

# بررسی چند روش پیشنهادی برای مسیریابی ربات متحرک در فضای تصویر

سجاد یزدانی<sup>۱</sup>، محمد دهقانی سلطانی<sup>۲</sup>، محمد باقر منهج<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی برق - دانشگاه صنعتی امیرکبیر sajjad.yazdani@aut.ac.ir

<sup>۲</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی برق - دانشگاه صنعتی امیرکبیر m.dehghani.s@gmail.com

<sup>۳</sup> استاد دانشکده مهندسی برق - دانشگاه صنعتی امیرکبیر menhaj@aut.ac.ir

## چکیده

در این مقاله چهار روش یا هدف یافتن کوتاهترین مسیر بین مبدأ و مقصد در یک محیط مشخص بررسی شده است. ربات در نظر گرفته شده یک ربات متحرک با ۳ درجه آزادی در یک محیط دو بعدی می باشد که این امر باعث جدا سازی زاویه حرکت ربات از مسیر خواهد شد. روش پیشنهادی که با عنوان یک رویکرد جدید در مسیر یابی به آن اشاره شده است سعی در بهینه سازی یک مسیر غیر بهینه بدون محاسبات زیاد دارد. نتایج حاصل از شبیه سازی روشها، بیان از این مطلب دارند که رویکرد جدید روشی مناسب برای مسیر یابی ارائه می دهد.

## کلمات کلیدی

مسیریابی در فضای تصویر، ربات متحرک

### ۱- مقدمه

مسیریابی بهینه مسئله ای مهم در جهت یابی خودکار ربات های سیار می باشد که منجر به پیدا کردن مسیری بهینه بدون تصادم از نقطه شروع تا هدف در محیطی شناخته شده و با هدف بهینه کردن چند معیار می باشد [7]. برای این مسئله تعدادی راهکار از جمله مسیریابی با استفاده از مفاهیم میدان پتانسیل [8]، روش های مبتنی بر نمودار دید [9] و روش های مبتنی بر تصویر که آن را مبتنی بر شبکه<sup>۴</sup> نیز می نامند ارائه شده است [10]. روش های میدان پتانسیل ساختاری ساده تر دارند و بخوبی از برخورد با موانع اجتناب می کنند، اما این قبیل روش ها محدودیت های ذاتی از جمله گیر افتادن در مینیمم های محلی، گیر افتادن بین موانع نزدیک هم، نوسان در حضور موانع و نوسان در گذرگاه های باریک و وابستگی شدید به پارامترها را دارند [11]. باراکواند<sup>۵</sup> از آرایه های بیتی برای تولید میدان پتانسیل به صورت عددی جهت مسیریابی استفاده کرده است [12]، که در مقوله روش های میدان پتانسیل مصنوعی<sup>۶</sup> قرار می گیرد. در این مقاله نیز یک روش پیشنهادی برای محاسبه گرادیان ارائه شده است که میدان پتانسیل مصنوعی مناسبی را ایجاد می کند. مهمترین عیب روش های مبتنی بر نمودار دید، این است که جستجوی پیچیده با کارایی پایینی دارند [13]. برای حل مشکل پیچیدگی در این روشها جیانگ<sup>۷</sup> از یک روش نمودار دید بدون تولید فضای پیچیده برای حرکت ربات، برای یافتن کوتاهترین مسیر استفاده کرده است [14]. در روش های مبتنی بر تصویر مهمترین

مسیر یابی به معنای یافتن مسیر برای حرکت ربات در فضای بدون موانع<sup>۱</sup> از مبدأ تا مقصد می باشد. فضای بدون موانع کل فضای حرکتی ربات<sup>۲</sup> می باشد که در فضای موانع<sup>۳</sup> قرار ندارد. در این مقاله مسیر بهینه به مسیری گفته می شود که از مبدأ تا مقصد موجود باشد و کمترین مسافت را نیز داشته باشد [1] گاهی اوقات نداشتن زاویه های تند در مسیر حرکت نیز یکی از پارامترهایی خواهد شد که در انتخاب مسیر تاثیر گذار می باشد [2]. در این مقاله مسیر را برای یک ربات با سه درجه آزادی در فضای دو بعدی مد نظر قرار می دهیم مساله اصلی ما یافتن مسیر حرکت برای یک ربات در یک محیط شناخته شده است. یک سیستم بینایی ماشین در بالای ربات و مشرف به آن و موانع ثابت و متحرک فرض شده است به گونه ای که این سیستم بینایی ماشین موانع ثابت و متحرک موجود در محیط را تشخیص داده و به صورت دنباله از تصاویر مهیا می کند. تا کنون چندین روش برای مسیریابی در یک محیط ناشناخته ارائه شده است که روشهای مهم در این زمینه بر مبنای نمودار دید که حاصل خروجی حسگر های فاصله یاب ربات می باشد، عمل می کنند [3]. تعمیم الگوریتم  $A^*$  در راستای مسیر یابی بر اساس نقشه فاصله [4,5]، و ایجاد نقشه پویا از محیط و مسیر یابی در آن نقشه [6]، نمونه ای از این روشها می باشد.

