

# SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



عضویت در خبرنامه



فیلم های آموزشی

## کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی



مباحث پیشرفته یادگیری عمیق؛  
شبکه های توجه گرافی  
(Graph Attention Networks)



کارگاه آنلاین آموزش استفاده از  
وب آو ساینس



کارگاه آنلاین مقاله روزمره انگلیسی

# بررسی و تحلیل برخی از کاربردهای فتوگرامتری برد کوتاه در پزشکی

بابک قاسمی<sup>۱</sup>، حمید عبادی<sup>۲</sup>، فرشید فرنود احمدی<sup>۳</sup>

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد فتوگرامتری، دانشکده مهندسی ژئودزی و ژئوماتیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

babak.ghassemi.9@gmail.com

۲. دانشیار گروه فتوگرامتری و سنجش از دور، دانشکده مهندسی ژئودزی و ژئوماتیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

ebadi@kntu.ac.ir

۳. استادیار گروه نقشه برداری دانشگاه تبریز

farnood@tabrizu.ac.ir

## چکیده:

امروزه فتوگرامتری برد کوتاه<sup>۱</sup> کاربردهای فراوانی در حوزه‌های مختلفی از علوم نظیر پزشکی، صنعت، باستان‌شناسی که نیاز به اندازه‌گیری دقیق دارد، پیدا کرده است. فتوگرامتری برد کوتاه در زمینه پزشکی به دلیل سرعت و دقت بالا، قابلیت ایجاد مدل سه‌بعدی غیرتماسی و بدون عوارض جانبی را دارد. این شاخه از فتوگرامتری، تحت عنوان فتوگرامتری پزشکی<sup>۲</sup> شناخته می‌شود. کار این حوزه انجام مدل‌سازی دقیق است که پزشک متخصص، به‌خاطر محدودیت‌هایی که وجود دارد، قادر به بررسی‌های مستقیم روی بدن بیمار نیست. در این تحقیق ابتدا به مقدمه و تاریخچه‌ای از فتوگرامتری پزشکی پرداخته، به برخی کاربردهای فتوگرامتری در حیطه پزشکی و حوزه‌های مرتبط به آن نظیر سر، زخم، ستون فقرات، بیماری‌های عصبی، دست، پا، دندان و داخل بدن اشاره کرده، نحوه طراحی شبکه فتوگرامتری برد کوتاه در هر کاربرد و نحوه مدل‌سازی و اندازه‌گیری را در آن‌ها بیان کرده و در نهایت نتیجه‌گیری می‌شود که می‌توان به کمک تکنیک‌های فتوگرامتری اندازه‌گیری دقیق و غیرتهاجمی از اعضای مختلف بدن داشت.

**واژه‌های کلیدی:** فتوگرامتری برد کوتاه، پزشکی، تشخیص غیر تماسی

## ۱- مقدمه

از اولین روزهای پیدایش علم فتوگرامتری، فتوگرامریست‌هایی بودند که تحقیقاتی در حوزه اندازه‌گیری-های پزشکی کرده‌اند. هرچند هیچ‌گاه انگیزه خاصی برای این مطالعات آشکار نشده است. این ممکن است به خاطر فواید مختلفی باشد-نظیر یک وسیله بدون درد و غیر تماسی برای پزشکان با اندازه‌گیری مکانی مربوط به بدن انسان-که فتوگرامتری می‌تواند به بشریت اهدا کند. علیرغم فعالیت‌های فتوگرامتری زیادی که در حوزه پزشکی شده است، فتوگرامتری پزشکی هنوز نتوانسته است دنیا را متحول کند [۱-۲].

تشخیص‌های غیر تماسی یکی از شاخه‌های مهم پزشکی است که رشد سریعی داشته است [۱]. در بسیاری از کارهای مرتبط روش‌های تصویربرداری بر اساس فراصوت<sup>۳</sup>، اشعه ایکس<sup>۴</sup>، MRI<sup>۵</sup>، تابش پوزیترون<sup>۶</sup> یا اطلاعات مستقیم بصری نشانگر ابزار قدرتمند پزشکان است. همچنین در بسیاری از تحقیقات حوزه‌های پزشکی و زیست‌شناختی، تولید تصویر از فاصله کوتاه یکی از روش‌های ضروری برای اخذ داده است. فتوگرامتری یک فناوری پایه ای برای این روش‌ها است که به دسترسی داشتن اطلاعات داده‌های مکانی تصویر بستگی دارد [۱-۲].

1. Close range photogrammetry
2. Medical photogrammetry
3. ultrasound
4. X-ray
5. Magnetic Resonance Image
6. Positron emission

برخی کاربردهای فتوگرامتری عبارت‌اند از اشعه ایکس استریو<sup>۷</sup>، توموگرافی اشعه ایکس<sup>۸</sup>، تصویربرداری مادون قرمز<sup>۹</sup>، نور ساخت یافته<sup>۱۰</sup>، میکروسکوپی<sup>۱۱</sup> و الکترون میکروسکوپی<sup>۱۲</sup> که در چشم پزشکی<sup>۱۳</sup>، دندان پزشکی<sup>۱۴</sup>، گوش پزشکی<sup>۱۵</sup>، استخوان پزشکی<sup>۱۶</sup>، جراحی<sup>۱۷</sup>، آناتومی<sup>۱۸</sup>، اندام سنجی انسان<sup>۱۹</sup>، اندام سنجی حیوان<sup>۲۰</sup> و غیره استفاده می‌شود. امروزه فتوگرامتری به حدی پیشرفت کرده است که می‌تواند به صورت امن، دقیق و اقتصادی در کاربردهای مختلف پزشکی و زیست‌شناختی استفاده شود. ابزاری نظیر دوربین‌های CCD<sup>۲۱</sup>، سیستم‌های تحلیل تصویر و غیره قابلیت‌های خود را در این حوزه‌ها با امکانات جالب آنی ثابت کرده است [۱-۲].

هدف از انجام این تحقیق بررسی و تحلیل مطالعات انجام شده در حوزه فتوگرامتری پزشکی به منظور استخراج اطلاعات سودمند در مورد نحوه طراحی شبکه فتوگرامتری برد کوتاه، کالیبراسیون دوربین‌ها، نحوه ایجاد بافت، نحوه ارزیابی روند انجام کار و بررسی اتوماسیون کار است.

