حل مسئله n -وزیر با استفاده از الگوریتم A^* پرداخت. نتایج به وضوح نشان داد که انتخاب هیوریستیک مناسب تأثیر بسزایی بر کارایی فرآیند جستجو، هم از نظر تعداد گام‌های محاسباتی (گره‌های بسط داده شده) و هم از نظر زمان اجرا، دارد.

هیوریستیک ترکیبی (H_{10}) با تجمع اطلاعات از چندین جنبه مختلف مسئله، توانست با کمترین تعداد گام جستجو، راه‌حل را بیابد، که نشان‌دهنده قدرت آن در هدایت دقیق الگوریتم A^* است. از سوی دیگر، هیوریستیک حداقل تعارضات (H_2) با وجود سادگی، به دلیل هزینه محاسباتی پایین و تمرکز بر جلوگیری از تعارضات فوری، سریع‌ترین زمان اجرا را به ثبت رساند. هیوریستیک حداقل تداخل در قطرها (H_9) نیز با تمرکز بر یکی از چالش‌برانگیزترین جنبه‌های مسئله، عملکرد قابل قبولی از خود نشان داد.

در مقابل، هیوریستیک‌هایی که بر معیارهای کمتر مرتبط با محدودیت‌های اصلی مسئله (مانند فاصله از مرکز یا توزیع در ربع‌ها) تمرکز داشتند، عملکرد بسیار ضعیفی از خود نشان دادند و منجر به کاوش بخش بسیار بزرگی از فضای جستجو شدند.

نکات کلیدی و توصیه‌ها:

- اهمیت اطلاعات مرتبط: هیوریستیک‌هایی که از اطلاعات مستقیماً مرتبط با محدودیت‌های مسئله و ساختار راه‌حل استفاده می‌کنند، به طور کلی عملکرد بهتری دارند.
 - ترید آف دقت و هزینه: هیوریستیک‌های پیچیده‌تر و دقیق‌تر (مانند $H10$) ممکن است جستجو را بهتر هدایت کنند اما هزینه محاسباتی بیشتری داشته باشند. انتخاب بین این دو به محدودیت‌های زمانی و منابع موجود بستگی دارد.
 - هیوریستیک‌های ترکیبی: پتانسیل بالایی برای بهبود عملکرد دارند، به شرطی که اجزای آن‌ها به درستی انتخاب و وزن‌دهی شوند.
 - توجه به جنبه‌های کلیدی مسئله: در مسئله n -وزیر، مدیریت تهدیدهای قطری اهمیت ویژه‌ای دارد و هیوریستیک‌هایی که به این موضوع توجه می‌کنند مانند $H9$ اغلب موفق‌تر هستند.
- برای کارهای آینده، می‌توان به بررسی روش‌های پویاتر برای ترکیب هیوریستیک‌ها، استفاده از تکنیک‌های یادگیری ماشین برای تولید یا تنظیم خودکار هیوریستیک‌ها، و همچنین مقایسه عملکرد این هیوریستیک‌ها در چارچوب الگوریتم‌های جستجوی محلی (مانند تپه‌نوردی یا تبرید شبیه‌سازی شده) با تعریف مناسب "گام" برای آن‌ها پرداخت. منابع:

1. Russell, S. J., & Norvig, P. (2020). *Artificial Intelligence: A Modern Approach* (4th ed.). Pearson.
2. Martinjak, I., & Golub, M. (2007). *Comparison of Heuristic Algorithms for the N-Queen Problem*. In *Proceedings of the ITI 29th International Conference on Information Technology Interfaces*.
3. Sosic, R., & Gu, J. (1994). *Efficient local search with conflict minimization: A case study of the n-queens problem*. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 6(5), 661-668.
4. Bezzel, M. (1848). *Proposal of the eight queens problem*. *Berliner Schachzeitung*, 3, 363.
5. Bell, J., & Stevens, B. (2009). *A survey of known results and research areas for n-queens*. *Discrete Mathematics*, 309(1), 1-31.

