

## نظارت خودکار نوری بردهای مدار چاپی

آرش آراوند<sup>۱</sup>، دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی الکترونیک، قادر کریمیان<sup>۲</sup>، دانشیار، جعفر صبحی<sup>۳</sup>، دانشیار،

۱- دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر - دانشگاه تبریز - تبریز - ایران - aravand\_arash@yahoo.com

۲- دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر - دانشگاه تبریز - تبریز - ایران - karimian@tabrizu.ac.ir

۳- دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر - دانشگاه تبریز - تبریز - ایران - sobhi@tabrizu.ac.ir

**چکیده:** امروزه استفاده از دستگاه‌های نظارت نوری خودکار در تولید بردهای مدار چاپی برای کنترل کردن لحیم‌کاری‌ها، وجود اجزاء مقدار صحیح و جهت آن‌ها به یک ابزار ضروری برای شرکت‌های الکترونیکی تبدیل شده است. برد مدار چاپی در این دستگاه توسط چندین منبع نوری پرتوافکنی می‌شود و یک یا چند دوربین با مشخصات بالا برای تصویربرداری استفاده می‌شود. دستگاه نظارت نوری خودکار، با استفاده از تصویر ثبت شده و مقایسه اطلاعات تصویر با اطلاعات ماشین، هر نوع خطا (نقص) یا نواحی مشکوک را شناسایی و مشخص می‌کند. در این مقاله با استفاده از یک دوربین نصب شده بالای یک نوار نقاله سعی شده است اغلب خطاهای رایج که بر روی بردهای مدار چاپی در هر مرحله از خط تولید اتفاق می‌افتد پوشش داده شود. برای کنترل مسیر حرکت دوربین روی نوار نقاله از الگوریتم فروشنده دوره‌گرد استفاده شده است. برای معرفی برد مدار چاپی به دستگاه، یک نرم‌افزار طراحی شده است که به کمک یک فایل CAD مکان و نوع اجزاء را بر روی برد بدست می‌آورد و با انتخاب مسیر بهینه حرکت دوربین، خطاهای ناشی از عدم وجود اجزاء، جهت اجزاء، عدم لحیم‌کاری، لحیم‌کاری سرد، لحیم‌کاری اضافی و غیره را در سه مرحله استخراج ویژگی، انتخاب ویژگی و تصمیم‌گیری تشخیص می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که دستگاه در تشخیص خطای چسب قبل از نصب اجزاء و تشخیص خطاهای بعد از حمام قلع کارآمد است.

**واژه‌های کلیدی:** دستگاه نظارت نوری خودکار، برد مدار چاپی، بینایی ماشین، دسته‌بندی بر اساس قوانین فازی، دسته‌بند LVQ و SVM.

## Automatic optical inspection of printed circuit boards

Arash Aravand, MSc Electronic Engineering Student<sup>1</sup>, Ghader Karimian, Associate Professor<sup>2</sup>, Jafar Sobhi, Associate Professor<sup>3</sup>

1- Faculty of Electrical and Computer Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran, Email: aravand\_arash@yahoo.com

2- Faculty of Electrical and Computer Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran, Email: karimian@tabrizu.ac.ir

3- Faculty of Electrical and Computer Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran, Email: sobhi@tabrizu.ac.ir

**Abstract:** Today, the use of automated optical inspection systems in the production of printed circuit boards to control solders, the presence of the right elements and their direction has become an essential tool for electronic companies. The printed circuit board in this system is irradiated by several light sources and one or more high-definition cameras are used for imaging. Automated optical inspection system, using the recorded image and comparing the image information with the machine information, detects and specifies any type of error (defect) or suspicious areas. In this paper, using a camera mounted on a conveyor, we try to cover most of the common errors that occur on printed circuit boards at any stage of the production line. The traveling salesman algorithm is used to control the movement of the camera on the conveyor. To introduce the printed circuit board to the system, a software has been designed that uses a CAD file to obtain the location and type of elements on the board. By selecting the optimal camera movement path, it detects errors due to the absence of elements, direction of elements, lack of soldering, cold soldering, excessive soldering, etc. in three stages of feature extraction, feature selection and decision making. The results show that the device is efficient in detecting glue error before installing the elements and detecting errors after tin bath.

**Keywords:** automated optical inspection, printed circuit board, machine vision, fuzzy rule-based classification, LVQ and SVM classifier,

## ۱- مقدمه

بندی تصویر مشخص می شوند. هر چند این الگوریتم به نرخ موفقیت خوبی در تشخیص خطاهایی از قبیل لحیم‌کارهای اضافی رسیده است ولی به دلیل نیاز به تنظیم سطوح آستانه وابسته به محیط کار این الگوریتم برای کاربردهای صنعتی با چالش‌های فراوانی همراه است.