## ۲- تاریخچه

اندازه‌گیری شکل بیولوژیکی از عکس‌های استریو در اوایل قرن ۱۹، مدتی بعد از اختراع عکس‌برداری شروع شد [۱]. هلمز فیزیکدان آمریکایی در سال ۱۸۶۳ یک جفت عکس استریو برای مطالعات طرز راه رفتن انسان گرفت و نخستین بار مطالعه روی بدن انسان را با اندازه‌گیری روی عکس‌ها انجام داد. با ورود فتوگرامتری رقومی و با در نظر داشتن قابلیت بهره‌گیری از تصاویر رقومی در زمینه‌های پزشکی این رشد شتاب بیشتری گرفت. از لحاظ تاریخی نخستین پروسه عملی و نتیجه بخش اندازه‌گیری روی کل بدن انسان در امریکا صورت پذیرفت [۱]. Hugg از پشت و جلوی بدن انسان به صورت همزمان و توسط دو دوربین استریومتریکی عکس‌برداری کرد. در این پروسه بیمار بین دو سکو می‌ایستاد که نقش کنترل را داشتند و اتصال دو مدل استریوی ایجاد شده را تأمین می‌کردند. در این سیستم از پروژکتورهای الکترونیکی بارقه‌ای استفاده شد که در بین هر جفت از دوربین‌ها قرار می‌گرفتند و به صورت هم‌زمان با شاترهای دوربین یک الگوی تصادفی را تصویر می‌کردند که به بافت سطح پوست بیمار اضافه می‌شد. علاوه بر این مقاطع عرضی نیز تهیه شدند که در نتیجه آن مساحت و حجم و سطح رویه قابل تعیین می‌شدند و پراکندگی سطح رویه و حجم بر اساس ارتفاع به دست آمدند. در سال ۱۹۷۶ یک گروه کاری از کمیسیون جامعه بین‌المللی فتوگرامتری و سنجش از دور (گروه کاری سوم کمیسیون پنجم) ISPRS با عنوان Biostereometrics تأسیس شد که به تحقیق در این زمینه می‌پرداخت. در سال ۱۹۸۸ عبارت Medical imaging به جای عنوان فوق قرار گرفت و بعدها به نام "Medical image analysis & human Motion" تغییر یافت. در سال ۱۹۹۰ هم

7. Stereo X-ray
8. X-ray tomography
9. Infra-red photography
10. Structured light
11. microscopy
12. Electron microscopy
13. ophthalmology
14. dentistry
15. otology
16. orthopaedics
17. surgery
18. anatomy
19. anthropometry
20. zoometry
21. charge coupled device

شماره‌ای از ژورنال ISPRS با عنوان " فتوگرامتری و سنجش از دور در پزشکی: بیواستریومتری و تصویرسازی پزشکی " انتشار یافت [۱].

### ۳- فتوگرامتری پزشکی

فتوگرامتری به عنوان یک ابزار اندازه‌گیری برای تشخیص بیماری، درمان آن و تحلیل حرکات کاربرد دارد. فتوگرامریست‌ها، مهندسان پزشکی و دانشمندان از فتوگرامتری پزشکی استفاده می‌کنند [۲]. فتوگرامتری پزشکی خصوصیتی دارد که آن را از سایر کاربردهای فتوگرامتری نظیر نقشه‌کشی، معماری، صنعت و غیره متمایز می‌کند. در ادامه به صورت خلاصه به برخی از نکات آن اشاره می‌شود:

فتوگرامتری پزشکی دوربین عریض<sup>۲۲</sup> دارد. اندازه‌گیری‌های فتوگرامتری نسبتاً شبیه به کارهای ارتوپدی و آناتومی است ولی هیچ‌گونه شباهتی به کارهای چشم‌پزشکی، عصب‌شناسی، کاردرمانی و سایر مطالعات مربوط به سلامت بشری ندارد و می‌تواند در تشخیص، عیب‌شناسی، مداوای بیماران تحت درمان، همه‌گیری شناسی<sup>۲۳</sup> و تحقیقات پزشکی به کار گرفته شود و عملاً در تشخیص علائم بیماری‌های واگیردار و همچنین بیماری‌هایی که نشانه‌های آن در ابتدا معلوم نمی‌شوند کاربرد دارد. فتوگرامتری پزشکی می‌تواند به پزشکی در ورزش، دندان‌پزشکی و دام‌پزشکی توسعه داده شود [۲].

در فتوگرامتری پزشکی تماسی با بیمار انجام نمی‌شود. تکنیک عکس‌برداری، هم زمان کمی از بیمار می‌گیرد و هم از تماس مستقیم با بیمار و تغییر شکل محدوده مورد نظر اجتناب می‌شود نقطه قوت این روش سریع و غیر تماسی بودن آن است که باعث حفظ آرامش، راحتی، امنیت و سلامت بیمار می‌شود.

بسیار ضروری است که سیستم اندازه‌گیری علاوه بر داده‌های مکانی، داده‌های پزشکی نیز فراهم کند. زیرا داده‌های پزشکی اغلب از داده‌های خام مکانی به دست نمی‌آیند و باید به وسیله برخی روش‌های پزشکی و با تفسیر و تحلیل استخراج شوند که معمولاً سخت‌ترین قسمت کار است. به‌عنوان مثال در کاربردهای دندان‌پزشکی، شکل دندان‌ها استخراج می‌شوند ولی ارزیابی مقدار فرسایش کار مشکلی است.

فتوگرامریست تنها عضو جامعه توسعه‌دهنده نیست. فتوگرامریست‌ها و پزشکان تولیدکننده سیستم و پزشکان، جراحان، متخصصان بالینی، محققان پزشکی، مهندسان بیومکانیک استفاده‌کنندگان آن هستند. دانشمندان دستگاه‌های پزشکی و مهندسان، سیستم‌های فتوگرامتری پزشکی را توسعه می‌دهند.

اندازه‌گیری‌های مکانی در پزشکی فاقد ابزار متناوب است به این دلیل که اندازه‌گیری‌های مکانی عموماً یک روش حیاتی برای نجات جان انسان‌ها نیست. اندازه‌گیری‌های پزشکی نیازمند یک سیستم تخصصی فتوگرامتریک است. سیستم‌های فتوگرامتریکی که برای تهیه نقشه یا برد کوتاه غیرپزشکی استفاده می‌شود به ندرت مناسب استفاده کارکردهای پزشکی است. یک دلیل آن این است که داده‌های پزشکی باید فراهم باشند. ولی اصلی‌ترین دلیل این است که سیستم‌های پزشکی باید قابل استفاده در بیمارستان‌ها و سایر درمانگاه‌های پزشکی که معمولاً از تجهیزات پزشکی به‌جای فتوگرامتری استفاده می‌کنند، باشد [۲].

