

((یادداشت مهندسی))

تشخیص پین معیوب به کمک پردازش تصویر در خط تولید

مصطفی سیاح بادخور^۱ و مسعود نصیری لاکه^۲علیرضا نداف اسکوئی^۳دانشکده مهندسی برق، مکانیک و کامپیوتر
دانشگاه ایوان کیدانشکده فنی و مهندسی
دانشگاه جامع امام حسین (ع)دانشکده مهندسی برق، مکانیک و کامپیوتر
دانشگاه ایوان کی

(تاریخ دریافت: ۹۷/۱۲/۱۷؛ تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۱/۰۸)

چکیده

تشخیص قطعات معیوب از سالم، یکی از فرایندهایی است که توسط نیروی انسانی در خطوط تولید و یا پیش از تولید انجام می‌شود. در این مقاله طرحی به منظور تسریع در کنترل ابعادی قطعات به شکل پین، قبل از مصرف در خط تولید ارائه شده است. بدین منظور، ابعاد پین موردنظر در آزمایشگاه به کمک کامپیوتر و با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری مختصات در حالت تماسی، مشخص شده است. سپس ابعاد این پین‌ها در نرم‌افزار متلب جهت مقایسه با ابعادی که از پین‌های ورودی به خط تولید از طریق دوربین ثبت می‌شوند، استفاده می‌گردد. در مرحله بعد اندازه‌های تلورانسی موردنظر به برنامه داده می‌شود و پین‌هایی که در محدوده ابعاد تعریف شده نمی‌باشند، مشخص می‌گردند. لازم به ذکر است که اختلاف اندازه‌های حاصل از خروجی نرم‌افزار و اندازه‌گیری توسط دستگاه اندازه‌گیری مختصات برابر 0.2 mm است که با افزایش تفکیک‌پذیری دوربین، این اختلاف کمتر خواهد شد. با توجه به قرارگیری دوربین در بالای صفحه کار، حالت قرارگیری پین‌ها از نظر زاویه و شکل محدودیتی ندارند. در این مقاله، مدت‌زمان، کنترل اندازه‌های قطر و طول پین نسبت به کنترل دستی توسط نیروی انسانی، به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش یافته است. ضمناً امکان بررسی ابعاد چند قطعه به‌طور هم‌زمان نیز فراهم شده است.

واژه‌های کلیدی: پردازش تصویر، دستگاه اندازه‌گیری مختصات، نتایج تجربی، کنترل قطعه کار، خط تولید

Detecting a Defective Pin Through the Image Processing in the Production Line

M. Sayah Badkhor¹ & Masood Nasiri Lakeh²

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Electrical, Mechanical and Computer Engineering, Eyvanekey University

A. Naddaf Oskouei³

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Imam Hossein Comprehensive University, Tehran, Iran

M. Nasiri Lakeh²

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Electrical, Mechanical and Computer Engineering, Eyvanekey University

(Received: 08/March/2019; Accepted: 28/January/2019)

ABSTRACT

Defective pieces detection is one of the processes which is done by workers during production. In this article, a plan was offered for increasing the speed of dimensional controlling of the pin type pieces, before consuming in production line. For this purpose, pin dimensions were determined in the laboratory by computer and the coordinate measuring machine. Also, the dimensions of input pins were recorded by cameras, before using in production. These two groups of data were compared by Matlab software. In the next step, the desired tolerance dimensions were given to the software and the pins with mismatch dimensions were specified. It should be noted that the difference in the output from the software and the measurements by the coordinate measuring device was 0.2 mm. This difference could be decreased by increasing the resolution of the camera. Due to the position of the camera at the top of the work screen, the position of the pins is not limited in angle and shape. In this paper, the time period of control of pin dimensions has significantly decreased in comparison to manual control by manpower. It is also possible to examine the dimensions of several pieces simultaneously.

Keywords: Image Processing, Coordinate Measuring Machine, Experimental Data, Control of Workpiece, Production process

^۱ - دانشجوی دکترا: mostafasayah@gmail.com

^۲ - دانشیار (نویسنده پاسخگو): anadaf@ihu.ac.ir

^۳ - کارشناس ارشد: masood.na@gmail.com

فهرست علائم و اختصارات

α	اندازه زاویه المان با افق (deg)
A	اندازه ضلع افقی مستطیل محیطی
B	اندازه ضلع عمودی مستطیل محیطی
N	شماره المان
W	ضخامت المان
L	طول المان (mm)
D	قطر المان (mm)

۱- مقدمه

پردازش تصویر^۱ مفهومی جامع و یکی از شاخه‌های مدرن و پرتنوع هوش مصنوعی است. پردازش تصویر، امروزه بیشتر به موضوع پردازش تصویر دیجیتال اطلاق می‌شود. این علم شاخه‌ای از دانش رایانه بوده که با پردازش سیگنال دیجیتال سروکار دارد. سیگنال دیجیتال نماینده تصاویر برداشته شده با دوربین دیجیتال یا پویش شده توسط پویشگر می‌باشد [۱]. پردازش تصاویر به دودسته کلی بینایی ماشین و بهبود تصاویر تقسیم می‌شود. بهبود تصاویر شامل روش‌هایی مانند استفاده از فیلتر محوکننده و فیلترهای افزایش تضاد برای بهبود کیفیت تصاویر و حصول اطمینان از نمایش مناسب آن‌ها در محیط مقصد (مثل چاپگر یا صفحه‌نمایش رایانه) می‌باشد، در صورتی که بینایی ماشین به روش‌هایی می‌پردازد که به وسیله آن‌ها می‌توان محتوا و معنی تصاویر را درک نمود تا از آن‌ها در فعالیت‌هایی چون رباتیک استفاده شود. عدم اطلاع کافی مهندسين از فناوری ماشین بینایی و عدم آشنایی با توجیه اقتصادی به کارگیری آن موجب شده است که در استفاده از این فناوری تردید و در بعضی مواقع واکنش منفی وجود داشته باشد. علی‌رغم این موضوع، بینایی ماشین روزبه روز کاربرد بیشتری پیدا کرده و روند رشد آن چشمگیر بوده است. عملیات پردازش تصویر در حقیقت مقایسه دو مجموعه عدد است که اگر تفاوت این دو مجموعه از یک محدوده خاص فراتر رود، از پذیرفتن محصول امتناع شده و در غیر این صورت، محصول پذیرفته می‌شود. به کار بردن پردازش تصویر در کنترل کیفیت محصول، باعث افزایش دقت بازرسی قطعه، افزایش سرعت

بازرسی و یکنواختی نسبی تصمیم‌گیری در مورد قطعه معیوب می‌شود.

