

دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده مهندسی مکاترونیک و رباتیک

گروه مکاترونیک

تشخیص و دسته‌بندی عیوب ظاهری کاشی و سرامیک

بهزاد سرشاد

اساتید راهنما :

دکتر علیرضا احمدی فرد

دکتر حسین خسروی

پایان نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

بهمن ماه ۱۳۹۲



مدیریت تحصیلات تکمیلی
فرم شماره (۶)

باسمه تعالی

شماره:
تاریخ:
ویرایش:

فرم صورت جلسه دفاع از پایان نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) نتیجه ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد آقای بهزاد سرشاد رشته مهندسی مکترونیک گرایش مکترونیک تحت عنوان تشخیص و دسته بندی عیوب ظاهری کاشی و سرامیک که در تاریخ ۹۲/۱۱/۲۹ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

قبول (با درجه: بسیار خوب امتیاز: ۱۸/۱۸) دفاع مجدد مردود

۲- بسیار خوب (۱۸/۹۹ - ۱۸)

۱- عالی (۲۰ - ۱۹)

۴- قابل قبول (۱۵/۹۹ - ۱۴)

۳- خوب (۱۷/۹۹ - ۱۶)

۵- نمره کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول

امضاء	مرتبه علمی	نام و نام خانوادگی	عضو هیأت داوران
	استادیار	دکتر علیرضا احمدی فرد	۱- استاد راهنما
	استادیار	دکتر حسین خسروی	۲- استاد راهنما
	استادیار	دکتر مهدی بامداد	۳- نماینده شورای تحصیلات تکمیلی
	استاد	دکتر حمید حسن پور	۴- استاد ممتحن
	استادیار	دکتر امیر جلالی	۵- استاد ممتحن

رئیس دانشکده:

امضاء

تقدیم به

پدر مهربان

و

مادر عزیزم

تشکر و قدردانی

پیش از همه شاکر خدا هستم که قسمتی از زیبایی های بیکران علم را به من نشان داد و امیدوارم این فرصت را داشته باشم تا در این راه

بی پایان کام بردارم.

بدون شک جایگاه و منزلت معلم، اجل از آن است که در مقام قدردانی از زحمات بی شائبی او، بازبان قاصد دست ناتوان،

چیزی بنگاریم. اما بر حسب وظیفه بر خود واجب می دانم از پدر و مادر عزیزم ... این دو معلم بزرگوارم ... که همواره بر کوتاهی و درستی

من، قلم عنفوشیده و گریانه از کنار غفلت هایم گذشته اند و در تمام عرصه های زندگی یار و یاور بی چشم داشت برای من بوده اند، از

استاد شایسته و فریخته جناب آقای دکتر علیرضا احمدی فردو آقای دکتر حسین خسروی که در کمال سع صدر، با حسن خلق و فروتنی، از

بج کلمی در این عرصه بر من دریغ نمودند و زحمت راهبانی این رساله را بر عهده گرفتند، کمال تشکر و قدردانی را دارم.

باشد که این خردترین، نحشی از زحمات آنان را پاس گوید.

تعهد نامه

این جانب بهزاد سرشاد دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی مکترونیک دانشکده مهندسی مکترونیک و رباتیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه تشخیص و دسته بندی عیوب ظاهری کاشی و سرامیک تحت راهنمایی دکتر علیرضا احمدی فرد و دکتر حسین خسروی متعهد می شوم .

- تحقیقات در این پایان نامه توسط این جانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است .
- در استفاده از نتایج پژوهش های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است .
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است .
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود است و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید .
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت های آن ها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود .
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده

فرآیند کنترل کیفیت، برای اطمینان از ارائه محصولات سالم و باکیفیت طراحی شده‌اند. بخش‌هایی از فرآیند کنترل کیفیت که نیازمند بازدیدهای بصری کالا است تا سال‌های اخیر توسط انسان انجام می‌گرفته است. هم‌اکنون فعالیت‌های این بخش، به سوی ماشینی شدن گرایش پیدا کرده است. هدف از بازرسی سطوح، تشخیص و آشکارسازی بخش‌هایی از سطوح محصولات و کالاهای صنعتی است که مطابق با معیارهای مشخصی، کیفیت ایده‌آل ندارند. در حال حاضر این فرآیند برای شناسایی عیوب دسته عظیمی از سطوح مانند کاشی‌های سرامیکی، پارچه، چوب، کاغذ و چرم به کار می‌رود.

آشکارسازی عیوب سطحی از طریق روش‌های تحلیل بافت که توصیف‌کننده ویژگی سطوح هستند، امکان‌پذیر است. برای این منظور تبدیل کانتورلت را جهت آنالیز تصاویر کاشی بکار برده‌ایم، کانتورلت یک تبدیل دو بعدی جهت‌دار است که برای توصیف منحنی‌ها و جزئیات ظریف در تصاویر به کار می‌رود. بسط کانتورلت از توابع پایه‌ای که در جهات مختلف، با اشکال و مقیاس‌های مختلف گرایش دارند (ناهمسانگردی)، تشکیل شده است. در ادامه از شبکه عصبی برای آموزش داده‌ها و یافتن کاشی‌های معیوب استفاده کرده‌ایم. نتایج حاصل بسیار مطلوب با تشخیص عیب بالای ۹۶.۸۷٪ است که در مقایسه با کارهای صورت گرفته برتری قابل‌توجهی دارد.

واژه‌های کلیدی: عیب‌یابی سطح کاشی، تبدیل کانتورلت، پردازش تصویر و شبکه عصبی.

لیست مقالات مستخرج از پایان نامه

۱- شناسایی عیوب سطحی موجود در بافت با کمک تبدیل کانتورلت، بهزاد سرشاد، علیرضا احمدی فرد، حسین خسروی. همایش برق و کامپیوتر دانشگاه آزاد اسلامی اصفهان واحد نطنز.

۲- تشخیص و آشکارسازی عیوب ظاهری کاشی و سرامیک با استفاده از تبدیل کانتورلت و شبکه عصبی MLP، بهزاد سرشاد، حسین خسروی، علیرضا احمدی فرد. کنفرانس منطقه ای روش های محاسبه نرم در مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه آزاد اسلامی شیراز واحد صفاشهر.

فهرست مطالب

۱	مقدمه	فصل اول
۲	.....	۱-۱- مقدمه
۳	.....	۲-۱- مراحل تولید کاشی
۶	.....	۳-۱- انواع کاشی، عیوب و درجه‌بندی
۹	.....	۴-۱- لزوم نیاز به درجه‌بندی خودکار کاشی
۱۰	.....	۵-۱- محدوده‌ی تعریف پروژه
۱۴	.....	۶-۱- نظارت و بازبینی به صورت خودکار
۱۷	مرور کارهای انجام‌شده	فصل دوم
۱۸	.....	۱-۲- مقدمه
۱۸	.....	۲-۲- روش‌های آماری
۱۹	.....	۲-۲-۱- تشخیص عیب با استفاده از آستانه گذاری دو سطحی
۱۹	.....	۲-۲-۲- تشخیص عیب با استفاده از معیار برخال
۲۰	.....	۲-۲-۳- تشخیص عیب با استفاده از اطلاعات آماری تصویر خاکستری
۲۰	.....	۳-۲- روش‌های طیفی
۲۱	.....	۲-۳-۱- تشخیص عیب با استفاده از تبدیل فوریه گسسته
۲۲	.....	۲-۳-۲- تشخیص عیب با استفاده از فیلتر گابور
۲۳	.....	۲-۳-۳- تشخیص عیب با استفاده از تبدیل موجک
۲۴	.....	۲-۳-۴- تشخیص عیب با استفاده از فیلتر گابور موجک
۲۴	.....	۴-۲- سایر روش‌ها
۲۹	مباحث نظری	فصل سوم
۳۰	.....	۱-۳- مقدمه
۳۰	.....	۱-۱-۳- تبدیل فوریه
۳۱	.....	۱-۲-۳- تبدیل فوریه زمان کوتاه
۳۲	.....	۱-۳-۳- تبدیل موجک
۳۳	.....	۱-۴-۳- تبدیل کرولت
۳۴	.....	۲-۳- تبدیل کانتورلت

۳۴	.....	۱-۲-۳	مقدمه
۳۵	.....	۲-۲-۳	هرم لاپلاسی
۳۸	.....	۳-۲-۳	فیلتر بانک جهتی
۴۲	.....	۴-۲-۳	تحلیل چند وضوحی و تبدیل کانتورلت
۴۹	.....	۵-۲-۳	نتیجه گیری
۵۰	.....	۳-۳	شبکه عصبی پرسپترون چند لایه
۵۰	.....	۱-۳-۳	مقدمه
۵۱	.....	۲-۳-۳	آموزش پرسپترون
۵۲	.....	۳-۳-۳	پرسپترون چند لایه
۵۶	.....	۴-۳-۳	الگوریتم پس انتشار خطا

فصل چهارم آشکارسازی و دسته بندی عیوب سطحی ۵۹

۶۰	.....	۱-۴	مقدمه
۶۰	.....	۲-۴	فلوچارت الگوریتم پیشنهادی
۶۲	.....	۳-۴	پایگاه داده
۶۴	.....	۴-۴	پیش پردازش
۶۵	.....	۵-۴	شناسایی و دسته بندی عیوب سطحی
۶۵	.....	۱-۵-۴	شناسایی عیوب
۷۱	.....	۲-۵-۴	عیوب بزرگ
۷۲	.....	۳-۵-۴	عیوب کوچک
۷۶	.....	۴-۵-۴	نتیجه گیری

فصل پنجم ارزیابی نتایج و مقایسه با سایر روش ها ۷۷

۷۸	.....	۱-۵	مقدمه
۷۸	.....	۲-۵	محاسبه و ارزیابی نتایج
۷۹	.....	۳-۵	مقایسه با روش های مشابه
۷۹	.....	۴-۵	پیشنهادها برای کارهای آینده
۸۱	.....		مرجع

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱ مراحل اصلی تولید کاشی‌های سرامیکی..... ۴
- شکل ۱-۲ یک نمونه از ساختار بازرسی کاشی..... ۱۵
- شکل ۱-۳ روند تبدیل فوریه..... ۲۱
- شکل ۲-۲ تشخیص عیب با استفاده از تبدیل موجک..... ۲۳
- شکل ۱-۳ تبدیل موجک دو بُعدی..... ۳۲
- شکل ۲-۳ روند تبدیل کرولت بر روی یک تصویر..... ۳۳
- شکل ۳-۳ هرم برت و ادلسون. (الف) مرحله آنالیز (ب) بازسازی..... ۳۶
- شکل ۴-۳ آنالیز و بازسازی QFB..... ۳۸
- شکل ۵-۳ QFB با فیلترهای لوزی و تقسیم‌بندی صفحه فرکانسی..... ۳۹
- شکل ۶-۳ فیلتر بانک جهتی..... ۴۰
- شکل ۷-۳ دو هم ارزی مهم در سیستم‌هایی چند نرخی..... ۴۰
- شکل ۸-۳ فیلتربانک جهتی دو طبقه..... ۴۱
- شکل ۹-۳ نتیجه انتقال فیلترهای ملخی از طبقه دوم به طبقه اول..... ۴۱
- شکل ۱۰-۳ فیلتربانک جهتی - هرمی..... ۴۳
- شکل ۱۱-۳ ساختار کلی تبدیل کانتورلت..... ۴۴
- شکل ۱۲-۳ زیر فضاهای حاصل از تبدیل LP..... ۴۵
- شکل ۱۳-۳ زیر فضاهای حاصل از اعمال DFB به V_j ۴۶
- شکل ۱۴-۳ زیر فضاهای حاصل از اعمال PDFB در یک مقیاس خاص..... ۴۸
- شکل ۱۵-۳ شبکه پیش رو دو لایه با توابع سیگموئید..... ۵۳
- شکل ۱۶-۳ کمینه کلی و کمینه محلی..... ۵۴
- شکل ۱۷-۳ اختار کلی آموزش با ناظر..... ۵۵
- شکل ۱-۴ فلوچارت روش پیشنهادی..... ۶۱
- شکل ۲-۴ نمونه‌ای از تصاویر پایگاه داده..... ۶۴
- شکل ۳-۴ نمونه‌ای از پیش‌پردازش تصویر کاشی..... ۶۴
- شکل ۴-۴ نمای کلی یک فیلتر بانک جهتی هرمی..... ۶۵
- شکل ۵-۴ تقسیم‌بندی صفحه فرکانسی حاصل از تبدیل کانتورلت..... ۶۶

- شکل ۴-۶ نمونه‌ای از یک کاشی.....۶۷
- شکل ۴-۷ تقسیم‌بندی تصویر خاکستری حاصل از کاشی شکل ۴-۶.....۶۷
- شکل ۴-۸ تصویر ورودی شکل ۴-۷.....۶۸
- شکل ۴-۹ زیر باندهای سطح سوم تبدیل کانتورلت.....۶۹
- شکل ۴-۱۰ زیر باندهای سطح دوم تبدیل کانتورلت.....۷۰
- شکل ۴-۱۱ زیر باند اول در تبدیل کانتورلت.....۷۰
- شکل ۴-۱۲ شناسایی عیوب بزرگ سطحی.....۷۱
- شکل ۴-۱۳ نمونه‌ای از تصویر کاشی دارای عیب ریز.....۷۴
- شکل ۴-۱۴ زیر باندهای سطح سوم تبدیل کانتورلت.....۷۴
- شکل ۴-۱۵ زیر باندهای زوج سطح چهارم تبدیل کانتورلت.....۷۵

فهرست جدول‌ها

جدول ۱-۱ تعاریف برخی از عیوب سطحی ۸

جدول ۱-۵ مقایسه روش پیشنهادی با سایر روش‌های پیشین ۷۹

فصل اول

مقدمه

امروزه صنایع تولیدی به دلیل وجود رقابت و نیز برای جلب رضایت مصرف‌کنندگان سعی در بالا نگه‌داشتن کیفیت محصولات خوددارند. کنترل کیفیت در هر واحد تولیدی برای رسیدن به همین هدف است. در صنایعی که محصولات آن‌ها از لحاظ تعداد دارای فراوانی زیادی باشد، رسیدن به این هدف دشوارتر است زیرا بازرسی تک‌تک محصولات نیاز به صرف هزینه زیادی دارد. از طرف دیگر به دلیل اینکه این بازرسی معمولاً به صورت دیداری و توسط انسان انجام می‌گیرد دارای کارایی محدودی چه از لحاظ زمانی چه از لحاظ کیفیت است. بنابراین خودکارسازی این مرحله می‌تواند در بهبود کیفیت محصولات نقش عمده‌ای داشته باشد. با وجود پیشرفت‌های فراوانی که تاکنون در زمینه خودکارسازی صنعتی انجام‌گرفته، در ناحیه بازرسی دیداری به صورت خودکار پیشرفت‌های کمتری دیده می‌شود.

یکی از صنایعی که کنترل کیفیت در آن نقش بسیار موثری دارد صنعت کاشی‌سازی است چرا که دارای تولید فراوانی از لحاظ تعداد است. صنعت کارخانه‌ای تولید کاشی با وجود اینکه صنعت نسبتاً جوانی است، در سال‌های اخیر پیشرفت‌های چشمگیری را در دنیای خودکارسازی صنعتی داشته است. امروزه در فرآیند تولید کاشی تمام مراحل تولید به غیر از مرحله پایانی آن که درجه‌بندی نام دارد به وسیله نوآوری‌های مختلف به صورت خودکار انجام می‌گیرد. در طی مراحل مختلف تولید کاشی عیوب مختلفی ممکن است در کاشی ایجاد گردد. برخی از این عیوب مانند انحنا، خطا در ابعاد و امثال آن هم اکنون توسط سیستم‌های خودکار خاصی مورد بازرسی قرار می‌گیرند ولی عیوب ظاهری سطح کاشی از قبیل لکه‌ها، فرورفتگی‌ها و برجستگی‌ها، عیوب رنگ و امثال آن را تنها توسط بازرسی دیداری می‌توان تشخیص داد. این عیوب در مرحله درجه‌بندی مورد بازرسی قرار می‌گیرند و کاشی‌ها بر اساس میزان عیوب، به دسته‌های همگن دسته‌بندی می‌شوند و یا از چرخه خارج می‌گردند. این مرحله که به بازرسی دیداری مربوط است، هنوز به صورت دستی و توسط انسان انجام می‌گیرد.

با تحقیقات اخیری که روی کاربردهای بینایی ماشین صورت گرفته، یکی از زمینه‌های مهم بازرسی خودکار صنعتی که خیلی مورد توجه واقع شده است، یافتن عیوب در سطوح است، کاربردی که از این نوع در اینجا مطرح است، عیب‌یابی سطح کاشی است و در این نوشته سعی در یافتن روش‌هایی برای حل این مسئله توسط بینایی ماشین داریم.

مطالبی که در فصل‌های این پایان‌نامه آمده است به قرار زیر است. در ادامه در این فصل دامنه مسئله یعنی مراحل مختلف تولید کاشی، عیوب و درجه‌بندی کاشی به طور کلی توضیح داده می‌شود و لزوم تعریف پروژه و محدوده آن بیان می‌گردد. در فصل دوم کارهایی که قبلاً در این زمینه با روش‌های آماری و روش‌های طیفی انجام گرفته مورد بررسی قرار می‌گیرد. در فصل سوم ابتدا به تحلیل روش‌های موجود در حوزه فرکانسی می‌پردازیم و در ادامه روش کانتورلت را جهت استخراج ویژگی از تصاویر معرفی می‌کنیم. همچنین برای تشخیص و طبقه‌بندی عیوب به بیان شبکه عصبی پرسپترون چند لایه می‌پردازیم. با توجه به این که اکثر روش‌های عیب‌یابی سطح کاشی نیاز به تصویر کاملی از کاشی دارند که در آن حاشیه اضافی و چرخش تصویر وجود نداشته باشد، در فصل چهارم به بررسی روش‌های استخراج تصویر کاشی و رفع اعوجاج و حاشیه‌های ناخواسته آن پرداخته شده است. همچنین در این فصل با معرفی روش پیشنهادی به شناسایی و دسته‌بندی عیوب سطحی موجود در کاشی‌های سرامیکی پرداخته‌ایم. در فصل پنجم نتایج حاصل و افق‌های پیشرفت پروژه بیان شده است.

۲-۱- مراحل تولید کاشی

عبارت محصولات سرامیکی به اشیایی اطلاق می‌شود که از مواد غیر زنده و غیرفلزی به دست می‌آیند، به نحوی که مطابق با نیاز شکل می‌گیرند و در برابر فرآیندهای مشخصی از خود مقاومت مکانیکی نشان می‌دهند. در واقع میزان مقاومت مکانیکی به میزان جذب آن بستگی دارد که به

فرمول‌بندی مواد خام و میزان پخت وابسته است. در شکل ۱-۱ مراحل تولید کاشی‌های سرامیکی به صورت شماتیک نشان داده شده است.



شکل ۱-۱ مراحل اصلی تولید کاشی‌های سرامیکی

چرخه تولید کاشی‌های سرامیکی را می‌توان به مراحل اصلی که در شکل ۱-۱ آمده است تقسیم نمود. البته این مراحل ممکن است در کارخانه‌های مختلف تفاوت‌هایی با یکدیگر داشته باشند ولی تفاوت بیشتر در جزئیات هر مرحله است. هر یک از مراحل قبل از درجه‌بندی می‌تواند عیوبی را در سطح کاشی به وجود آورد که دلیل آن خطای تجهیزات و خطای ابزارهای اندازه‌گیری است. هرچند که کارخانه‌ها سعی در بهبود این وضعیت دارند، با این حال کاهش خطای ابزارها و تجهیزات تا میزان محدودی میسر است و کاهش خطا بیش از آن مقدار نیازمند صرف هزینه و به طور کلی از بین بردن خطا تقریباً غیرممکن است.

در ابتدای فرآیند تولید کاشی مواد خام پس از مخلوط شدن به پودر بسیار نرمی به نام ریزدانه تبدیل می‌شوند. در این مرحله وجود برخی ترکیبات ناخواسته مانند ترکیبات خاصی از مس ممکن است باعث ایجاد لکه‌های رنگی در سطح کاشی شود. این پودر به منظور ساخت بیسکویت کاشی در مرحله پرس مورد استفاده قرار می‌گیرد. در مرحله دوم برای مثال خوردگی قالب پرس ممکن است باعث ایجاد

برخی عیوب گردد. بیسکویت آماده شده در مرحله پرس دارای رطوبت زیادی است و شکننده است. بنابراین برای کاهش رطوبت در مرحله‌ای به نام خشک کن وارد کوره می‌شود. در این مرحله ممکن است در اثر یکنواخت نبودن حرارتی که به نقاط مختلف بیسکویت کاشی می‌رسد، ترک‌هایی در آن ایجاد شود. در مرحله لعاب و رنگ، رنگ زمینه کاشی، لعاب و طرح کاشی بر روی بیسکویت کاشی زده می‌شود. عیوب لعاب مانند لعاب نگرفتن برخی قسمت‌های سطح کاشی و عیوب مربوط به چاپ از عیوبی هستند که ممکن است در این مرحله ایجاد شوند.

در مرحله بعد کاشی برای پخت وارد کوره می‌شود. در این مرحله یکنواخت نبودن حرارت در نقاط مختلف کاشی، تفاوت در ضریب انبساط بیسکویت و لعاب کاشی و عواملی دیگر، ممکن است باعث عیوبی مانند ترک در کاشی گردد. همچنین در تمامی طول مسیری که بیسکویت کاشی بعد از پرس طی می‌کند تا به مرحله پایانی برسد، وجود آلودگی و برخوردهای فیزیکی می‌تواند عیوب دیگری را ایجاد کند. بعد از پخته شدن کاشی در کوره، ساخت کاشی به پایان رسیده و آماده استفاده است. اما به دلیل امکان وجود عیوب مختلف با ابعاد گوناگون، کاشی‌ها از همگنی لازم برخوردار نبوده و نمی‌توان آن‌ها را به همین صورت برای استفاده عرضه کرد. بنابراین به منظور ارائه محصولاتی همگن‌تر و یکنواخت‌تر، مرحله دیگری به نام درجه‌بندی قبل از بسته‌بندی و عرضه محصول به بازار انجام می‌گیرد. در این مرحله کاشی‌ها بر اساس میزان عیوب و رنگشان به درجات مختلفی (معمولاً سه یا چهار درجه) دسته‌بندی می‌شوند تا بتوان هر یک از درجات را با قیمتی متناسب با آن عرضه کرد. اهمیت این مرحله به حدی است که استانداردهایی برای آن ایجاد شده است.

هم اکنون تمام مراحل تولید کاشی به غیر از مرحله درجه‌بندی به صورت خودکار انجام می‌گیرد. لازمه این مرحله یافتن عیوب سطح، و لازمه یافتن این عیوب بازرسی دیداری است. در این نوشته سعی در ارائه الگوریتم‌های کامپیوتری برای یافتن این عیوب توسط بینایی ماشین داریم.

۱-۳- انواع کاشی، عیوب و درجه‌بندی

در این بخش ابتدا به انواع مختلف کاشی از زوایای گوناگون می‌پردازیم و در ادامه عیوب و درجه‌بندی را به طور مختصر توضیح می‌دهیم.

کاشی‌ها انواع گوناگونی دارند. این گوناگونی، در طرح و رنگ، دکوراسیون، جنس، ابعاد و مواردی مانند آن وجود دارد. آنچه در مورد تنوع کاشی در اینجا اهمیت دارد، خصوصیات است که به سطح کاشی مربوط می‌شوند، زیرا درجه‌بندی خودکار کاشی بر اساس عیوب سطح تنها تابع این خصوصیات است. از بین این خصوصیات نقش و طرح، دکوراسیون، و ابعاد کاشی تأثیر بیشتری در این امر دارند که در ادامه به آن می‌پردازیم.