تکنیک‌های فتوگرامتری گستره زیادی دارند، تکنیک‌های ارائه شده برای اهداف پزشکی ممکن است شامل اندازه‌گیری از سطوح یا نقاط تارگت‌دار باشند. اندازه‌گیری‌های سطوح عموماً شامل اضافه کردن بافت می‌شود. ولی در برخی موارد مانند جراحات پوستی نیاز به بافت ندارد. عوارض ممکن است به کوچکی دندان یا بزرگی انسان باشد. برای اشیا در حال حرکت سرعت تصویربرداری و برای برداشت صورت، دقت و جزئیات

22. wide

23. epidemiology



مهم بوده و اتوماسیون کار فتوگرامتری، ریسک قضاوت را کم کرده و نسبت هزینه به سودآوری را بهتر می‌کند [۲].

#### ۴- بررسی و تحلیل برخی از کارهای انجام شده در حوزه پزشکی به وسیله فتوگرامتری

در این قسمت به شکل اجمالی به برخی از کاربردهای فتوگرامتری در زمینه پزشکی و زمینه‌هایی که به صورت غیرمستقیم با پزشکی ارتباط دارند پرداخته شده است که در ادامه به آن‌ها اشاره می‌شود.

##### ۴-۱- زخم

زخم‌های حاد پوست انسان ممکن است به خاطر تصادف یا اعمال جراحی باشد. زخم‌های مزمن ممکن است به خاطر نقص‌های وریدی، تضعیف سیستم ایمنی بدن یا عوارض جانبی درمان‌های پزشکی باشد. فقدان یک روش پذیرفته شده از اندازه‌گیری دقیق و عینی ابعاد زخم یک مانع جدی برای ارزیابی مؤثر روند درمان زخم می‌باشد [۳].

روشی که مورد بررسی قرار گرفته شده است، در مورد اندازه‌گیری زخم بوده و یک وسیله بر اساس اصل نور ساخت‌یافته کددار ارائه می‌کند. دستگاه یک سلسله ردیف خط موازی از نور به سطح زخم می‌تاباند، الگوها توسط یک دوربین ویدئویی مشاهده می‌شود که به یک سیستم کامپیوتری متصل است که تصاویر می‌توانند در آن ذخیره شده و پردازش شوند. با استفاده از موقعیت‌های نقاط کانونی دوربین و پروژکتور، کامپیوتر نقشه سه‌بعدی عارضه مشاهده شده را با استفاده از مثلث‌بندی به دست می‌آورد. این نقشه برای بازسازی سطح واقعی و سالم پوست به وسیله درون‌یابی cubic spline به کار می‌رود. مساحت سطح بازسازی شده همان مساحت زخم است. همچنین سیستم عمق و محیط زخم را محاسبه می‌کند. دستگاه حجم زخم را با دقت حدود ۵ درصد اندازه‌گیری کرده و نسبت حجم به مساحت بیشتر از ۴ میلی‌متر است [۳].

روش انجام کار به شرح زیر است:

##### ۱. اخذ تصویر و پردازش آن

برای کدگذاری رنگی یک اسلاید پرتوافکن طراحی شده است تا با یک نوار سبز رنگ روی زخم تابیده شود. این نوار به‌عنوان نوار مرجع شناخته می‌شود و نوارهای قرمز و آبی نیز در کنار آن تابیده می‌شود. استفاده از سه رنگ مشکل خاصی نداشته و باعث کمتر شدن گپ در نوارها شود. گپ‌ها ممکن است به خاطر مناطقی باشد که انعکاس کمتری دارند (خون لخته) یا انعکاس آینه طبی باشد (رطوبت). با استفاده از یک الگوریتم دستور مینا برای پیدا کردن تناظر انتهای نوارها و سپس یک درون‌یابی پلی نومیال اکثر گپ‌ها بسته می‌شوند [۳].

##### ۲. بازسازی سطح

حجم یک زخم بین دو سطح فشرده شده است: سطح اندازه‌گیری شده و سطح واقعی و سالم پوست که باید از بخش‌های سالم پوست اطراف زخم بازسازی شوند. در اولین قدم اپراتور سیستم باید شکل کلی زخم را به وسیله ردگیری لبه آن در تصویر بدون استفاده از نوارهای نوری تعیین کند. این ردگیری همچنین برای محاسبات بعدی مساحت و محیط زخم استفاده می‌شود. این طریقه اندازه‌گیری باعث ورود خطای کلی ۱ الی ۲ درصد در محاسبه حجم، مساحت و عمق می‌شود. طراحی الگوریتم‌هایی برای اتوماسیون روند با استفاده از اطلاعات رنگ، بافت و ابعاد سه‌بعدی می‌تواند این خطا را کاهش دهد [۳]. دومین قدم روند بازسازی است. Spline های مکعبی مرتبه سوم برای درون‌یابی پوست سالم واقعی استفاده می‌شود. Spline های مکعبی تمایل به تولید خم‌هایی با انحنای کمینه که گمان می‌شود از رفتار پوست سالم که از هر طرف تحت تنش است پیروی کند، دارند.

## ۳. محاسبات

به‌عنوان قدم نهایی مساحت، حجم، محیط، و عمق زخم از یک داده شبکه سه‌بعدی که از طریق پروسه‌های قبلی تولید شده‌اند، محاسبه می‌شود. این شبکه سطح زخم و سطح بازسازی شده در گام‌های گسسته به‌طور تقریبی در ۲ میلی‌متر از هر جهت فضا توصیف می‌کند [۳].

زخم‌هایی که نسبتاً بزرگ و کم‌عمق هستند با دقت کمتری نسبت به زخم‌هایی با مساحت کم ولی عمق زیاد اندازه‌گیری می‌شوند. این رفتار غالباً به خاطر روند بازسازی پوست اتفاق می‌افتد. اگر یک زخم به‌طور میانگین فقط ۱ میلی‌متر عمق داشته باشد و سطح واقعی به‌اندازه ۰/۵ میلی‌متر کمتر بازسازی شود، محاسبه حجم ۵۰ درصد خطا خواهد داشت ولی همان زخم به‌طور میانگین ۱۰ میلی‌متر عمق داشته باشد خطای ما تنها ۵ درصد خواهد بود [۳].

## ۴-۲- ستون فقرات

برای اندازه‌گیری طول ستون فقرات انسان معمولاً از قدسنج استفاده می‌شود که عظیم و غیرقابل حمل بوده و برای محیط‌های میدانی نامناسب است. در حالت کلی دستگاه تغییرات خطی در قامت یا تغییر در قطعه‌های ستون فقرات را اندازه‌گیری می‌کند [۴].