علاوه بر روش‌های سنتی بینایی ماشین در سال‌های اخیر استفاده از شبکه‌های عصبی عمیق [۸] نیز برای نظارت هوشمند بردهای مدار چاپی رایج گردیده است. در [۹] یک شبکه به اسم TDD-Net معرفی شده است که از ساختار سلسله مراتب چند مقیاسی و هرمی شبکه‌های عصبی عمیق برای ساختن هرم‌های ویژگی استفاده می‌کند. جعبه‌های لنگر با استفاده از خوشه‌بندی میانگین-k انتخاب می‌شوند. در [۱۰] یک روش مبتنی بر شبکه عصبی عمیق Faster RCNN پیشنهاد شده است. از شبکه ResNet50 با هرم‌های ویژگی به عنوان ستون فقرات برای استخراج ویژگی‌ها و از شبکه GARNP برای پیش‌بینی جعبه‌های لنگر استفاده شده است. در [۱۱] برای تشخیص ایرادهای لحیم‌کاری در بردهای مدار چاپی با قطعات از نوع DIP یک شبکه متشکل از شبکه عصبی عمیق YOLOv2 و Faster RCNN با ResNet-101 و هرم‌های ویژگی پیشنهاد شده است.

در این مقاله دستگاہی برای تشخیص خطاها قبل و بعد از نصب قطعات روی برد مدار چاپی معرفی شده است. برای کنترل و بهبود مسیر حرکت دوربین، از الگوریتم فرو شده دوره‌گرد استفاده شده است. در ادامه مقاله و در بخش دوم، سخت افزار دستگاہ توضیح داده شده است. در بخش سوم، روش‌های تشخیص خطای عناصر به همراه نتایج آنها ذکر شده است. در بخش چهارم، الگوریتم تعیین مسیر حرکت بهینه دوربین شرح داده شده است. در بخش پنجم، الگوریتم‌های پیشنهادی ارزیابی شده و با کار دیگران مقایسه شده است و در نهایت، مقاله با بخش نتیجه‌گیری تمام شده است.

## ۲- دستگاہ نظارت نوری و سیستم تصویربرداری

نمای کلی دستگاہ نظارت نوری ساخته شده که شامل یک جدول X-Y و نوار نقاله است در شکل ۱ نشان داده شده است. شمای واقعی دستگاہ نیز در شکل ۲ آمده است. در سیستم تصویربرداری از یک دوربین CCD با رزولو شن ۵ مگاپیکسل، با لنز ۱۲ میلی‌متری و یک سیستم نورپردازی RGB استفاده شده است. فاصله کاری سیستم نورپردازی تا سطح برد مدار چاپی ۲۵ میلی‌متر است. فاصله دوربین تا سطح برد ۱۰۰ میلی‌متر است. میزان زاویه دید دوربین برای تصویربرداری برحسب میلی‌متر ۴۵×۳۵ است.

برای مشخص شدن مختصات قطعات و نوع آن‌ها روی برد مدار چاپی نرم‌افزاری طراحی شده است که توسط کاربر با از طریق فایل CAD این اطلاعات را دریافت می‌کند. در این نرم‌افزار بر اساس موقعیت قطعات تعریف شده، مراکز نقاط تصویربرداری استخراج می‌شوند.

با معرفی قطعات از نوع SMT<sup>۱</sup> و BGA<sup>۲</sup> در طی سالیان گذشته و استفاده از آنها در بردهای مدار چاپی، تراکم قطعات و خطوط اتصال در این بردها افزایش یافته است و نظارت انسانی در تولید و مونتاژ این بردها با چالش‌های فراوانی همراه بوده است. دستگاہ‌های نظارت نوری خودکار بردهای مدار چاپی، یک فناوری جدید هستند که در تولید و مونتاژ بردهای مدار چاپی مورد استفاده قرار می‌گیرند [۱۲]. در این دستگاہ‌ها از یک سیستم نوری متشکل از یک یا چند دوربین استفاده می‌شود و با تحلیل خودکار تصاویر اخذ شده با الگوریتم‌های بینایی ماشین و روش‌های هوش مصنوعی خطاهای برد مدار چاپی از قبیل خطاهای ناشی از عدم وجود قطعه، جهت قطعه، عدم لحیم‌کاری، لحیم کاری سرد، لحیم‌کاری اضافی و غیره را تشخیص می‌دهند [۲]. در ادامه به برخی از تحقیقات انجام شده در زمینه دستگاہ‌های نظارت نوری خودکار پرداخته شده است.

