

## سیستم های پردازش تصویر سه بعدی به روش Triangulation و بررسی روش های موفق موجود

محمد جوادی  
دانشگاه امام حسین

چکیده - باگسترش روزافزون کاربردهای تصاویر سه بعدی در علوم مختلف و تلاش برای پردازش آنها در این مقاله به ارایه راهکارها و روشهایی در راستای دستیابی به این مهم برای موارد خاص با سطوح گسترده پرداخته شده است و در انتها نیز بهترین روش معرفی شده است.

کلید واژه- اسکتر، تصویر برداری سه بعدی، روشهای فعال، لیزر

### مقدمه

اطمینان متفاوتی می باشند. به منظور طراحی یک سیستم داده برداری مناسب، ابتدا باید این روشها بررسی شده و با توجه به ویژگیهای هر روش، یکی از آنها انتخاب شود. به طور کلی روشهایی که به منظور تعیین پروفایل سطح مورد استفاده قرار می گیرند به دو دسته تقسیم می شوند: روشهای تماسی<sup>1</sup> و روشهای غیر تماسی<sup>2</sup>. اصولاً سیستمهایی که بر اساس روش تماسی عمل می کنند دارای سرعت کمی بوده و به دلیل وجود قسمتهای مکانیکی متحرک، نیاز به تعمیر و نگهداری زیادی داشته و دارای طول عمر نسبتاً کمی هستند. بنابر این امروزه استفاده از این روشها چندان مناسب نیست.

در روشهای غیر تماسی از طریق امواج بازتابیده شده از سطح، پروفایل آن شناسائی می شود. این امواج ممکن است نور، امواج مافوق صوت، امواج میکروویو و غیره باشند. از میان امواج مختلف، نور به دلیل ساده و ارزان بودن

تصاویر سه بعدی در بسیاری از زمینه ها کاربرد دارند. به عنوان نمونه هایی از این کاربردها می توان به شبیه سازی یک قطعه مکانیکی (مهندسی معکوس)، بررسی انطباق قطعات مکانیکی تولید شده با یک مدل استاندارد مرجع (بازرسی صنعتی)، ایجاد مدل های سه بعدی از افراد به منظور استفاده در ویدیو کنفرانس (حقیقت مجازی)، بررسی اعضای بدن از جمله مغز و همچنین تومورهای سرطانی به شکل سه بعدی (tomography)، مسیر یابی، تخمین فاصله ها، و شناسائی اشیاء مختلف بوسیله یک روبات (روباتیک) و غیره اشاره کرد. با توجه به کاربردهای وسیع این موضوع کارها و تحقیقات زیادی در زمینه ساخت و بهینه کردن اسکنرهای سه بعدی و نرم افزارهای مرتبط با آنها انجام شده است.

### 1- تصویر برداری سه بعدی

سیستمهایی که بتوانند به طور خودکار یک مدل سه بعدی از سطح ارائه دهند، می توانند بسیار مفید باشند. اولین قدم در ایجاد یک مدل سه بعدی از رویه مورد نظر داده برداری است، یعنی باید با استفاده از یک سیستم سخت افزاری، مختصات نقاط مختلف سطح رویه را اندازه گیری کرد. به منظور اندازه گیری ارتفاع یک نقطه روشهای مختلفی وجود دارد که هر کدام دارای مزایا و معایبی بوده و با توجه به پیچیدگی و هزینه ساخت دارای دقت و قابلیت

1 -Contact

2 -Non Contact

مدل سه بعدی که در انتها بدست می آید چندان دقیق نیست. می توان با استفاده از دوربینهای بسیار دقیق ، دقت مدل را افزایش داد اما با این کار قیمت سیستم و زمان پردازش نیز افزایش می یابد.

## 2-1- روشهای فعال

در این روشها علاوه بر نور محیط از منابع دیگر نظیر نور لیزر و یا پروژکتور نیز استفاده می شود. بسیاری از روشهای فعال ، برای بدست آوردن تصاویر سه بعدی از triangulation استفاده می کنند به این شکل که جسم از یک جهت نور دهی می شود و از جهتی دیگر توسط یک سنسور دیده می شود. زاویه تابش نور ، زاویه دید و فاصله بین منبع نور و سنسور از پارامترهای اصلی triangulation به شمار می روند.