از سال ۱۹۶۴ تاکنون، موضوع پردازش تصویر، رشد فراوانی داشته است. برای نمونه در پزشکی برای تعبیر آسان تر تصاویر اشعه ایکس، یا سایر تصاویر پزشکی، سطوح شدت روشنایی را با رنگ، کدگذاری می‌کنند. متخصصان جغرافیایی نیز از این روش‌ها یا روش‌های مشابه برای مطالعه الگوهای آلودگی هوا که با تصویربرداری هوایی و ماهواره‌ای به دست آمده است، استفاده می‌کنند. در باستان‌شناسی نیز روش‌های پردازش تصویر برای بازیابی عکس‌های مات شده‌ای که تنها باقی‌مانده آثار هنری نادر هستند، مورد استفاده قرار می‌گیرد. در فیزیک و زمینه‌های مرتبط، فنون رایانه‌ای بارها تصاویر آزمایش‌های مربوط به موضوعاتی نظیر پلاسماهای پرنرژ و تصاویر ریزبینی الکترونی را ارتقا داده‌اند. کاربردهای موفق دیگری از پردازش تصویر را نیز می‌توان در نجوم، زیست‌شناسی، پزشکی هسته‌ای و اجرای قانون بیان کرد [۲]. به کار بردن پردازش تصویر در کنترل کیفیت محصول، باعث افزایش دقت بازرسی قطعه و یکنواختی نسبی تصمیم‌گیری در مورد قطعه معیوب می‌شود. در سال ۲۰۰۹ میلادی، تام پیرسون^۲ مقاله‌ای منتشر کرد که در آن از یک دستگاه مرتب‌سازی گندم و ذرت با سرعت بالا، ارزان قیمت، مبتنی بر پردازش تصویر برای شناسایی و جداسازی دانه‌ها با اختلاف رنگ‌های جزئی یا نقص‌های کوچک استفاده نموده است [۳]. در سال ۲۰۱۵ میلادی، کمال اودم^۳، آموت اورهان^۴ و محمود حکیم^۵، مقاله‌ای در خصوص کاربرد پردازش تصویر در کنترل کیفیت بر اساس درزهای نفوذناپذیر در بسته‌های چندلایه ضد عفونی شده منتشر نمودند. مواد چندلایه ضد عفونی شده که تاریخ مصرف مواد غذایی مایع را تضمین می‌کند، با استفاده از ماشین‌های تا زنده به بسته‌های غیرقابل نفوذ تبدیل می‌شوند. از بین رفتن خاصیت نفوذناپذیری در بسته‌بندی شده منجر به زوال مایع داخل بسته‌بندی می‌شود. آزمون چکه (یا سوراخ) که برای تعیین این مشکل به کار گرفته می‌شود، نیازمند کارمند ماهر است. فرآیند کنترل شامل انتخاب تعدادی ماده غذایی

2- Tom Pearson

3- Kemal Adem

4- Umut. Orhan

5- Mahmut. Hekim

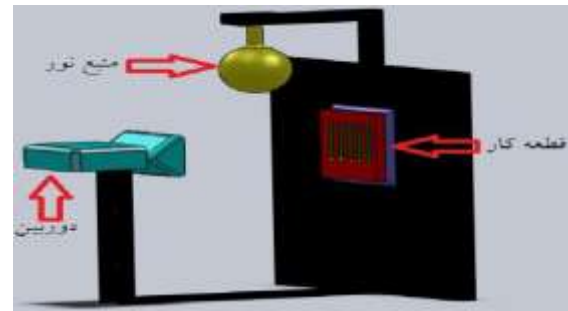
دیگر به بررسی خودکار سطوح متالیک با استفاده از بینایی ماشین پرداختند که هدف تشخیص عیوب ساختاری در سطوح ناهموار متالیک بود. آن‌ها از الگوریتم ژنتیک برای تفهیم و پردازش پارامترهای ریخت‌شناسی در عناصر ساختاری و بخش‌بندی حد آستانه عیوب استفاده کردند. با این روش عیوب ساختاری از قبیل شکاف و حفره را با استفاده از عملیات ریخت‌شناسی و بخش‌بندی تشخیص دادند [۸]. فرانس پرکوف^۷ و پاول اولیری^۸ در تحقیقی دیگر برای بازرسی سطوح متالیک یاتاقان نورد شده یک سامانه خودکار ارائه نمودند. آن‌ها یک الگوریتم انتخاب حد آستانه جدید تطبیقی برای بخش‌بندی ارائه دادند، به طوری که با استفاده از حد آستانه و فیلتر ریخت‌شناسی به بررسی عیوبی همچون سمباده، لکه، سائیدگی و خراش پرداختند [۹]. استمپ^۹ و اسمیت^{۱۰} در تحقیقی دیگر روشی جدید برای بازرسی بینایی بر پایه بافت‌شناسی برای کنترل اطلاعات کیفیت محصول کاشی سرامیک ارائه دادند. این روش توانایی تجزیه درهم (مرکب) توپوگرافی و خصوصیت سطوح رنگی را دارا بود. آن‌ها از دو خصوصیت توپوگرافی و بازتاب برای تشخیص عیوب سطوح کاشی استفاده کردند [۱۰]. جلال‌الدین قضاوتی، مهدی عباسقلی‌پور و ابوالفضل لطفی در یکی از مقالات نوشته‌شده در حوزه تشخیص عیوب سطحی روی سطوح رنگی، از فناوری بینایی ماشین برای تشخیص عیب شر استفاده نموده‌اند. سطوح رنگی متالیک دارای عیوبی همچون لکه، شر، لکه آب، پوست پرتغالی شدن و غیره می‌باشند که تشخیص و شناسایی این عیوب به صورت خودکار در خط تولید کارخانه‌های تولیدکننده ماشین‌های کشاورزی و خودروها، بازرسی سطوح رنگی را تسهیل و با دقت بالایی امکان‌پذیر خواهد کرد. در این فناوری، ابتدا تصویر با یک سامانه نورپردازی دارای ساختار و دوربین دیجیتالی تهیه شد (شکل ۱). سپس الگوریتمی برای پردازش تصویر و تشخیص عیب شر طراحی گردید. در الگوریتم تشخیص عیب شر از توابع لبه یاب و یک الگوریتم دسته‌بندی کننده سطح شر استفاده شده است (شکل ۲). به طوری که بعد از پیاده‌سازی الگوریتم، درصد خطای آن ۶/۰۶ درصد به دست آمد [۱۱].