در [۳] یک روش هوشمند برای تشخیص عیوب در بردهای مدار چاپی با قطعات SMT معرفی شده است. تشخیص توسط یک شبکه عصبی انجام می‌شود که اتصالات لحیم‌کاری تراشه‌های مدار مجتمع روی برد را پردازش می‌کند. تصاویر اخذ شده از برد مدار چاپی به نواحی مورد علاقه بخش‌بندی می‌شوند و با استخراج دو بردار ویژگی "هندسی" و "ویولت" از این نواحی و پردازش این دو بردار توسط شبکه عصبی و شبکه کوانتیزاسیون برداری خطی و دسته‌بند نزدیکترین همسایگی خطاها تشخیص داده می‌شوند. در [۴] یک روش مبتنی بر حذف پس زمینه تصویر برای نظارت بر لحیم‌کاری بردهای مدار چاپی معرفی کردند. ابتدا با استفاده از حذف پس‌زمینه مکان‌های اتصال لحیم مشخص می‌شوند. تعداد نه ویژگی مبتنی بر تصویر باینری و هفت ویژگی مبتنی بر مقادیر سطوح خاکستری برای تشخیص و دسته‌بندی سه نوع نقص استفاده شده است. در [۵] در مرحله اول، با توجه به شکل یک اتصال لحیم‌کاری و ویژگی بازتاب نوری آن، اتصال لحیم کاری هر تراشه مدار مجتمع به چندین زیرناحیه تقسیم می‌شود که به آنها ویژگی‌های شکلی گفته می‌شود. در گام دوم، ویژگی‌های دیجیتالی مبتنی بر رنگ، مساحت، مرکز جرم و پیکسل‌های پیوسته که برای ارزیابی کیفیت لحیم‌کاری مناطق زیرمجموعه استفاده می‌شود، استخراج می‌شوند. در مرحله سوم، ویژگی‌های منطقی با توجه به توزیع رنگ تصویر لحیم‌کاری و روابط بین زیر منطقه‌های مختلف و انواع اتصالات لحیم‌کاری توسعه می‌یابد. در نهایت با یک الگوریتم مبتنی بر قانون ایرادهای اتصالات لحیم‌کاری تشخیص داده شده است. در [۶] یک سیستم نظارتی با استفاده از الگوریتم آداپوست و درخت تصمیم‌گیری معرفی شده است. این الگوریتم یک دسته‌بند را در هر زیرناحیه متعلق به یک تصویر اتصال لحیم آموزش می‌دهد. در [۷] با استفاده از فضای رنگ HSV و الگوریتم خوشه‌بندی رنگ میانگین-k اتصالات لحیم‌کاری استخراج می‌شوند. در مرحله دوم، حفره‌های لحیم‌کاری داخل نواحی سوراخ‌کاری با استفاده از خوشه‌بندی میانگین-k و الگوریتم‌های بخش

بعد از تصویربرداری از برد مدار چاپی و با استفاده از فایل CAD محل قطعات روی برد تعیین می‌شوند. برای تشخیص خطا ۷ ویژگی از تصویر استخراج می‌شود. این ویژگی‌ها شامل مساحت و محیط قسمت چسب اندود شده، میزان دایره‌ای بودن چسب، میزان حداقل و حداکثر پیوستگی چسب، تعداد اجسام تشخیص داده شده به عنوان چسب، مرکز جرم ناحیه چسب و مساحت ناحیه آبی مربوط به چسب در تصویر با نور آبی هستند. از الگوریتم استنتاج فازی Mamdani برای دسته‌بندی نوع خطا استفاده شده است. قوانین فازی برای تصمیم‌گیری در ادامه آورده شده است.

1- If GlueAreaLess and GluePerimeterLess Then LessGlue

2- If GlueCircularityLess and GlueContinuouslyWidthLess and My\_Bad Then RubbingGlue

3- If GlueCircularityLess and GlueContinuouslyLengthLess and Mx\_Bad Then RubbingGlue

4- If Number\_of\_GlueObject\_MoreThanOne and GlueContinuouslyWidthMach Then RubbingGlue

5- If Number\_of\_GlueObject\_MoreThanOne and GlueContinuouslyLengthMach Then RubbingGlue

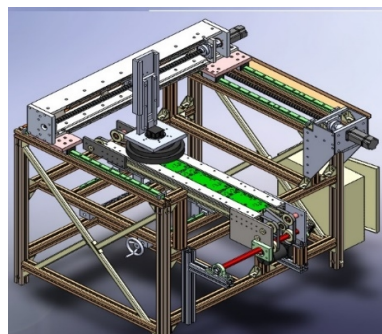
دقت تشخیص انواع خطاها توسط الگوریتم پیشنهادی برای ۳۵۰۰ برد مدار چاپی در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱: دقت الگوریتم پیشنهادی برای ۳۵۰۰ برد مدار چاپی

| نوع خطا         | دقت برحسب درصد |
|-----------------|----------------|
| نبودن چسب       | ۱۰۰            |
| حجم نامناسب چسب | ۹۱             |
| پخش چسب         | ۹۷/۶۱          |
| محل نامناسب چسب | ۹۸/۷           |
| چسب کم          | ۹۳             |
| دقت کل          | ۹۶/۱           |

۳-۲ الگوریتم تشخیص خطاها پس از نصب قطعات روی برد مدار چاپی

الگوریتم دوم پیشنهادی در این مقاله خطاهای برد مدار چاپی بعد از حمام لحیم را در بردهای متشکل از قطعات SMT و DIP تشخیص می‌دهد. از جمله این خطاها می‌توان به نبودن قطعه، حفره در پایه‌ی قطعه DIP، لحیم سرد، نبودن لحیم، لحیم زیاد و لحیم ساختگی اشاره نمود. تشخیص خطای بردهای مدار چاپی در چهار مرحله شامل بخش بندی تصویر هر قطعه، استخراج ویژگی، انتخاب ویژگی و تصمیم‌گیری نهایی انجام شده است. از طرفی برای افزایش دقت و سرعت تشخیص، قطعات به سه گروه تقسیم می‌شوند. گروه اول مقاومت، خازن و دیوهای SMT، گروه دوم تراشه‌های مدار مجتمع و ترانزیستورهای SMT و گروه سوم قطعات DIP هستند. در ادامه به توضیح هر کدام از چهار مرحله بر روی قطعات سه گروه پرداخته می‌شود.