اندازه‌گیری تغییر وضعی در یک زمینه محیطی با استفاده از قدسنج‌های سنتی سخت بوده و بردن بیمار یا فرد به محیط کلینیک تغییرات تهییج شده فقراتی را خنثی می‌کند. بنابراین یک سیستمی نیاز است که رباست، قابل حمل و دقیق باشد تا بتوان از آن در فضای محیطی استفاده کرد و بدون آن که نیاز به آماده‌سازی طولانی بیمار باشد، بتوان به صورت آنی داده اخذ کرد [۴].

در روش بررسی شده یک سیستم تصویربرداری برای مطالعه ستون فقرات انسان در یک فضای باز طراحی و ارائه شده می‌شود. دو تکنیک کالیبراسیون میدانی بهبود یافته ارزیابی می‌شوند که دقت اندازه‌گیری سه‌بعدی را در محیط آزمایشگاهی از  $0.3 \pm 1.25$  میلی‌متر به  $0.1 \pm 0.43$  میلی‌متر ارتقا می‌دهند. این روش هزینه کمی داشته و دارای دقت و صحت مناسب برای اندازه‌گیری بدن انسان است. این کار در یک محیط بالینی و بر روی تغییرات طول و فرم ستون فقرات ۳۰ دانشجوی داوطلب انجام شده است. قابلیت اندازه‌گیری این روش در تغییرات زاویه‌ای، یک راه جدید برای آزمایش تغییرات در شکل ستون فقرات ارائه می‌کند [۴].

روند کار به این شرح است: (۱) طراحی سیستم تصویربرداری (۲) کالیبراسیون دوربین و سیستم (سلف کالیبراسیون، کالیبره کردن چارچوب کنترل فتوگرامتریک، کالیبراسیون دوربین بدون استفاده از مختصات تارگت های اضافی، کالیبراسیون دوربین با استفاده از مختصات تارگت های اضافی) (۳) شیء (۴) آماده‌سازی شیء برای تصویربرداری (۵) تصویربرداری از شیء (۶) آزمایش تکرارپذیر بودن اندازه‌گیری (۷) رقومی سازی تصویر و پردازش داده

برای طراحی سیستم تصویربرداری از ۴ دوربین سونی<sup>۲۴</sup> با فریم ثابت استفاده شده است. سیستم تصویربرداری دست‌ساز شامل یک چارچوب محکم آلومینیومی که ۴ دوربین را در برمی‌گیرد، یک چارچوب فتوگرامتریک کنترل و دو سه پایه است.

برای انجام آزمایش ابتدا ۳۰ فرد سالم انتخاب شدند و قد و وزنشان اندازه‌گیری شد. ستون فقرات با مژیک روی مهره‌های T1, T3, T6, T9, L1, L3, L5 علامت‌گذاری شد. سیستم تصویربرداری با استفاده از برد

جداشونده پیش کالیبره می‌شود و سپس از افراد تصویربرداری می‌شود. در طول روز ۳ بار تصویربرداری انجام می‌شود. اولی بعد از بیدار شدن از خواب دومی مابین ۱۱:۳۰ الی ۱۴:۳۰ و آخری بین ۱۶:۳۰ و ۱۸:۳۰. در آخر کار دوربین را با استفاده از برد جداشونده پس کالیبره می‌کنند. در روز بعد از ۵ فرد برای تصویربرداری مجدد استفاده می‌شود. روند آزمایش در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱. علامت‌های روی ستون فقرات، موقعیت لندمارک‌ها روی ستون فقرات و شکل ستون فقرات به دست آمده

این تحقیق توسعه، کالیبراسیون و تست کردن یک روش فتوگرامتریک با دقت بالا برای مطالعه ابعادی بدن انسان ارائه می‌کند. به خاطر این که ۴ دوربین به شکل همزمان استفاده می‌شوند، سیستم افزونگی کافی برای اطمینان از دقت بالا و اطمینان به اندازه‌گیری‌ها فراهم می‌کند. علاوه بر آن کاربران می‌توانند به راحتی چارچوب رفرنس تصویر کردن را تعریف کنند [۴].

این تکنیک اندازه‌گیری دقیق سه‌بعدی از لندمارک<sup>۲۵</sup>‌های روی ستون فقرات بدن انسان (مهره‌های جدا از هم) و تصویر سه‌بعدی پشت را فراهم می‌کند. سیستم قابل حمل بوده و برای فعالیت‌های میدانی نیز قابل انجام است. نتایج مطالعه موردی که شامل تغییرات روزانه ستون فقرات افراد جوان می‌شود نشان‌گر تغییرات در قامت، شبیه به مقدار به‌دست‌آمده با استفاده از قد سنج است. دقت روش با استفاده از دوربین‌های با رزولوشن بالا، اتوماسیون سازی روند، نمایش آنی پروفیل ستون فقرات اندازه‌گیری شده یا یک مدل سه‌بعدی از پشت افزایش می‌یابد [۴].

#### ۳-۴- بیماری‌های عصبی

معرفی دوربین‌های کم‌هزینه با تعداد پیکسل‌های افزایش یافته ممکن است پزشکان را به استفاده از تکنیک‌های فتوگرامتریک چند دوربینی برای نظارت سلامتی بیمار نظیر مطالعه پیشرفت تحلیل عضلانی<sup>۲۶</sup> (MD) تشویق کند [۵].

یک نوع دیگر بیماری MD بیماری CMT<sup>۲۷</sup> است که یک اختلال عصبی وراثتی است که شکل‌های مختلفی دارد. این بیماری با تحلیل بافت عضله و حس لامسه به‌خصوص در ساق پا، پا، دست و بازو خودش را نشان می‌دهد. وابستگی زیادی بین عملکرد دست و ناتوانی بازو در افراد با بیماری CMT وجود دارد. عملکرد دست می‌تواند با استفاده از اندازه‌گیری‌های سه‌بعدی و بافت شکل ارزیابی شود [۵].



شکل ۲. دست و پای مبتلا به بیماری CMT به همراه دستگاه‌های کمکی

۲۵. Luchinska  
26. muscular dystrophy  
27. Charcot Marie Tooth



در شکل ۲ نمونه‌ای از اثر بیماری CMT و دستگاه‌های کمکی برای مهار این بیماری نشان داده شده است. به خاطر این که بیماران CMT اغلب در محیط روستایی و شهرهای کوچک زندگی می‌کنند و مشکل حرکتی دارند، لازم است یک سیستم تصویربرداری کم‌هزینه فتوگرامتریک که بتواند توسط خود پزشکان اجرا شود، ساخته شود [۵].