بسته‌بندی‌شده به صورت تصادفی و باز کردن آن به طور صحیح و مشاهده توزیع قطرات چکانده شده روی درز توسط چشم انسان است. مشخص است که این نحوه کنترل کیفیت به دلیل خطای انسان، می‌تواند باعث آسیب جدی به مواد شود. هدف این مقاله اجرای آزمون چکه روی درز بسته‌بندی‌های چندلایه با استفاده از ترکیب روش‌های پردازش تصویر و تقسیم‌بندی بوده است. داده‌ها از محیط تولید واقعی گرفته شد، آزمایش‌هایی صورت پذیرفت و نتایج ارزیابی گردید. در نهایت نتایج این‌گونه به دست آمد که می‌توان گفت این مطالعه به عنوان یکی از نخستین مطالعات، دارای ویژگی‌های متمایز بوده و نتایج به دست آمده از آن امیدوارکننده بود [۴]. در سال ۲۰۱۵، کاتالین جورج^۱ مقاله‌ای منتشر کرد که در آن از اشعه ایکس برای کنترل کیفیت قطعات به صورت تکی استفاده می‌شد و در این مقاله، منطق فازی را به کار برد. با استفاده از روش‌های بازرسی غیر مخرب می‌توان عیوبی را که از ابتدای تولید تا مرحله ساخت و بعد از آن در مرحله استفاده در قطعات صنعتی به وجود می‌آید را بدون آسیب رسیدن و از بین رفته قطعه مورد آزمون، کشف نمود. آزمون غیر مخرب را می‌توان بر روی یک قطعه‌ای که در یک سازه یا یک در محصول در حال استفاده است انجام داد و از عیوب احتمالی و گسترش خطرات و آثار آن عیوب به سایر سازه یا قطعات جلوگیری کرد [۵]. آقاییان ژنگ شیان^۲، یولانگ دینگ^۳ و روبرت لیانگ^۴ یک سامانه بینایی برای تشخیص عیوب سطوح فلزی با انعکاس قوی پیشنهاد دادند. آن‌ها از هموارسازی، حذف نویز از تصویر و سپس از حد آستانه برای بخش‌بندی کردن تصویر استفاده کردند. در این روش عیوبی از قبیل برآمدگی تیز بر اثر ماشین‌کاری، روزنه، لکه روغن، پوست انداختن، ایجاد سوراخ، حفره و خراش مورد مطالعه قرار گرفت [۶]. آرلین کورد^۵ و همکارانش، روش طبقه‌بندی بر پایه اطلاعات بافتی، برای سطوح متالیک (فولاد)، برای نمونه‌های تصادفی را پیشنهاد دادند. آن‌ها یک روش بر پایه احتمال، با توجه به تغییرپذیری بافت و درک توابع تصادفی توصیف کردند [۷]. لینسو کونگ^۶ و همکارانش، در تحقیقی

1- Catalin. Gheorghia
2- X. Zhang
3- Y. Ding
4 - R. Liang
5- A. Cord
6- L. Kong

7- F. Pernkopf
8- P. O'leary
9 - R. Stamp
10- M. Smith

ربات تعبیه شده است که با زوایای مشخص در طول مسیر حرکت ربات نور می تابانند. تصویر دریافتی ربات حاوی نقاط این نورهای رنگی می باشند که با انجام پردازش تصویر و تعیین مختصات آنها، موقعیت مانع در صورت وجود تشخیص و دستور تغییر مسیر و اجتناب از موانع به ربات داده می شود. این موانع می توانند ساکن و یا پویا باشند [۱۲]. امین طاهری گراوند، محمود امید، حجت احمدی، سید سعید محتسبی و جیوانی ماریا کارلومگنو^۱ سامانه ای مبتنی بر فناوری های گرما نگاری و پردازش تصویر برای تشخیص و طبقه بندی عیوب مختلف رادیاتور توسعه داده اند. در این تحقیق ابتدا عیوب متداول در رادیاتورهای سیستم خنک کاری شامل گرفتگی لوله های رادیاتور، گرفتگی شبکه رادیاتور، اتصالات شل بین لوله ها و شبکه رادیاتور، نشستی مایع خنک کاری و خرابی درب رادیاتور به صورت مصنوعی ایجاد شد. سپس از شرایط مختلف رادیاتور معیوب و سالم به منظور تشخیص عیوب مختلف رادیاتور در سه سطح دمایی، سه سطح دبی جریان سیال خنک کاری در حال گردش و دو سطح سرعت هوای عبوری از شبکه رادیاتور تصاویر گرمایی توسط دوربین فروسرخ تهیه شد. پس از پیش پردازش تصاویر گرمایی تهیه شده جهت تجزیه و پردازش چند دقتی از تصاویر یاد شده تبدیل موجک در یک سطح تجزیه اعمال شد. از هر کدام از تصاویر گرمایی مقیاس خاکستری، تصاویر تقریب، جزئیات افقی عمودی و قطری تبدیل موجک آن تصویر، ویژگی های آماری بافت استخراج شد، سپس با تلفیق روش های هوشمند الگوریتم ژنتیک و شبکه های عصبی - فازی تطبیقی (انفیس^۲)، موفق به طبقه بندی تصاویر گرمایی با استفاده از بردار ویژگی های مستخرج و منتخب شد. سامانه پیشنهادی پس از ارزیابی توانست با دقت کلی طبقه بندی ۹۴/۱۱٪ عیوب مختلف رادیاتور سیستم خنک کاری را تشخیص و طبقه بندی کند [۱۳]. یکی از فرایندهای کنترلی در صنعت، کنترل قطعات ورودی قبل از مصرف در خط تولید هست که نقش مهمی را در رضایت مشتری از کیفیت و عملکرد محصول بر عهده دارد. با توجه به انجام این عملیات توسط نیروی انسانی، خطاهایی در تشخیص ایراد رخ می دهد. مسئله مورد نظر در خصوص کنترل ابعادی یکی از انواع قطعات مصرفی در خط



شکل (۱): شماتیک نورپردازی از نوع دارای ساختار [۱۱].