شکل ۱: نمای کلی دستگاه نظارت نوری



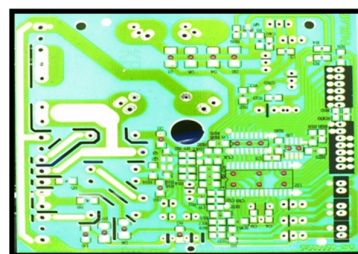
شکل ۲: شمای واقعی دستگاه نظارت نوری

### ۳- الگوریتم نظارت نوری خودکار

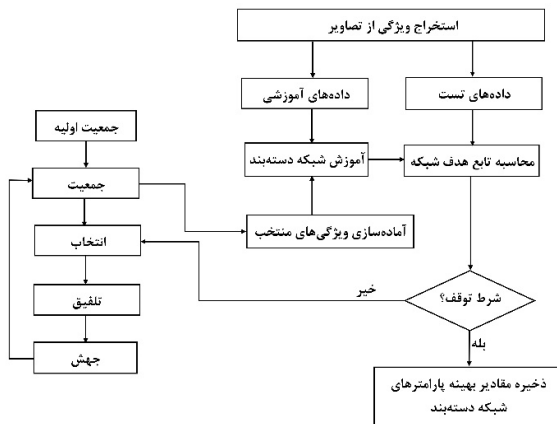
الگوریتم نظارت نوری خودکار از دو الگوریتم تشخیص خطاها قبل و بعد از نصب قطعات روی برد مدار چاپی و الگوریتم تعیین مسیر حرکت بهینه دوربین تشکیل شده است که در ادامه به هر کدام از آنها پرداخته شده است.

#### ۳-۱ الگوریتم تشخیص خطاها قبل از نصب اجزاء روی برد مدار چاپی

در بردهای مدار چاپی با قطعات از نوع SMT برای ثابت ماندن قطعات روی برد و جلوگیری از افتادن در حمام قلع از چسب قرمز استفاده می‌شود که نمونه‌ای از آن در شکل ۳ نشان داده شده است. به همین دلیل برای جلوگیری از خطاهایی مانند افتادن قطعه، جابه‌جایی قطعه روی برد و خارج شدن چسب از زیر قطعه، الگوریتمی برای تشخیص خطاهای چسب از قبیل محل نامناسب چسب، پخش چسب، مناسب نبودن حجم چسب و نبودن چسب ارائه شده است.



شکل ۳: شمایی از یک بردهای مدار چاپی با چسب قرمز



شکل ۵: فلوجارت الگوریتم انتخاب ویژگی

هر تابع دسته‌بند، به هر ناحیه از پد یکی از سه برچسب Good، Bad و Excessive را تخصیص می‌دهد. با استفاده از برچسب هر ناحیه و الگوریتم فازی Mamdani در مورد خطا تصمیم‌گیری می‌شود. قوانین فازی برای تصمیم‌گیری در ادامه آورده شده است.

- 1- If (R1) is (Excessive) and (R2) is (Excessive) and (R3) is (Excessive) and (R5) is (Excessive) Then Pad is (Excessive solder)
- 2- If (R1) is (Good) and (R2) is (Excessive) and (R3) is (Excessive) and (R5) is (Excessive) Then Pad is (Excessive solder)
- 3- If (R1) is (Bad) and (R2) is (Excessive) and (R3) is (Excessive) and (R5) is (Excessive) and (R4) is (Excessive) Then Pad is (Tombstone)
- 4- If (R1) is (Bad) and (R2) is (Bad) and (R3) is (Good) and (R5) is (Bad) Then Pad is (Cold solder)
- 5- If (R1) is (Bad) and (R2) is (Bad) and (R3) is (Bad) and (R5) is (Bad) Then Pad is (NO solder)

از ناحیه R6 برای تشخیص خطای نبودن قطعه استفاده شده است. در این ناحیه با استخراج مساحت رنگ بدنه قطعه و مقایسه آن با یک مقدار آستانه می‌توان در مورد نبودن قطعه تصمیم گرفت. ناحیه R7 برای تشخیص خطای پل بین دو پد استفاده شده است. در این ناحیه با استخراج مجموع مساحت رنگ لحیم مقایسه آن با یک مقدار آستانه می‌توان در مورد خطای پل بین دو پد تصمیم گرفت. جدول ۲ نتایج اجرای الگوریتم برای ۱۰۰۰ قطعه خازن و مقاومت مورد استفاده در چهار نوع برد مدار چاپی مختلف را نشان می‌دهد.