کاشی‌ها را از لحاظ نقش می‌توان به چند نوع تقسیم نمود:

- ساده: کاشی‌هایی هستند که هیچ‌گونه طرحی ندارند و دارای زمینه تک رنگ هستند.
- دارای الگوی منظم: نقش این کاشی‌ها دارای الگوی ثابتی است که توسط شابلون بر روی کاشی چاپ می‌گردد.
- دارای الگوی نامنظم (دارای بافت^۱): نقش این کاشی‌ها الگوی ثابتی ندارد و الگوی آن تصادفی است که خود به دو نوع یعنی بافت تصادفی ریز و بافت تصادفی درشت تقسیم می‌شود.

از نظر دکوراسیون و برجستگی سطح کاشی نیز می‌توان کاشی‌ها را تقسیم‌بندی نمود:

- کاشی‌های بدون دکوراسیون: کاشی‌هایی که سطح روی آن‌ها صاف است.
- کاشی‌های دارای دکوراسیون: کاشی‌هایی که عمداً روی آن‌ها فرورفتگی و برجستگی‌هایی ایجاد شده است.

^۱ Texture

- از موارد دیگری که در امر عیب‌یابی و درجه‌بندی خودکار نقش دارد، ابعاد کاشی است. کاشی‌ها از لحاظ ابعاد بسیار متنوع می‌باشند. تأثیری که ابعاد کاشی در عیب‌یابی خودکار دارد در واقع در دقت آن است. هر چه کاشی کوچک‌تر باشد سیستم تصویربرداری تصویر دقیق‌تری از آن ایجاد کرده و دقت عیب‌یابی بیشتر می‌گردد و بالعکس هر چه کاشی بزرگ‌تر باشد دقت عیب‌یابی کمتر می‌شود. واضح است که ابعاد کاشی تأثیری روی استفاده از روش‌های عیب‌یابی ندارد و تنها کارایی آن‌ها را تغییر می‌دهد.

پس از بررسی انواع کاشی‌ها اکنون مطالبی را در مورد عیوب و درجه‌بندی مختصراً بیان می‌کنیم، همان‌طور که قبلاً بیان شد، در مراحل مختلف تولید کاشی عیوب مختلفی می‌تواند در سطح کاشی به وجود آید. برخی از عیوب متداول عبارت‌اند از: ترک‌ها، فرورفتگی‌ها و برجستگی‌ها، سوراخ‌های سوزنی، لکه‌های ناشی از آلودگی، قطره‌ها و عیوب رنگ و بافت. در مرحله‌ی درجه‌بندی، کاشی‌ها با توجه به عیوب مختلف و میزان آن‌ها و بر اساس قوانینی که در استانداردهای درجه‌بندی وجود دارد به سه یا چهار درجه، درجه‌بندی می‌گردند. البته کارخانه‌های مختلف معمولاً قوانینی دقیق‌تر از آنچه در استانداردها آمده است را در قالب دستورالعمل درجه‌بندی گردآوری می‌کنند. همچنین تعداد درجات تا حدی تابع تصمیم‌گیری‌های کارخانه است. ولی در هر صورت برخی از کاشی‌ها به علت نوع عیب یا شدت آن در هیچ‌یک از درجات قرار نگرفته و به عنوان ضایعات به حساب می‌آیند.

عمل درجه‌بندی در خطوطی به نام خطوط درجه‌بندی انجام می‌گیرد. هر یک از این خطوط شامل سه بخش کلی تغذیه‌کننده، درجه‌بندی، و دسته‌بندی است. بخش تغذیه‌کننده عمل تغذیه‌ی کاشی را برای بخش درجه‌بندی انجام می‌دهد. ابتدا کاشی‌ها به صورت عمودی و در کنار هم بر روی نقاله‌ی مربوط به این بخش قرار می‌گیرد. این نقاله کاشی‌ها را بافاصله‌ای مناسب به صورت افقی بر روی نقاله‌ی بخش درجه‌بندی قرار می‌دهد. در قسمت درجه‌بندی کاشی‌ها با سرعتی قابل تنظیم از جلوی چشمان عملگر درجه‌بندی کننده گذشته و عملگر با توجه به نوع خط درجه‌بندی، عمل مناسب را جهت درجه‌بندی هر کاشی انجام می‌دهد.

خطوط درجه‌بندی که اکنون در کارخانه‌ها وجود دارد عموماً دو نوع است: خطوط درجه‌بندی دستی و خطوط درجه‌بندی نیمه خودکار. در نوع اول، عملگر با حرکت دادن کاشی بر روی خط نقاله و قرار دادن آن در مکان مناسب (به عبارتی دیگر با جلو یا عقب بردن کاشی)، درجه‌ی آن را تعیین می‌کند و بدین ترتیب کاشی به دسته‌ی مربوط به خود فرستاده می‌شود. در خطوط درجه‌بندی نیمه خودکار، عملگر با علامت‌گذاری خاصی بر روی کاشی توسط یک ماژیک مخصوص، درجه‌ی آن را تعیین و کاشی‌ها پس از عبور از مرحله‌ی اندازه‌گیری خودکار ابعاد و انحنا و برخی از خصوصیات دیگر با توجه به درجه‌ی تعیین‌شده توسط عملگر و اندازه‌گیری‌های انجام‌شده، به طور خودکار در دسته‌ی مناسب قرار گرفته و پس از بسته‌بندی آماده‌ی عرضه می‌گردند.

در جدول ۱-۱ به تعریف برخی از عیوب سطحی کاشی پرداخته شده است.

جدول ۱-۱ تعاریف برخی از عیوب سطحی

نوع عیوب	خصوصیات عیب
ترک‌ها ^۱	هر نوع ترکی بر روی بدنه کاشی که بر روی سطح کاشی ایجاد می‌شود.
ترک مویی	ترک‌های لعاب که به صورت باریک، ریز و نامنظم به وجود می‌آید.
غیریکنواختی سطح	هر فرورفتگی و ناصافی غیر عمودی بر روی سطح کاشی لعاب‌دار
دوب نشدن لعاب	بلوری شدن غیر عمودی لعاب که در ظاهر قابل مشاهده است
لکه	هر گونه خال، لکه متمایز و مشخص بر روی سطح کاشی
نداشتن لعاب	نگرفتن لعاب در بعضی از قسمت‌های سطح کاشی لعاب‌دار
حفره سر سوزنی ^۲	حفره کوچک بر روی سطح لعاب‌دار کاشی
اشکالات دکور	هرگونه اشکال ظاهری در چاپ و دکوراسیون کاشی
پریدگی ^۳	هرگونه قطعه خرد و جدادشده از لبه‌ها، گوشه‌ها یا سطوح کاشی

¹ Cracks

² Pin hole

³ Chip

۱-۴- لزوم نیاز به درجه‌بندی خودکار کاشی

تحقیقات که تا کنون بر روی مسئله بازرسی و درجه‌بندی کاشی‌ها انجام گرفته نشان می‌دهد که خودکار کردن این مرحله دارای فواید اقتصادی و ایمنی زیادی است که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- کاهش قابل توجه نیاز به حضور انسان در محیط‌های پر خطر و آلوده: با خودکار شدن مرحله‌ی درجه‌بندی، نیاز به حضور انسان در محیط صنعتی کاهش می‌یابد. درجه‌بندی نیاز به بازرسی دیداری کاشی‌هایی دارد که با سرعتی حدود یک تا دو کاشی در ثانیه در حال حرکت هستند. این کار نیاز به دقت فراوان دارد و بسیار خسته کننده است.
- بازرسی با خطای کمتر و هزینه‌ی کمتر: به دلیل سرعت بالایی که کاشی‌ها در مرحله‌ی درجه‌بندی دارند، دارای خطا است. همچنین به دلیل خسته‌کننده بودن این مرحله، هزینه‌ی منابع انسانی آن نیز بالا است.
- همگنی بیشتر در محصولات هر یک از درجات: با کاهش خطا در درجه‌بندی محصولات همگن‌تر و یکنواخت‌تری عرضه‌شده و باعث سودآوری بیشتر می‌گردد.
- افزایش کار آیی کلی تولید به وسیله‌ی برداشتن یک گلوگاه اصلی: درجه‌بندی دستی دارای سرعت محدودی است. به همین دلیل برای انباشته نشدن کاشی‌ها در پشت این قسمت، از چندین خط درجه‌بندی استفاده می‌شود. بنابراین این قسمت به عنوان یک گلوگاه برای تولید بیشتر کاشی است که با خودکار کردن آن و افزایش سرعت درجه‌بندی، این گلوگاه برداشته می‌شود.

- دادن پس خورد^۱ به قسمت‌های مختلف تولید به منظور برطرف ساختن مشکلات احتمالی: مرحله‌ی درجه‌بندی می‌تواند نقش مهمی در بهبود کیفیت محصولات داشته باشد، بدین ترتیب که با جمع‌آوری اطلاعات آماری از عیوبی که مشاهده می‌شود، می‌توان به قسمت‌های مختلف تولید پس خورد مناسبی جهت رفع نواقص احتمالی بدهد. این امر با خودکار کردن عمل عیب‌یابی به سادگی قابل انجام است.
- جایگزین کردن روال غیر سلیقه‌ای بجای روال سلیقه‌ای: می‌توان گفت که درجه‌بندی دستی تا حدی سلیقه‌ای است، زیرا ممکن است افراد مختلف عیوب یک کاشی را به گونه‌های متفاوتی در قوانین درجه‌بندی که در ذهن دارند جای داده و درجه‌بندی‌های متفاوتی را انجام دهند. این مسئله همواره مشکلاتی بین بخش کنترل کیفیت و درجه‌بندی به وجود آورده است. با خودکار کردن درجه‌بندی، سلیقه‌ای بودن آن از بین رفته و مشکلات مذکور نیز رفع می‌شود.

۱-۵- محدوده‌ی تعریف پروژه

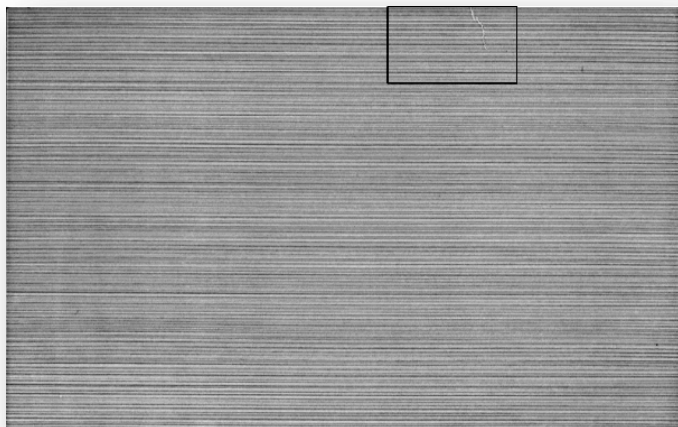
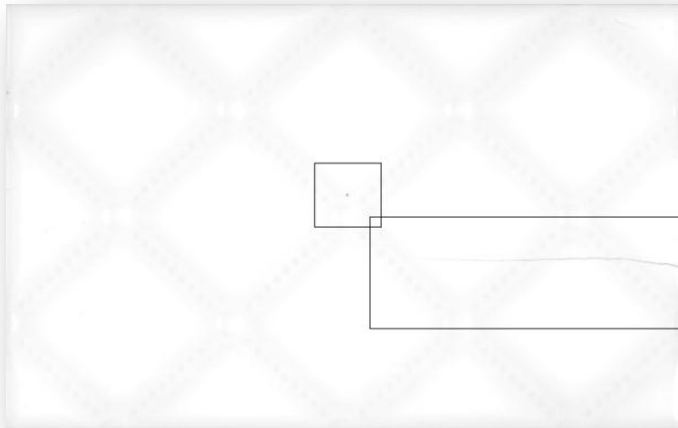
از لحاظ نقش سطح آنچه در اینجا به آن پرداخته خواهد شد، کاشی‌های ساده و کاشی‌های دارای الگوی منظم هستند چرا که درصد بالایی از تولید کارخانه‌های کشور را تشکیل می‌دهند. از طرف دیگر بیشتر کارهایی که تاکنون در زمینه‌ی عیب‌یابی سطح کاشی انجام شده در مورد کاشی‌های ساده و دارای الگوی منظم متمرکز بوده است.

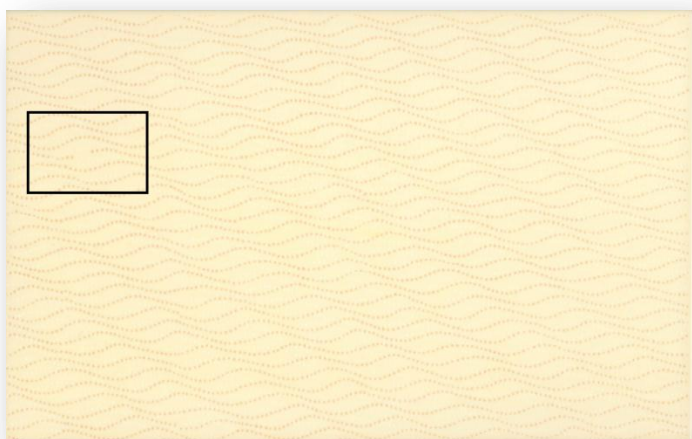
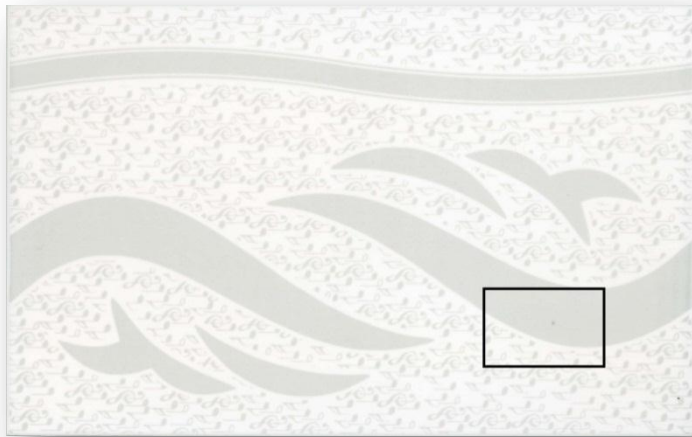
از نظر دکوراسیون نیز به دلیل تولید بیشتر، کاشی‌های بدون دکوراسیون مدنظر می‌باشند. از لحاظ لعاب نیز به همین دلیل فقط کاشی‌های لعاب‌دار مورد توجه قرار گرفته‌اند. ابعاد کاشی همان طور که گفته شد تأثیری روی انتخاب روش‌های عیب‌یابی ندارد و تنها دقت را تغییر می‌دهد. بنابراین محدودیتی از این لحاظ در نظر گرفته نمی‌شود. در این پروژه روی کاشی‌های با ابعاد ۲۵×۴۰ سانتی متر کار شده

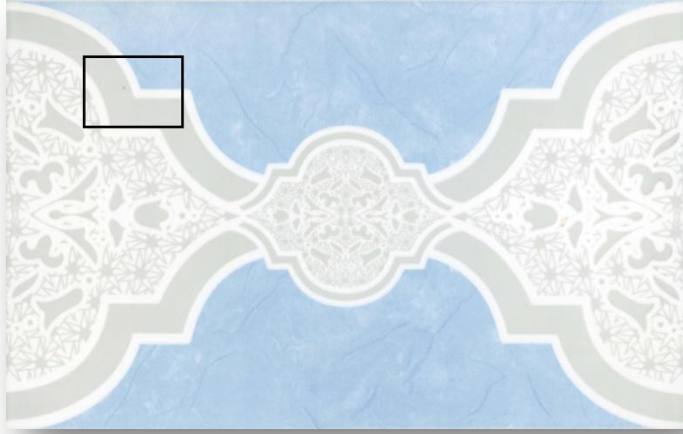
^۱ Feedback+

است.

ده نمونه از انواع عیوب موجود در کاشی‌ها با طرح‌های یکسان، معرفی شده‌اند و با استفاده از الگوریتم پیشنهاد شده به شناسایی عیوب سطحی موجود پرداخته است.









شکل ۱-۲ نمونه‌ای از کاشی‌های مورد استفاده

۱-۶- نظارت و بازبینی به صورت خودکار

در پردازش‌های مربوط به نظارت دیداری خودکار، با یک مسئله چندوجهی روبرو هستیم که نیازمند تلفیق اثرهای متقابل در مؤلفه‌های سیستم‌های مختلف است. تحقیقات و مطالعات نیکولای و چیکتنز [۱] نشان می‌دهد که سرمایه‌گذاری بر روی سیستم‌های نظارت خودکار در خط تولید کارخانه‌ها بسیار اقتصادی است.

شکل ۱-۲، ساختار یک سیستم نظارت خودکار را نشان می‌دهد [۲].

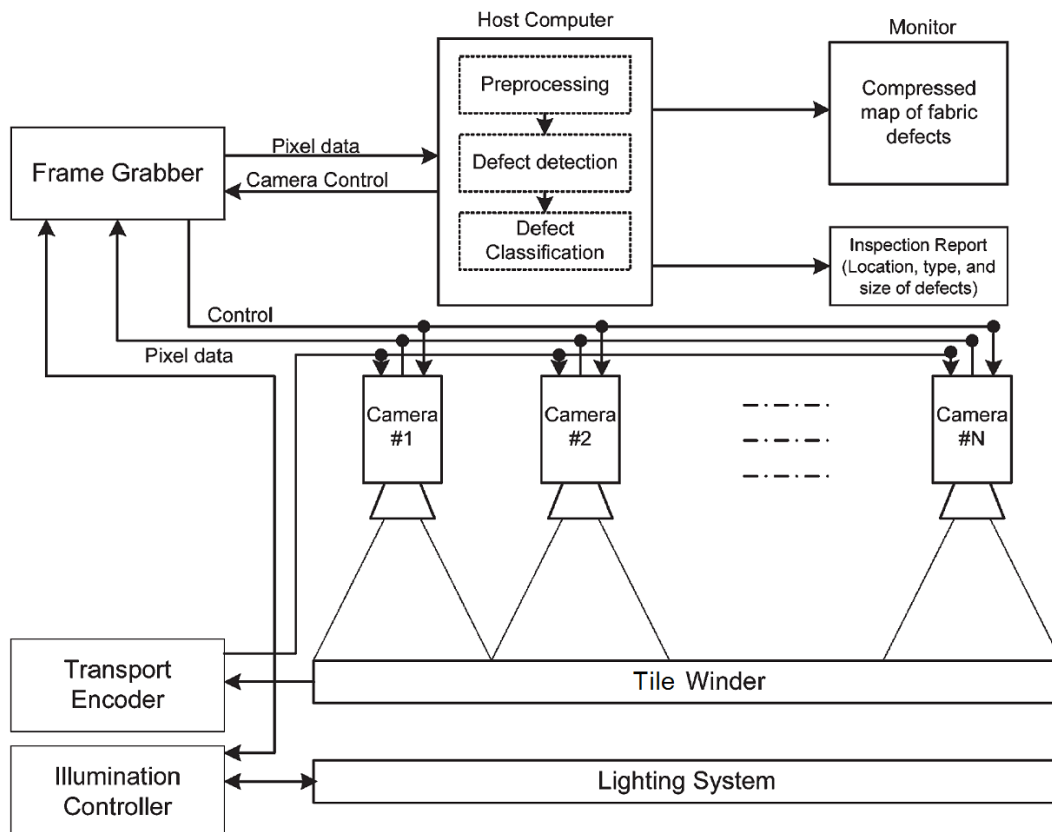
این سیستم شامل اجزا زیر است:

دوربین‌ها (به صورت موازی برای تصویربرداری از کاشی‌ها به عنوان ورودی).

میز فرمان کامپیوتر^۱ (برای پردازش اطلاعات).

سیستم روشنایی

حمایت‌کننده الکتریکی^۲



شکل ۱-۳ یک نمونه از ساختار بازرسی کاشی

اجزای کلیدی این سیستم، در ادامه به طور مختصر شرح داده شده‌اند.

سیستم روشنایی:

کیفیت به دست آمده از تصاویر، نقش مهم و حیاتی در ساده‌سازی مسئله نظارت ایفا می‌کند.

کیفیت تصویر شدیداً تحت تأثیر نوع و سطح روشنایی است.

³ Computer Console

² Supporting Electrical

بچلور و همکاران [۳]، مطالعات گسترده‌ای در زمینه تأثیرات روشنایی، بر روی کیفیت نظارت

دیداری خودکار انجام داده‌اند.

در اینجا می‌توان سه شیوه به منظور افزایش کیفیت روشنایی برای دوربین‌ها اشاره نمود:

- روشنایی از نمای جلو
- روشنایی از نمای پشت
- روشنایی با استفاده از فیبرنوری

شیوه روشنایی از نمای پشت سبب محو سایه از تصاویر می‌گردد و اثر درخشندگی را نیز از بین می‌برد. استفاده از فیبرنوری یک روشنایی یکدست و یکنواختی را بدون داشتن هیچ‌گونه سایه و یا درخشندگی برای نظارت بر محصول فراهم می‌کند، هرچند استفاده از فیبرنوری بسیار پرهزینه است و از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نیست.

دوربین:

در حال حاضر ما با یک تنوع بسیار بزرگ و گسترده‌ای از دوربین‌ها روبرو هستیم، که تفاوت‌های چشمگیری در نوع حسگرها، وضوح تصویر، سرعت بازخوانی و دقت دارند.

یکی از این نوع دوربین‌ها، دوربین‌های CCD^۱ است، که قلب دوربین‌های نظارت تصویری است. CCD یک فناوری آنالوگ است که تصاویر بسیار شفاف با توان تفکیک بالا ارائه می‌دهد. این دوربین‌ها به دلیل داشتن کیفیت بسیار بالای تصویربرداری از یک طرف و از طرف دیگر قابلیت عملکرد بسیار سریع آن‌ها در بستن شاتر، قادر به عکس‌برداری از شی در حال حرکت بدون تار شدن تصویر می‌باشند که این خاصیت‌ها باعث به‌کارگیری وسیع آن‌ها در کاربردهای صنعتی شده است.

^۱ Charge-Coupled Device (CCD)

فصل دوم

مرور کارهای انجام شده

۲-۱- مقدمه

در این قسمت به مرور کارهای انجام شده برای بازرسی‌های خودکار چشمی^۱ می‌پردازیم. در ۱۹۸۲ چین و هارلو [۴]، در ۱۹۸۸ چین [۵]، در ۱۹۹۵ نیومن و جین [۶] و توماس و همکاران [۷]، کارهای گسترده و مفیدی در رابطه با بازرسی و نظارت‌های چشمی برای محصولات صنعتی انجام داده‌اند.

علاوه بر این، پیشرفت‌های کلیدی و مهمی در روش بازرسی خودکار چشمی برای تشخیص عیوب سطحی در ده سال گذشته انجام شده است و این استقبال و پیشرفت به دلیل کاهش دادن شدید هزینه‌ها در خط تولید با استفاده از الگوریتم‌های تشخیص عیوب است.

تشخیص خرابی سطح تنها به کار روی تصاویر حاصل از دوربین‌های دیجیتال محدود نمی‌شود، شین و همکاران از تصویربرداری فرا صوت و انعکاس فرکانس‌های مادون قرمز^۲ برای بازرسی‌های خود به کار گرفته‌اند [۸].

بطور کلی روش‌های تشخیص عیب شامل دو دسته آماری و طیفی است.