شکل (۲): الگوریتم پردازش تصویر تشخیص شر رنگ [۱۱].

سعید خدائی، اکبر اللهوردی زاده و بهنام داداش زاده در سال ۲۰۱۷ یک روش جدید بر اساس بینایی ماشین برای تشخیص موانع و جلوگیری از برخورد ربات متحرک با آنها در محیط های هموار ناشناخته ارائه کرده اند. یکی از چالش های کنترل مسیر ربات های متحرک در محیط های ناشناخته این بود که سیستم اجتناب از موانع آن طوری طراحی شود که نسبت به جنس و شکل مانع مقاوم باشد. در این پژوهش یک ربات متحرک طراحی و ساخته شده که به یک دوربین مجهز است. همچنین برای انجام پردازش تصویر به منظور تشخیص موانع موجود در محیط و کنترل مسیر حرکت الگوریتمی پیشنهاد شده و روی ربات پیاده سازی شده است. در این پروژه سه لیزر رنگی بر روی

1- Giovanni Maria Carlomagno

2- ANFIS

معیوب از پین‌های سالم تشخیص داده شده و از ورود به خط تولید جلوگیری می‌گردد.

۲- روابط تحلیلی

با توجه به این که تصویر از یک سری المان و هر المان از یک سری پیکسل تشکیل شده است، لذا بین هر پیکسل و اندازه واقعی می‌تواند رابطه‌ای برقرار باشد. قبل از رسیدن به ضریب تبدیل پیکسل در تصویر با مقدار واقعی قطعه ابتدا باید دوربین را کالیبره نمود. با سعی و خطا می‌توان به این رابطه دست یافت و در نهایت به ضریبی برای تبدیل این دو پارامتر به یکدیگر رسید. البته لازم به ذکر است که این ضریب بستگی مستقیم به تفکیک پذیری دوربین و فاصله عدسی دوربین تا قطعه دارد. در صورتی که از لنز تلستریک^۲ استفاده شود به شرطی که قطر لنز از ابعاد واقعی قطعه کوچکتر نباشد و از منابع نوری با پرتو موازی با امتداد قرارگیری لنز و قطعه استفاده گردد، میتوان تاثیر فاصله جسم از لنز دوربین را تا یک رنج خاص نادیده گرفت. در این تحقیق رابطه " $1/0.19 =$ یک پیکسل" به دست آمده است.

برای داشتن خروجی مناسب نیاز به قرار دادن یک منبع نوری مناسب (حتی‌الامکان لامپ LED مدل G5.3) در زیر سطح قطعه کار است تا از انعکاس نوری جلوگیری به عمل آید. دوربین در ارتفاع و فاصله مناسب بر روی سه پایه نصب گردیده است و پس از حصول اطمینان از عدم لرزش مجموعه نگاه‌دارنده دوربین و نورپردازی مناسب محیط، تصویربرداری صورت می‌گیرد. در تصویربرداری از قطعات، فاصله بین دوربین با سطح قرارگیری قطعات ۵۰ cm در نظر گرفته شده است (شکل ۳).

ابتدا قطعات در محدوده مشخصی از دید لنز دوربین که قبلاً به صورت دایره روی سطح تعیین شده است، قرار می‌گیرند. سپس با دوربین از قطعات عکس گرفته می‌شود. برای انجام محاسبات ریاضی روی تصویر، از تابع تبدیل عکس به فرمت دابل^۳ استفاده شده است. سپس برای حذف نویزها و اعمال فیلترهای دلخواه، نیاز است که تصویر به

تولید در واحد کنترل ورودی هست. لازم به ذکر است که طبق الزامات استانداردهای بین‌المللی از جمله استاندارد ایزو ۹۰۰۱، اندازه‌های مربوط به قطعات در هر مرحله از تولید باید ثبت شوند تا در صورت نیاز، بتوان به آن‌ها مراجعه نمود. به کار بردن پردازش تصویر در کنترل کیفیت محصول، باعث افزایش دقت بازرسی قطعه و یکنواختی نسبی تصمیم‌گیری در مورد قطعه معیوب می‌شود [۱۵]- [۱۴]. در سال ۲۰۱۹، مهدی دانش و همکارانش به بررسی پایش وضعیت سایش ابزار براده‌برداری مبتنی بر مقادیر مشخصه‌هایی از سیگنال که مرتبط با سایش ابزار است، پرداختند. چون این روش برای اندازه‌گیری سایش ابزار غیرقابل اطمینان بود، به ترکیب حس‌گرهای بینایی، کرنش و ارتعاشاتی پرداختند و نتایج مطلوبی از این تلفیق به دست آوردند [۱۶].