### ۳-۴- الگوریتم تشخیص خطاها برای تراشه‌های مدار مجتمع و

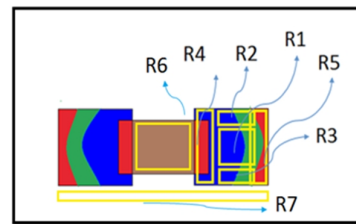
#### ترازیستورهای SMT

این گروه همانند گروه اول به یک سری ناحیه تقسیم و برای هر یک از ناحیه‌ها ویژگی‌هایی استخراج شده و در نهایت خطا برای هر ناحیه بصورت گفته شده تشخیص داده شده است. برای تراشه مدار مجتمع SMT چهار نوع خطای پل بین دو پایه، لحیم ساختگی، نبودن قطعه و جهت قطعه تشخیص داده شده است. در شکل ۶ ناحیه‌بندی یک تراشه

### ۳-۳- الگوریتم تشخیص خطاها برای مقاومت، خازن و دیودهای

#### SMT

قطعات گروه اول دو پایه در کنارها دارند و خود قطعه در وسط دو پد قرار می‌گیرد. شکل ۴ نحوه بخش‌بندی یکی از پدهای خازن SMT، بدنه‌ی قطعه و کناره قطعه را نشان می‌دهد. برای تشخیص خطاها در این گروه ابتدا همانند شکل ۴ هر پایه به یک سری ناحیه بر اساس توزیع رنگ تقسیم شده است. برای هر یک از ناحیه‌های R1 تا R5 یکسری ویژگی‌هایی استخراج شده است. به دلیل تعداد بالای ویژگی‌ها و ناحیه‌ها برای تشخیص در هر ناحیه مؤثرترین ویژگی‌ها انتخاب شده است. انتخاب مؤثرترین ویژگی به کمک الگوریتم تکاملی چندهدفه انجام شده است. بعد از انتخاب ویژگی برای هر ناحیه و تصمیم‌گیری در مورد آن ناحیه که توسط تابع هزینه منتخب در الگوریتم تکاملی انجام می‌شود، در آخر برای تشخیص نوع خطا با ترکیب خروجی‌های هر ناحیه در مورد نوع خطا با کمک الگوریتم استنتاج فازی Mamdani تصمیم گرفته شده است. نحوه بررسی ناحیه‌های R6 و R7 در ادامه توضیح داده خواهد شد.



شکل ۴: نواحی منتخب در پد خازن SMT برای تشخیص خطا

ویژگی‌های استخراج شده برای هر یک از ناحیه‌های R1 تا R5 به شرح زیر است. برای این منظور

- ۱- مساحت هر کدام از نواحی رنگی استخراجی
- ۲- مرکز جرم هر کدام از نواحی رنگی استخراجی
- ۳- بیشترین میزان پیوستگی هر کدام از نواحی رنگی استخراجی
- ۴- تفاوت بین بزرگترین و کوچکترین مقدار رنگ برای هر ۳ بعد
- ۵- میانگین رنگ
- ۶- انحراف معیار رنگ
- ۷- میزان دایره‌ای بودن با استفاده از رابطه  $4 * \pi * \text{Area} / \text{perimeter}^2$
- ۸- مساحت بزرگ‌ترین جسم در هر کدام از نواحی رنگی استخراجی
- ۹- محیط بزرگ‌ترین جسم در هر کدام از نواحی رنگی استخراجی

در شکل ۵ فلوجارت الگوریتم انتخاب ویژگی آمده است.

برای انتخاب ویژگی از الگوریتم ژنتیک با کدگذاری باینری استفاده شده است. برای تولید جمعیت از عملگرهای تلفیق تک نقطه‌ای، دو نقطه‌ای و همگن و عملگر جهش استفاده شده است. برای انتخاب ویژگی از دو شبکه دسته‌بند LVQ با تابع یادگیری learnlv1 [۱۲] و SVM با تابع یادگیری fitsvm [۱۳] استفاده شده است.

## جدول ۲: دقت الگوریتم پیشنهادی برای مقاومت، خازن و

## دیوهای SMT

| نوع دست‌بند                       | نوع خطا          | دقت برحسب درصد |
|-----------------------------------|------------------|----------------|
| LVQ and Mamdani FIS <sup>4</sup>  | نبودن لحیم       | ۹۳/۸۱          |
|                                   | لحیم زیاد        | ۹۶/۸۱          |
|                                   | نبودن پد         | ۱۰۰            |
|                                   | لحیم سرد         | ۹۰/۴۷          |
|                                   | لحیم سالم        | ۹۸/۹۵          |
| SVM and Mamdani FIS               | نبودن لحیم       | ۹۷/۹۳          |
|                                   | لحیم زیاد        | ۹۶/۸۱          |
|                                   | نبودن پد         | ۸۰             |
|                                   | لحیم سرد         | ۸۵/۷۱          |
|                                   | لحیم سالم        | ۹۴/۵۶          |
| R6                                | اطلاعات ناحیه R6 | ۹۴/۴۴          |
| R7                                | اطلاعات ناحیه R7 | ۱۰۰            |
| LVQ and Mamdani FIS and R6 and R7 |                  | ۹۶/۳۵          |
| SVM and Mamdani FIS and R6 and R7 |                  | ۹۲/۷۷          |