<sup>4</sup> gride

<sup>5</sup> Barraquand

<sup>6</sup> artificial potential field

<sup>7</sup> Jiang

<sup>1</sup> Obstacle free workspace

<sup>2</sup> Configuration space

<sup>3</sup> Obstacle space

مسئله این است که چگونه سایز تصویر را تعیین کنیم، هرچه سایز تصویر بزرگتر باشد نمایش محیط دقیق تر می شود. اما استفاده از پیکسل های بیشتر منجر به افزایش نمایی فضای حافظه و محدوده ی جستجو خواهد شد [15]. روش هایی برای حل مساله مسیریابی مبتنی بر نقشه محیط (تصویر) توسط لاتومب<sup>8</sup> از قبیل روش های نقشه جاده، تجزیه سلولی و میدان پتانسیل پیشنهاد شده اند [16]. علاوه بر این در [17] کوتاهترین مسیر بین دو موقعیت مجزا در یک محیط دو بعدی یا سه بعدی شامل نواحی وزن دار، محاسبه شده است. در [18] مساله مسیریابی بصورت کامل فرمول بندی شده است و بر اساس این فرمول بندی یک روش برای یافتن مسیر بهینه و مقاوم ارائه شده است. در [19] مسیریابی کارا برای ربات شبه خودرو<sup>9</sup> بر مبنای روش بازگشتی تقسیم بندی مسیر بدون تصادم، ارائه شده است. در بخش ۲ یک بررسی کلی از مسیریابی در فضای تصویر و همچنین تصویر ورودی به قسمت مسیریاب را خواهیم داشت. در بخش ۳ چند روش مسیریابی را بیان خواهیم کرد. در بخش ۴ یک رویکرد جدید برای یافتن مسیر بهینه ارائه می شود و بخش ۶ نتایج حاصل از شبیه سازی و مقایسه آنها را ارائه می کند.

## ۲- مسیریابی در فضای تصویر

در مسیر یابی بر مبنای تصاویر مسیر شامل یک دنباله از مکان پیکسل های همسایه می باشد که ابتدای این دنباله مکان فعلی ربات و انتهای آن مکان نهایی ربات باشد و علاوه بر این دنباله زاویه ربات در هر یک از این پیکسل ها نیز نتیجه مسیریابی می باشد. در مسیریابی در فضای تصویر مسافت مسیر را میتوان تعداد پیکسل های مسیر در نظر گرفت.

در این مقاله فرض شده است که یک واحد بینایی ماشین به روشی موانع متحرک و ثابت را با متمایز کردن رنگ از یکدیگر جدا کرده است و هر فریم از تصویر شامل رنگ آبی برای موانع ثابت و رنگ قرمز برای موانع متحرک در نظر گرفته شده است.

ورودی یک مسیر یابی بر مبنای تصویر موقعیت کنونی و نهایی ربات و به علاوه دنباله ای از چنین تصاویری که موقعیت لحظه ای موانع متحرک در آنها مستتر میباشد میباشد. نخست لازم است تا تصویر را یک پارچه کنیم تا از پیچیدگی مساله کاسته شود.

با توجه به اینکه یک دنباله از تصاویر را در اختیار داریم میتوانیم با استفاده از اطلاعات زمانی سرعت حرکت موانع متحرک را در لحظه قبل محاسبه کرده و حدس مناسب از مکان های بعدی موانع متحرک داشته باشیم سپس میتوان کل مسیر حرکت چنین مانعی را در یک بازه زمانی بدست آورده و در تصویر مکان حرکت چنین مانعی را با یک مانع ثابت جایگزین کنیم. این عمل باعث میشود که ما فقط درگیر مسیر یابی در یک فضا با موانع ثابت باشیم. یک راهکار دیگر برای

مواجه مناسب با این عمل این است که مسیر یابی را با توجه به موانع ثابت انجام دهیم و زمانی که یک مانع متحرک به نزدیکی مکان ربات رسید آن را در نظر بگیریم و با مسیریابی در یک حاشیه امن از برخورد با موانع متحرک جلوگیری کنیم. این عمل دارای مزایای بیشتری نسبت به روش قبلی است اما پیچیدگی و حجم کار را بیشتر میکند. یکی دیگر از مواردی که باید مورد توجه قرار بگیرد ابعاد ربات است. هدف ما آن است که هیچ قسمتی از ربات با مانع برخوردی نداشته باشد. از آنجایی که همواره ربات دارای یک ابعاد میباشد و این ابعاد مسیر یابی را مشکل تر خواهد کرد میتوان ربات را فقط یک نقطه در نظر گرفت اما اطراف موانع را متناسب با فاصله ربات تا مرکز آن، جزئی از موانع فرض کرد. چنانچه ربات مورد نظر ما شکلی دایروی داشته باشد این فاصله را برابر با شعاع ربات در نظر می گیریم اما چنانچه ربات شکلی دیگر داشته باشد باید فاصله دورترین نقطه ربات تا مرکز را در نظر گرفت یا آنکه این فاصله متناسب خواهد شد با زاویه ربات نسبت به دیواره مانع که باعث پیچیدگی زیادی خواهد شد و با توجه به بروز بودن مسیریابی و نیاز به محاسبات کم از این روش استفاده نمیشود. شکل ۱ نمونه ای از تصویر ورودی و تصویر باینری با حاشیه امن را نشان میدهد.