تشخیص قطعات معیوب از سالم، یکی از فرایندهایی است که توسط نیروی انسانی در خطوط تولید و یا پیش از تولید انجام می‌شود. در این مقاله طرحی به منظور تسریع در کنترل ابعادی قطعاتی به شکل پین، قبل از مصرف در خط تولید ارائه شده است. بدین منظور ابعاد پین مناسب در آزمایشگاه طراحی به کمک کامپیوتر و با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری مختصات در حالت تماسی، مشخص شده است. بدین صورت که پین‌ها به صورت منفرد در موقعیت مناسب قرار گرفته و با توجه به جنس آن‌ها که فلزی بوده است با مگنت مهار شده‌اند، سپس با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری مختصاتی یک‌بار نسبت به اندازه‌گیری قطر پین و یک‌بار نیز به اندازه‌گیری طول پین اقدام شده است. برای اندازه‌گیری قطر باید چهار نقطه پیرامون محیط هر پین با پراب^۱ دستگاه لمس و سپس برای اندازه‌گیری ابعاد این پین‌ها در نرم‌افزار متلب جهت مقایسه با ابعادی که از پین‌های ورودی به خط تولید از طریق دوربین ثبت می‌شوند، استفاده گردد. در مرحله‌ی بعد اندازه‌های تیلرانی موردنظر به برنامه داده می‌شود و پین‌هایی که در محدوده ابعاد تعریف شده نمی‌باشند، مشخص می‌گردند. اختلاف اندازه‌های حاصل از خروجی نرم‌افزار و اندازه‌گیری توسط دستگاه اندازه‌گیری مختصات برابر 0.2 mm است که با افزایش تفکیک‌پذیری دوربین، این اختلاف کمتر خواهد شد. بدین طریق پین‌های

^۲ -Telecentric
^۳ - Double

می‌کنیم که در شکل شماره ۴ به صورت پارامترهای A, B مشخص شده است.

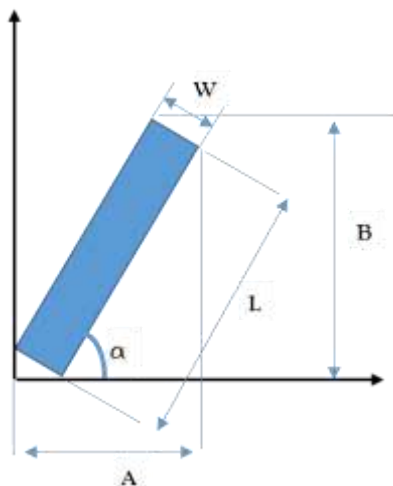
در این مرحله با استفاده از روابط مثلثاتی اقدام به نوشتن معادله مثلثاتی برای ابعاد A, B بر اساس شکل شماره ۴ نسبت به اندازه های L (طول قطعه) و W (ضخامت قطعه) می‌نماییم. که از روابط (۲) و (۳) برای به دست آوردن این ارتباطات استفاده شده است.

$$A = L \cos \alpha + W \sin \alpha \quad (2)$$

$$B = L \sin \alpha + W \cos \alpha \quad (3)$$

حال با حل معادلات فوق می‌توان اندازه W (ضخامت قطعه) را که در رابطه (۴) آورده شده است به دست آورد و با داشتن ضخامت قطعه می‌توان اندازه L (طول قطعه) را به دست آورد.

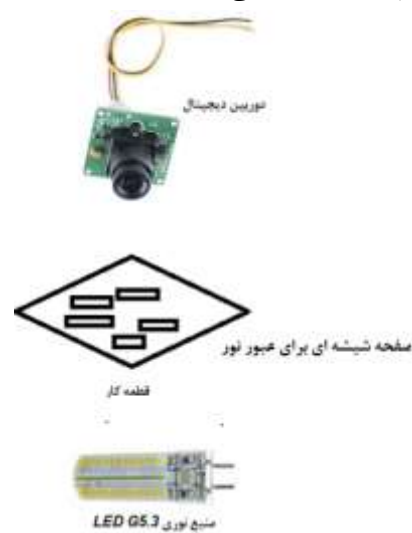
$$W = \frac{A - B \cot \alpha}{\sin \alpha - \cos \alpha \cot \alpha} \quad (4)$$



شکل (۴): پارامترهای مربوط به اندازه قطعه.

فلوچارت استفاده شده برای اندازه‌گیری قطعه، در شکل ۵ نشان داده شده است. همان‌طور که در این فلوچارت برای پردازش تصویر دیده می‌شود، بعد از تعیین محدوده پین مناسب و ورودی اطلاعات به نرم‌افزار متلب، از کلیه پین‌ها به کمک دوربین عکس گرفته‌شده و به نرم‌افزار فرستاده شده است. پس از انجام فرایندهای رفع نویز تصویر ورودی قطعات به صورت نرم افزاری شماره گذاری شده و ابعاد آنها تعیین می‌گردد. سپس این اندازه‌ها با تیرانس‌های تعریف شده در ابتدای کار مقایسه و قطعات استاندارد تشخیص داده می‌شود. بنابراین، به راحتی از ورود قطعات

فرمت باینری^۱ تبدیل گردد. با توجه به مقدار نور متصاعد شده از منبع نوری که قبلاً بین ۵۰ الی ۸۰ لوکس^۲ تعریف شده است، باید قسمت‌های اضافی از تصویر را حذف نمود که در اینجا با قرار دادن حد آستانه معادل ۰/۳ این اتفاق خواهد افتاد. سپس رنگ تصویر به حالت اولیه برگشت داده شده است و در نرم‌افزار متلب، مناطقی که اندازه آن‌ها از ۱۰ megapixel کمتر باشد، حذف شده است. در این مرحله المان‌ها را شماره‌گذاری و تعداد آن‌ها به دست می‌آیند. حال زاویه هر المان با تابع چرخش^۳ در متلب نسبت به افق، محاسبه شده است. با استفاده از یک سری روابط مثلثاتی نسبت به محاسبه ضخامت هر المان اقدام و در نهایت با داشتن مساحت و ضخامت برای هر المان، طول هر کدام از پین‌ها به دست می‌آیند.



شکل (۳): شماتیک نحوه قرارگیری دوربین، منبع نوری و قطعه کار.

ابتدا نسبت به محاسبه زاویه قرارگیری قطعه در تصویر نسبت به افق اقدام می‌کنیم. سپس زاویه بدست آمده را با استفاده از فرمول از گرادیان به درجه تبدیل می‌کنیم که در رابطه (۱) فرمول تبدیل مربوطه آورده شده است:

$$\alpha = \frac{\pi}{180} \text{Deg} \quad (1)$$

با استفاده از توابع نرم‌افزاری متلب که در برنامه نویسی نیز از آنها استفاده شده است اقدام به خروجی گرفتن ابعاد طول و عرض مستطیل محیطی بر روی قطعه مورد نظر

1- Binary

2- Lux

3- Rotate

دستگاه اندازه‌گیری سه‌بعدی مختصات^۱، امکان اندازه‌گیری از روی سطوح قطعات پیچیده با دقت بسیار بالا امکان‌پذیر است.