۲-۲- روش‌های آماری

در روش‌های آماری، هدف از تشخیص عیب، جدا کردن مناطقی از تصویر است که رفتارهای آماری مجزایی از سایر مناطق مورد بازرسی از خود نشان می‌دهند. یک فرض مهم در این روش، مناطق بدون عیب دارای رفتارهای آماری ثابتی هستند و این مناطق به بخش‌های مهمی از تصاویر مورد بازرسی گسترش پیدا می‌کند.

اکنون به معرفی برخی از روش‌های آماری تشخیص عیب با استفاده از ویژگی‌های بافت می‌پردازیم.

¹ Automated Visual Inspection

² Reflected Infrared Frequencies

۲-۲-۱- تشخیص عیب با استفاده از آستانه گذاری دو سطحی^۱

ساده‌ترین روش برای تشخیص نقص در روشنایی بالا^۲، آستانه گذاری دو سطحی است که به طور مستقیم از آستانه گذاری سطح خاکستری استفاده می‌کند. وجود روشنایی بالا در عیب، باعث می‌شود که سیگنال دریافتی افزایش یا کاهش لحظه‌ای داشته باشد و از طریق آستانه گذاری شناسایی شوند. نورتن و این [۹] و [۱۰] از این ایده برای تشخیص عیوب سطحی استفاده کرده است. استوجانویچ و همکاران، به توسعه یک سیستم بازرسی پرداخته‌اند که با استفاده از روش آستانه گذاری به شناسایی هشت دسته عیب با دقت ۸۶/۲٪ می‌رسد [۱۱].

۲-۲-۲- تشخیص عیب با استفاده از معیار برخال^۳

کونکی و پرونسا در ارزیابی از معیار برخال برای نظارت تشخیص عیب در تصاویر بافت استفاده کرده‌اند [۱۲]. این روش به منظور پردازش حجم بزرگی از داده‌های تصویر بکار می‌رود. این روش از نظر محاسباتی بسیار ساده است، و نتایج به دست آمده نشان‌دهنده تشخیص ۹۳٪ از هشت نوع از عیب‌های اصلی است. این روش در تعیین دقیق محل کشف عیب، بسیار ضعیف است و هشدارهای اشتباه زیادی می‌دهد.

¹ Bilevel Thresholding

² High Contrast

³ fractal dimension

۲-۲-۳- تشخیص عیب با استفاده از اطلاعات آماری تصویر خاکستری^۱

این روش برای داده‌هایی با روشنایی پایین استفاده می‌شود. ژانگ و برسه از این روش برای تشخیص عیب استفاده کرده‌اند. برای این کار، تصاویر مورد بازرسی را به بلوک‌های عیب دار و بدون عیب کلاس‌بندی کرده‌اند، و از آماره‌های مرتبه اول استفاده کرده‌اند [۱۳].

نویسندگان برای رسیدن به یک اندازه مطلوب و بهینه از این بلوک‌ها از تابع خود همبستگی^۲ استفاده کرده است.

از دیگر روش‌های آماری می‌توان به عملگرهای ریخت‌شناسی^۳، تشخیص لبه، ویژگی‌های ماتریس هم‌رخداد^۴، و... اشاره کرد.

۲-۳- روش‌های طیفی^۵

یکی دیگر از روش‌های بسیار مهم در بینایی کامپیوتر، روش‌های طیفی می‌باشند که در تشخیص عیوب قوی و کارآمد هستند. تصاویر دارای بافت‌های یکنواخت، از بافت‌های اولیه تکرارپذیری تشکیل شده‌اند که دارای جابجایی مشخصی هستند. درجه بالای تکرار این شکل‌های اولیه در بافت به ما این اجازه را می‌دهد که از ویژگی‌های طیفی برای تشخیص نقص استفاده کنیم.

[۱۴]، به بررسی ویژگی‌های دامنه فضایی- فرکانسی^۶ که حساسیت کمی نسبت به نویز و شدت تغییرات دارند پرداخته است. کاربردهای مختلفی از ویژگی‌های دامنه فضایی- فرکانسی برای تشخیص عیوب در بافت‌های یکنواخت وجود دارد که در ادامه به آن‌ها اشاره می‌کنیم.

¹ Gray-level statistics

² Autocorrelation Function

³ Morphological Operations

⁴ Cooccurrence Matrix Features

⁵ Spectral approaches

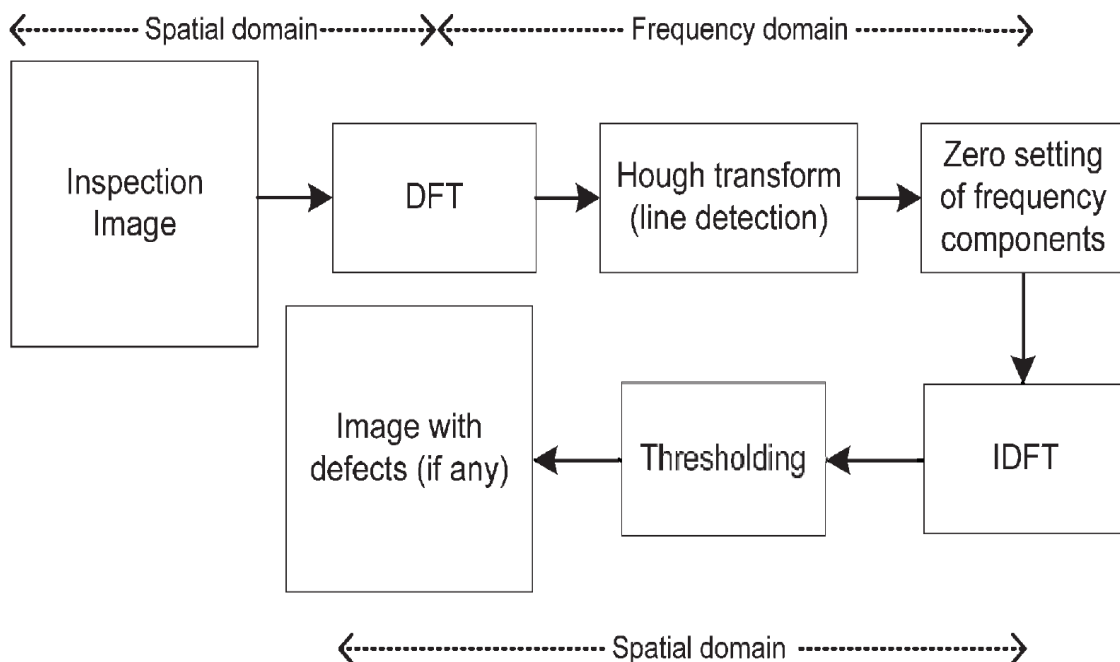
⁶ Spatial-frequency domain features

۲-۳-۱- تشخیص عیب با استفاده از تبدیل فوریه گسسته^۱

چان و پانگ [۱۵] به تفصیل از مؤلفه‌های فرکانسی متمرکز برای شناسایی عیب‌های موجود در بافت‌ها استفاده کرده‌اند.

در [۱۶] نمونه‌های فوریه برای چهار نوع مختلف از نقص‌های بافت معرفی گردیده‌اند. این چهار نوع خرابی بافت عبارت‌اند از: خرابی‌های انتها، خرابی‌های پیک، بافت‌های شکسته و بافت‌های چرب. این نمونه‌ها برای استخراج ویژگی‌های فوریه از تبدیل فوریه گسسته استفاده کرده‌اند.

تسای و هیش [۱۷]، برای بافت‌های جهت‌دار از ترکیب تبدیل هاف^۲ و تبدیل فوریه گسسته استفاده کرده‌اند. و معکوس تبدیل فوریه گسسته^۳ برای بازیابی تصاویر در حوزه فضایی استفاده می‌شود. شکل ۲-۱، روند کار ایشان را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۱ روند تبدیل فوریه

^۱ Discrete Fourier Transform (DFT)

^۲ Hough transform

^۳ Inverse Discrete Fourier Transform (IDFT)

۲-۳-۲- تشخیص عیب با استفاده از فیلتر گابور^۱

برای استخراج ویژگی‌های بافت در حوزه فضایی، از فیلترهای محلی استفاده می‌شود. یکی از پرکاربردترین این فیلترها، فیلتر گابور است.

فیلترهای گابور به طور گسترده و موفقیت‌آمیزی در پردازش تصویر و بینایی ماشین بکار گرفته شده‌اند. آن‌ها یکی از مناسب‌ترین و پرکاربردترین ابزارها برای تشخیص مرز بافت، بخش‌بندی تصویر، تمایز و طبقه‌بندی بافت و تشخیص عیوب مختلف هستند. تشخیص خطا در ساختارهای تکرارپذیر و متشابه به طور گسترده‌ای به عنوان مسئله آنالیز بافت مورد توجه قرار گرفته است. یک بافت منظم و تکرارپذیر می‌تواند به وسیله فرکانس غالب و جهت مشخصه‌های اساسی توصیف شود. تعیین مکان دقیق عیب‌ها بیشتر نیازمند این است که فیلترهای استفاده‌شده در یک فضای خاص بکار گرفته شوند و از طرف دیگر فرکانس زیاد ویژه بافت نیز ایجاب می‌کند که فیلترهایی با پهنای باند کوچک‌تر در فضای فرکانسی استفاده شوند [۱۸].

طراحی فیلترهای گابور به طور عمده به سه روش انجام می‌شود:

✓ **فیلتربانک‌ها:** طراحی فیلتربانک‌ها نیازمند مجموعه‌ای وسیع از پارامترهای از پیش تعیین

شده است تا به طور مؤثری فرکانس الگو و طرح بافت را پوشش دهند. هدف استفاده از یک

بانک فیلتر بجای یک فیلتر در یک جهت و مقیاس خاص، آنالیز تصویر در جهت‌ها و مقیاس-

های متفاوت است.

✓ **فیلترهای تطبیقی:** فیلترهای تطبیقی از پارامترهایی استفاده می‌کنند که به طور نزدیکی با

خصوصیات بافت مرتبط هستند و می‌توانند برای وظایف بخش‌بندی و طبقه‌بندی بسیار مفید

باشند.

¹ Gabor filter

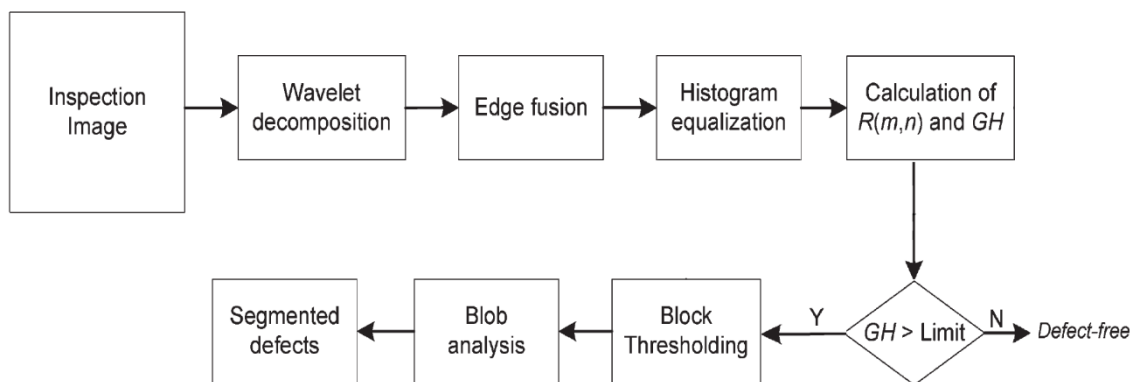
✓ **فیلترهای ویژه:** فیلترهای ویژه یا اختصاصی تنها برای یک هدف مشخص طراحی می‌شوند و انتخاب پارامترهای آنها به طور قطع در جهت رسیدن به هدف مشخص شده صورت می‌گیرد.

۲-۳-۳- تشخیص عیب با استفاده از تبدیل موجک^۱

در تبدیل موجک، از دو دسته فیلتر بالاگذر و پایین‌گذر استفاده شده است، که آنها را در چند سطح به سیگنال (تصویر) مورد نظر اعمال می‌نماییم. در اثر یک بار عبور تصویر از این فیلترها، چهار تصویر جدید شامل تقریب^۲ تصویر (نتیجه اعمال فیلتر پایین‌گذر)، جزئیات^۳ در جهت افقی، جزئیات در جهت عمودی و جزئیات در جهت قطری ایجاد می‌شود.

در تصاویری با چند سطح روشنایی اکثراً از تبدیل موجک استفاده می‌کنند.

شکل ۲-۲، در راستای توضیح استفاده از تبدیل موجک، برای تصاویر با چند سطح روشنایی بیان شده است.



شکل ۲-۲ تشخیص عیب با استفاده از تبدیل موجک

^۱ Wavelet transform

^۲ Approximation

^۳ Details

اخيراً سراف و گودارد، سیستم تشخیص عیب با استفاده از تبدیل موجک را بر روی بافت‌ها بکار برده‌اند [۱۹].

همچنین جاسپر و همکاران به صورت مفصل به طراحی فیلتر موجک پرداخته‌اند [۲۰].

۲-۳-۴- تشخیص عیب با استفاده از فیلتر گابور موجک

فیلتر گابور موجک در زمینه‌های مختلف برای پردازش تصاویر بکار گرفته می‌شود. از جمله کاربردهای آن می‌توان به آشکارسازی عیب‌های موجود در میوه، عیب‌های موجود در کاشی، بخش‌بندی تصاویر، کلاس‌بندی تصاویر و ... اشاره کرد. نکته قابل‌توجه این است که برای کاربردهای متفاوت، تعاریف متعددی نیز از این فیلتر برای برآورده کردن هدف مورد نظر انجام شده است اما تقریباً اساس همگی آن‌ها ثابت است. این فیلتر با ترکیب دو روش فیلترهای گابور و آنالیز موجک به دست می‌آید. در حالت کلی گابور را می‌توان یک فازور دوار در صفحه مختصات تعریف کرد. تغییر زاویه این فازور امکان آنالیز تصویر را در جهت‌های متفاوت ایجاد می‌کند. در حقیقت می‌توان بجای استفاده از دو فرکانس سینوسی مختلط که آن‌ها را با f_x و f_y نشان می‌دهیم از یک فازور دوار با فرکانس مدولاسیون W استفاده کرد. این اساسی‌ترین تغییر در ساختار فیلترهای گابور موجک نسبت به فیلترهای گابور است [۲۱].

۲-۴- سایر روش‌ها

در [۲۲] روشی برای کشف، نمایش و درجه بندی عیوب شکستگی بصورت بلادرنگ و با دقتی بالا معرفی شده است. در این روش از استخراج نقاط مرزها و کانتور تصاویر و همچنین محاسبه شیب پیکسل‌های کانتور برای شناسایی شکستگی‌ها استفاده کرده است.

در شناسایی عیوب لبه‌ی کاشی و سرامیک، روش پیشنهادی [۲۳] است که توسط هوسنسکی و همکارانش ارائه شده است. هدف این مقاله یافتن عیوب لبه‌ی کاشی و سرامیک بر پایه‌ی تحلیل توصیف‌گر کانتور است. برای این منظور ابتدا تصویر ورودی را به تصویر دودویی تبدیل کرده‌اند و سپس برای آستانه‌گذاری از تحلیل هیستوگرام استفاده کرده‌اند. نویسندگان عنوان کرده‌اند که اغلب روش‌های آشکارسازی لبه‌های تصویر، بر پایه‌ی روش‌های گرادیان انجام می‌گیرد. آن‌ها برای استخراج لبه‌های شکل از الگوریتم لبه‌یاب کنی استفاده کرده‌اند. روش ردیابی جهت‌دار کانتور، که مورد استفاده هوسنسکی و همکاران بوده است روشی بر پایه جستجوی پیکسل‌های لبه‌ی شکل کاشی با اطلاعاتی درباره جهت آن‌ها در امتداد مسیر جستجو است. به این صورت که بجای موقعیت هر پیکسل کانتور، جهت آن پیکسل ذخیره‌شده و ردیابی کانتور بر پایه‌ی جهت‌ها انجام می‌شود.

همچنین مصطفوی و همکاران، با استفاده از الگوریتم c-means و الگوریتم ژنتیک سعی در شناسایی عیوب رنگی کاشی و سرامیک کرده‌اند [۲۴]. الگوریتم c-means، یک الگوریتم خوشه‌بندی است که بر پایه‌ی اندازه‌ی بین نقاط داده و مرکز خوشه‌ها در فضای داده و بهینه‌سازی تابع هدف کار می‌کند. اساس کار به این صورت است که ابتدا تصویر کاشی سالم توسط الگوریتم دسته‌بندی ژنتیکی^۱، خوشه‌بندی شده است. بعد از یافتن بهترین مرکز، هر پیکسل از تصویر به خوشه‌ی با نزدیک‌ترین مرکز خوشه نسبت داده می‌شود. سپس بیشترین خطای خوشه‌ها محاسبه می‌شود. برای هر خوشه، بیشترین خطا، بیشترین فاصله بین مرکز آن و تمام پیکسل‌هایی است که به آن تعلق دارد. بعد از محاسبه خطاها، تمام پیکسل‌های تصویر کاشی معیوب بر پایه‌ی مرکز بهینه‌شده‌ی تصویر کاشی سالم در مرحله‌ی قبل خوشه‌بندی می‌شوند. پیکسل‌هایی که فاصله‌شان از مرکز خوشه‌شان از بیشترین خطا از آن خوشه بیشتر است، جزء پیکسل‌های معیوب هستند.

دانگ و همکاران برای طبقه‌بندی بافت با کمک استخراج ویژگی از زیر باندهای تبدیل کانتورلت استفاده کرده‌اند [۲۵]. در این مقاله با استفاده بر دار ویژگی به دست آمده از الگوریتم c-means

^۱ Genetic C-means Clustering Algorithm (GCMA)

فضای کانتورلت به طبقه‌بندی بافت مورد نظر می‌پردازد. و در ادامه به مقایسه با روش طبقه‌بندی بافت با استفاده از استخراج ویژگی انرژی در حوزه موجک پرداخته است.

در [۲۶] جهت کشف عیوب بافت محصولات از هیستوگرام تصاویر محصولات استفاده شده است. نویسندگان در این مقاله جهت کشف عیوب موجود در بافت محصولات، هیستوگرام استخراجی تصویر را با یک هیستوگرام مبنا مقایسه نموده‌اند. همچنین در [۲۷] نویسندگان از پردازش هیستوگرام تصاویر رنگی جهت آشکارسازی عیوب رنگی و بافتی کاشی و سرامیک‌ها استفاده کرده‌اند.

در [۲۸] برای جدا کردن بافت‌های تصویر، از روش مارکو (C-CHMM)^۱ استفاده شده است. این روش بر اساس فن‌های بهبود دقت در الگوهای بافت بهره برده است.

در [۲۹] برای کشف عیوب کاشی‌های دارای بافت‌های تصادفی روشی بر پایه‌ی عملگرهای مورفولوژی بازگشتی ارائه شده است. ایده‌ی مطرح‌شده در این مقاله بر پایه‌ی شناسایی ساختارهای غیرطبیعی بافت با استفاده از عملگر فرسایش مورفولوژی است.

در [۳۰] سیستمی برای درجه‌بندی کاشی‌های سرامیکی با استفاده از فناوری بینایی ماشین پیشنهاد شده است. در کار مورد نظر برای کلاس‌بندی عیوب از شبکه عصبی پرسپترون چند لایه استفاده شده است.

در مقاله [۳۱]، یک روش جدید برای تجزیه و تحلیل بافت‌ها ارائه شده است. این روش از نظریه شبکه پیچیده^۲ استفاده کرده است. روش پیشنهادی، از اندازه‌گیری و سنجش درجه بافت برای توصیف آن مجموعه استفاده می‌کند. نتایج این روش برای نقص‌های موجود در بافت بسیار قوی است.

در [۳۲] که مقاله‌ای تحت عنوان روش‌های آشکارسازی لبه در کشف عیوب کاشی و سرامیک است، واسیلیس و همکارانش سعی در کشف عیوب سطحی و سرامیک با استفاده از روش‌هایی بر پایه الگوریتم‌های آشکارسازی لبه داشته‌اند. نویسندگان عنوان کرده‌اند که هدف اصلی این مقاله نشان

^۱ Contourlet Contextual Hidden Markov Model (C-CHMM)

^۲ Complex Network

دادن کاربرد الگوریتم‌های آشکارساز لبه برای کشف معایب رنگ و سطح در کاشی و سرامیک است. از این رو نویسندگان روش آشکارساز لبه کنی را پیشنهاد کرده‌اند. به طوری که از این روش برای کشف عیوب حباب و شیار موجود در سطح کاشی استفاده شده است. استدلال نویسندگان برای بکار بردن لبه یاب کنی برای کشف عیوب مذکور، تیز بودن این عیوب است که به گفته ایشان این عیوب در سطح کاشی با عملگرهای لبه یابی و استفاده از گرادیان تصویر نمایان می‌شوند.

در [۳۳] روشی برای تشخیص عیوب سطحی کاشی و سرامیک بر پایه لبه یاب کنی و ادغام آن با تبدیل کانتورلت ارائه شده است. نویسندگان با همین ایده از تبدیل کانتورلت برای حذف نویز تصاویر قبل از اعمال الگوریتم کنی برای تشخیص عیوب استفاده و ادعا کرده‌اند که ادغام این دو روش نتایج را بهبود می‌دهد.

در [۳۴] بکووالس و همکارانش در یک پروژه‌ی شرکتی، روش‌هایی برای آشکارسازی ترک‌های بزرگ و کوچک پیشنهاد داده‌اند. روش شامل یک پیچش یک بعدی به ترتیب در جهات افقی و عمودی است. مواضع امکان وجود خطوط، و فرض وجود آن ارزیابی شده و شکل سیگنال‌های خروجی اطراف مواضع با شکلی که انتظار داریم مقایسه می‌شود تا ببینیم خط مورد نظر ما تأیید یا رد می‌نماید. فیلترهای پیچشی می‌توانند برای تشخیص خصوصیات حتی به اندازه پهنای تا چند پیکسل بهینه‌شده و استفاده شوند. در همین مقاله برای آشکار سازی ترک‌های بزرگ استفاده از توزیع وینگر و فاصله‌ی ماهانولوییس پیشنهاد شده است.

در [۳۵] روشی بر اساس آنالیز شدت روشنایی پیکسل‌ها با یک همسایگی تعیین‌شده، در پی یافتن اختلافات برای آشکار سازی عیوب خال ارائه شده است.

فصل سوم

مباحث نظری

۳-۱- مقدمه

در این فصل ابتدا به تحلیل روش‌های موجود در حوزه فرکانسی می‌پردازیم. در ادامه روش کانتورلت جهت استخراج ویژگی از تصاویر معرفی می‌شود. همچنین برای تشخیص و طبقه‌بندی عیوب به بیان شبکه عصبی پرسپترون چند لایه می‌پردازیم، این از ویژگی‌های استخراج‌شده در تبدیل کانتورلت استفاده می‌کند.

۳-۱-۱- تبدیل فوریه^۱

در قرن نوزدهم میلادی یک ریاضیدان فرانسوی به نام ژوزف فوریه به معرفی تبدیل فوریه سیگنال پیوسته در زمان پرداخت و نشان داد که هر تابع متناوب را می‌توان بر حسب مجموع نامتناهی از توابع نمایی متناوب مختلط و یا توابع پایه سینوسی و کسینوسی نوشت [۳۶]. این خاصیت را به توابع غیر متناوب نیز می‌توان تعمیم داد و به صورت زیر نوشت:

$$X(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t)e^{-j2\pi ft} dt \quad (۱-۳)$$

تبدیل فوریه تنها به بیان این موضوع می‌پردازد که فرکانس f در سیگنال مورد نظر وجود دارد یا نه، و هیچ نوع اطلاعاتی در مورد بازه زمانی متناظر با آن فرکانس در اختیار ما نمی‌گذارد. ناکارآمدی تبدیل فوریه در تحلیل سیگنال‌هایی است که فرکانس متغیر با زمان دارند، این‌گونه سیگنال‌ها در اصطلاح نایستان نامیده می‌شوند.