## ۳- روشهای مسیر یابی

برای مسیر یابی میتوان از روشهای مختلف استفاده کرد که از جمله آنها میتوان به  $A^*$  و یا جستجوی های ابتکاری اشاره کرد، در ادامه به چند روش از آنها اشاره مختصری میشود و چند روش پیشنهادی نیز بیان خواهد شد. از آنجا که ربات، دایروی و دارای چهار چرخ خورشیدی در نظر گرفته شده است. ربات هلونمیک بوده و مسیر این ربات کاملاً مستقل از زاویه ربات میشود و مشکل اصلی ما در چنین مسیر یابی یافتن مکان است و زاویه ربات بعد از یافتن مسیر بدون زاویه محاسبه خواهد شد.

### ۱-۳- مسیر یابی با استفاده از مفاهیم میدان پتانسیل

یکی از روشهای مرسوم در مسیر یابی استفاده از میدان گرادیان به عنوان راهنمای ربات است. در این روش مسیر حرکت ربات به سمتی خواهد بود که میدان گرادیان دفع کننده<sup>10</sup> کمترین مقدار و میدان گرادیان جذب<sup>11</sup> کننده بیشترین مقدار را داشته باشد. گرادیان دفع کننده باید متناسب با معکوس فاصله تا موانع باشد در حقیقت این قسمت از میدان گرادیان، مسیر را از فضای موانع دور میکند. و گرادیان جذب کننده باید متناسب با فاصله تا مقصد باشد تا ربات را به سمت مقصد هدایت کند. برای محاسبه چنین میدان هایی معادلات متفاوتی

<sup>10</sup> Repulsive Field

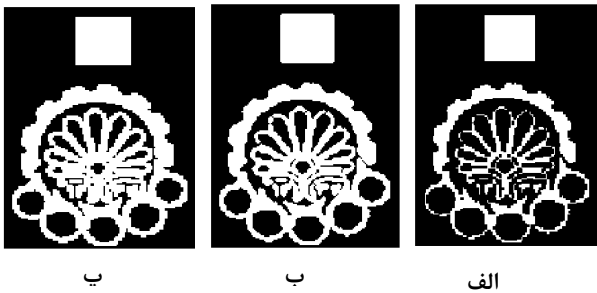
<sup>11</sup> Attractive Field

<sup>8</sup> Latombe

<sup>9</sup> car-like robot

### ۱-۳-۱- روش پیشنهادی برای محاسبه میدانی گرادیان موانع بر مبنای تصویر:

در این روش شکل موانع را به صورت یک شمایل باینری<sup>۱۲</sup> در نظر گرفته می شود که یک میدان گرادین دافعه برای آن ها باید محاسبه شود. هر تصویر باینری یک ماتریس با مقادیر ۰ و ۱ می باشد. چنین فرض میکنیم که مکان موانع را با مقدار ۱ از زمینه جدا کرده ایم. عملگر بزرگ ساز را اینگونه تعریف میکنیم که هر پیکسل با مقدار ۰ که در همسایگی یک پیکسل با مقدار ۱ قرار دارد را به مقدار ۱ تغییر میدهیم این بدین معناست که لبه خارجی هر مانع را به مانع اضافه کنیم. برای پیاده سازی این عملگر میتوان از همین مفهوم استفاده کرد و یک لبه یابی ساده انجام داد و به مانع اضافه کرد یا آنکه تصویر را با تصویرهای شیفت یافته آن به اندازه ۱ پیکسل در چهار جهت (چنانچه از همسایگی ۴ تایی استفاده شود) یا در ۸ جهت (چنانچه از همسایگی ۸ تایی استفاده شود) ترکیب کنیم. این ترکیب با بیان "یا" منطقی میباشد. در شکل زیر تصاویر حاصل از این عملگر برای یک شکل را در همسایگی ۴ تایی و ۸ تایی مشاهده میکنیم.