برای بیماری CMT فاصله شیء تا سیستم تصویربرداری باید محدود به داخل ۱ متر شود، چون دقت و حمل‌پذیری جزء فاکتورهای مهم هستند. همچنین میدان دید دوربین باید بیشینه بوده تا مقدار زوم کم باشد. یک تکنیک زوم مبنا معرفی شده است که اجازه می‌دهد یک مجموعه از مقادیر پارامترهای لنز در هر زوم با فاصله کانونی که در فایل EXI تصویر در دسترس است، محاسبه شوند [۵].

هدف تحقیق مورد بررسی این است که: (۱) آیا یک تکنیک محاسبه پارامتر پروجکت لنز (PLPC) در محاسبات پارامترهای لنز از یک تصویر گرفته شده در طول تصویربرداری بدون نیاز به درخواست اطلاعات اضافی از پزشک قابل استفاده است و (۲) آیا دوربین‌های کم‌هزینه می‌تواند جایگزین دوربین‌های پرهزینه برای اندازه‌گیری سه‌بعدی بیماری CMT شوند.

این تحقیق محدود به استفاده از ۴ دوربین برای سیستم تصویربرداری که همزمان عکس می‌گیرند است. این روش برای کارهایی با دقت کم مناسب است. دقت کار در حدود ۱:۷۰۰ در مقیاس تصویر است. سیستم تصویربرداری از یک چارچوب آلومینیومی ثابت با طول ۱۰۰۰، عرض ۸۰۰، عمق ۷۰۰ میلی‌متر و ابعاد کنترل با عرض ۸۰۰، ارتفاع ۷۰۰ و عمق ۸۵ میلی‌متر تشکیل شده است. ایستگاه‌های دوربین نزدیک گوشه‌ها قرار گرفته‌اند.

روش انجام کار به شرح زیر است:

۱. سلف کالیبراسیون تک تک دوربین‌ها
۲. تصویربرداری به روش PLPC و پردازش تصویر
۳. ارزیابی سیستم تصویربرداری برای استفاده در بیماری cmt

عموماً دوربین‌های کم‌هزینه دقت اندازه‌گیری کمتری نسبت به دوربین‌های گران‌بها دارند. اما اختلاف در نتایج زیر ۰/۴ میلی‌متر، دقت مورد نظر برای کاربرد را افزایش می‌دهد. تحقیقات نشان می‌دهد این دوربین‌ها یک اندازه‌گیری با هزینه کم نسبت به دوربین‌های گران‌قیمت یا SLR دارند. دقت مطلوب مورد نیاز برای کاربرد در بیماری CMT نزدیک ۱ میلی‌متر است. لذا این دوربین‌ها برای این کاربرد مناسب می‌باشند. در بررسی بیماری CMT، آرایشی از ۴ برند مختلف دوربین و ۶ مجموعه از تصاویر مستقل به ترتیب یک اختلاف فاصله سه بعدی و انحراف معیار استاندارد به اندازه ۰/۳۲۳ و ۰/۰۵۲ میلی‌متر ایجاد می‌کند. بنابراین دوربین‌ها و تکنیک PLPC دقت مورد نیاز برای استفاده در بیماری CMT را فراهم می‌کند [۵].

#### ۴-۴-۴ پا

روش‌های مختلف زیادی برای بازسازی شکل پا نظیر لیزر، استفاده از چند دوربین usb، روش‌های بینایی ماشین، تقاطع حجمی و ترکیب مدل‌های تغییرپذیر با روش‌های آماری ارائه شده‌اند. استفاده از اندام سنجی بسیار وسیع است، واضح‌ترین آن طراحی مؤثر چیزهایی که با بدن انسان سروکار دارد و همچنین کاربرد در تشخیص انسان یا کاربردهای پزشکی می‌باشد. در آینده ممکن است هر شخص برای تهیه کفش از اینترنت بتواند با ارسال مشخصات پای خود که در کارت شناسایی ذخیره شده است این کار را انجام دهد [۶].



تحقیق مورد بررسی روی پای انسان تمرکز دارد. در واقع تغییر secular (تغییر سریع و مهم در سیر تکاملی قد انسان) باعث برخی تغییرات عظیم بین سائز پاها و شکل‌ها بین افراد در نسل‌های مختلف شود. به همین دلیل است که برخی کفش سازان و فروشندگان می‌خواهند قادر به بازسازی شکل پای مشتریان شوند تا بتوانند مناسب‌ترین کفش را برای هر شخص به فروش برسانند.

در روش مورد بررسی یک روش چند دوربینی برای بازسازی سه‌بعدی شکل پای انسان ارائه می‌شود. از یک پایگاه داده پا یک مدل سه‌بعدی اولیه پا به وسیله ابر نقاط ساخته می‌شود. پارامترهای شکل که می‌تواند بیش از ۹۲ درصد یک پا را مشخص کند، به وسیله استفاده از مؤلفه اصلی روش آنالیز تعیین می‌شوند. سپس با استفاده از "مدل‌های شکل فعال"<sup>۲۸</sup> مدل سه‌بعدی اولیه به مدل واقعی اخذ شده در چند تصویر با اعمال چند قید (فاصله نقاط لبه و اختلاف رنگی) تطبیق داده می‌شود.

روش انجام کار به شرح زیر است:

۱. استفاده از پایگاه داده پا (تعیین ۱۲ پارامتر مهم نشان‌دهنده خصوصیات شکل پا)

- ساخت مدل اولیه

- تعیین پارامترهای شکل

۲. کالیبراسیون دوربین (استفاده از toolbox متلب)

۳. وارد کردن تصاویر پای موردنظر (تصاویر رنگی و باینری)

۴. تغییر شکل مدل‌های سه‌بعدی اولیه برای فیت شدن به پای واقعی در چند تصویر

- سرشکنی پای واقعی و مدل

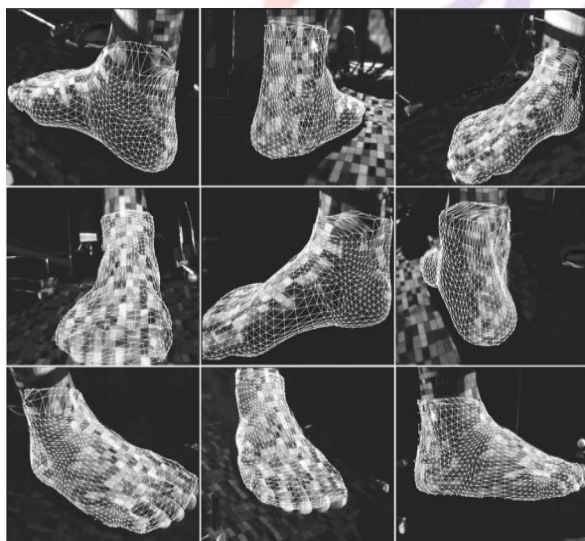
- انطباق با بهینه‌سازی‌های مؤثر

- تعیین معیارهای استفاده‌شده در تابع ارزیابی

- حل مسئله انسداد

بازسازی شکل سه‌بعدی پا بدین صورت انجام می‌شود: ابتدا مدل سه‌بعدی اولیه با استفاده از نتایج

کالیبراسیون دوربین روی سه نوع تصویر ورودی (رنگی، باینری، لبه) انداخته می‌شود. سپس یک تابع ارزیابی



که نشان‌گر خطای بین مدل تصویر شده و پای

واقعی است، محاسبه می‌شود. در نهایت با استفاده

از تکنیک بهینه‌سازی این تابع ارزیابی با تغییر

مدل اولیه و تکرار دو مرحله قبلی کمینه می‌شود.