^۱ Fourier Transform

۳-۱-۲- تبدیل فوریه زمان کوتاه^۱

ساده‌ترین ایده برای رفع این مشکل این است که سیگنال نایستان را با پنجره کردن به بخش‌های کوچک تر به صورت ایستان فرض کنیم. البته باید دقت داشت که طول پنجره به نحوی انتخاب شود که فرض ایستان بودن برای تمام قسمت‌های جداشده صحیح باشد. به این فرآیند تبدیل فوریه زمان کوتاه گفته می‌شود [۳۷] و به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$STFT(\tau, f) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t)w^*(t - \tau)e^{-j2\pi ft} dt \quad (۲-۳)$$

تبدیل فوریه زمان کوتاه در حقیقت یک تبدیل زمان-فرکانس است. مشکلی که در تبدیل فوریه زمان کوتاه وجود دارد به یک اصل علمی مهم که اصل عدم قطعیت هایزنبرگ^۲ نام دارد مربوط است. این اصل در مورد یک سیگنال به صورت زیر بیان می‌شود:

آگاهی از مقدار دقیق زمان و فرکانس یک سیگنال در یک نقطه مشخص از صفحه زمان-فرکانس غیرممکن است. به عبارت دیگر، تنها می‌توان دانست در یک بازه زمانی مشخص چه محدوده فرکانسی وجود دارد. با توجه به وجود این مشکل برای تبدیل فوریه و تبدیل فوریه زمان کوتاه، تبدیل موجک^۳ معرفی می‌شود که می‌تواند در برخی موارد اطلاعات مفیدتری را مهیا کند.

^۱ Short Time Fourier Transform (STFT)

^۲ Heisenberg

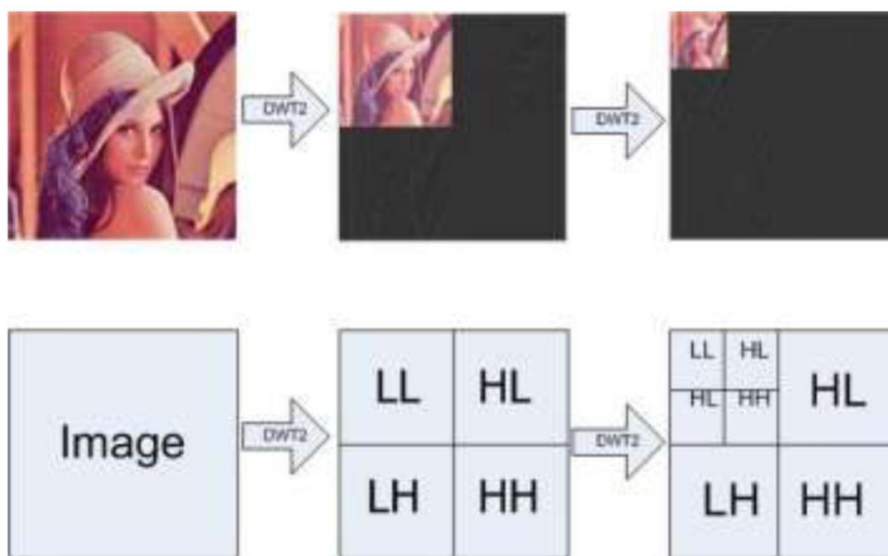
^۳ Wavelet Transform

۳-۱-۳- تبدیل موجک

تفاوت عمده تبدیل فوریه زمان کوتاه با تبدیل موجک در این نکته نهفته است که برخلاف وضوح ثابت در تبدیل فوریه زمان کوتاه، تبدیل موجک دارای وضوح متغیری است.

در تحلیل موجک، سیگنال مورد نظر در یک تابع موجک ضرب می‌شود که در حقیقت نقش همان تابع پنجره را دارد. مهم‌ترین ویژگی تبدیل موجک در این است که، عرض پنجره به موازات تغییر مؤلفه‌های فرکانسی تغییر می‌کند.

شکل ۱-۳ اعمال یک تبدیل موجک دو بعدی را بر روی یک تصویر نشان می‌دهد.



شکل ۱-۳ تبدیل موجک دو بعدی

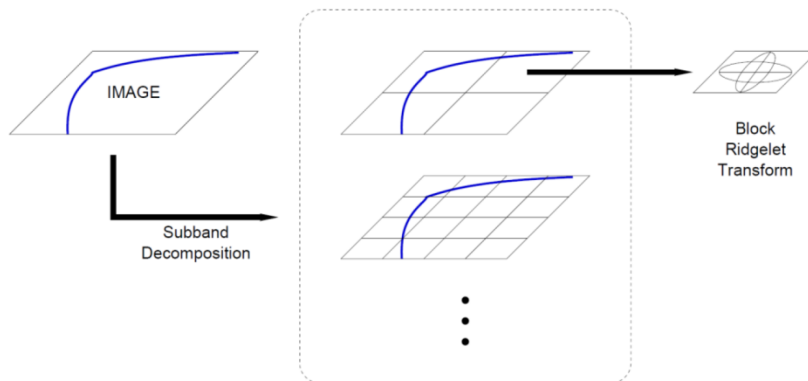
که ضریب LL حاصل عبور تصویر از دو مرحله فیلتر پایین‌گذر است که دارای شمای کلی تصویر اولیه است و به آن ضریب تقریب گفته می‌شود. سه ضریب دیگر هم که حاصل حداقل یک بار عبور تصویر از فیلتر بالاگذر است و دارای جزئیاتی از تصویر مثل لب‌هاست و به ضرایب جزئیات^۱ معروفاند.

^۱ Detail

ضعف عمده تبدیل موجک عدم نمایش دقیق ویژگی‌هایی از تصویر مانند لبه‌ها و منحنی‌ها است و این بدان علت است که موجک یک تبدیل همگرا از هرسو است و نمی‌تواند از نظمی که در لبه‌های منحنی وجود دارد استفاده کند. به طور کلی می‌توان گفت تبدیل موجک اطلاعات خوبی در رابطه با تغییر روشنایی تصویر و همچنین نمایش همزمان زمان - فرکانس می‌دهد، ولی برای نمایش ناهمسانگردی و تنوع جهت‌های مختلف دچار ضعف شدید است.

۳-۱-۴- تبدیل کرولت^۱

اخیراً کندس و دونوهو در معرفی یک سیستم جدید به نام تبدیل کرولت پیشگام بودند [۳۸]. این تبدیل قابلیت خوبی در نمایش تصاویر با گسستگی در خطوط کلی^۲ دارد. ایده این تبدیل به این صورت است که ابتدا تصویر را بلوک‌بندی کرده و سپس روی هر بلوک تبدیل ریجالت اعمال می‌شود. که در شکل ۲-۳ نیز نمایش داده شده است.



شکل ۲-۳ روند تبدیل کرولت بر روی یک تصویر

^۱ Curvelet Transform

^۲ Global Line Singularities

مهم‌ترین نقص تبدیل کرولت در حالت گسسته نسبت به حالت پیوسته کاهش تُنکی^۱ آن است، یعنی با وجود اینکه کرولت پیوسته در نمایش لبه‌های منحنی شکل تبدیل بسیار تُنک است، اما در حالت گسسته به مقدار زیادی از تُنکی آن کاسته می‌شود و چون تصویری که توسط ماشین دیجیتال پردازش می‌شود احتیاج به فرم گسسته دارد نمی‌توان از فرم پیوسته تبدیل کرولت استفاده کرد. به همین دلیل تبدیل جدیدی به نام تبدیل کانتورلت^۲ پیشنهاد شده است. تبدیل کانتورلت نه تنها تمام ویژگی‌های تبدیل موجک اعم از محلی‌سازی مکان-فرکانس نمایش چند وضوحی را دارا است، بلکه ویژگی‌های دیگری از جمله جهت‌داری و ناهمسانگردی^۳ را نیز شامل می‌شود [۳۹]. که در ادامه به توضیح در رابطه با تبدیل کانتورلت می‌پردازیم.

۳-۲- تبدیل کانتورلت

۳-۲-۱- مقدمه

تبدیل کانتورلت یک تبدیل دو بُعدی جهت‌دار جدایی‌ناپذیر است که برای توصیف منحنی‌ها و جزئیات ظریف در تصاویر به کار می‌رود. بسط کانتورلت از توابع پایه‌ای که در جهات مختلف با اشکال و مقیاس‌های مختلف گرایش دارند (ناهمسانگردی) تشکیل شده است. برای پیاده‌سازی تبدیل کانتورلت باید از فیلتربانک‌هایی استفاده کرد که هم به صورت چندمقیاسی^۴ و هم به صورت چندجهتی^۵ تصویر را تجزیه کنند، از این رو تبدیل کانتورلت از دو

¹ Sparse

² Contourlet Transform

³ Anisotropy

⁴ Multi-Scale

⁵ Directional

فیلتربانک اصلی تشکیل شده است، یکی فیلتربانک هرم لاپلاسی^۱ که برای نمایش چندمقیاسی تصویر به کار می‌رود و دیگری فیلتربانک جهتی^۲ که بر روی زیر باندهای به دست آمده از مرحله تجزیه چندمقیاسی اعمال می‌شود. به چنین ترکیبی "فیلتر بانک جهت‌دار هرمی"^۳ گویند. در این بخش به توضیح هر کدام از این موارد می‌پردازیم.

۳-۲-۲- هرم لاپلاسی

برای به دست آوردن زیر باندهای تصویر به صورت چندمقیاسی می‌توانیم از تبدیل هرم لاپلاسی استفاده کنیم. این روش برای اولین بار توسط برت و ادلسون پیشنهاد شد [۴۰].

دو مزیت اصلی استفاده از تبدیل LP، به خصوص در کاربردهای پردازش تصویر عبارت‌اند از:

۱- در هر مرحله از هرم تنها یک سیگنال یا تصویر میان‌گذر ساخته می‌شود. این خاصیت موجب

پیاده‌سازی راحت بسیاری از الگوریتم‌های چندمقیاس با استفاده از LP شده است.

۲- پدیده درهم ریختگی فرکانسی^۴ در آن دیده نمی‌شود. این پدیده در اثر کاهش نرخ

نمونه‌برداری یک سیگنال بالاگذر به وجود می‌آید.

به عبارتی، وقتی سیگنالی به صورت بالاگذر فیلتر شده و سپس نرخ نمونه‌برداری آن کاهش یابد،

بخشی از فرکانس‌های بالا به فرکانس‌های پایین منتقل می‌شوند، این انتقال به درهم ریختگی

فرکانسی معروف است. در تبدیل LP تنها خروجی یک فیلتر پایین‌گذر به کاهنده نرخ وارد می‌شود و

در نتیجه چنین پدیده‌ای اتفاق نمی‌افتد، در واقع سیگنال بالاگذر مورد نظر در اینجا با تفاضل سیگنال

پایین‌گذر و سیگنال اصلی حاصل می‌شود.

¹ Laplacian Pyramid (LP)

² Directional Filter Bank (DFB)

³ Pyramidal Directional Filter Bank (PDFB)

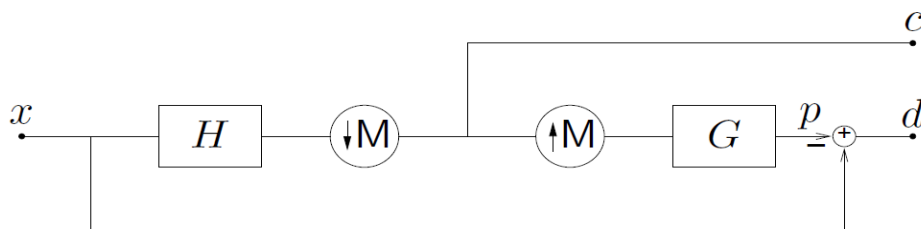
⁴ Frequency Scrambling

در ادامه به معرفی هرم برت و ادلسون به عنوان تبدیل LP می‌پردازیم.

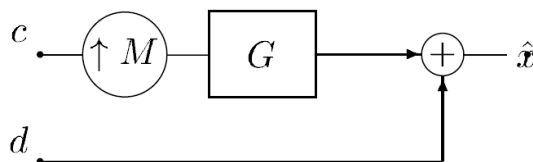
□ هرم برت و ادلسون

یکی از ابتدایی‌ترین روش‌های به دست آوردن زیر باندهای تصویر به صورت چندمقیاسی هرم برت و ادلسون است. مرحله آنالیز این هرم دارای یک ورودی (به عنوان سیگنال اصلی) و دو خروجی است. تبدیل معکوس آن یا قسمت بازسازی^۱ از دو خروجی به دست آمده از مرحله آنالیز به عنوان ورودی استفاده می‌کند و در نهایت به یک خروجی به عنوان تخمینی از سیگنال اصلی می‌رسد که در شکل ۳-۳ نمایش داده شده است.

با توجه به شکل در قسمت آنالیز خروجی دو سیگنال مجزا است، اولین سیگنال (c) با اعمال فیلتر پایین‌گذر به ورودی و سپس کاهش نرخ نمونه‌برداری به دست می‌آید و دومین سیگنال که سیگنال خطا نامیده می‌شود (d) از تفاضل سیگنال اصلی و سیگنالی که از افزایش نرخ نمونه‌برداری و سپس فیلترگذاری بر روی خروجی اول مرحله آنالیز به دست می‌آید.



(الف)



(ب)

شکل ۳-۳ هرم برت و ادلسون. (الف) مرحله آنالیز (ب) بازسازی

¹ Reconstruction

اگر سیگنال‌ها را به صورت بردار در نظر بگیریم، داریم:

$$\underline{p} = G\underline{c} \quad , \quad \underline{c} = H\underline{x} \quad (۳-۳)$$

بدین ترتیب سیگنال خطای مرحله آنالیز عبارت است از:

$$\underline{d} = \underline{x} - \underline{p} = \underline{x} - GH\underline{x} = (I - GH)\underline{x} \quad (۴-۳)$$

در نتیجه ماتریس آنالیز عبارت است از:

$$\underbrace{\begin{pmatrix} \underline{c} \\ \underline{d} \end{pmatrix}}_{\underline{y}} = \underbrace{\begin{pmatrix} H \\ I - GH \end{pmatrix}}_A \underline{x} \quad (۵-۳)$$

همچنین عملگر بازسازی نیز به صورت زیر بیان می‌شود:

$$\underline{\hat{x}} = (G \ I) \begin{pmatrix} \underline{c} \\ \underline{d} \end{pmatrix} \quad (۶-۳)$$

اگر $S = (G \ I)$ باشد، به راحتی رابطه $SA = I$ تصدیق می‌شود. این رابطه نشان می‌دهد که

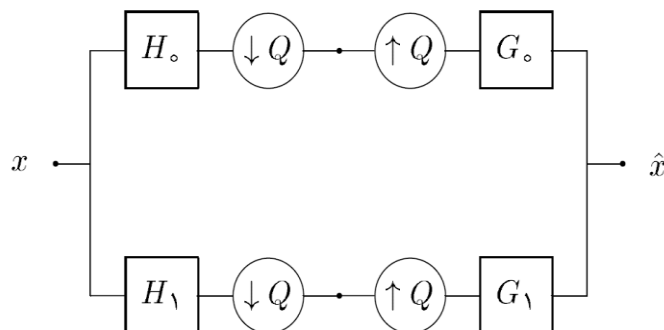
عملگر بازرسی معکوس قسمت آنالیز است.

۳-۲-۳- فیلتر بانک جهتی

در ابتدا به تعریف مختصری از فیلتربانک می‌پردازیم. فیلتربانک موضوعی کاملاً مرتبط با مبحث تبدیل‌های چندمقیاسی است، زیرا در تبدیل‌های چندمقیاسی، تغییر مقیاس باعث ایجاد باندهای مختلف شده و آنالیز این باندها به وسیله فیلتربانک‌ها انجام می‌پذیرد. فیلتربانک‌ها در حالت یک بُعدی به راحتی قابل پیاده‌سازی هستند، اما برای تعمیم این فیلتربانک‌ها به حالت‌های چندبُعدی گزینه‌های مختلفی موجود است. اولین و ساده‌ترین گزینه‌ای که مطرح می‌شود تعمیم جدایی‌پذیر فیلتربانک‌های یک بُعدی در راستای محور x و در پی آن در راستای محور y برای رسیدن به فیلتربانک‌های دوبُعدی است. علاوه بر فیلتربانک‌های جدایی‌پذیر فیلتربانک‌های جدایی‌ناپذیر نیز معرفی می‌شوند، عموماً آنچه فیلتربانک‌های جدایی‌ناپذیر را از جدایی‌پذیر متمایز می‌کند مسئله "جهت" است. یعنی بسیاری از تبدیل‌های چندمقیاسی جدایی‌ناپذیر را با دخالت جهت در صفحه فرکانسی می‌توان ساخت. به این فیلتربانک‌ها اصطلاحاً فیلتربانک‌های جهتی گویند.

در ادامه هدف پیاده‌سازی فیلتربانک جهت‌دار جدایی‌ناپذیر است.

برای این منظور به معرفی فیلتربانک کوین کونکس^۱ می‌پردازیم [۴۱]. نحوه آنالیز و بازسازی این فیلتربانک در شکل ۳-۴ نمایش داده شده است.



شکل ۳-۴ آنالیز و بازسازی QFB

^۱ Quincunx filter bank (QFB)

باید در نظر داشت که، فیلترهای G_0 و H_0 از نظر باند فرکانسی، باید هم مشابه باشند. یعنی اگر

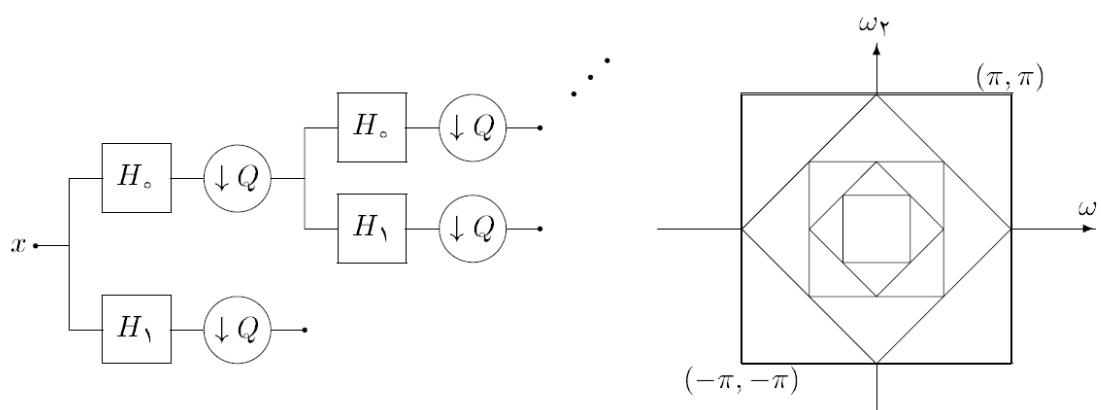
H_0 پایین گذر است، G_0 نیز پایین گذر است. این مسئله در مورد دو فیلتر H_1 و G_1 نیز صادق است.

دو نوع فیلتر لوزی^۱ و ملخی^۲ را در نظر می‌گیریم. هر فیلتر لوزی را با شیفت در راستای فرکانس

f_x و f_y (و نه هر دو با هم)، می‌توان به فیلتر ملخی تبدیل نمود و برعکس این موضوع نیز صادق است.

تقسیم‌بندی صفحه فرکانسی حاصل از یک QFB با فیلترهای لوزی در شکل ۳-۵ نشان داده شده

است.



شکل ۳-۵ QFB با فیلترهای لوزی و تقسیم‌بندی صفحه فرکانسی حاصل از آن

تا به حال روش‌های متفاوتی برای پیاده‌سازی فیلتربانک‌های جهت‌ی ابداع شده است. در ادامه به

معرفی فیلتربانک DFB مبتنی بر QFB می‌پردازیم که از فیلترهای ملخی در ساختار خود استفاده کرده‌اند.

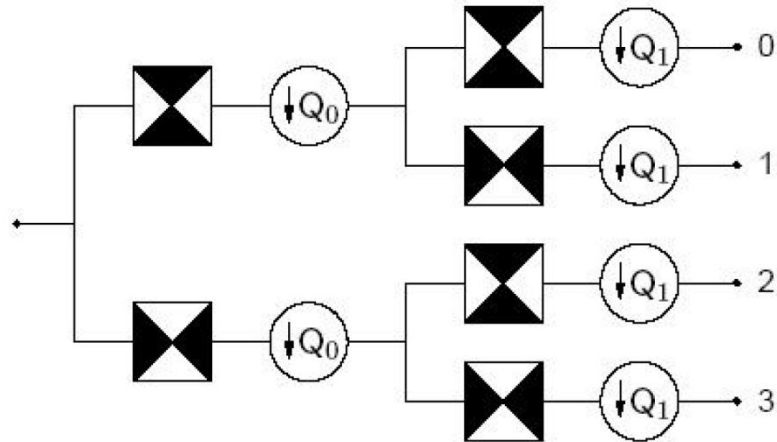
در ابتدا صفحه فرکانسی را به چهار باند جهت‌ی تقسیم می‌کنیم. یعنی یک فیلتربانک دو مرحله‌ای

را در نظر می‌گیریم. با توجه به شکل ۳-۶ ماتریس‌های کاهش نرخ را در مرحله اول (Q_0) و در مرحله

^۱ Diamond

^۲ Fan

دوم فیلتربانک (Q_1) را انتخاب می‌کنیم.



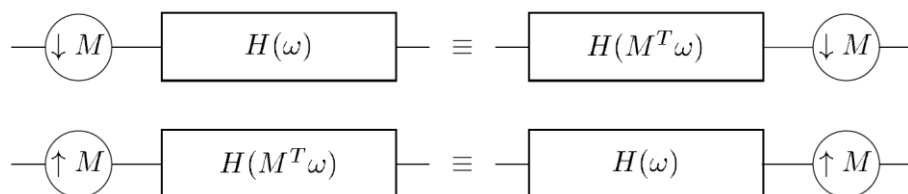
شکل ۳-۶ دو مرحله از فیلتر بانک جهتی که با فیلترهای Fan ساخته شده است.

در نظر داریم که در فیلتربانک جهتی فوق کانال‌های نیمه بالایی فیلتربانک مربوط به زوایای بین

$45^\circ -$ تا $45^\circ +$ و کانال‌های نیمه پایینی فیلتربانک نیز زوایای بین $45^\circ +$ و $135^\circ +$ در حوزه تصویر را

نشان می‌دهند.