از آنجایی که در دستگاه‌های مختصات، هر نقطه مشخص فقط یک مختصات دارد و هر مختصات مشخص فقط مربوط به یک نقطه هست، می‌توان از این هویت مشخص برای هر نقطه، استفاده کرد و با دقت بالا، به آن دسترسی پیدا کرد. کاری که دستگاه اندازه‌گیری سه‌بعدی مختصات انجام می‌دهد همین گونه است. این دستگاه امکان حرکت در راستای سه محور مختصات که این محورها، تشکیل دهنده محورهای مختصات دکارتی هستند را دارد. در این دستگاه سه موتور الکتریکی برای حرکت دادن سر دستگاه در راستای سه محور مختصات و همچنین وسیله‌ای خاص در سر دستگاه برای اینکه هنگام تماس آن با سطح قطعه کار سیگنالی برای موتورها فرستاده و آن‌ها را از حرکت بازدارد و سیگنالی برای خط کش نوری فرستاده و توسط آن‌ها مختصات نقطه تماس را به دست آورد وجود دارد.

تجهیزات استفاده شده برای انجام این تحقیق شامل، کولیسی با دقت 0.02 mm ، دستگاه اندازه‌گیر مختصاتی (در اینجا از دستگاه رومر پرتابل با بازوی حرکتی 100 cm و دقت یک 0.001 mm استفاده شده است)، دوربین دیجیتال (که در اینجا از دوربین با تفکیک‌پذیری 2 megapixel استفاده شده است)، تعدادی پین و یک عدد رایانه مجهز به نرم‌افزار متلب است.

در شکل ۷ نمایی از آزمایشگاه مورد استفاده و نحوه اندازه‌گیری قطعات با دستگاه اندازه‌گیر مختصاتی نشان داده شده است.



شکل (۷): نحوه اندازه‌گیری قطعات با دستگاه اندازه‌گیر مختصاتی در آزمایشگاه.

غیر استاندارد از نظر ابعادی به خط تولید کارخانه می‌توان به سرعت جلوگیری نمود.



شکل (۵): فلوچارت کنترل ابعادی قطعه.

در شکل ۵ خروجی قسمت اول برنامه که قطعات روی میز کار را بعد از حذف نویز، شمارش کرده و برای اندازه‌گیری ابعاد آن آماده می‌نماید، نشان می‌دهد. پین‌های مورد نظر تحت زوایای مختلف قرار گرفته‌اند و از نظر طول و ضخامت اندازه‌گیری شده و در صورتی که خارج از محدوده مورد نظر باشند، مشخص می‌شوند.



شکل (۶): تصویر شماره‌گذاری شده توسط نرم‌افزار برای اندازه‌گیری ابعاد هر المان.

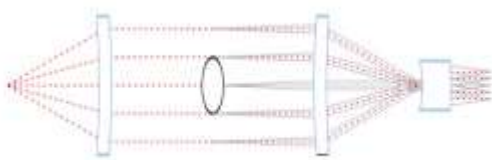
۳- آزمایش تجربی

ابتدا نسبت به اندازه‌گیری 100 عدد پین با کولیسی با دقت 0.02 mm اقدام شده است. لازم به ذکر است که جنس پین‌ها فولادی بوده و با روش سنگ‌زنی تولید شده بودند. برای حذف خطاهای ممکن از قبیل خطای کالیبراسیون، خطای اندازه‌گیری و خطای شرایط محیطی، نسبت به اندازه‌گیری قطعات با دستگاه اندازه‌گیر مختصاتی اقدام شده است.

بلکه با فهمیدن اینکه چه قدر لنز عقب یا جلوی سوژه تمرکز دارد، دوربین می‌تواند به صورت اتوماتیک کمی جلوتر یا عقب‌تر تمرکز کند تا این ایراد جبران شود. در اینجا از یک دوربین دیجیتال که در شکل ۸ نشان داده شده، استفاده گردیده است. به منظور بالا بردن کیفیت تصویر خروجی از یک لنز تلسنتریک^۱ به همراه حسگر تصویر ۲ megapixel و منبع نور استفاده شده است. از آنجایی که تنها شعاع‌های نوری موازی تولید شده است تنها شعاع‌های نوری مورد نیاز به سمت لنز و حسگر تصویربرداری گسیل می‌گردد، دیگر هیچ مشکلی در لبه‌ها و کناره‌ها پیش نمی‌آید (شکل ۱۰).



شکل (۹): دوربین دیجیتال مورد استفاده.



شکل (۱۰): شعاع‌های نوری در هنگام استفاده همزمان از سیستم نورپردازی و لنز.

به منظور کالیبراسیون دوربین، ابتدا لنز معمولی نصب شده روی دوربین با لنز تلسنتریک جایگزین شده است. سپس دیافراگم را تا بیشترین مقداری که لنز دوربین اجازه می‌دهد باز نموده که عدد $f3$ است. با بررسی نور محیط و سرعت شاتر جهت سریع عکس گرفتن، یک تصویر بسیار واضح گرفته شد تا از حرکات جزئی جلوگیری نیز جلوگیری گردد. همچنین ISO را در مقدار متوسط حدود ۶۰۰، تنظیم گردید. برای انجام کالیبراسیون دوربین، یک الگوی دقیق را که دقت آن ۱۰٪ قطعه اندازه‌گیری است، در جلوی دوربین قرار داده و عکس مناسبی از آن گرفته شده است. این الگو، با ابعاد و توصیف آن، در نرم‌افزار

در شکل ۸ قطعات اندازه‌گیری شده در صفحه نرم‌افزار دستگاه اندازه‌گیر مختصاتی نشان داده شده است.



شکل (۸): تصویری از نرم‌افزار با پین‌های مختلف.