از جمله معروفترین روشهای فعال که از triangulation استفاده می کنند عبارتند از:

Single Spot -  
Sheet of light -  
Coded light -

در ادامه روشهایی که بر اساس triangulation عمل می کنند مورد بررسی قرار می گیرند:

### 1-2-a Single Spot

در این روش یک نقطه (spot) نوری ، جسم را اسکن می کند بطوریکه در هر لحظه یک نقطه از جسم روشن می شود. به عنوان مثال اگر یک جسم به  $N \times M$  نقطه تقسیم بندی شود، باید  $N \times M$  بار مکان نور نقطه ای تغییر کرده و هر بار سنسور موقعیت آنرا تشخیص دهد (به شکل 1-1 مراجعه کنید). در این روش موقعیت نور بازتابیده شده به صفحه حسگر نشانگر فاصله منبع نور تا سطح جسم می باشد. با استفاده از روابط مثلثاتی می توان با داشتن فاصله بین لیزر و مرکز نوری حسگر ، جهت نور تابیده شده و همچنین جهت نور انعکاسی ( که با توجه به مکان آن روی حسگر مشخص می شود ) ، فاصله منبع نور تا سطح را بدست آورد. اشکال این روش آن است که به منظور اسکن کردن کل سطح ، باید با استفاده از تجهیزات مکانیکی نسبتاً پیچیده نقطه نورانی را روی سطح جابجا کرد. علاوه بر آن با

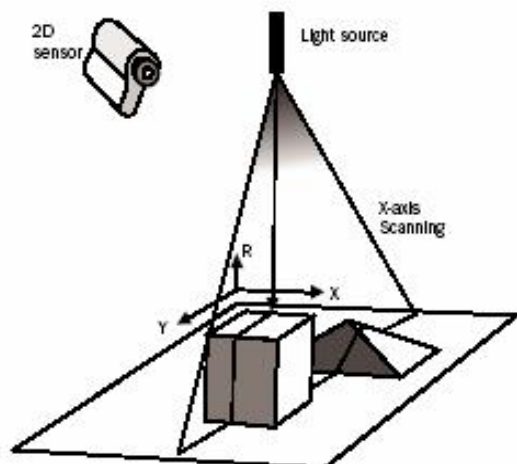
ابزارهای ارسال و دریافت ، کوتاه بودن طول موج ( که امکان اندازه گیری با دقت زیادی را فراهم می کند ) و عدم وابستگی آن به شرایط محیطی مورد توجه زیادی قرار دارد. مخصوصاً نور لیزر به دلیل واگرا نشدن در طول مسیر در تعیین پروفایل سطح از بهترین گزینه ها به شمار می رود. روشهایی که بر اساس امواج نور عمل می کنند خود به دو گروه عمده فعال<sup>3</sup> و غیر فعال<sup>4</sup> تقسیم بندی می شوند.

## 1-1- روشهای غیر فعال

در این روشها از هیچ منبع نور خاصی بجز نور محیط، استفاده نمی شود. معروفترین روش غیر فعال Stereo Vision نام دارد که در آن با استفاده از حداقل دو تصویر که از جهات مختلف گرفته شده اند ، تصویر سه بعدی تشکیل می شود. در این روش ابتدا به منظور پیدا کردن رابطه بین تصاویر ، آنها را پردازش کرده و سپس با شناسائی نقاط مشترک بین این تصاویر هندسه سه بعدی جسم را بدست می آورند. بر خلاف سادگی ظاهری این روش ( که تنها با استفاده از دو دوربین می توان آنرا پیاده سازی کرد ) ، سیستمهای تجاری که بر اساس Stereo Vision عمل می کنند بسیار پیچیده اند زیرا اغلب ( بخصوص اگر بیش از دو دوربین مورد استفاده قرار گیرد) پیدا کردن نقاط مشترک بین تصاویر مختلف مشکل است بطوریکه گاهی به منظور بهتر شدن کیفیت تصاویر از یک منبع نور کمکی نیز استفاده می شود. علاوه بر آن ، برای پردازش تصاویر بدست آمده به منظور بدست آوردن یک مدل نه چندان دقیق بیش از ده دقیقه زمان لازم است. همچنین در صورت استفاده از دوربینهای دیجیتال عادی