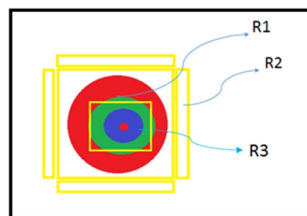
روی تراشه دارند، که از این علامت‌ها برای تشخیص جهت تراشه استفاده شده است. ناحیه R3 مشخص‌کننده جهت درست تراشه است. با استخراج رنگ این ناحیه و مقایسه آن با یک مقدار آستانه جهت درست تراشه تشخیص داده می‌شود. در صورتی که عدد حاصل از یک مقدار آستانه کمتر باشد (که در صورت برعکس بودن جهت تراشه اتفاق می‌افتد) برای ناحیه خطای جهت در نظر گرفته می‌شود. ناحیه R4 برای تشخیص خطای نبودن قطعه است. در این ناحیه هم با استخراج رنگ بدنه تراشه و یا رنگ چاپ سبز برد مدار چاپی و مقایسه آن با یک مقدار آستانه، خطای نبودن قطعه تشخیص داده می‌شود. دقت تشخیص انواع خطاها توسط الگوریتم پیشنهادی برای ۱۰۰۰ تراشه برد مجتمع SMT مورد استفاده در چهار نوع برد مدار چاپی مختلف در جدول ۳ نشان داده شده است.

## جدول ۳: دقت الگوریتم پیشنهادی برای ۱۰۰۰ تراشه SMT

| نوع خطا        | دقت برحسب درصد |
|----------------|----------------|
| پل بین دو پایه | ۹۹/۵           |
| لحیم ساختگی    | ۹۷             |
| نبودن جزء      | ۱۰۰            |
| جهت جزء        | ۹۵             |
| دقت کل         | ۹۷/۹           |

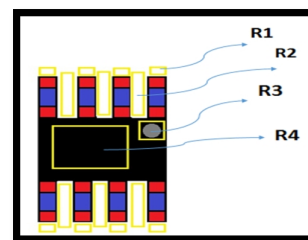
## ۳-۵- الگوریتم تشخیص خطاها برای قطعات DIP

برای گروه سوم یا همان پایه‌های قطعات DIP همانند بقیه قطعات یک سری ویژگی از تصویر پد استخراج می‌شود که در ادامه گفته شده است. با در نظر گرفتن سه ناحیه اصلی برای هر پد که در شکل ۷ نشان داده شده است، شش خطای اتصال بین دو پایه، لحیم زیاد، لحیم کم، حفره در لحیم، نبودن پایه و نبودن لحیم تشخیص داده شده است.



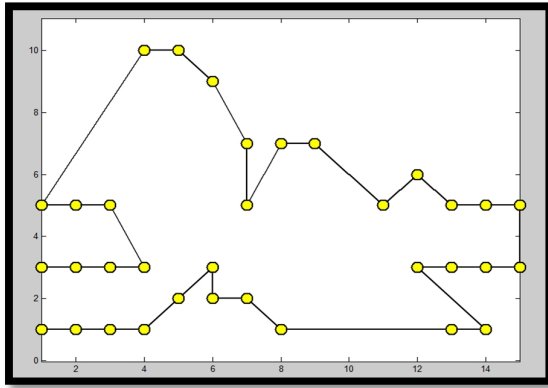
شکل ۷: نواحی منتخب در قطعات DIP برای تشخیص خطا

ناحیه R1 برای تشخیص خطای اتصال بین دو پایه استفاده شده است. توضیحات این ناحیه همانند توضیحات ناحیه R2 برای تشخیص خطای تراشه برد مجتمع SMT است. ناحیه R2 برای تشخیص خطاهای لحیم کم، لحیم زیاد، نبودن پد و نبودن لحیم استفاده شده است. در این ناحیه، ویژگی‌های مساحت (Area)، مساحت بزرگ‌ترین جسم (LArea)، میزان دایره‌ای بودن (Cir)، فاصله نسبی مرکز جرم (Dis) هر کدام از نواحی رنگی قرمز، سبز و آبی استخراج می‌شوند. از فلوجارت نشان داده شده در شکل ۸ برای تشخیص نوع خطا استفاده شده است. ناحیه R3 برای تشخیص خطای حفره در لحیم استفاده شده است. برای این ناحیه دو ویژگی مساحت ناحیه رنگ قرمز و مساحت ناحیه



شکل ۶: نواحی منتخب در تراشه برد مجتمع برای تشخیص خطا

مدار مجتمع SMT به چهار ناحیه نشان داده شده است. از آنجایی که این ناحیه‌ها برای تشخیص نوع خطاهای گفته شده کافی هستند و هر ناحیه بیان‌کننده یک نوع خطا است و ناحیه‌ها برای تشخیص خطا برخلاف گروه اول به هم وابسته نیستند، تشخیص خطا پیچیدگی بالایی نداشته و از انتخاب ویژگی با استفاده از الگوریتم ژنتیک در این تشخیص صرف‌نظر شده است. در ادامه ناحیه‌ها و ویژگی‌های انتخاب‌شده برای هر ناحیه توضیح داده شده است. ناحیه R1 برای تشخیص خطای لحیم ساختگی استفاده شده است. در این ناحیه، مساحت هر کدام از نواحی رنگی قرمز، سبز و آبی استخراج می‌شود و در صورتی که مساحت ناحیه قرمز از مجموع مساحت دو رنگ دیگر بیشتر باشد برای آن ناحیه خطای لحیم ساختگی در نظر گرفته می‌شود. ناحیه R2 برای تشخیص خطای پل بین دو پایه استفاده شده است. در این ناحیه، دو ویژگی مساحت هر کدام از نواحی رنگی قرمز، سبز و آبی و بزرگ‌ترین پیوستگی رنگ برای هر کدام از رنگ‌های قرمز، سبز و آبی استخراج می‌شود و در صورتی که هر دو ویژگی فوق از یک سطح آستانه بزرگ‌تر باشد برای آن ناحیه خطای پل بین دو پایه در نظر گرفته می‌شود. معمولاً تراشه‌های برد مجتمع برای تشخیص جهت شان یک سری علامت مانند دایره کوچک، یا نیم دایره یا یک خط بر