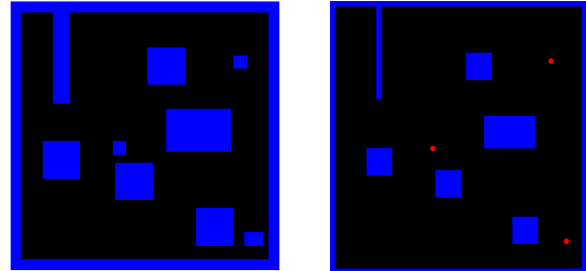
شکل ۲: عملگر بزرگ کننده (الف) تصویر اصلی (ب) عملگر بزرگ کننده با همسایگی ۴ تایی (ب) عملگر بزرگ کننده با همسایگی ۸

در روش پیشنهادی برای محاسبه میدان گرادیان از شمایل باینری یک پارامتر  $\rho$  تعریف می شود. این پارامتر همانند پارامتر  $\rho_0$  در معادله ۱ عمل میکند و باعث میشود که هر مانع تا یک فاصله مشخص ( $\rho$ ) پیکسل) اثر گذار باشد و بعد از این فاصله اثری نداشته باشد. میدان گرادیان این گونه محاسبه می شود که عملگر بزرگ کننده  $\rho$  (با همسایگی ۸ تایی یا ۴ تایی) به تصویر اعمال میشود و در هر بار، تصویر حاصله را با ضریب  $\frac{1}{4}$  با یکدیگر جمع می کنیم. ضریب  $\frac{1}{4}$  باعث می شود تا مقدار جمع شونده در هر مرحله که برای فواصل دور تر از مانع می باشد را کمتر کند. در شکل زیر یک تصویر و میدان گرادیان بدست آمده از آن نشان داده شده است.

وجود دارد. یکی از این معادلات برای محاسبه میدان دافعه هر مانع به صورت زیر میباشد []:

$$U_{rep,i}(q) = \begin{cases} \frac{1}{2}\eta_i \left( \frac{1}{\rho(o_i(q))} - \frac{1}{\rho_0} \right)^2 & ; \rho(o_i(q)) \leq \rho_0 \\ 0 & ; \rho(o_i(q)) > \rho_0 \end{cases} \quad (1)$$

که در آن میدان از یک شعاع اثر گذاری تبعیت میکند و نتایج نشان داده است که میتواند مقدار مناسبی به عنوان میدان گرادیان داشته



شکل ۱: الف) تصویر موانع ب) شمایل باینری موانع با احتساب حاشیه امن

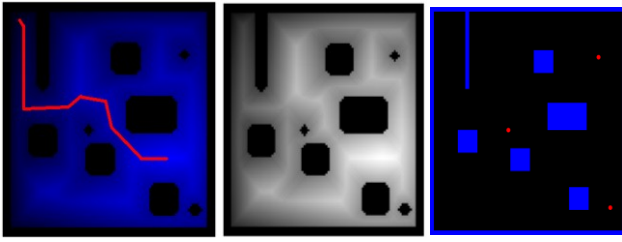
باشد. از طرفی دیگر برای محاسبه میدان جذب کننده نیز روشهای مختلفی بیان شده است که یکی از این روش ها به صورت زیر میباشد:

$$U_{att,i}(q) = \begin{cases} \frac{1}{2}\zeta_i \|o_i(q) - o_i(q_f)\|^2 & ; \|o_i(q) - o_i(q_f)\| \leq d \\ d\zeta_i \|o_i(q) - o_i(q_f)\| - \frac{1}{2}\zeta_i d^2 & ; \|o_i(q) - o_i(q_f)\| > d \end{cases} \quad (2)$$

این تعاریف دارای خواص مناسبی میباشند و کارایی آنها در شرایط مختلف سنجیده شده است. چنانچه اشاره شد در یک مسیر یابی بر مبنای تصویر هدف یافتن یک دنباله از پیکسل ها می باشد که از مقصد شروع شده و به مبدا برسد. برای این منظور میتوان فاصله هر پیکسل تا موانع و فاصله تا مقصد را محاسبه نموده و بر اساس آنها مطابق با روابط فوق میدان دافعه هر مانع و میدان جاذبه را محاسبه کرد. هر چند که این کار میتواند جواب مناسبی را ایجاد کند اما دارای محاسبات و پیچیدگی زیاد می باشد که مطلوب نیست، به عنوان مثال برای یافتن نزدیکترین نقطه هر مانع تا مکان پیکسل باید ابتدا هر مانع لبه یابی شود و سپس نزدیکترین نقطه هر مانع تا جسم مشخص شود و بر اساس آن میدان دافعه موانع محاسبه گردد که محاسبات زیادی را طلب می کند.

با توجه به این امر روش دیگری را برای محاسبه میدان گرادیان بیان خواهیم کرد که میتواند جوابی مشابه و با محاسبات کمتر ایجاد کند.