موفقیت سیستم‌های بینایی ماشین در اندازه‌گیری ابعادی هنگامی به صورت خاص آشکار می‌گردد که با سیستم‌های با کیفیت نوری یکپارچه گردد. طراحان سیستم‌های بینایی ماشین در هنگام استفاده از سیستم‌های نوری معمولی با مشکلاتی روبرو هستند که دقت اندازه‌گیری و تکرارپذیری آن را تحت تأثیر قرار می‌دهد. مهم‌ترین این عوامل عبارتند از:

- ۱- بزرگ نمایی غیر ثابت با توجه به فاصله جسم از لنز
- ۲- انحرافات تصویری
- ۳- ایراد ناشی از پرسپکتیو
- ۴- عدم کنتراست مناسب برای تشخیص مطمئن لبه‌ها.

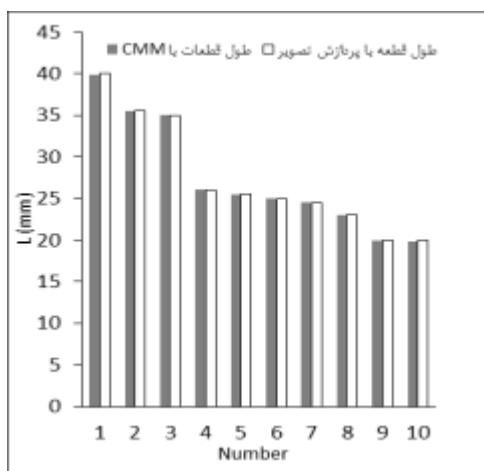
در بیشتر موارد، کارخانه‌های سازنده دوربین و لنز متفاوت هستند. به منظور بهره‌برداری مناسب جهت عکاسی، این دو ابزار مهم را باید به هم متصل کرد. جهت دریافت خروجی مناسب باید تنظیماتی را روی لنز آن انجام داد. لنز در طول زمان ممکن است کمی جلو یا پشت سوژه را نشان دهد و کیفیت عکس خروجی را پایین آورد، بنابراین، نیاز است لنز تمیز و کالیبره گردد. فرآیند کالیبره کردن تنها مختص لنزهایی است که ایراد ساختاری ندارند و بخودی خود مات نیستند. کالیبره کردن به هیچ وجه لنزهای "نرم" یا مات را اصلاح نمی‌کند. در سال‌های گذشته، سازندگان دوربین قابلیت را به برخی مدل‌ها اضافه کرده‌اند که با تنظیمات جزئی می‌توان آن را کالیبره کرد. در واقع، این قابلیت تغییری در لنز ایجاد نمی‌کند یا آن را تعمیر نمی‌کند

¹ Telecentric

جدول (۱): مقایسه نتایج حاصل از روش پردازش تصویر با روش سنتی.

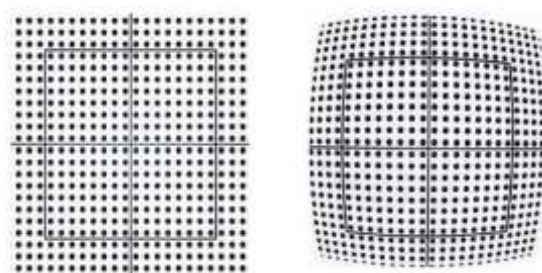
ردیف	اندازه طول به دست آمده از خروجی برنامه متلب (mm)	اندازه قطر به دست آمده از خروجی برنامه متلب (mm)	طول قطعات با دستگاه اندازه گیر مختصاتی (mm)	قطر قطعات با دستگاه اندازه گیر مختصاتی (mm)
۱	۴۰	۱۲	۳۹/۸۷	۱۲/۱۶
۲	۳۵/۵	۱۴	۳۵/۴۵	۱۴
۳	۳۵	۱۴	۳۵/۰۶	۱۳/۹۸
۴	۲۶	۱۱	۲۶/۰۵	۱۰/۹۹
۵	۲۵/۵	۸/۲	۲۵/۴۷	۸/۲۹
۶	۲۵	۸	۲۴/۹۵	۷/۹۹
۷	۲۴/۵	۸/۲	۲۴/۵۱	۸/۳۷
۸	۲۳	۱۰	۲۳/۰۳	۹/۹۹
۹	۲۰	۱۴	۱۹/۹۲	۱۳/۹۷
۱۰	۲۰	۱۴	۱۹/۸۷	۱۳/۹۹

در شکل ۱۲ طول قطعات حاصل از خروجی برنامه و اندازه گیری فیزیکی به صورت نموداری نمایش داده شده است. همچنین در شکل ۱۳ مقایسه قطر قطعات حاصل از نرم افزار با خروجی دستگاه اندازه گیر مختصاتی نمایش داده شده است.



شکل (۱۲): نمودار مقایسه طول پین ها در نرم افزار با CMM.

IPI Motion Capture تعریف شده است. نرم افزار با محاسبه تفاوت مابین الگوی پیش فرض و تصویر اخذ شده از همان الگو در جهان واقعی، اقدام به جبران انحرافات و تبدیل به تصاویری خالی از هر گونه تغییر فرم و انحراف می نماید که در شکل ۱۱ قبل و بعد از کالیبراسیون دوربین آمده است.



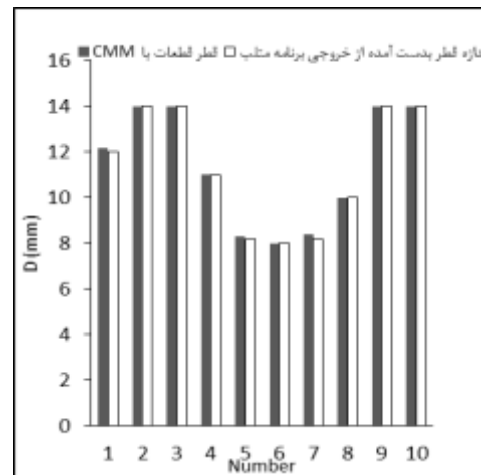
شکل (۱۱): استفاده از یک الگو نقطه ای برای کالیبراسیون دوربین.