دو هم ارزی مهم مورد استفاده در سیستم‌های چند نرخی در شکل ۳-۷ نشان داده شده است:



شکل ۳-۷ دو هم ارزی مهم در سیستم‌هایی چند نرخی

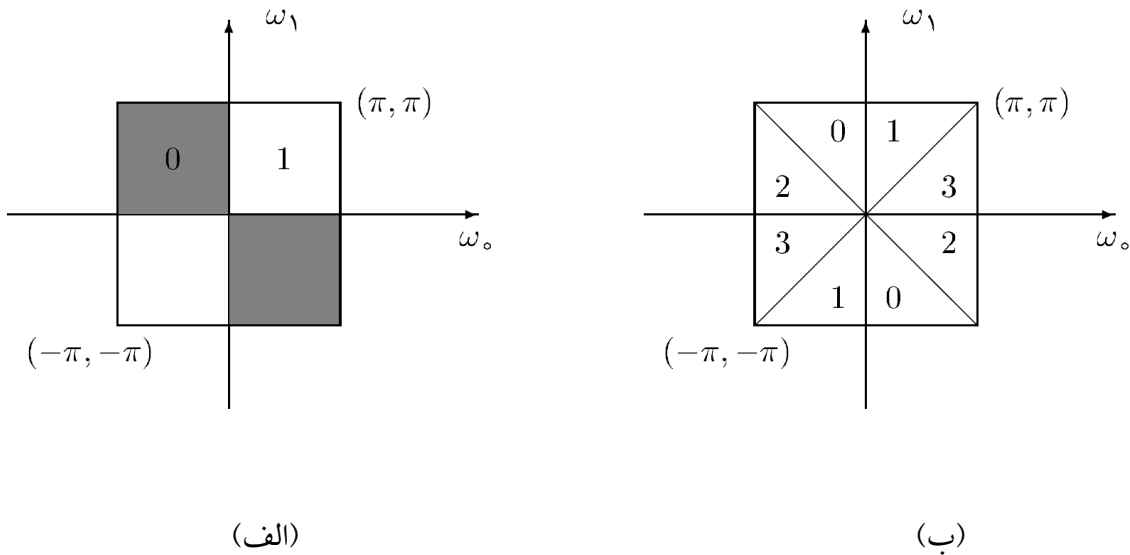
با استفاده از این دو هم ارزی اگر فیلترهای ملخی موجود در مرحله دوم فیلتربانک‌های شکل ۳-۶

را با ماتریس‌های کاهش نرخ مرحله اول عوض کنیم، فیلترهای ملخی مذکور به فیلترهای جدایی‌پذیر

تبدیل می‌شوند که کل صفحه فرکانسی را به چهار قسمت مربع شکل تقسیم می‌کند. یکی از این

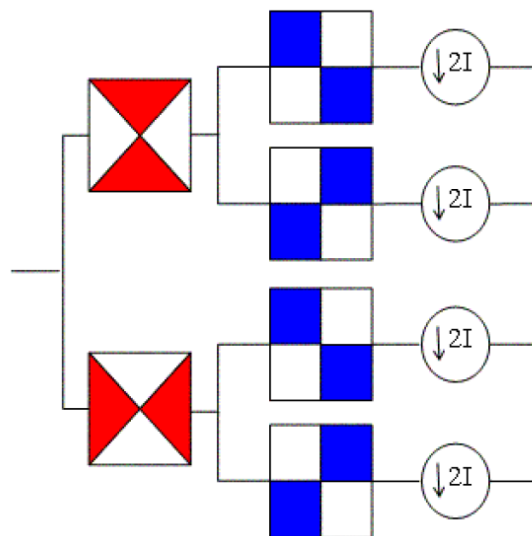
فیلترها در شکل ۳-۸(الف) نشان داده شده، همچنین با ترکیب فیلتر مربعی حاصل با فیلترهای ملخی

طبقه اول فیلتربانک تقسیم‌بندی زاویه‌ای صفحه فرکانسی محقق می‌شود. چنین فیلتربانک دو طبقه‌ای، نیم‌صفحه فرکانسی بالا را به چهار زاویه تقسیم می‌کند (مطابق با شکل ۳-۸ (ب)).



شکل ۳-۸ فیلتربانک جهتی دو طبقه. (الف) فیلترهای حاصل از انتقال فیلترهای Fan از طبقه دوم به اول. (ب) تقسیمات زاویه‌ای

نتیجه چنین جایگزینی در شکل ۳-۹ نشان داده شده است. همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود چهار باند و زاویه مختلف را با استفاده از ترکیب فیلترهای نشان داده شده می‌توان ایجاد کرد. علت شماره گذاری خاص در شکل ۳-۸ (ب) نیز به راحتی از شکل ۳-۹ قابل استنتاج است.



شکل ۳-۹ نتیجه انتقال فیلترهای ملخی از طبقه دوم به طبقه اول

۳-۲-۴- تحلیل چندوضوحی^۱ و تبدیل کانتورلت

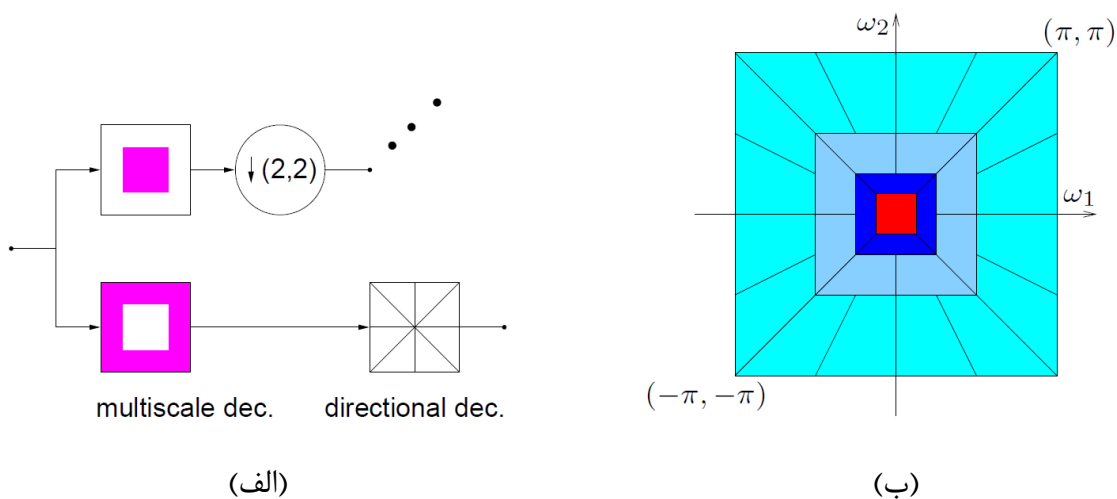
□ مقدمه

یک فیلتربانک جهتی قادر به تشخیص زوایا و خطوط راست در تصاویر است. اما هنوز قادر به نمایش تصاویر تُنک نیست. این نقص به این خاطر است که فیلتربانک جهتی تمامی تصویر چه پایین‌گذر و چه بالاگذر را با تعداد زوایا و جهات یکسانی نمایش می‌دهد. در صورتی که در فرکانس‌های بالا به دلیل اینکه لبه‌ها و جزئیات زیادی در تصویر مشخص است، باید از زوایای بیشتری استفاده کنیم و همچنین در فرکانس‌های پایین در تصویر به دلیل محو بودن و نداشتن دقت مکانی در لبه‌ها و زوایا، نیازی به استفاده از جهتهای زیادی نیست. بنابراین به کارگیری مقیاس و تبدیل‌های چندمقیاسی همراه با فیلتربانک جهتی کاملاً احساس می‌شود.

در بخش ۳-۲-۲، یکی از تبدیل‌های چندمقیاسی به نام تبدیل هرم لاپلاسی مورد بررسی قرار گرفت. مزیت عمده این تبدیل در این است که در تصاویر دارای دو بُعد و بالاتر در هر مرحله تنها یک باند میان‌گذر ایجاد می‌شود. این خاصیت ترکیب تبدیل هرم لاپلاسی را با هر تبدیل دیگر مانند فیلتربانک‌های جهتی فراهم می‌کند. چنین ترکیبی فیلتربانک جهت‌دار هرمی (PDFB) نامیده می‌شود.

در شکل ۳-۱۰ نمای کلی PDFB نشان داده شده است. در این بلوک دیاگرام، خروجی بالاگذر تبدیل هرم لاپلاسی، وارد فیلتربانک جهتی شده و خروجی پایین‌گذر آن پس از کاهش نرخ، برای مرحله بعدی مورد استفاده قرار می‌گیرد. و همچنین نحوه تقسیم‌بندی صفحه فرکانسی حاصل از PDFB را نمایش می‌دهد که تعداد زوایا با افزایش فرکانس افزایش می‌یابد.

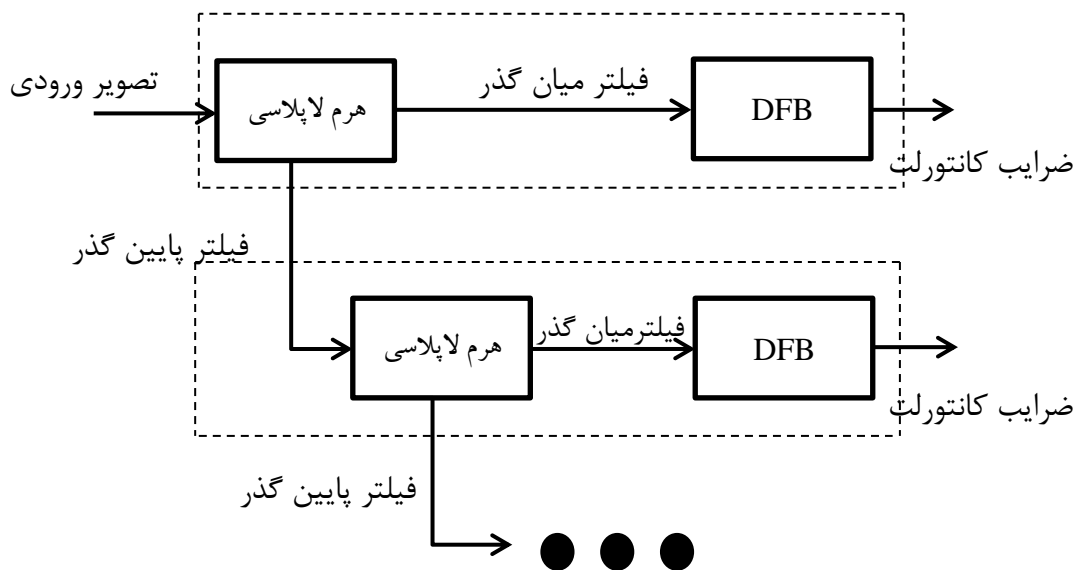
¹ Multiresolution Analysis



شکل ۳-۱۰ فیلتربانک جهتی-هرمی (الف) بلوک دیاگرام کلی PDFB (ب) تقسیم‌بندی صفحه فرکانسی

یکی از انواع حوزه‌های چندوضوحی، کانتورلت است. تبدیل کانتورلت می‌تواند جزئیات منحنی‌ها را با ضرایب کمتر و به صورت بهینه‌تر نمایش دهد. برای پیاده‌سازی تبدیل کانتورلت از PDFB، استفاده می‌کنیم.

بلوک دیاگرام ساختار کلی تبدیل کانتورلت در شکل ۳-۱۱ نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل ملاحظه می‌شود، تبدیل کانتورلت از دو فیلتربانک اصلی تشکیل شده است که در ادامه این بخش به طور مفصل به توضیح هر یک از این فیلتربانک‌ها می‌پردازیم.



شکل ۳-۱۱ ساختار کلی تبدیل کانتورلت

□ دیدگاه چندمقیاسی^۱

فرض کنید که تبدیل LP موجود در PDFB، از فیلترهای متعامد^۲ استفاده می‌کند و کاهش نرخ دو در هر دو بُعد صورت می‌گیرد. با تعریف فیلتر پایین‌گذر G برای تبدیل LP، تابع دو بُعدی پیوسته $\emptyset(t) \in L^2(R^2)$ به این صورت تعریف می‌گردد.

$$\emptyset(t) = 2 \sum_{n \in \mathbb{Z}^2} g[n] \emptyset(2t - n) \quad (۷-۳)$$

که در آن:

$$\emptyset_{j,n} = 2^{-j} \emptyset\left(\frac{t-2^j n}{2^j}\right), \quad j \in \mathbb{Z}, n \in \mathbb{Z}^2 \quad (۸-۳)$$

مجموعه توابع $\{\emptyset_{j,n}\}_{n \in \mathbb{Z}^2}$ به ازای هر $j \in \mathbb{Z}$ ، یک پایه متعامد برای زیر فضای V_j تشکیل می‌دهد. به عبارت دیگر، V_j یک زیر فضای با فواصل $2^j \times 2^j$ در یک شبکه یکنواخت است که

^۱ Multiscale

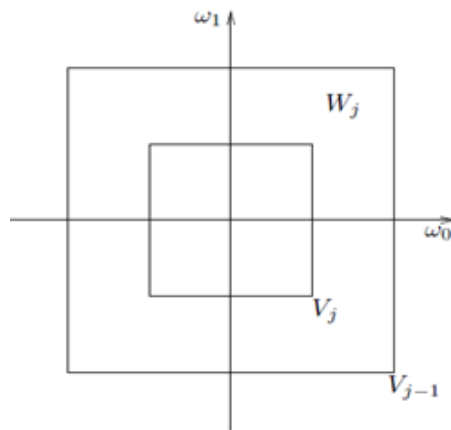
^۲ Orthogonal

تصویری تقریبی با وضوح 2^{-j} مشخص می‌کند. اندیس j ، با افزایش فرکانس، مقدار آن کاهش می‌یابد (به عبارت دیگر نقش مقیاس را بازی می‌کند).

حال اگر فضای مکمل متعامد در نظر بگیریم، رابطه زیر ارتباط موجود بین دو فضای V_{j-1} و V_j را نشان می‌دهد:

$$V_{j-1} = V_j \oplus W_j \quad (9-3)$$

شکل ۳-۱۲ این ارتباط را بهتر نمایش می‌دهد. علاوه بر این، اختلاف تصویر در تبدیل LP جزئیات لازم برای افزایش وضوح در تصویر تقریبی را بیان می‌کند.



شکل ۳-۱۲ زیر فضاهای حاصل از تبدیل LP

برای تشکیل زیر فضای W_j ، می‌توان از $\psi_{j,n}^{(i)}(t)$ استفاده کرد، $(0 \leq i \leq 3)$

$$\psi^{(i)}(t) = 2 \sum_{n \in \mathbb{Z}^2} f_i[n] \phi(2t - n) \quad (10-3)$$

$$\mu_{j,2n+k_i}(t) = \psi_{j+1,n}^{(i)} = \sum_{m \in \mathbb{Z}^2} f_i[m] \phi_{j,n+m}(t) \quad (11-3)$$

که در $\{\mu_{j,n}\}$ یک فریم فشرده^۱ از W_{j+1} است. و $f_i[n]$ فیلتری بالاگذر است. اما در تبدیل

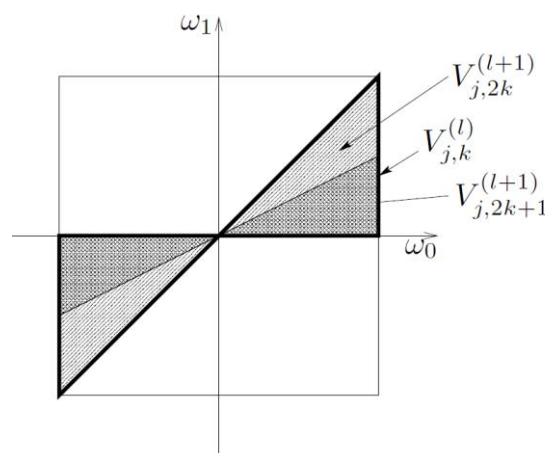
^۱ Tight Frame

هرم لاپلاسی، قسمت بالاگذر مورد کاهش نرخ نمونه برداری قرار نخواهد گرفت. بنابراین می توان مورد فوق را با هم جمع کرد و زیر فضای W_j را تشکیل داد [۴۲].

□ دیدگاه چند جهتی^۱

هدف اصلی در این قسمت اعمال فیلتربانک جهتی به زیر فضای V_j است و نشان خواهیم داد که

با اعمال DFB به زیر فضای V_j چه اتفاقی رخ خواهد داد (مطابق شکل ۳-۱۳).



شکل ۳-۱۳ زیر فضاهای حاصل از اعمال DFB به V_j

با فرض متعامد بودن فیلترهای مورد استفاده در DFB، اتم‌های جهتی $\theta_{j,k,n}^{(l)}(t)$ به صورت زیر تعریف می‌شوند.

$$\theta_{j,k,n}^{(l)}(t) = \sum_{m \in \mathbb{Z}^2} g_k^{(l)}[m - S_K^{(l)} n] \vartheta_{j,m}(t) \quad (۱۲-۳)$$

همچنین $V_{j,k}^{(l)}$ ، زیر فضایی با مقیاس 2^j و مقدار جهتی k ، در راستای جهت 2^l است. در این صورت مجموعه $\{\theta_{j,k,n}^{(l)}\}_{n \in \mathbb{Z}^2}$ تشکیل پایه‌ی متعامد برای $k = 0, \dots, 2^l - 1$ را خواهد داد. اندیس‌های $k = 0, \dots, 2^{l-1} - 1$ مربوط به جهت‌های موجود در بازه $[-45^\circ, +45^\circ]$ و اندیس‌های $k = 2^{l-1}, \dots, 2^l - 1$ مربوط به جهت‌های موجود در بازه $[+135^\circ, -45^\circ]$ هستند. با توجه به

^۱ Multiple Direction

تعاریف فوق، می توان نوشت.

(۱۳-۳)

$$V_{j,k}^{(l)} = V_{j,2k}^{(l+1)} \oplus V_{j,2k+1}^{(l+1)}$$

$$V_j = \bigoplus_{k=0}^{2^l-1} V_{j,k}^{(l)}$$

□ تبدیل کانتورلت (تلفیق دیدگاه‌های چندجهتی و چندمقیاسی)^۱

حال اگر بخواهیم زیر فضای W_j را به چند زاویه تقسیم کنیم، کافی است از تعریف زیر استفاده کنیم: با فرض متعامد بودن فیلترهای مورد استفاده در DFB، اتم‌های $\rho_{j,k,n}^{(l)}(t)$ به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$\rho_{j,k,n}^{(l)}(t) = \sum_{m \in \mathbb{Z}^2} g_k^{(l)} [m - s_k^{(l)} n] \mu_{j,m}(t) \quad (۱۴-۳)$$

در این صورت مجموعه $\{\rho_{j,k,n}^{(l)}(t)\}_{n \in \mathbb{Z}^2}$ تشکیل فریم تنگ برای $W_{j+1,k}^{(l)}$ ، $k = 0, \dots, 2^l - 1$ خواهد داد.

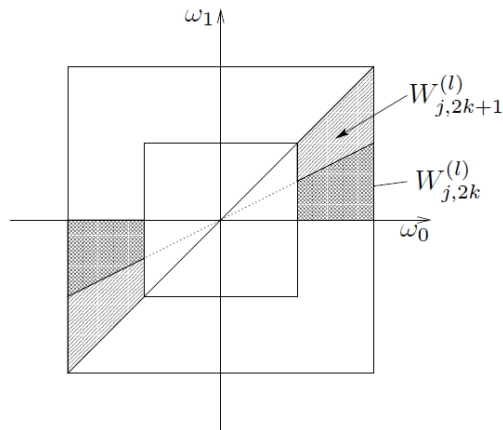
با توجه به تعریف فوق روابط زیر به راحتی اثبات می‌شوند.

$$W_{j+1,k}^{(l)} = W_{j,2k}^{(l+1)} \oplus W_{j,2k+1}^{(l+1)} \quad (۱۵-۳)$$

$$W_{j+1} = \bigoplus_{k=0}^{2^l-1} W_{j+1,k}^{(l)}$$

این روابط در شکل ۱۴-۳ نیز نشان داده شده‌اند.

^۱ Multiscale and multidirection



شکل ۳-۱۴ زیر فضاهای حاصل از اعمال PDFB در یک مقیاس خاص

با تعریف $\rho_{j,k}^{(l)}$ به فرم زیر

$$\rho_{j,k}^{(l)}(t) = \sum_{m \in \mathbb{Z}^2} g_k^{(l)}[m] \mu_{j,m}(t) \quad (16-3)$$

برای $l \geq 2$ داریم

$$\rho_{j,k,n}^{(l)}(t) = \rho_{j,k}^{(l)}(t - 2^j s_k^{(l)} n) \quad (17-3)$$

با استفاده از جایگزینی مستقیم و تغییر در متغیر رابطه فوق اثبات می‌شود.

زیر فضاهای $W_{j+1,k}^{(l)}$ ، ویژگی مستقل از جابجایی^۱ را ایفا می‌کند. این ویژگی در ادامه توضیح داده شده است.

$$f(t) \in W_{j+1,k}^{(l)} \Leftrightarrow f(t - 2^j s_k^{(l)} n) \in W_{j+1,k}^{(l)} \quad (18-3)$$

یک زیر فضای چند مقیاسی - جهتی است که توسط شبکه‌های مستطیلی با فواصل

¹ Shift Invariant

با جایگزین کردن رابطه ۳-۱۱ در رابطه ۳-۱۶ می توان به رابطه ۳-۱۹ رسید.

با جایگزین کردن رابطه ۳-۱۱ در رابطه ۳-۱۶ می توان به رابطه ۳-۱۹ رسید.

(۳-۱۹)

$$\begin{aligned} \rho_{j,k}^{(l)}(t) &= \sum_{i=0}^3 \sum_n g_k^{(l)}[2n+k] \left(\sum_{m \in Z^2} f_i[m] \emptyset_{j,n+m} \right) \\ &= \sum_{m \in Z^2} \left(\sum_{i=0}^3 \sum_n g_k^{(l)}[2n+k] f_i[m-n] \right) \emptyset_{j,m}(t). \end{aligned}$$

$$c_k^{(l)}[m] = \sum_{i=0}^3 \sum_n g_k^{(l)}[2n+k] f_i[m-n]$$

دنباله $c_k^{(l)}[m]$ ، شبیه به ضرب کانولوشن بین $f_i[m]$ و $g_k^{(l)}[m]$ است و نتیجه آن فیلتر

بالاگذری است که جهت را به ما می دهد.

رابطه بدست آمده (۳-۱۹)، نشان می دهد که $\rho_{j,k}^{(l)}(t)$ یک رفتار کانتورلت گونه دارد و به عنوان

یک تشخیص لبه در عناصر با مقیاس سطح λ م و در طول مسیر k ام رفتار می کند.

۳-۲-۵- نتیجه گیری

تبدیل کانتورلت بر اساس فیلتربانکها در جهات و مقیاسهای دو بُعدی، استوار است و به طور بسیار موثر ویژگی هموار بودن تصاویر را نشان می دهد. این تبدیل علاوه بر ویژگیهای اصلی مربوط به تبدیل موجک، درجه بالایی از جهات مختلف در تبدیل را نیز در نظر می گیرد. بنابراین مزیت عمده تبدیل کانتورلت، این است که تبدیلات را در جهات مختلف و انعطاف پذیر در نظر می گیرد. بنابراین این تبدیل از فیلتربانکها به صورت تکراری استفاده می کند، که با در نظر گرفتن محاسبات مربوط به آن بسیار کارآ و مفید است.

پس از انجام تبدیل کانتورلت بر روی تصاویر ضرایب کانتورلت حاصل را به عنوان بردار ویژگی در نظر می‌گیریم که پارامترهای اصلی مقیاس، فضا و جهت را به صورت مشترک ارائه می‌دهد. در ادامه، برای تشخیص عیوب تصاویر کاشی از شبکه عصبی استفاده می‌کنیم. برای این منظور بردارهای ویژگی به دست آمده از ضرایب کانتورلت را به شبکه عصبی پرسپترون چند لایه اعمال می‌کنیم. که در ادامه به تفصیل در مورد شبکه عصبی پرسپترون چند لایه بحث خواهیم نمود.

۳-۳- شبکه عصبی پرسپترون چند لایه

۳-۳-۱- مقدمه

اولین کارهای مربوط به شبکه‌های عصبی به سال ۱۹۴۳ برمی‌گردد، زمانی که یک فیزیولوژیست اعصاب به نام مک کلا و یک ریاضیدان به نام پیتر رساله خود را در مورد نحوه عملکرد احتمالی نرون‌ها در مغز منتشر کردند [۴۳].