تغییر مدل اولیه شامل اعمال یک انتقال، یک

دوران و یک مقیاس و تغییر ۱۲ پارامتر مهم شکل

می‌شود (شکل ۳). نحوه اخذ تصویر هم

بدین صورت است که ۶ دوربین که با usb به

کامپیوتر متصل‌اند از شیء عکس می‌گیرند [۶].

بر اساس مدل‌های تغییرپذیر و یک روش

آماری یک روش مؤثر برای بازسازی سه‌بعدی

شکل ۳. شکل سه‌بعدی به دست آمده از پای انسان

شکل پای انسان ارائه داده می‌شود. در کنار آن یک مطالعه دیگر برای اعمال یک بافت روی پای مورد نظر انجام داده و باهم مقایسه می‌شود. آزمایش‌های مختلفی انجام شده و ثابت شد که این متد زمانی که از دوربین‌های usb برای پاهای مختلف استفاده می‌شود، عملکرد خوبی دارد. با استفاده از پایگاه داده وسیع پا و استفاده از تاباندن الگوی رنگی به جای رنگ سیاه و متن سفید خطای بین شکل محاسبه شده و واقعی به ۱/۰۶ میلی‌متر کاهش می‌یابد که نزدیک به دقت ۱ میلی‌متر به دست آمده به وسیله سیستم‌های لیزری است [۶].

#### ۴-۶- دندان

در تحقیقات مربوط به دندان و کارهای پزشکی نمایش دوبعدی یا تصاویر به صورت مداوم به منظور کمک به تشخیص، تحلیل، ارتباط با بخش ثالث و اهداف مستندسازی و آموزشی مورد نیاز است. اخذ تصاویر دوبعدی و مدل‌های سه‌بعدی برای دندان پزشکی به سه بخش گسترده تقسیم می‌شود: صورت، تمام قوس دندان و تک دندان [۷].

تصویربرداری از تک دندان درمستند سازی، نظارت و مطالعه آسیب سطح دندان، عملکرد ترمیم و تراشیدن دندان، مدل‌سازی تحلیل‌های المان‌های محدود سه‌بعدی و برای تهیه نقشه دندان آماده‌شده برای طراحی به کمک کامپیوتر<sup>۲۹</sup> (CAD) و تولید به کمک کامپیوتر<sup>۳۰</sup> (CAM) کاربرد دارد. روش‌های دیگر نیز شامل لیزر اسکینینگ از دندان مصنوعی، عکس‌برداری سنتی به منظور کمک به تشخیص تخریب سطح دندان (فرسایش) روی دندان‌های پیشین، تصویربرداری از نور ناشی از فلئوروسانس برای تشخیص پوسیدگی دندان و تصویربرداری cross-polarised نیز به منظور کمک به تشخیص نقص مینا و همچنین یک سیستم بر اساس نور ساخت‌یافته و دوربین CCD برای اخذ و تولید داده‌ها با مختصات سه‌بعدی از دندان آماده شده در دهان به عنوان بخشی از یک سیستم CAD/CAM برای ترمیم دندان‌های آسیا توسعه داده شده با دقت ۲۵ میکرومتر می‌شود. کارهای فتوگرامتری استریو مختلفی برای تحقیقات دندان پزشکی انجام شده است ولی تاکنون یک متد عموماً کاربردی یا قابل قبول ارائه نشده است. دقت همه روش‌ها بین ۴ الی ۲۰ میکرومتر گزارش شده است [۷].

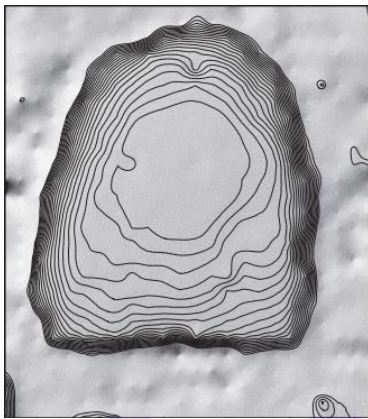
در تهیه نقشه‌های دندان به منظور پزشکی یک دقت بالا در حدود ۱۰ الی ۵۰ میکرومتر مورد نیاز است تا توسعه و پیشرفت پوشش دندان و نقص سطح و جراحی نظارت شود. این باعث می‌شود تصمیمات پزشکی بهتری در موارد نیاز و کارایی بالقوه درمان با تنوع استفاده‌های مواد معدنی، روکش سطح و صیقل دادن به منظور بازسازی سطح دندان با مواد با مدت ماندگاری زیاد اتخاذ شود. در حال حاضر استاندارد یا حد معینی برای تهیه نقشه‌های دندان پزشکی دقیق و صحیح به منظور نظارت وجود ندارد. یک بررسی اخیر از روش‌ها برای اندازه‌گیری پوشش دندان و فرسایش نتیجه گرفته است که همه روش‌های رایج محدود به آزمایشگاه بوده و نیاز به یک روش ساده و قابل اعتماد برای استفاده پزشکی است. روش‌های فتوگرامتری دیجیتال مدل‌های سه‌بعدی دقیق با استفاده از عکس‌برداری سنتی بافت سطح نوری کافی از سطح شیء را ارائه می‌کند. بافت نوری با استفاده از نور ساخت‌یافته و تک دوربین، نور ساخت‌یافته و دو دوربین، یا تارگت‌های گذاشته شده روی سطح می‌تواند مورد استفاده قرار بگیرد. ادغام تارگت‌ها داخل مواد استفاده شده برای تهیه دندان مصنوعی تاکنون گزارش نشده است [۷].