۴- نتایج و بحث

با مقایسه نتایج حاصله و اندازه های واقعی ملاحظه می شود که خطای اندازه گیری در طول و قطر حداکثر ۰/۲ mm هست که در جدول ۱ اعداد حاصله مشهود است. از دیدگاه هزینه ای نیز علاوه بر این که نیازی به استفاده از کولیس نیست، در اندازه گیری هر ۱۰۰ قطعه، حدود ۱۰۰۰ s در زمان صرفه جویی می شود (با فرض این که هر قطعه از نظر طول و قطر به ازای یک بار اندازه گیری و ثبت نتیجه نیاز به تقریباً ۱۲ s زمان دارد) که اگر فرض شود که در یک روز بخواهیم ۱۰۰۰ عدد قطعه اندازه گیری گردد در طی یک ماه چیزی حدود ۳۰۰۰۰۰ s یا معادل ۱۰ روز کاری صرف جویی می شود. در این تحقیق روی این ۱۰۰ عدد پین تعداد ۱۰ مورد پین به عنوان معیوب تشخیص داده شد که توسط نیروی انسانی نیز ۱۰ عدد پین از نظر تلورانس خارج از محدوده بود.

در صورت نیاز به دقت بالاتر در اندازه گیری ها نیاز است تا از یک دوربین با عدسی قوی تر در ثبت اطلاعات استفاده شود. با این کار تصویر ورودی به نرم افزار متلب نیز از کیفیت بهتری برخوردار خواهد بود. بنابراین، تحلیل آن نیز به صورت دقیق تر و با خطای کمتر انجام خواهد شد.

4. Audem, K., Orhan, U., Hekim, M. "Image processing based quality control of the impermeable seams in multilayered aseptic packages", *Expert Syst. Appl.* Vol. 42, No. 7, pp. 3785-3789, 2015.
5. Gheorghia, C. "Industrial Image Processing Using Fuzzy-Logic", *Procedia Eng.* Vol. 100, No. 1, pp. 492-498, 2015.
6. Zhang, X., Ding, Y., Shi, A., Liang, R. "A vision inspection system for the surface defects of strongly reflected metal based on multi-class SVM", *Expert Syst. Appl.* Vol. 38, No. 5, pp. 5930-5939, 2011.
7. Cord, A., Bach, F., Jeulin, D. "Texture classification by statistical learning from morphological image processing. Application to metallic surfaces", *J. Microsc.* Vol. 239, No. 1, pp. 159-166, 2010.
8. Zheng, H., Kong, L., Nahavandi, S. "Automatic inspection of metallic surface defects using genetic algorithms", *J. Mater. Process. Technol.* Vol. 125, No.1, pp. 427-433, 2002.
9. Pernkopf, F., O'Leary, P. "Visual Inspection of Machined Metallic High-Precision Surfaces", *EURASIP J. Adv. Signal Process.* Vol. 18, No. 79, pp. 667-678, 2002.
10. Smith, M., Stamp, R. "Automated inspection of textured ceramic tiles", *Comput. Ind.* Vol. 43, No.1, pp. 73-82, 2000.
11. Ghezavati, J., Abasgholipour, M., Lotfi, A. "Detecting metallic surface defects on harvest machines using machine vision"; eighth national eng. Cong. harvest mach. 2013. (In Persian)
12. Khodaei, S., Allahverdzadeh, A., Dadashzadeh, B. "Design and fabrication of an autonomous mobile robot equipped with color lasers and its trajectory control based on machine vision", *J Modares Mech Eng*, Vol. 17, No. 6, pp. 213-220, 2017. (In Persian).
13. Taheri, A., Omid, M., Ahmadi, H., Mohtasebi, S. "Giovanni. Maria Carlomagno, Intelligent fault diagnosis of cooling radiator based on thermal image processing and artificial intelligence techniques", *J Modares Mech Eng*, Vol. 17, No. 2, pp. 240-250, 2017. (In Persian).
14. Gonzalez, R., Woods, C. "Digital Image Processing"; Prentice-Hall Inc, No. 2, pp. 120-160, 2002.
15. Sadeghi, M., Shafiee, M., Memarzadeh, Zavareh, Z., Memarzadeh Zavareh, F. "Using Image Processing in Grading Tile With Gabor Wavelet"; *Int. Conf. Comp. Sci. Net. Tech. (ICCSNT)*, Changchun, China, 2012.
16. Danesh, M., Danesh, S., Khalili, Kh. "Multi-Sensory Data Fusion System for Tool Condition Monitoring Using Optimized Artificial Fuzzy Inference System", *Sci. J. Manag. Sys.* Vol. 15, No 2, pp. 103-118, 2019.



شکل (۱۳): نمودار مقایسه قطر پین‌ها در نرم‌افزار با CMM.

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله به بررسی مواد اولیه ورودی به خط تولید یک کارخانه با روش پردازش تصویر پرداخته شد. پین‌های ورودی به خط تولید باید از نظر ابعاد به صورت تکی و دستی بررسی می‌گردیدند. برای افزایش دقت، کاهش هزینه‌ها و افزایش سرعت ورودی مواد اولیه به خط تولید از روش پردازش تصویر استفاده شد. ابعاد پین‌های ورودی که از طریق عکس به نرم‌افزار وارد شده بودند با ابعاد دقیق پین سالم اندازه‌گیری شده در نرم‌افزار متلب مقایسه و پین سالم از پین‌های ورودی مشخص گردید. با استفاده از این روش، مدت‌زمان کنترل اندازه‌های قطر و طول پین نسبت به کنترل دستی توسط نیروی انسانی، به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش یافته است. در ضمن امکان بررسی ابعاد چند قطعه به طور هم‌زمان نیز فراهم شده است. همچنین با توجه به قرارگیری دوربین در بالای صفحه کار، حالت قرارگیری پین‌ها از نظر زاویه و شکل قرارگیری نیز محدودیتی ندارد.

۶- مراجع

1. Sharifzadeh, M., Alirezaee, S., Amirfatahi, R. and Sadri, S. "Detection of Steel Defect Using the Image Processing Algorithms"; *Int. Multitopic Conf. Karachi, Pakistan, November 1, 2008.*
2. Golestan, A. "Easy editing and image processing"; *Arad Book, Kahkeshane Danesh*, pp. 56, 2008. (In Persian).
3. Pearosn, T. "Hardware-based image processing for high-speed inspection of grains", *Comput. Electron. Agric.* Vol. 69, No. 1, pp. 12-18, 2009.