3 -Active

4 -Passive



شکل 1-2: نمایش نحوه اعمال triangulation با

استفاده از روش sheet of light

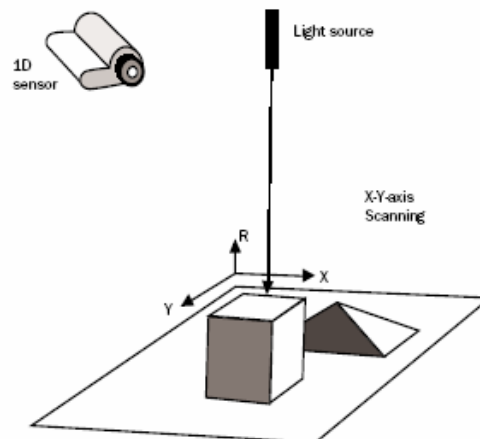
با مشخص کردن این پروفایل از طریق روشهای پردازش تصویر، می توان محاسبات لازم برای پیدا کردن نقاط مختلف سطح را انجام داد.

ضخامت صفحه نور در این روش دارای اهمیت است.

### c-1-2- Coded light

در این روش جسم توسط چندین الگوی کد شده نور دهی و بوسیله یک سنسور دو بعدی دیده می شود. سنسور با توجه به تغییرات الگوی نور ارسالی ، پستی و بلندیهای سطح را تشخیص می دهد. (به شکل 1-3 مراجعه کنید) از جمله الگوهای مورد استفاده در این روش phase coded patterns و gray coded patterns می باشند. با توجه به اینکه در این روش نیازی به جابجا کردن منبع نور و سنسور نیست ، ممکن است سریعتر از روشهای دیگر به نظر برسد اما باید توجه داشت که منبع نور باید بتواند الگوهای مختلف نور را با کیفیت و سرعت قابل قبول ایجاد کند. بنابراین مشکل اصلی در این روش طراحی منبع است نه طراحی سنسور. عیب دیگر این روش آن است که جابجا شدن جسم در زمان اسکن کردن باعث ایجاد خطا می شود.

توجه به اینکه در هر لحظه تنها موقعیت یک نقطه از سطح مشخص می شود، به کندی عمل می کند. برای رفع این نقص گاهی از دو اسکنر هماهنگ به طور همزمان استفاده می شود.



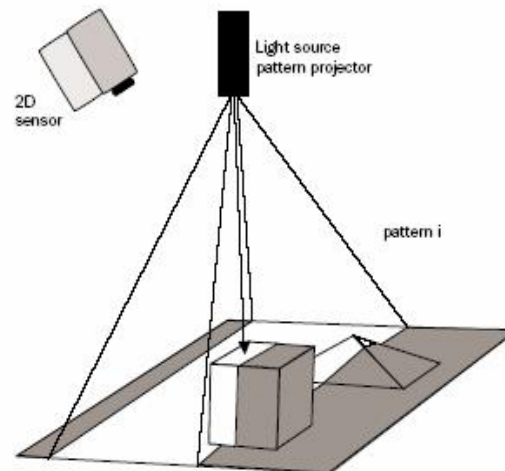
شکل 1-1: نمایش نحوه اعمال triangulation با

استفاده از روش single spot

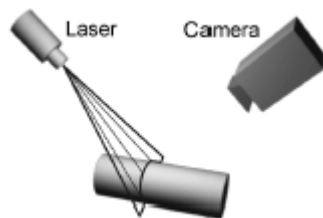
### b-1-2- Sheet of light

در این روش صفحه ای از نور جسم را اسکن می کند بطوریکه در هر لحظه باریکه ای از جسم (به شکل یک خط) روشن می شود. پس از هر بار جابجائی این صفحه نور ،  $M$  نقطه از جسم که در یک راستا قرار دارند اسکن می شوند. بنابراین اگر جسم را به  $N \times M$  نقطه تقسیم بندی کنیم ، باید  $N$  بار صفحه نور جابجا شود. (به شکل 1-2 مراجعه کنید) هر بار که صفحه نور در یک موقعیت جدید قرار می گیرد ، پستی و بلندیهای سطح باعث می شود باریکه نور تابیده شده به سطح ، با پروفایل خاصی توسط حسگر دیده شود.