شکل ۹: مسیر بهینه برای یک برد مدار چاپی نمونه

عملکرد قابل قبولی در تشخیص ایرادهای موجود بر روی بردهای مدار چاپی دارند. همچنین همانطور که در بخش مقدمه ذکر شد در سال‌های اخیر استفاده از شبکه‌های عصبی عمیق [۹-۱۱] نیز برای نظارت بردهای مدار چاپی در حال توسعه هستند. از ایرادهای فعلی شبکه‌های فوق می‌توان به الف) تشخیص تعداد محدودی از خطاهای برد مدار چاپی در مقایسه با الگوریتم پیشنهادی در این مقاله، ب) کم بودن سرعت عملیات کانولوشن در تصاویر رزولوشن بالا و محدودیت پیاده‌سازی بلادرنگ، ج) نیاز به پایگاه داده‌های متنوع با تصاویر زیاد و د) لزوم استفاده از رایانه‌های با پردازنده‌های گرافیکی قوی اشاره نمود.

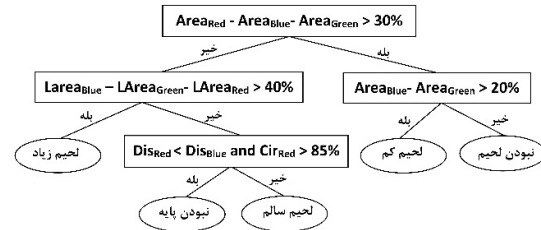
جدول ۵: مقایسه الگوریتم پیشنهادی با [۴] در تشخیص خطاهای قطعات DIP

| نوع خطا           | کارایی [۴] | کارایی الگوریتم پیشنهادی |
|-------------------|------------|--------------------------|
| اتصال بین دو پایه | خیر        | بله                      |
| لحیم زیاد         | خیر        | بله                      |
| لحیم کم           | بله        | بله                      |
| حفره در لحیم      | خیر        | بله                      |
| نبودن پایه        | بله        | بله                      |
| نبودن لحیم        | بله        | بله                      |
| دقت بر حسب درصد   | ۹۷/۳       | ۹۶/۲                     |

جدول ۶: مقایسه الگوریتم پیشنهادی با [۶] در تشخیص خطاهای قطعات مقاومت، خازن و دیودهای SMT

| نوع خطا           | کارایی [۶] | کارایی الگوریتم پیشنهادی |
|-------------------|------------|--------------------------|
| اتصال بین دو پایه | بله        | بله                      |
| لحیم زیاد         | بله        | خیر                      |
| لحیم کم           | بله        | بله                      |
| شبه اتصالات       | خیر        | بله                      |
| لحیم سرد          | خیر        | بله                      |
| لحیم زیاد         | خیر        | بله                      |
| نبودن پد          | بله        | بله                      |
| پل                | خیر        | بله                      |
| جابه‌جایی         | بله        | خیر                      |
| جهت               | خیر        | بله                      |
| دقت بر حسب درصد   | ۹۷/۳       | ۹۷/۹                     |

تیره مربوط به حفره از پایه‌ها محاسبه شده است. برای تشخیص خطا مجموع مساحت بدست آمده با مقدار آستانه مقایسه می‌شود و در صورت برآورده نشدن شرط برای ناحیه خطای حفره در نظر گرفته می‌شود.



شکل ۸: فلوجارت تشخیص خطا در ناحیه R2 در قطعات DIP

در جدول ۴ نتایج تشخیص الگوریتم پیشنهادی برای ۱۰۰۰ قطعه از چهار نوع برد مدار چاپی مختلف نشان داده شده است.

جدول ۴: دقت الگوریتم پیشنهادی برای ۱۰۰۰ قطعه DIP

| نوع خطا           | دقت بر حسب درصد |
|-------------------|-----------------|
| اتصال بین دو پایه | ۱۰۰             |
| لحیم زیاد         | ۱۰۰             |
| لحیم کم           | ۹۵/۲۹           |
| حفره در لحیم      | ۹۱/۰۱           |
| نبودن پایه        | ۸۷/۵            |
| نبودن لحیم        | ۱۰۰             |
| لحیم سالم         | ۹۹/۲۷           |
| دقت کل            | ۹۶/۱۵           |