در سال ۱۹۸۲ هاپفیلد نمونه‌ای مبتنی بر اتصال دو طرفه نرون‌ها ارائه کرد. شبکه عصبی از این سال تا به حال پیشرفت‌های چشمگیری داشته است [۲۲]. نمونه‌های مختلف و روش‌های آموزش متنوعی معرفی و توسعه داده شده است. شبکه‌های عصبی در کاربردهای تشخیص الگو، تقریب توابع و مدل‌سازی سیستم دینامیکی خطی و غیرخطی مورد استفاده قرار گرفتند، در [۴۴] گردآوری خوبی در زمینه تاریخچه شبکه عصبی انجام شده است.

در طراحی سیستم تشخیص الگو که با داده طراحی می‌شوند، عموماً از سه مجموعه جدا از هم استفاده می‌شود. این مجموعه شامل داده‌های ورودی و خروجی مطلوب سیستم بوده و هر یک متناظر با قسمتی از فرآیند یادگیری، نام‌گذاری شده و به ترتیب عبارت‌اند از:

الف) مجموعه آموزش^۱: این مجموعه بزرگ‌ترین مجموعه است و از آن برای به دست آوردن پارامترهای نمونه استفاده می‌شود.

ب) اعتبار سنجی^۲: از این مجموعه برای تنظیم پارامترهای طراحی و نیز برای آزمودن و جلوگیری از یادگیری بیش از حد^۳ نمونه استفاده می‌شود. این مجموعه از مجموعه آموزش بسیار کوچک‌تر است. ج) مجموعه آزمون^۴: از این مجموعه در حین طراحی، هیچ استفاده نمی‌شود. بنابراین داده‌های این مجموعه معیار مناسبی برای برآورد نهایی نمونه است.

۳-۲-۳ آموزش پرسپترون

یکی از روش‌های آموزش پرسپترون، الگوریتم همگرایی پرسپترون است. در حالت کلی، پرسپترون دارای m ورودی به صورت $x = [1, x_1, x_2, \dots, x_m]^T$ و بردار وزن‌ها و بایاس به صورت $w = [w_0, w_1, \dots, w_m]^T$ است. اگر دو کلاس c_1 و c_2 به صورت خطی جدا پذیر باشند، در آن صورت بردار وزنی w از دو قاعده زیر تعیین می‌گردد:

$$w^T x \geq 0 \text{ برای همه ورودی‌های } x \text{ که به کلاس } c_1 \text{ تعلق دارند.}$$

$$w^T x < 0 \text{ برای همه ورودی‌های } x \text{ که به کلاس } c_2 \text{ تعلق دارند.}$$

در این صورت رابطه $w^T x = 0$ در فضای m بُعدی، یک ابر صفحه را ایجاد می‌کند که به عنوان جداکننده دو کلاس عمل می‌کند.

هسته الگوریتم همگرایی پرسپترون برای آموزش وزن‌های پرسپترون دارای دو گام است:

(۱) اگر تأمین عضو داده‌های آموزشی (x_i) ، به وسیله بردار وزن w_i که در تأمین تکرار الگوریتم

¹ Training Set

² Validation

³ Overlearnin

⁴ Test Set

محاسبه شده‌اند، درست دسته‌بندی شود (یعنی خروجی پرسپترون به ازای ورودی x_i ، t_i

شود)، هیچ تصحیحی بر روی w_i انجام نمی‌گیرد، در این صورت داریم:

$w_{i+1} = w_i$ اگر $w^T x_i \geq 0$ و x_i به کلاس c_1 تعلق داشته باشد.

$w_{i+1} = w_i$ اگر $w^T x_i < 0$ و x_i به کلاس c_2 تعلق داشته باشد.

(۲) در غیر این صورت وزن‌ها با رابطه زیر به‌روز می‌شوند:

$w_{i+1} = w_i - \eta_i x_i$ اگر $w^T x_i \geq 0$ و x_i به کلاس c_2 تعلق داشته باشد.

$w_{i+1} = w_i + \eta_i x_i$ اگر $w^T x_i < 0$ و x_i به کلاس c_1 تعلق داشته باشد.

η_i نرخ آموزش نام دارد و وظیفه آن کنترل وزن‌ها در تکرار نام است.

برای بیان ساده‌تری از قوانین آموزش فوق، فرمی از قانون آموزش تصحیح خطا^۱ که به قانون دلتا

معروف است به صورت رابطه ۳-۲۰ نشان داده می‌شود:

$$w_{i+1} = w_i + \Delta w_i = w_i + \eta_i (t_i - y_i) x_i \quad (۲۰-۳)$$

که در آن y_i خروجی پرسپترون در تکرار نام است. پارامتر η یک ثابت مثبت در بازه

$0 < \eta < 1$ است. اختلاف $t_i - y_i$ را خطا گویند، در قانون آموزش وقتی خطای $e = t - y$ مثبت

است، مقدار $a (w^T x)$ را با افزایش بردار w افزایش می‌دهد تا خطا کاهش یابد.

۳-۳-۳ پرسپترون چند لایه^۲

با توجه به اینکه پرسپترون تک لایه تنها قادر به جداسازی کلاس‌هایی است که به صورت خطی

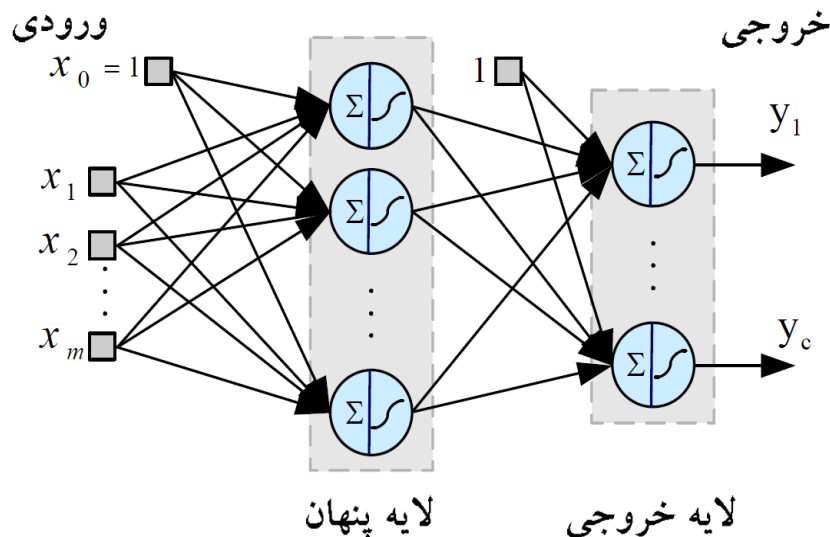
جداپذیر هستند، برای جداسازی کلاس‌هایی که دارای مرزهای غیرخطی هستند (به صورت غیرخطی

جدا می‌شوند). شکل ۳-۱۵ یک شبکه دو لایه (یک لایه میانی و یک لایه خروجی) را نشان می‌دهد.

^۱ Error Correction

^۲ Multi Layer Perceptron (MLP)

لایه میانی به طور مستقیم از محیط خارج ورودی دریافت نکرده و به دنیای خارج نیز مستقیماً خروجی نمی‌دهد. به همین دلیل به این لایه، لایه پنهان^۱ نیز می‌گویند.

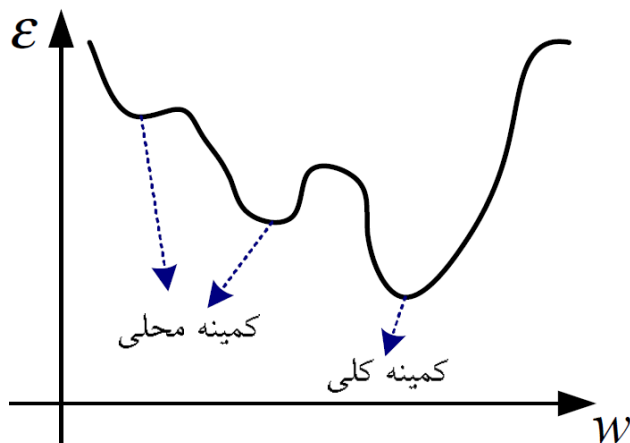


شکل ۳-۱۵ شبکه پیش رو دو لایه با توابع سیگموئید

در این نوع شبکه‌ها معمولاً هر گره به تمامی گره‌های لایه بعدی متصل است که به این حالت اتصال کامل^۲ گفته می‌شود. همچنین همه مسیرها در جهت ورودی به خروجی است و مسیر برگشتی وجود ندارد به همین دلیل به این نوع شبکه‌ها پیش‌خور گفته می‌شود. بسته به نوع تابع محرک در شبکه دو حالت ممکن است به وجود آید: اگر در شبکه فقط از نرون‌های خطی استفاده شده باشد: رویه خطی یک تابع کاسه‌ای شکل و دارای یک کمینه است. اگر شبکه از نرون‌های غیرخطی هم استفاده کند: رویه خطی یک (یا چند) کمینه کلی دارد و کمینه(های) محلی است. یک نمونه از این حالت در شکل ۳-۱۶ آورده شده است.

^۱ Hidden Layer

^۲ Fully Connected



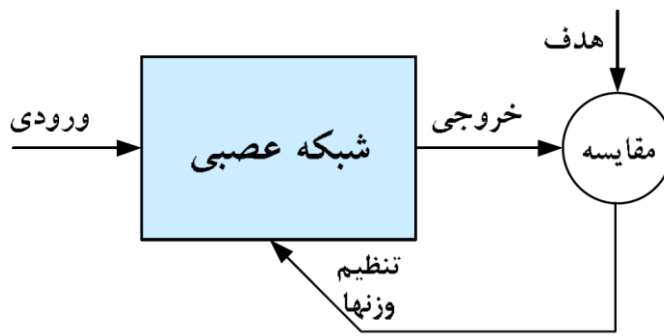
شکل ۳-۱۶ کمینه کلی و کمینه محلی

به دست آوردن کمینه تابع برای آموزش بسیاری از شبکه‌ها کار ساده‌ای نیست و معمولاً از روش‌های بر پایه تکرار گرادیان یا الگوریتم‌های جستجوی هوشمند استفاده می‌شود. ویژگی یک الگوریتم مناسب همگرایی، سرعت همگرایی، ترفند برای گیر نکردن در بهینه‌های محلی و حجم محاسبات کم است.

روش‌های آموزش از یک دیدگاه به دو دسته عمده تقسیم می‌شوند:

(۱) آموزش با ناظر: در این روش نمونه‌های آموزشی به شبکه اعمال شده و خروجی حاصل توسط سیستم یادگیری و با خروجی مطلوب مقایسه می‌شود. از سیگنال خطای حاصل جهت تصحیح پارامترهای شبکه استفاده می‌شود. شکل ۳-۱۷ نمونه‌ای از ساختار کلی آموزش با ناظر را نشان می‌دهد

(۲) آموزش بدون ناظر: در این حالت خروجی مطلوب در دست نیست. پارامترهای سیستم با توجه به پاسخ سیستم و شاخص‌های اجرایی تعیین شده مانند شباهت در پاسخ، اصلاح و تنظیم می‌شود.



شکل ۳-۱۷ اختار کلی آموزش با ناظر

همچنین به طور کلی پنج قاعده عمده برای یادگیری وجود دارد:

۱. یادگیری تصحیح خطا^۱

۲. یادگیری بر مبنای حافظه^۲

۳. یادگیری هب^۳

۴. یادگیری رقابتی^۴

۵. یادگیری بولتزمن^۵

در آموزش شبکه‌های MLP به کار رفته در شناسایی الگو، اغلب از الگوریتم پس انتشار خطا^۶ استفاده می‌شود که از دسته قواعد یادگیری تصحیح خطا است.

¹ Error-Correction Learning

² Memory-Based Learning

³ Hebbian Learning

⁴ Competitive Learning

⁵ Boltzman Learning

⁶ Back Propagation (BP)

۳-۳-۴- الگوریتم پس انتشار خطا

الگوریتم پس انتشار خطا روش یادگیری با ناظر است. در این الگوریتم وزن‌های لازم برای یک شبکه‌ی چندلایه را پیدا می‌کند. این الگوریتم از شیب نزول برای کمینه کردن خطا مربع اختلاف بین خروجی شبکه و تابع هدف استفاده می‌کند.

ابتدا به تعریف E ، جمع خطای تمامی خروجی‌ها می‌پردازیم:

$$E(\vec{w}) \equiv \frac{1}{2} \sum_{d \in D} \sum_{k \in \text{outputs}} (t_{kd} - o_{kd})^2 \quad (21-3)$$

t_{kd} مقدار تابع هدف و o_{kd} خروجی شبکه برای k آمین خروجی و d آمین نمونه است.

در ادامه به بیان الگوریتم پس انتشار خطا برای شبکه‌های یک سوپه می‌پردازیم، که از دو لایه واحد سیگموئید تشکیل شده‌اند که هر واحد هر لایه، به تمامی واحدهای قبلی متصل است. رابطه سیگموئید به صورت رابطه ۳-۲۲ است.

$$f(a) = \frac{1}{1+e^{-a}} \quad (22-3)$$

وزن‌های لازم برای یک شبکه‌ی چندلایه با استفاده از الگوریتم پس انتشار خطا با استفاده از چهار گام زیر حاصل می‌شود:

۱. تغذیه رو به جلو^۱: \vec{x} را به ورودی داده و خروجی را دریافت می‌کنیم، همچنین خطاها را

خلاف جهت شبکه در میان شبکه پخش می‌کنیم

۲. شیب نزولی^۲: برای هر خروجی k مقدار δ_k را از رابطه زیر به دست می‌آوریم:

¹ Feed Forward

² Gradient Descen

$$\delta_k \leftarrow o_k(1 - o_k)(t_k - o_k) \quad (23-3)$$

۳. برای هر واحد پنهان h مقدار زیر را به دست می‌آوریم:

$$\delta_h \leftarrow o_h(1 - o_h) \sum_{k \in \text{output}} w_{kh} \delta_k \quad (24-3)$$

۴. هر وزن را مطابق رابطه زیر تغییر می‌دهیم:

$$w_{ji} \leftarrow w_{ji} + \Delta w_{ji}, \Delta w_{ji} = \eta \delta_j y_j \quad (25-3)$$

فصل چهارم

آشکارسازی و دستبندی

عیوب سطحی

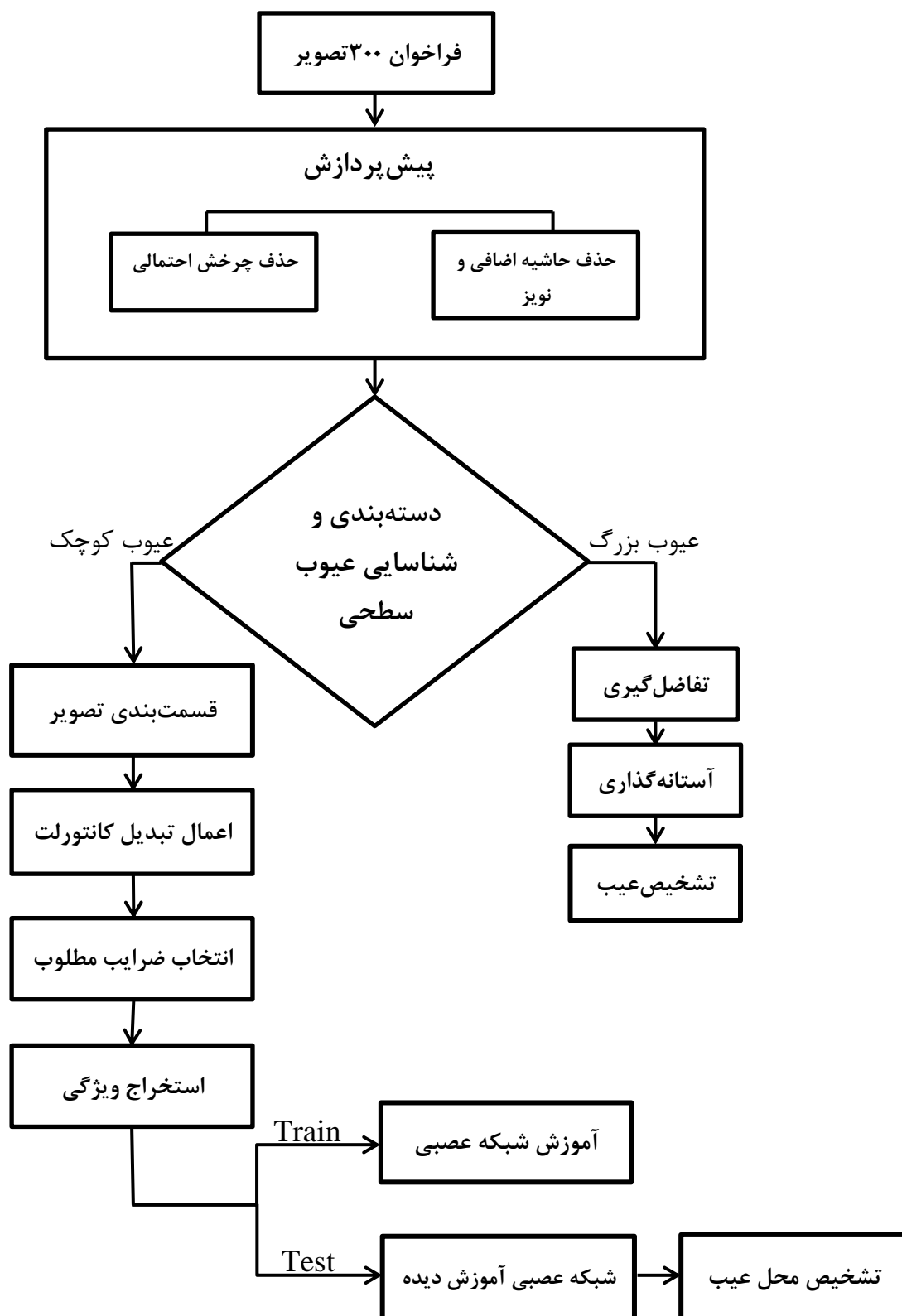
۴-۱- مقدمه

در این فصل به تشریح روش پیشنهادی مطرح شده در این پایان نامه جهت کشف خودکار عیوب سطحی کاشی و سرامیک پرداخته شده است.

در این الگوریتم پس از فراخوان تصاویر و انجام پیش پردازش بر روی آن‌ها، به شناسایی عیوب سطحی موجود می پردازد. برای تشخیص عیوب سطحی از دو روش تفاضل گیری و شبکه عصبی استفاده شده است. نحوه تشخیص این عیوب در این فصل بیان می شود.

۴-۲- فلوجارت الگوریتم پیشنهادی

فلوجارت روش پیشنهادی در شکل ۴-۱ نمایش داده شده است.

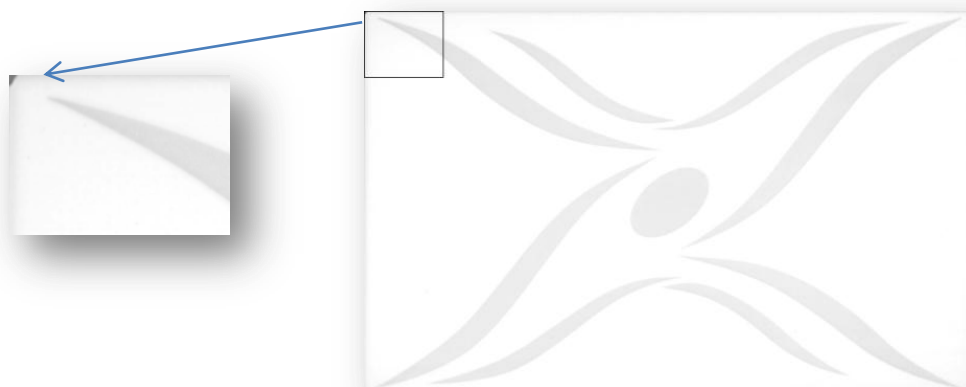


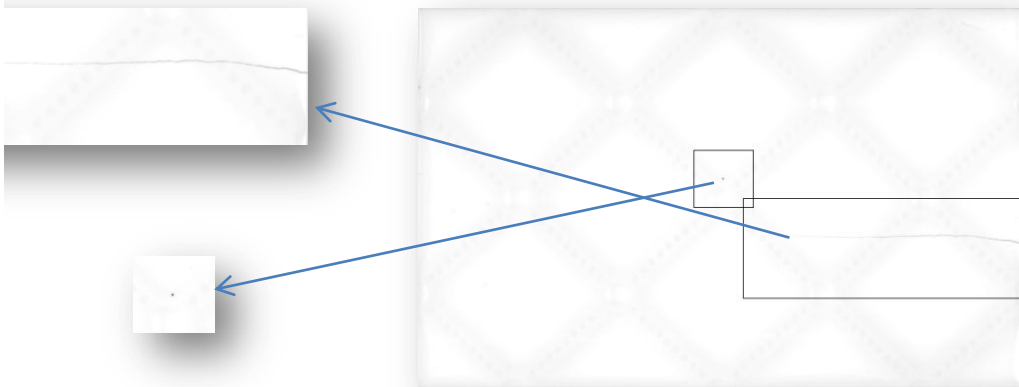
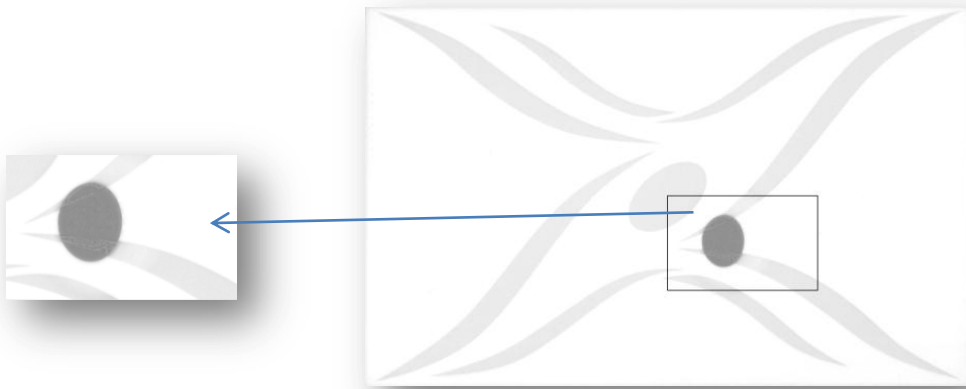
شکل ۴-۱ فلوجارت روش پیشنهادی

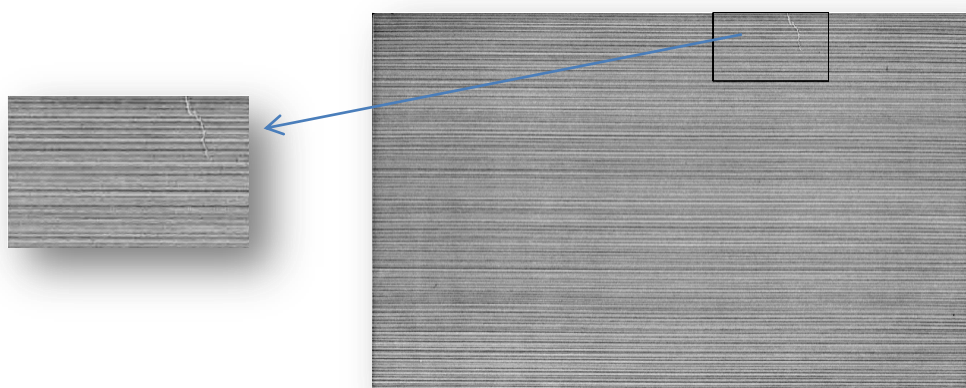
۴-۳- پایگاه داده

با توجه انواع دسته‌بندی کاشی‌های اشاره‌شده در فصل اول و محدوده‌ی تعریف‌شده برای آن، در این پروژه از تصاویر ۳۰۰ عدد کاشی و سرامیک سالم و دارای نقص با ابعاد ۴۰×۲۵ سانتی‌متر استفاده کرده‌ایم. محصولات مورد استفاده شامل انواع عیوب از قبیل ترک‌ها، حفره‌ها و پریدگی لبه هستند.