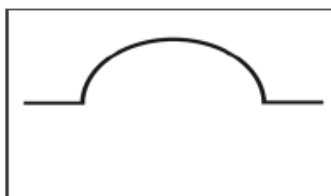
فاصله بین منبع نور و مرکز نوری حسگر (که baseline نامیده می‌شود) و همچنین جهت باریکه نور تابیده شده معلوم باشد، با توجه به هندسه مسأله می‌توان با حل روابط مثلثاتی خاصی، فاصله را بدست آورد. در واقع چون اساس کار این روش بر روابط مثلثاتی قرار دارد آنرا **triangulation** می‌نامند. پارامتر سوم این روش یعنی جهت باریکه نور بازتابیده شده به صفحه حسگر، با توجه به موقعیت این باریکه بر روی صفحه حسگر تعیین می‌شود. تابیدن صفحه نوری به پستی و بلندیها، پروفایلی از سطح را به شکل یک منحنی، روشن می‌کند که بوسیله حسگر دیده می‌شود. با تعیین شکل منحنی تشکیل شده بر روی صفحه حسگر، داده‌های خام برای محاسبه پروفایل سه بعدی سطح بدست می‌آید.



شکل 1-3: نمایش نحوه اعمال triangulation با استفاده از روش coded light



الف: ساختار کلی



ب: منحنی روشن دیده شده بوسیله دوربین

شکل 1-2: تصویر برداری سه بعدی با استفاده از صفحه‌ای از نور

## Time of Flight - 1-2-d

معروفترین روش فعال که از triangulation استفاده نمی‌کند، Time of Flight نام دارد که در آن مدت زمانی که لازم است تا یک پالس نوری ارسالی پس از برخورد با جسم برگردد، اندازه گیری می‌شود. این مدت زمان نشانگر فاصله جسم تا حسگر می‌باشد. سرعت بالای امواج الکترومغناطیس باعث می‌شود استفاده از این روش برای بدست آوردن تصاویر سه بعدی دقیق مشکل شود زیرا تغییرات کوچکی در ارتفاع، تاخیر زمانی فوق العاده کمی را در بازگشت نور ایجاد می‌کند.

با توجه به مزایای Sheet of light triangulation، از جمله سادگی نسبی، دقت مناسب و در دسترس بودن تجهیزات لازم، این روش به عنوان روش بهینه مورد تایید قرار گرفته است. در ادامه اساس کار این روش، چگونگی ایجاد صفحه نور و همچنین نحوه تصویر برداری را دقیقتر بررسی می‌کنیم.

## 2- تصویر برداری سه بعدی با استفاده از یک صفحه نور

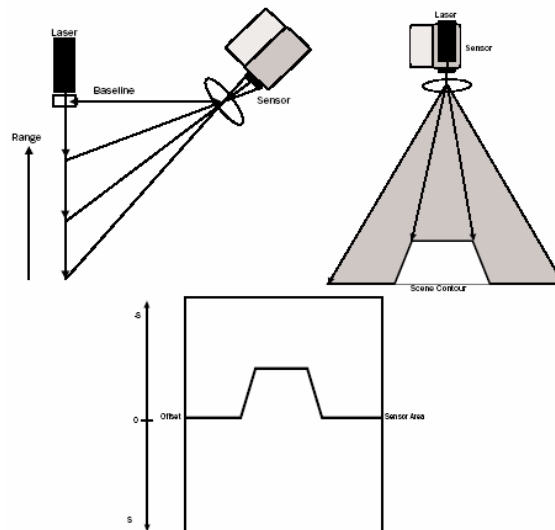
در triangulation، همانطور که در شکل‌های 1-2 و 2-2 نشان داده شده است، موقعیت نور بازتابیده شده به صفحه حسگر به فاصله منبع نور تا سطح وابسته است. در صورتیکه