29. computer-aided design

30. computer-assisted manufacture

روش مورد بررسی استفاده از بافت نوری روی تک دندان مصنوعی و استفاده فتوگرامتری استریو برای تولید مدل‌های سه‌بعدی سطح دندان مصنوعی را توضیح داده و نتایج آزمایش دقت و صحت را ارائه می‌دهد. شکل ۴ سطح برجسته دندان پیشین وسط با منحنی میزان نشان می‌دهد. روش انجام کار به شرح زیر است:

(۱) آماده کردن دندان مصنوعی برای تصویربرداری (۲) اخذ تصویر و کالیبره کردن دوربین (۳) تناظریابی تصاویر و تولید مختصات سه‌بعدی (۴) آزمایش دقت و صحت.



شکل ۴. سطح برجسته دندان پیشین وسط با منحنی میزان با فاصله‌های ۱۰۰ میکرومتر

نرم‌افزار تجاری فتوگرامتریک بر روی تصاویر استریو همگرای دندان مصنوعی انسان اعمال شده است که برای نمایش بافت نوری که در تولید مختصات سه‌بعدی داده نتایج موفقیت‌آمیزی داشته است، آماده شده است. دندان مصنوعی با استفاده از یک دوربین نیمه متریک ۳۵ میلی‌متر و فاصله کانونی ۱۰۰ میلی‌متر و با لنز ماکرو تصویربرداری شده و در toolbox متلب کالیبره می‌شوند. دقت مدل باید ۱۲ میکرومتر یا بهتر (برای تناظریابی دستی تارگت) و ۲۱ میکرومتر (برای تناظریابی خودکار تارگت) باشد. پیشرفت بیشتر در بافت اپتیکی نیازمند دستیابی دقت بهتر برای تناظریابی خودکار تارگت است. خطاهای کوچک پارامترهای توجیه داخلی منسوب به ناپایدار بودن در bellows به‌اندازه خطاهای کوچک توجیه نسبی در خطاهای سیستماتیک است. انتظار می‌رود استفاده از یک دوربین با لنز ثابت این خطاها را کم کند [۷].

دقت مدل با تناظریابی تصویری دستی به حد معقول ۱۲ میلی‌متر یا کمتر می‌رسد. اما خطاهای سیستماتیک که به خاطر استفاده از دوربین نیمه متریک با توجیه داخلی ناپایدار و قابل‌اعتماد نبودن راه‌حل‌های فتوگرامتریک که به‌وسیله نرم‌افزارهای کاری فتوگرامتری ایجاد شده اند باعث خطاهای بزرگ و غیر قابل قبول ارتفاعی مدل می‌شوند. استفاده از دوربین با لنز ثابت و پیشرفت بیشتر در بافت اپتیکی برای رسیدن به این سطح دقت در روش استفاده از تناظریابی خودکار مورد نیاز است [۷].

#### ۴-۷- صورت

مطالعه رشد عادی و غیرعادی، عیب شناسی ژنتیکی، ناقص‌الخلقه بودن اکتسابی، طرح‌ریزی و ارزیابی درمان جراحی و ارتودنسی و بازبینی نتایج درمان به‌وسیله آنالیز، اندازه‌گیری و مقایسه شکل صورت را امکان‌پذیر می‌کند [۸].

اندام سنجی، شکل صورت و تغییرات آن را در طول زمان آشکار کرده، باعث تشخیص ناهنجاری‌های ژنتیکی یا اکتسابی شده، درمان به طریق جراحی و ارتودنسی را طراحی و ارزیابی کرده، به مطالعات رشد عادی و غیرعادی پرداخته و نتایج درمان را مورد بررسی قرار می‌دهد [۸].

با توجه به متدهای اخذ داده، مطالعاتی توسط محققان در مورد دو سیستم اسکینینگ متفاوت لیزر و فتوگرامتری در مورد نحوه اخذ داده و تشخیص چهره انسان انجام شده است. برای به دست آوردن اطلاعات از تصاویر دوبعدی یک شبکه منظم از نقاط روی صورت انداخته می‌شود و تناظر بین این نقاط مشخص شده، نقاط یکسان در تصاویر مختلف شناسایی شده و مکان آن‌ها تعیین می‌شود [۸].

برای هر شخصی که اطلاعات سه‌بعدی آن در دسترس است، منطبق با هر طرف صورت و به روش انداختن شبکه دو ابر نقطه رسم می‌شود. سپس این ابر نقاط به هم وصل می‌شوند تا یک ابر نقطه منفرد برای



هر صورت به دست آید. تجهیزاتی که برای اخذ داده به روش فتوگرامتری استفاده می‌شوند ساده و کم‌هزینه هستند. یک یا چند دوربین دیجیتال، یک دستگاه پروژکتور و یک نرم‌افزار فتوگرامتری برای به دست آوردن اطلاعات سه‌بعدی کفایت می‌کند.

روش دوم تکنیک لیزر اسکینینگ است که قادر به اخذ اطلاعات سه‌بعدی از شکل صورت انسان است. اساس برخی از دستگاه‌ها مثل Kreon sensor (model KLS51) که به شکل دستی و Konica Minolta Vivid 910i به شکل خودکار هستند، مثلث‌بندی است. وقتی از یک دستگاه لیزر اسکینینگ استفاده می‌شود به‌منظور اخذ بهتر داده‌ها شخص باید در طی اسکن ۱۵ ثانیه بدون حرکت بماند. در حقیقت یک حرکت کوچک می‌تواند باعث ایجاد خطا در ابر نقاط ایجاد شده شود. یک وسیله مخصوص (cephalostat) برای نگه داشتن ثابت سر در هنگام اخذ داده استفاده می‌شود. نتایج به‌دست‌آمده با استفاده از دو روش آنالیز شده و ارزیابی می‌شود. نتیجه بدین صورت است که با این که روش فتوگرامتری یک روش کم‌هزینه‌ای است ولی قادر به تولید اطلاعات از شکل صورت است. پردازش داده در روش فتوگرامتری کندتر است اما اخذ اطلاعات در حد گرفتن تصاویر و خیلی سریع (۵۰۰۰:۱ ثانیه) است. اگرچه اطلاعاتی که از طریق فتوگرامتری درباره شکل صورت به دست می‌آید کمتر است، نقاطی که اطلاعات سه‌بعدی آن مورد نیاز است به‌صورت مساوی کل صورت را پوشش داده‌اند و پس از تخمین مکان آن‌ها نیازی به پردازش بیشتر نیست [۸].