<sup>12</sup> Binary Shape

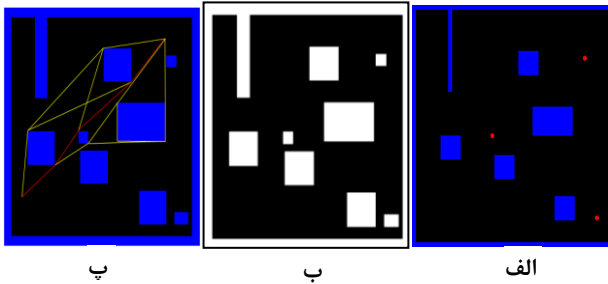


شکل ۵: کار کرد میدان گرادیان (الف) تصویر موانع (ب) میدان گرادیان ترکیب شده (پ) مسیر یافته شده با میدان گرادیان

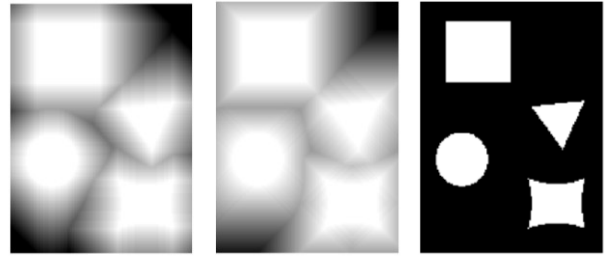
محاسبه گرادیان را یکبار و با هم بر روی موانع اعمال کرد ضرایب  $\alpha$  و  $\beta$  نیز در این روش بسیار اثر گذار خواهند بود.  $\hat{G}$  یک ترکیب مناسب از میدانهای جاذبه میباشد اما در مکان هایی که بر روی موانع قرار دارد نیز میتواند مقدار داشته باشد که این مطلوب نمی باشد برای رفع این مشکل ابتدا آن را نرمالایز میکنیم و سپس مقادیر آن را که در فضای مانع قرار دارد صفر میکنیم. سپس از مکان فعلی ربات شروع میکنیم و در هر مکان پیکسلی که در همسایگی ۸ تایی مکان فعلی است و بیشترین مقدار را دارد به عنوان مکان بعدی مسیر انتخاب میشود و همین روند تکرار میشود تا زمانی که به نقطه پایانی برسیم. شکل ۵ میدان گرادیان ترکیب شده و مسیر حاصل از این عملگر با ضرایب  $\alpha = 1$  و  $\beta = 0.5$  را نشان میدهد.

### ۲-۳- روش عبور از گوشه ها

این روش بر مبنای یک شمایل باینری از موانع ایجاد می شود. این روش به صورت الگوریتمی و براحتی قابل بیان است از نقطه شروع خط مستقیمی به سمت هدف در نظر گرفته می شود چنانچه در این مسیر مانعی وجود دارد دو مسیر از نقطه شروع به بیرونی ترین گوشه جسم در نظر گرفته می شود و برای هر مسیر همین روند، تکرار می شود تا نهایتاً به مقصد برسیم سپس مصافط طی شده در هر مسیر محاسبه می شود و مسیری که کمترین فاصله را دارد، بهینه ترین مسیر می باشد. این روش نیاز به محاسبات زیادی دارد زیرا باید در هر مرحله بیرونی ترین گوشه جسم محاسبه شود، اما یک مسیر بهینه را ایجاد میکند در شکل ۶ مسیر بهینه که از این روش بدست می آید نشان داده شده است.



شکل ۶: کار کرد مسیر یابی با روش عبور از گوشه ها (الف) تصویر موانع (ب) شمایل باینری موانع با احتساب حاشیه امن (پ) مسیر های یافته شده با این روش (مسیر قرمز مسیر بهینه میباشد).

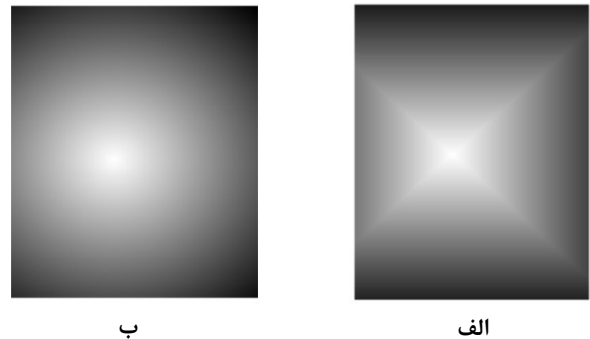


شکل ۳: میدان گرادیان (الف) تصویر باینری موانع (ب) میدان

گرادیان با بزرگ کننده ۴ تایی (پ) میدان گرادیان با بزرگ کننده ۸ هرچند که میتوان میدان گرادیان جاذبه را نیز به همین روش محاسبه کرد اما چون مکان هدف برای چندین دنباله از تصاویر مشخص است و یافتن فاصله هر پیکسل تا هدف یک بار محاسبه می شود بنابراین محاسبه دقیق میدان گرادیان جاذبه محاسبات زیادی نمی خواهد میتوان به راحتی محاسبه میدان بر حسب فاصله را بدست آورد و بر اساس آن میدان گرادیان را حساب کرد. در شکل ۴ میدان گرادیان محاسبه شده بر اساس فاصله و روش پیشنهادی با یکدیگر مقایسه شده اند. برای یافتن مسیر با استفاده از میدان گرادیان یک تصویر که حاصل از ترکیب میدان دافعه و میدان جاذبه است را مطابق با رابطه زیر ایجاد میکنیم.