از یک رابطه ریاضی و یا جدولی که از قبل آماده شده (lookup table)، فاصله را بدست آورد. چون نمی‌توان سطح را حرکت داد، روش دوم قابل استفاده نخواهد بود. در مورد سوم کار دشوارتر است زیرا باید زاویه صفحه نور نیز تغییر کند، بنابراین یک پارامتر دیگر به پارامترهای triangulation اضافه می‌شود.

بسیاری از سیستمهایی که با استفاده از یک صفحه نور ارتفاع را بدست می‌آورند، بر اساس دوربینهای ویدیویی استاندارد عمل می‌کنند. تعداد تصاویری که این دوربینها در هر ثانیه بر می‌دارند<sup>6</sup>، مشخص است. مثلاً در استاندارد PAL نرخ تصویر برداری 50 تصویر در ثانیه می‌باشد. این موضوع نرخ تصویر برداری سه بعدی را به 50 هرتز محدود می‌کند. البته با این فرض که تصاویر دوربین به سرعت و به شکل بلادرنگ<sup>7</sup> پردازش شوند. در این صورت یک تصویر سه بعدی با ابعاد 512\*512، در مدت 10 ثانیه بدست می‌آید و نرخ نمونه‌برداری برابر با 25 کیلو هرتز خواهد بود (25000 نقطه در ثانیه). بنابراین در صورت استفاده از دوربینهای آنالوگ، تصویر برداری سه بعدی بسیار کند انجام می‌شود. حتی اگر بتوان نرخ تصویر برداری را افزایش داد، چون خروجی حسگر سریال است، با افزایش نرخ تصویر برداری، فرکانس پالس ساعت مورد نیاز در انتقال و پردازش اطلاعات بسیار بالا رفته و باعث زیاد شدن سطح نویز خواهد شد.

### نتیجه‌گیری

تلاش برای دستیابی به بهترین روش برای تصویربرداری به صورت سه بعدی با استفاده از صفحه‌ای از نوروتکنیک Triangulation در این مقاله مورد بررسی قرار گرفته است



شکل 2-2: نحوه اعمال  
Triangulation

برای ایجاد صفحه نوری می‌توان نور نقطه‌ای لیزر را از یک عدسی استوانه‌ای عبور داد. عدسی، نور نقطه‌ای را در یک جهت به شکل یک صفحه گسترش می‌دهد در حالیکه در جهت دیگر آنرا بدون تغییر عبور می‌دهد. به جای عدسی استوانه‌ای، می‌توان از یک قطعه پخش کننده نور (مانند منشور) استفاده کرد. همچنین می‌توان این صفحه را با آینه کوچکی که به سرعت در حال حرکت است، آرایه‌ای از دیودهای نوری و یا با یک پروژکتور شکافی<sup>5</sup>، ایجاد کرد. از جهت دیگر، به سه شکل می‌توان تصویری سه بعدی از یک صحنه بدست آورد: با حرکت دادن سیستم تصویر برداری بر روی یک صحنه ثابت، با حرکت دادن صحنه و یا با جاروب کردن صحنه ثابت بوسیله یک صفحه نور متحرک. در مورد آخر، برای حرکت دادن صفحه نور از تعدادی آینه متحرک استفاده می‌شود. در صورت استفاده از روش اول، می‌توان با تعیین موقعیت نور ورودی به دوربین و با استفاده



و نتایج حاصله حاکی از قابلیت اعتماد بالا و صرف هزینه کمتری نسبت به دیگر روشهاست.

#### سپاسگزاری

نگارنده مقاله بر خود لازم می داند تقدیر و تشکر ویژه ای از تمام کسانی که به نحوی در تهیه این مقاله مرایاری نمودند به عمل آورد.

#### مراجع

1. Matlab help\_ signal processing
2. Determining ground surface profile using optical sensor, september 2005, behrooz safarinezhadian
3. Neural network and wavelet function in matlab help