روال کار در روش ارائه‌شده با فتوگرامتری ۵ مرحله است: (۱) اخذ تصاویر صورت از جهات مختلف (۲) تعیین موقعیت دوربین و کالیبراسیون پارامترها (۳) تشخیص یک مجموعه چگال از نقاط متناظر در تصاویر (۴) محاسبه مختصات سه‌بعدی (۵) تولید یک مدل سطح  
 اخیراً محققان یک روش کاملاً خودکار اسکن سه‌بعدی فتوگرامتری ارائه داده‌اند که بر اساس تصویر کردن شبکه‌های منظم و هیبرید است، که برای بازسازی شکل کامل صورت انسان برای تشخیص‌های ارتودنسی به کار می‌رود. استفاده از این متد اخذ اطلاعات در مورد خصوصیات بافت نرم فرد و انجام دقیق اندازه‌گیری‌ها را امکان‌پذیر می‌سازد.

در روشی مورد بررسی، ارزش فتوگرامتری برای سه‌بعدی سازی صورت انسان نشان داده شده است. آنالیز مورفولوژی<sup>۳۱</sup> بافت نرم صورت یک وسیله ارزشمند برای اهداف پزشکی است. آنالیزهای لندمارک صورت انسان به‌صورت گسترده در رشته پزشکی نظیر جراحی و ارتودنسی استفاده می‌شود و به این خاطر که روشی معتبر بوده که برای تشخیص درست بیماری و طرح‌ریزی برای روند درمان آن و همچنین آنالیز تقارن صورت و وجود نقص در استخوان صورت نیز به کار می‌رود [۸].

## ۵- نتیجه‌گیری

در این تحقیق ابتدا مقدمه‌ای از فتوگرامتری پزشکی بیان کرده و سپس به بررسی برخی کارهای انجام شده در حیطه فتوگرامتری پزشکی و مسائل مربوط به آن پرداخته و به‌صورت خلاصه به نتایجی دست یافته شد که در ادامه به آن اشاره می‌شود.

فتوگرامتری پزشکی به خاطر چالش‌هایی که با آن روبرو می‌شود، یک دسته‌بندی متمایز داخل فتوگرامتری برد کوتاه ایجاد می‌کند. چالش‌ها به‌وسیله نیاز به کار کردن بسیار نزدیک با یک تخصص و صنعت ناآشنا ایجاد می‌شوند. همچنین از نیاز به تهیه تجهیزاتی که مناسب اندازه‌گیری‌های حساس انسانی در محیط پزشکی نشئت می‌گیرند



فتوگرامتری مواجهه با رقابت با سایر تکنیک‌های نوری شده که با روش‌های گسترده غیر فتوگرامتریکی موفق به توسعه تجهیزات اندازه‌گیری پزشکی شده است. به خاطر موانع تجاری و حقیقی فقط بخش کمی از تحقیقات فتوگرامتریکی و توسعه آن برای اندازه‌گیری دقیق پزشکی پیاده‌سازی شده است. می‌توان اذعان کرد فتوگرامتری پزشکی با توجه به تلاش‌هایی که در این زمینه شده و استحقاقی که داشته، هنوز با موفقیت نتوانسته است دنیا را به چالش بکشد.

توصیه می‌شود فتوگرامریست‌ها برای جلوگیری از اتلاف وقت، در توسعه حوزه‌هایی که استفاده حقیقی پزشکی دارند تمرکز کنند. علیرغم موانعی که وجود دارد، بودجه زیاد پزشکی در بسیاری از جوامع می‌تواند موجب تشویق این حوزه از فتوگرامتری شود. فتوگرامتری پزشکی باید حرکت روبه‌جلو و آینده داشته و به سمت اتوماسیون برود. روابط بهتر بین جامعه فتوگرامتری و جامعه پزشکی می‌تواند در این امر کمک‌کننده باشد.

زمانی که تصویربرداری پزشکی و فتوگرامتری به هم نزدیک می‌شوند امکان ایجاد روش‌ها و تکنیک‌های جدید برای اهداف پزشکی فراهم می‌شود. با در نظر گرفتن متدهای فتوگرامتری در تصاویر پزشکی، برخی تغییرات پیشرفته برای طراحی اخذ تصاویر پزشکی و ارزیابی سیستم‌ها به دست می‌آید. فتوگرامتری برد کوتاه به‌عنوان یک ابزار ضروری برای به دست آوردن اطلاعات مکانی با دقت بالا برای کارهای پزشکی استفاده می‌شود. در موارد خاص شامل قسمت‌های دینامیک بدن نظیر اندام و جوارح می‌شود. سیستم‌های فتوگرامتریک آنی و غیرآنی به سهولت برای تعدادی کاربرد رایج در دسترس است. اما سیستم‌های تولیدشده به شکل انبوه در دسترس، به دلیل شرایط موقعیت پروژه همیشه مناسب نیستند. اخیراً ارزش دوربین‌های کم‌هزینه بیشتر شده، در حالی که در بسیاری از برندها تعداد دوربین‌های پیکسل مبنا زیاد شده است. این عوامل باعث شده است قابلیت آن‌ها برای اندازه‌گیری‌های فتوگرامتریک افزایش یابد.

## مراجع

1. Grün, A. and P. Niederer, *Photogrammetry and remote sensing in medicine biostereometry and medical imaging*. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 1990. 45(4): p. i-iv.
2. Mitchell, H. and I. Newton, *Medical photogrammetric measurement: overview and prospects*. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2002. 56(5): p. 286-294.
3. Plassmann, P., B. Jones, and E. Ring, *A structured light system for measuring wounds*. The Photogrammetric Record, 1995. 15(86): p. 197-204.
4. Chong, A.K., et al., *High-accuracy photogrammetric technique for human spine measurement*. The Photogrammetric Record, 2009. 24(127): p. 264-279.
5. Chong, A.K., *Low-cost compact cameras: a medical application in CMT disease monitoring*. The Photogrammetric Record, 2011. 26(134): p. 263-273.
6. Amstutz, E., et al., *PCA based 3D shape reconstruction of human foot using multiple viewpoint cameras, in Computer Vision Systems*. 2008, Springer. p. 161-170.
7. Grenness, M.J., J.E. Osborn, and M.J. Tyas, *Stereo-Photogrammetric Mapping of Tooth Replicas Incorporating Texture*. The Photogrammetric Record, 2005. 20(110): p. 147-161.
8. Galantucci, L., G. Percoco, and E. Di Gioia, *Photogrammetric 3D digitization of human faces based on landmarks*. in Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists. 2009.

# SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



عضویت در خبرنامه



فیلم های آموزشی

## کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی



مباحث پیشرفته یادگیری عمیق؛  
شبکه های توجه گرافی  
(Graph Attention Networks)



کارگاه آنلاین آموزش استفاده از  
وب آوساینس



کارگاه آنلاین مقاله روزمره انگلیسی