$$\hat{G} = \alpha \overline{G_{atr}} - \beta \sum_i \overline{G_{rep,i}} \quad (3)$$

در رابطه فوق  $\overline{G_{atr}}$  میدان نرمالایز شده جاذب و  $\overline{G_{rep,i}}$  میدان نرمالایز شده دافع برای مانع  $i$  ام میباشد. هرچند که در رابطه فوق با یک جمع میدان های دافع با یکدیگر ترکیب شده اند اما این عمل باعث میشود که در مکانهایی که میدان موانع روی هم رفتگی<sup>۱۳</sup> داشته باشند نیز با یکدیگر جمع شوند و میدان دافعه را افزایش دهند که مطلوب نیست برای حل این مشکل پیشنهاد میشود در مکان هایی که روی هم رفتگی میدانها را داریم از آنها میانگین گیری کنیم. لازم به ذکر است که چنانچه فاصله بین موانع را از یک حدی بیشتر باشند این اتفاق چندان اثر گذار نیست و حتی میتوان الگوریتم پیشنهادی برای

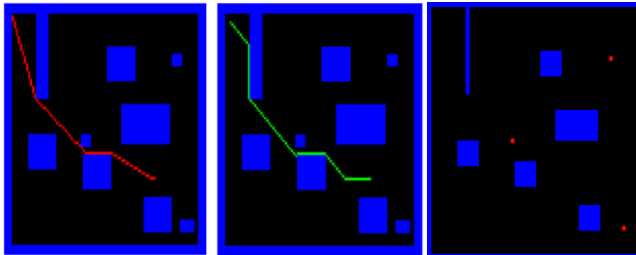


شکل ۴: میدان گرادیان جاذبه (الف) محاسبه شده با الگوریتم پیشنهادی (ب) محاسبه شده متناسب با نسبت عکس فاصله

<sup>13</sup> Over lapping

### ۳-۳- مسیر یابی نزدیک ترین همسایه آزاد

عبور از گوشه ها دارد در حالی که جوابی مناسب را ارائه می کند. البته در حضور یک مانع مقعر چون روش نزدیکترین همسایه جوابگو نیست این روش نیز جوابگو نخواهد بود. در شکل ۸ یک مسیر بهینه شده توسط روش پیشنهادی نشان داده شده است.



شکل ۸: کارکرد بهینه سازی مسیر الف) تصویر موانع ب) شمایل باینری موانع و مسیر یافته شده با روش نزدیکترین همسایه آزاد پ) مسیر بهینه شده توسط الگوریتم پیشنهاد شده

نقاط اتصال<sup>۱۴</sup> نقاطی خواهند بود که انتهای پاره خط ها را مشخص میکند. این نقاط هر چند که با یکدیگر همسایه نمی باشند اما یک بیان کامل از مسیر می باشند و مسیر به صورت حرکت روی خط مستقیم از نقاط عبوری می باشد. این نقاط در سایر روشها نیز قابل بیان خواهند بود. به صورت مشخص گوشه ها در روش عبور از گوشه ها و مختصات پیکسل ها در دو روش ذکر شده دیگر بیان نقاط عبوری خواهد بود. این نقاط عبوری خروجی قسمت مسیر خواهد بود.

### ۵- زاویه حرکت ربات

چنانچه ذکر شد مسیر این ربات کاملاً مستقل از زاویه ربات فرض میشود و میتوان در هر نقطه از مسیر زاویه ربات را با رابطه زیر محاسبه کرد. که در آن  $N$  تعداد کل نقاط عبوری  $\varphi_{Str}$  و  $\varphi_{end}$  نیز زاویه هدف و زاویه موقعیت فعلی ربات میباشد.  $\varphi_i$  زاویه ربات در نقطه عبوری  $i$ ام از اولین نقطه میباشد.

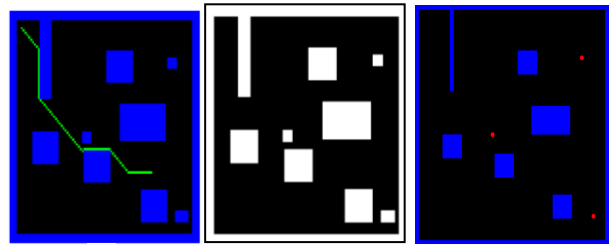
$$\varphi_i = \varphi_{Str} + i \frac{\varphi_{end} - \varphi_{Str}}{N} \quad (4)$$

لازم به ذکر است که چنانچه ربات دارای درجه آزادی مناسب (حداقل سه درجه آزادی) نباشد فرض جدایی پذیری زاویه از مکان ربات کاملاً غیر قابل قبول خواهد بود. همچنین اگر شکل هندسی ربات دایروی نباشد برای یافتن مسیر با کمترین فاصله باید مقدار زاویه نیز در این ربات با یک روند به مسیریابی اضافه شود تا مسیر بهینه به دست آید.