دوربین تصویربرداری مورد استفاده Canon EOS با عدسی Kit-EF-135-18mm است. همچنین تصاویر به دست آمده دارای قالب JPEG با ابعاد ۳۲۰۰×۲۰۰۰ پیکسل هستند. برخی از این نمونه‌ها دارای عیوب مختلفی هستند که در شکل ۴-۲ نمایش داده شده است. این تصاویر دارای عیوبی به این شرح هستند، پریدگی لبه (عیب کوچک)، نداشتن لعاب (عیب بزرگ)، ایجاد حفره سرسوزنی (عیب کوچک) و همچنین ترک (عیب کوچک).



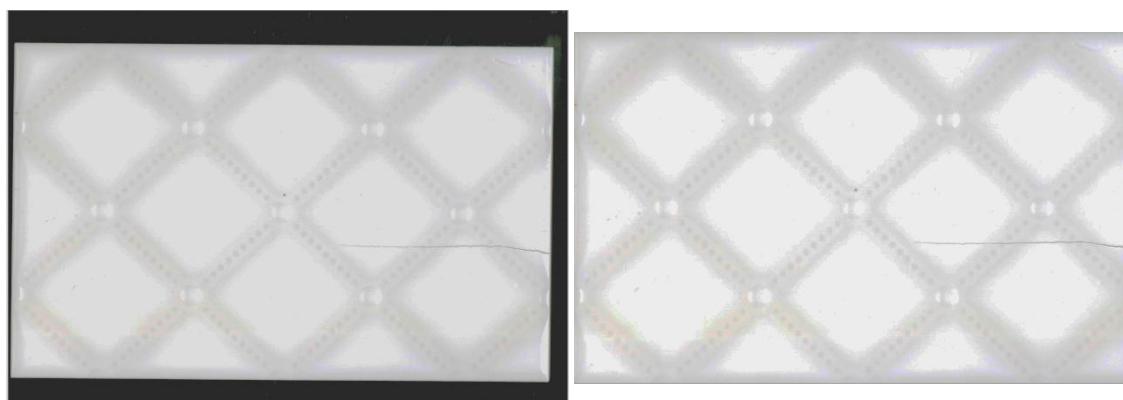




شکل ۲-۴ نمونه‌ای از تصاویر پایگاه داده مورد استفاده در پایان‌نامه

۴-۴- پیش‌پردازش

هدف از این مرحله حذف حاشیه اضافی و چرخش ایجادشده و کاهش سایز در تصاویر است. مرحله‌ی پیش‌پردازش می‌تواند تا حد بسیاری کارایی یک سیستم شناسایی را ارتقا دهد. شکل ۳-۴ نمونه‌ای از این پیش‌پردازش را بر روی یک تصویر کاشی نشان می‌دهد.



شکل ۳-۴ نمونه‌ای از پیش‌پردازش تصویر کاشی

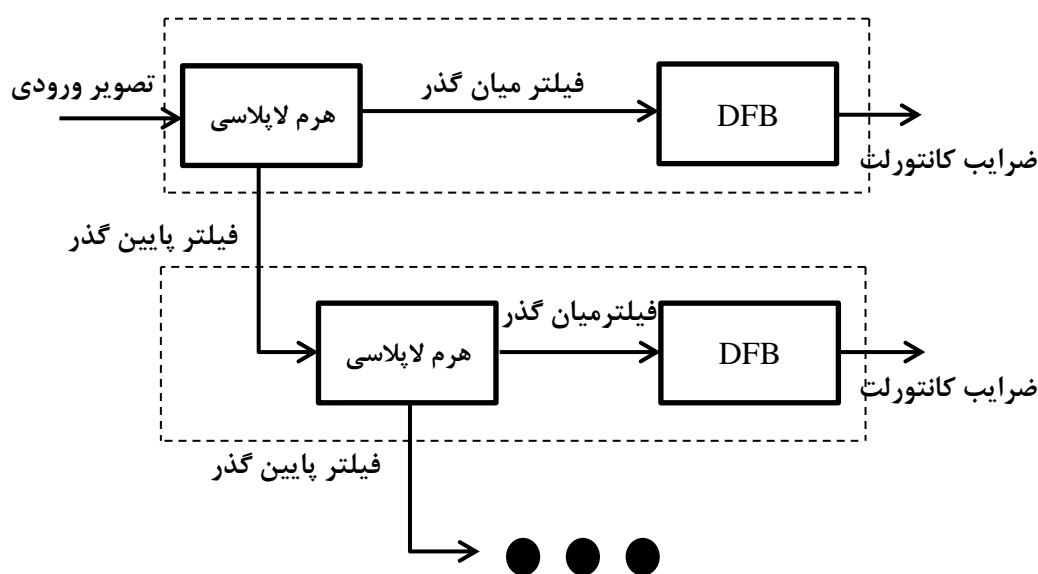
۴-۵- شناسایی و دسته‌بندی عیوب سطحی

عیوب سطحی موجود در کاشی‌ها به دو دسته عمده تقسیم‌بندی می‌شوند: عیوب بزرگ که با چشم قابل‌شناسایی بوده و عیوب کوچک که ممکن است به راحتی با چشم قابل‌شناسایی نباشند و با انجام مراحل گوناگون بر روی تصویر شناسایی شوند. در این قسمت به معرفی روش‌هایی برای شناسایی و تشخیص هر کدام از این دسته‌ها می‌پردازیم.

۴-۵-۱- شناسایی عیوب

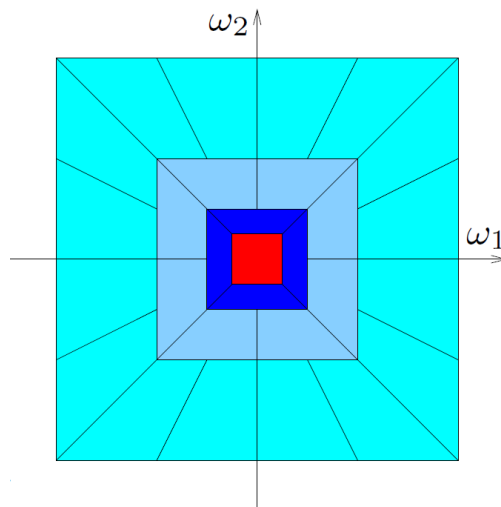
ابتدا با اعمال تبدیل کانتورلت به تصویر ضرایب کانتورلت را به دست می‌آوریم و با میانگین‌گیری تعدادی از این ضرایب و همچنین نرمال کردن میانگین‌های به‌دست آمده، آن‌ها را به عنوان بردار ویژگی به شبکه عصبی اعمال می‌کنیم. در ادامه به توضیح این موارد می‌پردازیم.

همان‌طور که اشاره شد، تبدیل کانتورلت یک تبدیل دو بُعدی جهت‌دار است که برای توصیف منحنی‌ها و جزئیات ظریف به‌کار می‌رود. نمای کلی این تبدیل در شکل ۴-۴ نشان داده شده است.



شکل ۴-۴ نمای کلی یک فیلتر بانک جهتی هرمی

این تبدیل از دو فیلتربانک برای تجزیه چندمقیاسی و چندجهتی تصویر استفاده می‌شود. با توجه به این که در فرکانس‌های بالا لبه‌ها و جزئیات زیادی در تصویر مشخص است برای آشکارسازی آن‌ها نیاز به زوایای بیشتری داریم و همچنین در فرکانس‌های پایین، به دلیل محو بودن و نداشتن دقت مکانی در لبه‌ها و زوایای نیازی به جهت‌های زیاد نیست. از این رو با افزایش فرکانس زوایای آشکارسازی ما نیز باید بیشتر گردد. این موضوع در شکل ۴-۵ کاملاً آشکار است.



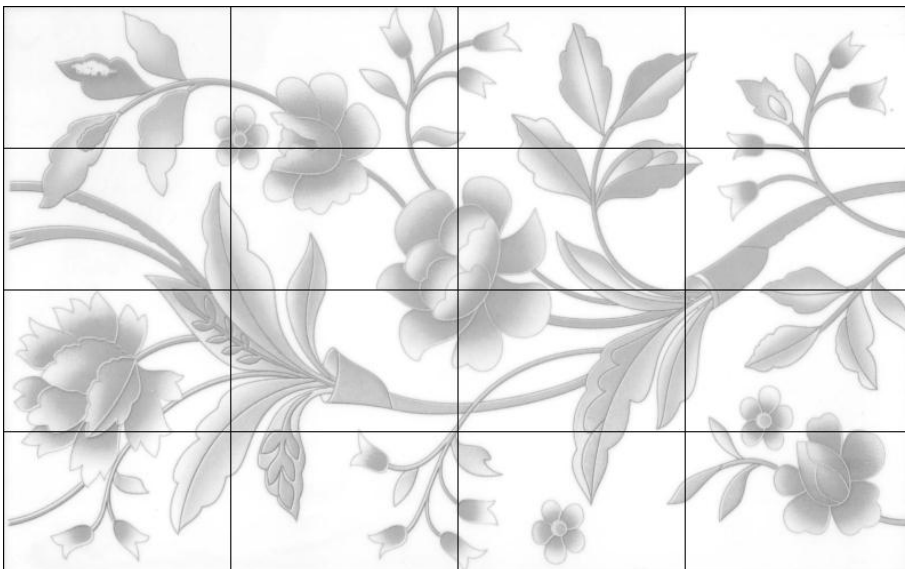
شکل ۴-۵ تقسیم‌بندی صفحه فرکانسی حاصل از تبدیل کانتورلت

با توجه به این تقسیم‌بندی صفحه فرکانسی با افزایش فرکانس تعداد زوایای نیز افزایش پیدا می‌کند. مثلاً سطح ۴، تصویر را به شانزده زیر باند تقسیم‌بندی می‌کند. همچنین سطح ۳، تصویر را به هشت زیر باند تقسیم‌بندی می‌کند. در حالت کلی سطح n ام، دارای 2^n زیر تصویر در آن سطح است. برای بیان کار انجام‌شده، شکل ۴-۶ که دارای عیب نسبتاً بزرگی است را در نظر می‌گیریم. این عیب در گوشه بالا سمت چپ تصویر مشخص است.



شکل ۴-۶ نمونه‌ای از یک کاشی

برای ادامه مراحل پردازش با توجه به شکل ۴-۷ ابتدا تصویر را از فرم RGB به سطوح خاکستری تبدیل می‌کنیم. همچنین برای شناسایی موقعیت بروز خطا، تصویر را به ۱۶ قسمت با ابعاد یکسان تقسیم‌بندی نموده‌ایم.



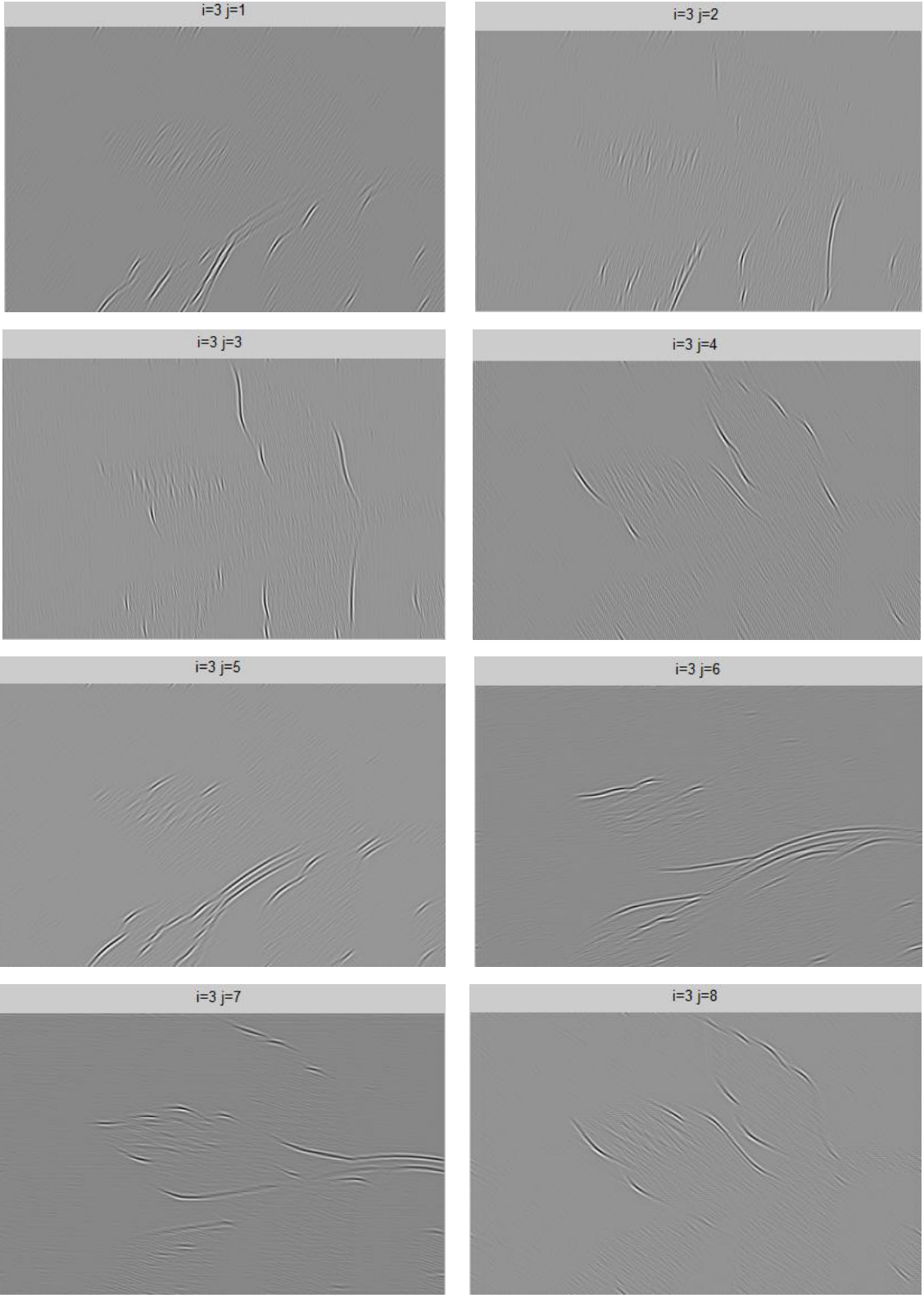
شکل ۴-۷ تقسیم‌بندی تصویر خاکستری حاصل از کاشی شکل ۴-۶

برای انجام تبدیل کانتورلت هر بار یکی از این قسمت‌ها را فراخوانی می‌کنیم. مثلاً ۱/۱۶ اول تصویر فوق که عیب کاشی نیز در آن ناحیه رخ داده است در شکل ۴-۸ مشخص شده است.



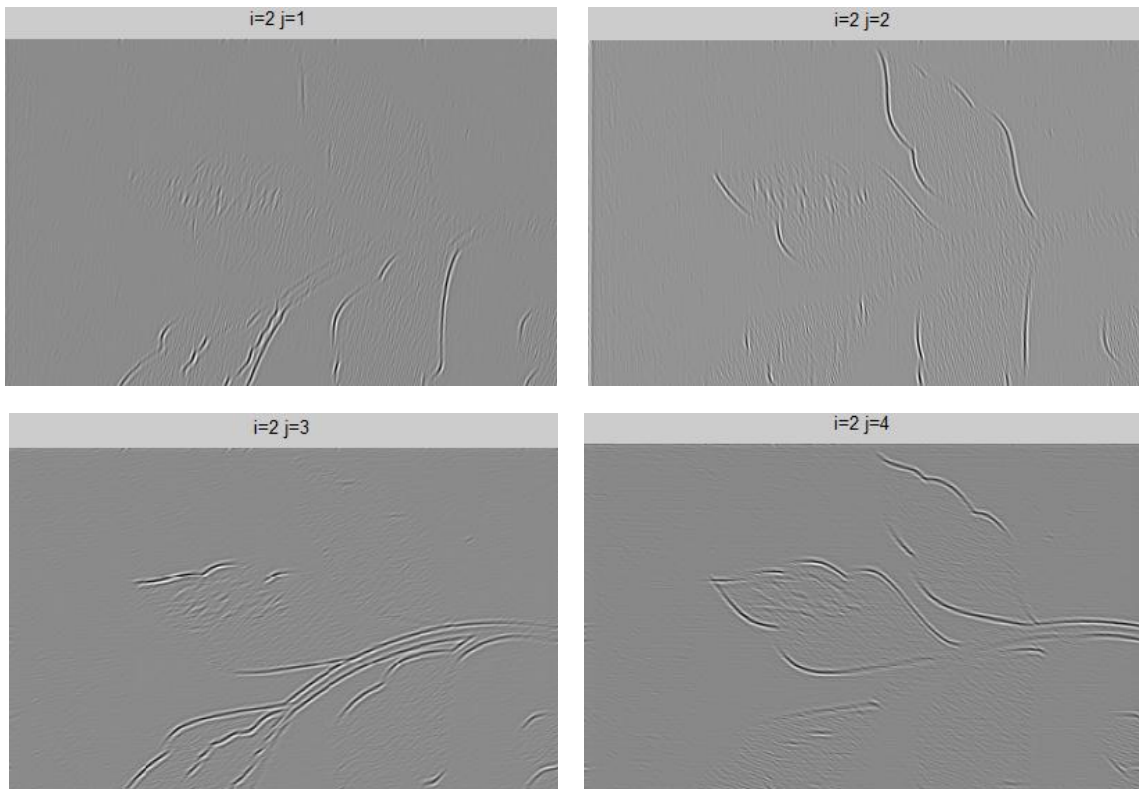
شکل ۴-۸ ۱/۱۶ اول تصویر ورودی شکل ۴-۷

اکنون با نظر گرفتن ۳ سطح برای تبدیل کانتورلت و اعمال آن به تصویر فوق ضرایب کانتورلت بدین صورت به دست می‌آیند: برای سطح ۳، هشت زیر باند در شکل ۴-۹ نشان داده شده است که i نشان‌دهنده شماره سطح و j شماره زیر باند آن سطح است. (در شکل ۴-۹، برای وضوح بهتر ابعاد تصویر نمایش داده شده دو برابر شده است).



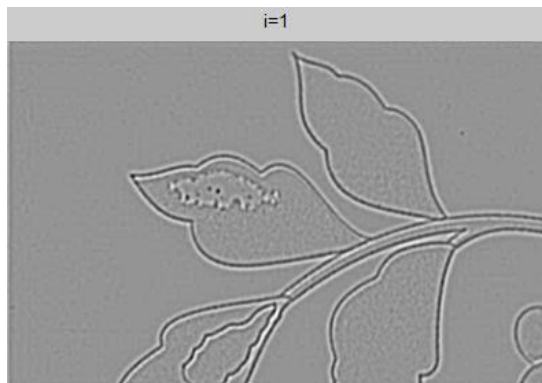
شکل ۴-۹ زیر باندهای سطح سوم تبدیل کانتورلت

برای سطح ۲ نیز چهار زیر باندها داریم که در شکل ۴-۱۰ آمده‌اند:



شکل ۴-۱۰ زیر باندهای سطح دوم تبدیل کانتورلت

و در آخر سطح اول که دارای یک زیر باندها در شکل ۴-۱۱ نمایش داده شده است:



شکل ۴-۱۱ زیر باندها در تبدیل کانتورلت

و در ادامه برای دادن این ضرایب به ورودی شبکه عصبی، هر کدام از این زیر باندها را به چهار قسمت مساوی تقسیم نموده و پس از میانگین‌گیری از آن‌ها و نرمال کردن، حاصل را به عنوان بردار

ویژگی به شبکه عصبی می‌دهیم.

۴-۵-۲- عیوب بزرگ

شناسایی عیوب بزرگ کار دشواری نیست و نیاز به پردازش‌های پیچیده نداریم. علاوه بر راه گفته‌شده راه‌های ساده‌تر نیز وجود دارد از جمله تفاضل‌گیری از دو تصویر سالم و معیوب. برای این منظور ابتدا به تعریف تصویر مرجع می‌پردازیم، برای هر طرح کاشی یک تصویر مرجع انتخاب می‌کنیم که این تصویر دارای هیچ‌گونه عیوب سطحی معرفی شده نیست و سایر تصاویر با آن مقایسه می‌شود. عیوب بزرگ تعداد پیکسل‌های زیادی از تصویر را اشغال می‌کنند به همین خاطر با مقایسه دو تصویر سالم و معیوب اختلاف‌های زیادی آشکار می‌گردد. همچنین به علت عدم انطباق تصویر گرفته‌شده با تصویر مرجع اختلاف‌های جزئی نیز آشکار می‌شود. که ممکن است به عنوان عیب تشخیص داده شود. لذا لازم است این اختلاف‌های جزئی از تصویر نهایی حذف گردد برای این منظور از آستانه گذاری روی تفاضل تصاویر استفاده می‌کنیم. شکل ۴-۱۲ به بیان بهتر این موضوع می‌پردازد.



(ب)



(الف)

شکل ۴-۱۲ شناسایی عیوب بزرگ سطحی. (الف) تفاضل تصویر از تصویر مرجع. (ب) آستانه گذاری روی تصویر.

بنابراین راه ساده‌تر برای تشخیص عیوب سطحی بزرگ از عیوب سطحی کوچک در آن است که

ابتدا با تفاضل گیری از دو تصویر معیوب و مرجع به شناسایی این عیوب پرداخته و در صورت عدم تشخیص به سراغ تبدیل کانتورلت رویم.

۴-۵-۳- عیوب کوچک

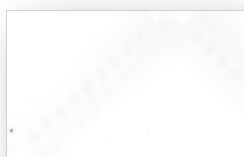
برای عیوب کوچک موجود در تصاویر، تفاضل دو تصویر معیوب از تصویر مرجع جواب قابل قبولی به ما نمی‌دهد. بلکه با انتخاب ضرایب تبدیل کانتورلت در سطوح بالاتر که نشان‌دهنده جزئیات ریز در تصاویر هستند و اعمال آن‌ها به شبکه عصبی به پاسخ مطلوب می‌رسیم.

در زیر با کمک تبدیل کانتورلت و به دست آوردن زیر باندهای سطوح بالا به شناسایی عیب کوچک پرداخته‌ایم.

کاشی که دارای عیوب مختلفی از جمله ترک مویی و همچنین حفره سرسوزنی است، را با ابعاد کاهش یافته 1600×1000 پیکسل در نظر می‌گیریم. در شکل ۴-۱۳ (الف) تصویر این کاشی پس از تبدیل به سطوح خاکستری و تقسیم‌بندی آن به ۱۶ قسمت با ابعاد یکسان نشان داده شده است. همچنین عیب ریز موجود در کاشی (عیب ریزی که با تفاضل قابل شناسایی نیست) در شکل ۴-۱۳ (ب) بخوبی نشان داده شده است.