#### ۴- تعیین مسیر حرکت بهینه دوربین تصویربرداری

برای کاهش زمان حرکت دستگاه جهت تصویربرداری انتخاب یک مسیر بهینه با کوتاه‌ترین طول نیاز است. این مسئله با ربط دادن مسیر حرکت دوربین به مسئله فروشنده دوره‌گرد و حل آن امکان‌پذیر است. برای حل مسئله فروشنده دوره‌گرد از الگوریتم ژنتیک با انکودینگ جایگشتی استفاده شده است. برای محاسبه تابع برازش هر کروموزوم از دو معیار تعداد یال‌های موجود در جایگشت مربوط به کروموزوم و طول مسیر به ازای یال‌های موجود در کروموزوم است. کروموزوم‌هایی که تعداد شهر کمتری را با وزن زیادی به هم وصل کرده‌اند دارای برازش بیشتری هستند و احتمال انتخاب آن‌ها برای شرکت در عملگرهای ژنتیکی بیشتر می‌شود. در شکل ۹ مسیر بهینه برای تصویربرداری از یک برد مدار چاپی نمونه نشان داده شده است. در این شکل دایره‌های زردرنگ بیانگر نقاط تصویربرداری هستند و ابعاد محورها بر حسب سانتیمتر است.

#### ۵- نتایج تجربی

در جدول‌های ۵ و ۶ الگوریتم‌های پیشنهادی با الگوریتم‌های ارائه شده در [۴] و [۶] مقایسه شده است. همانطور که مشاهده می‌شود الگوریتم‌های پیشنهادی با تشخیص تعداد خطای بیشتر و دقت قابل مقایسه،

## ۶- نتیجه

در این مقاله یک دستگاه نظارت نوری خودکار برای ارزیابی بردهای مدار چاپی قبل و بعد از نصب قطعات بر روی برد و الگوریتم‌های استفاده شده معرفی گردید. برخلاف اغلب الگوریتم‌های موجود که فقط خطاهای خاص قطعات مشخصی بر روی برد مدار چاپی را تشخیص می‌دهند، الگوریتم‌های پیشنهادی با تشخیص تعداد خطای بیشتر و دقت قابل مقایسه، عملکرد قابل قبولی در تشخیص انواع مختلف ایرادهای موجود بر روی بردهای مدار چاپی دارند. الگوریتم‌های پیشنهادی بر روی انواع بردهای مدار چاپی متعلق به چهار نوع مختلف و بیش از هزار قطعه مختلف SMT و DIP اعمال گردیدند و با دقت حدود ۹۷ درصد عملکرد قابل قبولی ارائه نمودند.

## مراجع

- inspection,” *International Journal of Production Research*, vol. 45, no. 2, pp. 451–464, 2007.
- [5] W. Fupei and Z. Xianmin, “Feature-extraction-based inspection algorithm for IC solder joints,” *IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology* vol. 1, no. 5, pp. 689–694, 2011.
- [6] X. Hongwei, Z. Xianmin, K. Yongcong, and O. Gaoferi, “Solder joint inspection method for chip component using improved adaboost and decision tree,” *IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology*, vol. 1, no. 12, pp. 2018–2027, 2011.
- [7] C. L. S. C. Fonseka and J. A. K. S. Jayasinghe, “Implementation of an automatic optical inspection system for solder quality classification of THT solder joints,” *IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology*, vol. 9, no. 2, pp. 353–366, 2019.
- [8] Z. Zhao, P. Zheng, S. tao Xu, and X. Wu, “Object detection with deep Learning: a review,” *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, vol. 30, no. 11, pp. 3212–3232, 2019.
- [9] R. Ding, L. Dai, G. Li, and H. Liu, “TDD-net: A tiny defect detection network for printed circuit boards,” *CAA Transactions on Intelligence Technology*, vol. 4, no. 2, pp. 110–116, 2019.
- [10] B. Hu AND J. Wang, “Detection of PCB Surface Defects with Improved Faster-RCNN and Feature Pyramid Network,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 108335–108345, 2020.
- [11] Yu-Ting Li, Paul Kuo, and Jiun-In Guo, “Automatic Industry PCB Board DIP Process Defect Detection System Based on Deep Ensemble Self-Adaption Method,” *IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology* publication information, vOL. 11, nO. 2, 2021.
- [12] H. Demuth and M. Beale, *Neural Network Toolbox user’s guide*, Mathworks Inc., 2004.
- [13] MathWorks: <https://www.mathworks.com/help/stats/fitcsvm.html>, 2014.
- [1] M. Moganti, F. Ercal, C. H. Dagli, and S. Tsunekawa, “Automatic PCB inspection algorithms: A survey,” *Computer Vision and Image Understanding*, vol. 63, no. 2, pp. 287–313, 1996.
- [2] H. H. Loh and M. S. Lu, “Printed circuit board inspection using image analysis,” *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 35, no. 2, pp. 426–432, 1999.
- [3] G. Acciani, G. Brunetti, and G. Fomarelli, “Application of neural networks in optical inspection and classification of solder joints in surface mount technology,” *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 2, no. 3, pp. 200–209, 2006.
- [4] B. C. JIANG, C. C. WANG and Y. N. HSU, “Machine vision and background remover-based approach for PCB solder joints

<sup>3</sup> Dual In-line Package<sup>4</sup> Fuzzy Inference System<sup>1</sup> Surface Mount Technology<sup>2</sup> Ball Grid Array