### ۶- مقایسه روشهای معرفی شده

در این مقاله ۴ روش ارائه شد اما می توان نشان داد که همواره روش عبور از گوشه ها جواب بهینه را ایجاد میکند بر این مبنا برای مقایسه روشها پارامتر زیر را تعریف می کنیم:

برای این روش نیز همانند روش عبور از گوشه ها ابتدا یک شمایل باینری با افزایش محیط موانع جهت حفظ فاصله ربات تا موانع ساخته خواهد شد. سپس در هر نقطه از تصویر، مکان بعدی ربات پیکسل همسایه ای می باشد که نزدیکترین فاصله به مقصد را دارد و تکراری نبوده و بر روی مانع ها قرار نداشته باشد. این روش برای پیاده سازی بسیار ساده است و محاسبات بسیار کمی دارد هر چند که مسیر یافته شده ممکن است بهینه نباشد و یا مسیر در برخی حالات پیدا نشود. نمونه ای از این مسیریابی در شکل ۷ نشان داده شده است.



شکل ۷: کارکرد مسیر یابی با روش نزدیکترین همسایه الف) تصویر موانع ب) شمایل باینری موانع با احتساب حاشیه امن پ) مسیر یافته شده با این روش

روشی مانند جستجوی A-Star یک بهینه سازی بر روی این مسیر یابی است.

### ۴- رویکردی دیگر در مسیر یابی

هرچند که در بیشتر موارد رویکرد اصلی در یافتن مسیر بهینه در اولین قدم می باشد اما یک رویکرد دیگر که می تواند مناسب تر باشد یافتن یک مسیر مناسب و سپس بهینه کردن این مسیر می باشد. این عمل می تواند ما را به سمت یک مسیر بهینه ببرد و در عین حال محاسبات کمتری داشته باشد. یک روش پیشنهادی برای بهینه کردن مسیر که پیچیدگی محاسباتی کمی نیز دارد در ادامه توضیح داده خواهد شد.

### ۴-۱- یک روش پیشنهادی برای بهینه کردن مسیر

ابتدا با یک روش که حجم محاسبات کم دارد مانند روش نزدیکترین همسایه آزاد را برای یافتن مسیر اولیه اعمال می کنیم سپس اولین نقطه را به عنوان شروع یک پاره خط در نظر گرفته می شود و نقطه دیگر با فاصله  $n$  نقطه از شروع روی مسیر را به عنوان پایان پاره خط در نظر می گیریم چنانچه این پاره خط با هیچ مانعی برخورد نداشته باشد نقطه با فاصله  $2n$  نقطه را به عنوان پایان پاره خط در نظر می گیریم و چنانچه برخورد با مانع وجود داشته باشد  $n-1$  امین نقطه بعد را در نظر خواهیم گرفت و این روند را ادامه می دهیم تا زمانی که به نقطه پایانی برسیم. این روند دارای محاسبات کمتری نسبت به روش

<sup>14</sup> Via points

- [3] T. E. Boulton, "Dynamic digital distance maps in two dimensions," *IEEE Trans. Robot. Autom.*, vol. 6, no. 5, pp. 590–597, Oct. 1990.
- [4] K. Subbarao and S. D. Larry, "Multiresolution path planning for mobile robots," *IEEE J. Robot. Autom.*, vol. RA-2, no. 3, pp. 135–145, Sep. 1986.
- [5] C. Alexopoulos and P. M. Griffin, "Path planning for a mobile robot," *IEEE Trans. Syst., Man, Cybern.*, vol. 22, no. 2, pp. 318–322, Mar./Apr. 1992.
- [6] A. Zelinsky, "A mobile robot exploration algorithm," *IEEE Trans. Robot. Autom.*, vol. 8, no. 6, pp. 707–717, Dec. 1992.
- [7] T. G. Zheng, Huan H, Aaron S, "Ant Colony System Algorithm for Real Time Globally Optimal Path Planning of Mobile Robots," *ACTA AUTOMATICA SINICA*, vol.33, pp. 279-285, 2007.
- [8] Ge S S, Cui Y J "New potential functions for mobile robot path planning", *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, vol. 16, p.615-620, 2000.
- [9] Li L, Ye T, Tan M. "Present state and future development of mobile robot technology research".*Conf. Robot*, p.475-480, 2002.
- [10] V. Boschian, A. Pruski, "Grid modeling of robot cells: a memory-efficient approach", *Journal of Intelligent and Robotic Systems*, 8(2), 1993, pp. 201-223.
- [11] R. R. Murphy, K. Hughes, A. Marzilli, and E. Noll, "Integrating explicit path planning with reactive control of mobile robots using trulla," *Robotics and Autonomous Systems*, vol. 27, pp. 225-245, 1999.
- [12] J. Barraquand, B. Langlois, and J. C. Latombe, "Numerical potential field techniques for robot path planning," *IEEE Trans. Syst., Man, Cybern.*, vol. 22, no. 2, pp. 224–241, Mar./Apr. 1992.
- [13] X. Yang, M. Moallem, and R. V. Patel, "A layered goal-oriented fuzzy motion planning strategy for mobile robot navigation," *IEEE Trans. Syst., Man, Cybern. B, Cybern.*, vol. 35, no. 6, pp. 1214–1224, Dec. 2005.
- [14] K. Jiang, L. D. Seneviratne, and S.W. E. Earles, "Shortest path based path planning algorithm for nonholonomic mobile robots," *J. Intell. Robot. Syst., Theory Appl.*, vol. 24, pp. 347–366, Apr. 1999.
- [15] Y. Gabrieli and E. Rimón, "Competitive On-line Coverage of Grid Environments by a Mobile Robot," *Computational Geometry*, vol. 24, no. 3, pp. 197-224, April 2003.
- [16] J. C. Latombe, *Robot Motion Planning*. Boston, MA: Kluwer, 1991.
- [17] R. J. Szczerba, D. Z. Chen, and J. J. Uhran, "Planning shortest paths among 2D and 3D weighted regions using framed-subspaces," *Int. J. Robot. Res.*, vol. 17, pp. 531–546, May 1998.
- [18] T. C. Hu, A. B. Kahng, and G. Robins, "Optimal robust path planning in general environments," *IEEE Trans. Robot. Autom.*, vol. 9, no. 6, pp. 775–784, Dec. 1993.
- [19] J. P. Laumond, P. E. Jacobs, M. Taix, and R. M. Murray, "A motion planner for nonholonomic mobile robots," *IEEE Trans. Robot. Autom.*, vol. 10, no. 5, pp. 577–593, Oct. 1994.

$$Path\ Ratio = \frac{Path\ Distance}{Angel\ method\ Distance} \quad (5)$$

که  $Path\ Distance$  طول مسیر یافته شده است و  $Angel\ method\ Distance$  طول مسیر یافته شده با روش عبور از گوشه‌هاست نتایج حاصل از اجرای مستقل الگوریتم برای نقاط شروع و پایان متفاوت در یک محیط شبیه سازی شده که مانع مقرر در آن نباشد در جدول ۱ نشان داده شده است. چنانچه مشاهده می شود بهینه ترین مسیر توسط روش عبور از گوشه ها بدست می آید و سریعترین روش روش نزدیکترین همسایه آزاد است. نتایج بدست آمده از روش میدان گرادیان نتایج مناسبی نمی باشند در حالی که این اتفاق می تواند بدلیل عدم تنظیم صحیح پارامترهای  $\alpha$  و  $\beta$  باشد. روش پیشنهادی در بهینه کردن مسیر دارای زمان معقول و مصافت طی شده مناسبی میباشد.

جدول ۱: نتایج حاصل از پیاده سازی روشها

	بهینه شده مسیر	نزدیکترین همسایه آزاد	عبور از گوشه ها	میدان گرادیان پیشنهادی
Path Ratio	1.830	3.921	1	8.653
Mean Distance	42.444	90.932	23.191	200.678
CPU time	2.098	1.343	3.872	1.872

## ۷- نتیجه گیری

با توجه به نتایج ارائه شده در جدول ۱ به طور صریح می توان نتیجه گرفت که رویکرد جدید برای یافتن مسیر بهینه دارای کارایی مناسب تری نسبت به روشهای دیگر است. هرچند که کوتاهترین مسیر توسط روش عبور از گوشه ها به دست می آید اما محاسبات انجام شده برای این روش زیاد می باشد و این یک نکته منفی در این نوع مسیریابی می باشد از طرفی نزدیکترین همسایه آزاد کمترین محاسبات را دارد اما مسیر یافته شده بهینه نیست. روش میدان گرادیان به صورت پایه نیاز به محاسبات زیاد داد در حالی که با روش پیشنهادی برای محاسبه گرادیان زمان اجرا الگوریتم کمتر می شود هرچند که بدلیل وابستگی زیاد روش های مبتنی بر گرادیان به پارامترهای  $\alpha$  و  $\beta$  جوابهای ارائه شده توسط این الگوریتم چندان مناسب نیستند.

## مراجع

- [1] K. Jan, G. Y. Chang and I. Parberry "Optimal path planning for mobile robot navigation", *IEEE/ASME Trans. Mechatronics*, vol. 13, p.451, 2008.
- [2] Tae-Kyeong Lee, Sang-Hoon Baek, Young-Ho Choi and Se-Young Oh, "Smooth coverage path planning and control of mobile robots based on high-resolution grid map representation", *Robotics and Autonomous Systems*, vol. 59, pp. 801–812, 2011.