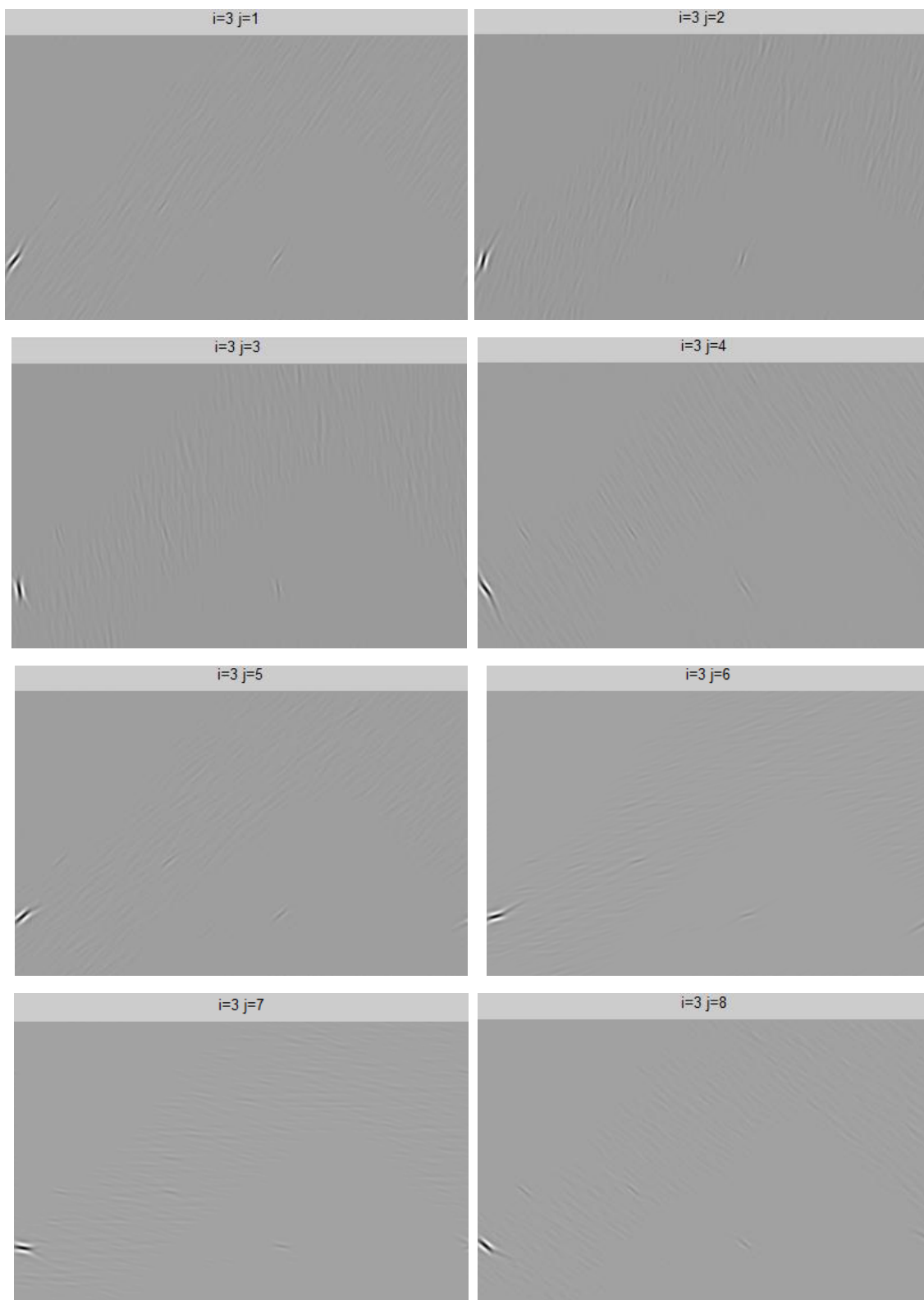
(الف)



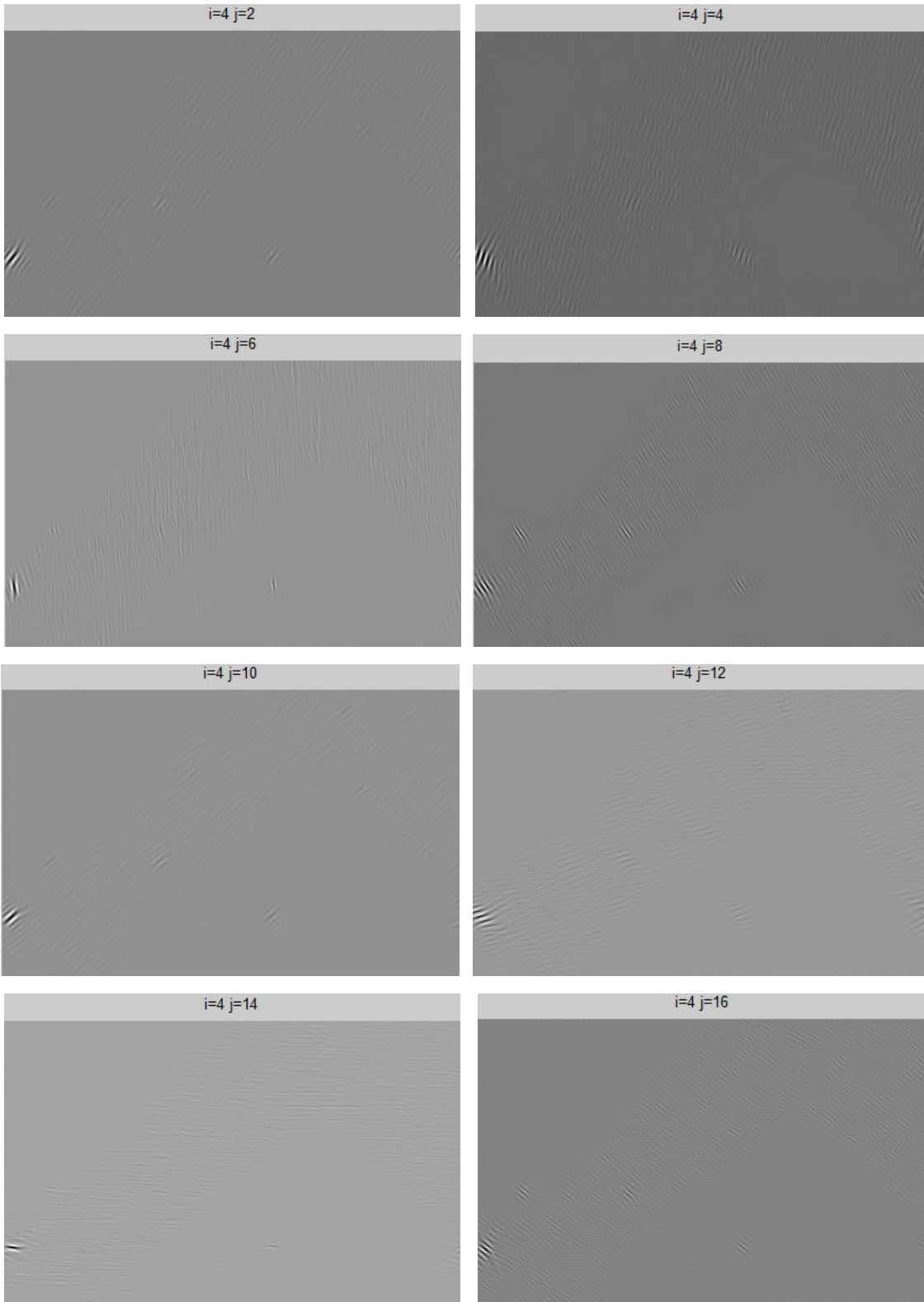
(ب)

شکل ۴-۱۳ نمونه‌ای از تصویر کاشی دارای عیب ریز.
 (الف) تصویر کل کاشی (ب) قسمت دارای عیب کوچک (لکه کوچک در لبه سمت چپ)

پس از اعمال تبدیل کانتورلت با ۴ سطح به شکل ۴-۱۳(ب)، مشاهده می‌شود که برای این عیب ریز باید به سراغ زیر باندهایی که در سطوح بالاتر هستند برویم. از این رو پس از بررسی‌های مختلف برای مشاهده عیب فوق در تمامی زیرباندها، جهت انجام پردازش هشت زیر باند سطح ۳ و همچنین زیر باندهای زوج سطح ۴ را انتخاب نمودیم که در شکل‌های ۴-۱۴ و ۴-۱۵ مشخص شده‌اند.



شکل ۴-۱۴ زیر باندهای سطح سوم تبدیل کانتورلت



شکل ۴-۱۵ زیر باندهای زوج سطح چهارم تبدیل کانتورلت.

هر کدام از این زیر باندها دارای 400×250 پیکسل هستند، برای رسیدن به یک بردار ویژگی مناسب جهت اعمال به ورودی شبکه عصبی، هر کدام از این زیر باندها را به چهار قسمت مساوی تقسیم می‌کنیم، با میانگین‌گیری از این قسمت‌ها و همچنین نرمال کردن آن‌ها، بردار ویژگی مطلوب حاصل می‌شود. به این ترتیب برای هر بخش تصویر، به ۶۴ ویژگی رسیدیم. یعنی هر ۱۶ ضریب کانتورلت مورد نظر در هر بخش را به ۴ قسمت مساوی تقسیم کردیم و از هر کدام میانگین می‌گیریم (۶۴ = 4×16). به دلیل اینکه در این میانگین‌گیری به اعداد منفی برخورد نکنیم، از نرمال شده آن‌ها استفاده می‌کنیم.

۴-۵-۴- نتیجه‌گیری

ما ابتدا یک تصویر با ابعاد 1600×1000 پیکسل، را به شانزده قسمت مساوی (با ابعاد 400×250) تقسیم می‌کنیم. سپس تبدیل کانتورلت را به هر کدام از این قسمت‌ها اعمال می‌کنیم و شانزده ضریب (تمام ضرایب سطح سوم و ضرایب زوج سطح چهارم) آن را در نظر می‌گیریم. و برای رسیدن به یک بردار ویژگی مطلوب، پس از چهار قسمت کردن این ضرایب از هر کدام از آن‌ها میانگین می‌گیریم و در آخر نرمال شده این میانگین‌ها را استفاده می‌کنیم.

این دسته‌بندی برای مشخص کردن موقعیت بروز عیب کمک بسیاری می‌کند، چراکه هر کدام از این شانزده بخش تصویر که دارای ۶۴ بردار ویژگی هست را به ترتیب به شبکه عصبی اعمال می‌کنیم و پس از تشخیص بروز عیب توسط سیستم، موقعیت بروز عیب نیز با توجه به شماره آن بخش مشخص می‌شود. اکنون این بردارهای ویژگی به دست آمده از تمامی تصاویر را به عنوان ورودی شبکه عصبی پرسپترون چند لایه اعمال می‌کنیم. لازم به ذکر است که در مرحله آموزش نیازمند تعریف ماتریس هدف^۱ نیز هستیم که این کار به صورت دستی انجام می‌شود.

¹ Target

فصل پنجم

ارزیابی نتایج

و مقایسه با روش های پیشین

۵-۱- مقدمه

در این فصل به منظور تخمین نحوه‌ی کارکرد روش پیشنهادی و مقایسه نتایج حاصل از آن با روش‌های مشابه پرداخته‌ایم. برای این منظور با توجه به پایگاه داده‌ها و الگوریتم پیشنهادی اشاره‌شده در فصل قبل به بیان موضوع می‌پردازیم.

۵-۲- محاسبه و ارزیابی نتایج

در فصل چهارم عیوب سطحی کاشی‌ها را به دو دسته‌ی عیوب بزرگ و عیوب کوچک دسته‌بندی نمودیم، که برای آشکارسازی عیوب بزرگ، روش تفاضل‌گیری پیشنهاد شد و برای مشخص شدن عیوب سطحی کوچک و ریز موجود در سطح کاشی، با کمک تبدیل کانتورلت به استخراج ویژگی پرداختیم و سپس این بردارهای ویژگی را به عنوان نرون‌های ورودی به شبکه عصبی دادیم. شبکه عصبی مورد استفاده پرسپترون چند لایه است که دارای ۱۰ لایه مخفی است و خروجی آن یک نرون است که مشخص می‌کند کاشی ما سالم یا معیوب است.

پایگاه داده ما دارای ۲۰۰ نمونه کاشی سالم و ۱۰۰ نمونه کاشی با عیب‌های سطحی مختلف است. ما ۷۰٪ از این داده‌ها را برای مجموعه آموزش لحاظ کردیم، ۲۰٪ برای مجموعه آزمون در نظر گرفتیم، و ۱۰٪ از این نمونه‌ها را برای برآورد نهایی و اعتبارسنجی به شبکه اعمال کردیم.

که در نهایت، پس از انجام مراحل فوق برای شناسایی عیوب کوچک موجود در کاشی، با اعمال ۱۰ نوع طرح مختلف از کاشی‌ها به میانگین جواب قابل قبول ۹۶.۸۷٪ رسیدیم.

۵-۳- مقایسه با روش‌های مشابه

در این قسمت سه روش برای مقایسه با روش پیشنهادی پایان‌نامه انتخاب شده است. همان‌گونه که در مرور کارهای گذشته اشاره شد، در [۲۹] برای طبقه‌بندی خودکار عیوب کاشی و سرامیک از ماتریس هم‌رخداد و همچنین شبکه عصبی MLP بهره برده‌اند. همچنین در [۲۲] از توصیف‌گر لبه‌ها-ردیابی کانتور برای شناسایی عیوب لبه‌ای کاشی و سرامیک استفاده کرده‌اند. و صراف و همکاران در [۱۹] یک سیستم بینایی برای نظارت عیوب و خطاهای موجود در بافت را با استفاده از تبدیل موجک بیان کرده‌اند.

در جدول ۵-۱ به مقایسه نتیجه حاصل از روش پیشنهادی با این سه روش می‌پردازیم. نکته قابل‌ذکر در این مورد این است که، به دلیل عدم وجود پایگاه داده‌ی یکسان در زمینه مورد نظر، وجود تفاوت در ساختار روش‌ها امری بدیهی است.

جدول ۵-۱ مقایسه روش پیشنهادی با سایر روش‌های پیشین

روش	روش پیشنهادی	[۲۹]	[۲۲]	[۱۹]
تکنیک مورد استفاده	تبدیل کانتورلت و MLP	ماتریس هم‌رخداد و MLP	توصیف‌گر لبه‌ها ردیابی کانتور	تبدیل موجک
درصد تشخیص	٪۹۶.۸۷	٪۹۳.۷۵	٪۸۲.۵	٪۹۱

۵-۴- چند پیشنهاد برای کارهای آینده

در این پایان‌نامه روشی برای شناسایی و دسته‌بندی عیوب سطحی کاشی و سرامیک توسط تکنیک‌های پردازش تصویر و بینایی‌ماشین ارائه گردید. طرح اکثر کاشی و سرامیک‌ها دارای نقش و نگارهای یکسان و تکراری است و ما از این موضوع برای تشخیص عیوب سطحی موجود بهره بردیم. اما تعداد محدودی از کاشی‌ها با عنوان کاشی‌های چاپی موجود است که طرح یکسانی در آن‌ها دیده

نمی‌شود، به این کاشی‌ها، کاشی‌های با طرح غیرتکراری^۱ گویند. روش پیشنهادی برای تشخیص عیوب موجود در این نوع از کاشی‌ها استفاده از روش‌های مبتنی بر آمار است [۴۵]. که در فصل دوم در قسمت مرور بر کارهای گذشته، اشاره‌ای به روش‌های مبتنی بر آمار برای تشخیص عیوب نمودیم. یکی دیگر از پیشنهادها پایان‌نامه برای کارهای آینده، استفاده از روش ذکرشده برای شناسایی عیوب سایر محصولات تولیدی مانند محصولات استیل یا شیشه و حتی بافت‌های پارچه‌ای است. و این به دلیل وجود عیوب مشابه در این دسته از محصولات تولیدی با عیوب سطحی کاشی و سرامیک است.

¹ Non Motif

مراجع

- [1] Nickolay B. and Schmaltuss H. (1993), "**Automatic fabric inspection-utopia or reality?** ", MELLIAND TEXTILBERICHTE INTERNATIONAL TEXTILE REPORTS, vol. 74, pp. E 33.
- [2] Rosandich R. G. (1996), "**Intelligent visual inspection**", springer US, pp.13-28.
- [3] Batchelor B. (1985), "Lighting and viewing techniques", **Automated visual inspection**, pp. 103-179.
- [4] Chin R. T. (1988), "Automated visual inspection: 1981 to 1987", **Computer Vision, Graphics, and Image Processing**, vol. 41, pp. 346-381.
- [5] Chin R. T. and Harlow C. A. (1982), "Automated visual inspection: A survey", **Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on**, pp. 557-573.
- [6] Newman T. S. and Jain A. K. (1995), "A survey of automated visual inspection", **Computer vision and image understanding**, vol. 61, pp. 231-262.
- [7] Thomas A. D. and Neill C. (1995), "Real-time industrial visual inspection: a review", **Real-Time Imaging**, vol. 1, pp. 139-158.
- [8] Sheen S. H., Chien H. T., Lawrence W. P., and Raptis A. C. (1997), "**Ultrasonic imaging system for in-process fabric defect detection**", Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office ed: Google Patents.
- [9] Norton-Wayne L., Bradshaw M., and Jewell A. (1992), "**Machine vision inspection of web textile fabric**", Springer London, in *BMVC92*, pp. 217-226.
- [10] Norton-Wayne L., Bradshaw M., and Sanby C. (1993), "Machine vision for the automated inspection of web materials", in **Electronic Imaging Device Engineering**, International Society for Optics and Photonics , pp. 2-13.
- [11] Stojanovic R., Mitropulos P., Koulamas C., Karayiannis Y., Koubias S., and Papadopoulos G. (2001), "Real-time vision-based system for textile fabric inspection", **Real-Time Imaging**, vol. 7, pp. 507-518.
- [12] Conci A. and Proença C. B. (1998), "A fractal image analysis system for fabric inspection based on a box-counting method", **Computer Networks and ISDN System**, vol. 30, pp 20.
- [13] Zhang Y. F. and Bresee R. (1995), "Fabric defect detection and classification using image analysis", **Textile Research Journal**, vol. 65, pp. 1-9.
- [14] Siew L. H., Hodgson R. M., and Wood E. J. (1988), "Texture measures for carpet wear assessment", **Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on**, vol. 10, pp. 92-105,.
- [15] Chan C. h. and Pang G. K. (2000), "Fabric defect detection by Fourier analysis", **Industry Applications, IEEE Transactions on**, vol. 36, pp. 126.

- [16] Tsai I. S. and Hu M. C. (1996), "Automatic inspection of fabric defects using an artificial neural network technique", **Textile Research Journal**, vol. 66, pp. 474-482.
- [17] Tsai D. M. and Hsieh C. Y. (1999), "Automated surface inspection for directional textures", **Image and Vision Computing**, vol. 18, pp. 49-62.
- [18] Bovik A. C., Clark M., and Geisler W. S. (1990), "Multichannel texture analysis using localized spatial filters", **Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on**, vol. 12, pp. 55-73.
- [19] Sari-Sarraf H. and Goddard J. S. (1999), "Vision system for on-loom fabric inspection", **Industry Applications, IEEE Transactions on**, vol. 35, pp. 1252-1259.
- [20] Jasper W. J., Garnier S. J., and Potlapalli H. (1996), "Texture characterization and defect detection using adaptive wavelets", **Optical Engineering**, vol. 35, pp. 3140-3149.
- [۲۱] جمال اوغلی ج، (۱۳۹۲)، پایان نامه ارشد: "آشکارسازی خودکار عیوب کاشی و سرامیک"، دانشکده کامپیوتر، دانشگاه صنعتی شاهرود
- [22] Kumar A. and Pang G. K. (2002), "Defect detection in textured materials using Gabor filters", **Industry Applications, IEEE Transactions on**, vol. 38, pp. 425-440.
- [23] Hocenski Z. and Keser T. (2007), "Failure detection and isolation in ceramic tile edges based on contour descriptor analysis", in **Control & Automation, 2007. MED'07. Mediterranean Conference on**, pp. 1-6.
- [24] Mostafavi M. S. (2006), "A New Method in Detection of Ceramic Tiles Color Defects using Genetic C-Means Algorithm", **Proceeding of World Academy of Science, Engineering and Technology**, vol, pp. 168-171.
- [25] Dong Y. and Ma J. (2012), "Feature extraction through contourlet subband clustering for texture classification", **Neurocomputin**.
- [26] Desoli G., Fioravanti S., Fioravanti R., and Corso D. (1993), "A system for automated visual inspection of ceramic tiles", in **Industrial Electronics, Control, and Instrumentation, 1993. Proceedings of the IECON'93, International Conference on**, pp. 1871-1876.
- [27] Boukouvalas C., Kittler J., Marik R., and Petrou M. (1999), "Color grading of randomly textured ceramic tiles using color histograms", **Industrial Electronics, IEEE Transactions on**, vol. 46, pp.219-226.
- [28] Long Z. and Younan N. H. (2012), "Multiscale texture segmentation via a contourlet contextual hidden Markov model", **Digital Signal Processing**.
- [29] Elbehriy H., Hefnawy A., and Elewa M. (2005), "Surface Defects Detection for Ceramic Tiles Using Image Processing and Morphological Techniques", in **WEC (5)**, pp. 158-162.
- [30] Ebrahimzadeh A. and Hossienzadeh M. (2010), "An efficient system for automatic sorting of the ceramic tiles", in **Digital Content, Multimedia Technology and its Applications, 2010 6th International Conference on**, pp. 372-374.
- [31] Backes A. R., Casanova D., and Bruno O. M. (2012), "Texture analysis and classification: A complex network-based approach", **Information Sciences**.

- [32] Vasilic S. and Hocenski Z. (2006), "The edge detecting methods in ceramic tiles defects detection", in **Industrial Electronics, 2006 IEEE International Symposium on**, pp. 469-472.
- [33] Chaorong L., Jianping L., and Mingqing H. (2012), "Alumina Ceramic Surface Defect Detection: Combining Canny Edge Detector and Contourlet Transformation", **International Journal of Advancements in Computing Technology**, vol. 4.
- [34] Boukouvalas C., De Natale F., De Toni G., Kittler J., Marik R., Mirmehdi M., Petrou M., Le Roy P., Salgari R., and Vernazza G. (1998), "ASSIST :automatic system for surface inspection and sorting of tiles", **Journal of materials processing Technology**, vol. 82, pp. 179-188.
- [35] Hocenski Z., Keser T., and Baumgartner A. (2007),"A simple and efficient method for ceramic tile surface defects detection", in **Industrial Electronics, 2007. ISIE 2007. IEEE International Symposium on**, pp. 1606-1611.
- [36] Bracewell R. N. and Bracewell R. (1986), **The Fourier transform and its applications** vol. 31999: McGraw-Hill New York.
- [37] Griffin D. and Lim J. (1984), "Signal estimation from modified short-time Fourier transform", **Acoustics, Speech and Signal Processing, IEEE Transactions on**, vol. 32, pp. 236-243.
- [38] Candes E. J. and Donoho D. L. (2000), "Curvelets, multiresolution representation, and scaling laws", in **International Symposium on Optical Science and Technology** , pp. 1-12.
- [39] Do M. N. and Vetterli M. (2005), "The contourlet transform: an efficient directional multiresolution image representation", **Image Processing, IEEE Transactions on**, vol. 14, pp. 2091-2106.
- [40] Burt P. and Adelson E. (1983), "The Laplacian pyramid as a compact image code", **Communications, IEEE Transactions on**, vol. 31, pp. 532-540.
- [41] Do M. N. (2001), **Directional multiresolution image representations** vol. 2500: Citeseer.
- [42] Do M. N. and Vetterli M. (2003), "Framing pyramids", **Signal Processing, IEEE Transactions on**, vol. 51, pp. 2329-2342.
- [43] McCulloch W. S. and Pitts W. (1943), "A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity", **The Bulletin of Mathematical Biophysics**, vol. 5, pp. 115-133.
- [44] Hopfield J. J. (1982), "Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities", **Proceedings of the national academy of sciences**, vol. 79, pp. 2554-2558.
- [45] Šíma J. and Orponen P. (2003), "General-purpose computation with neural networks: A survey of complexity theoretic results", **Neural Computation**, vol.15, pp. 2727-2778.
- [46] Ngan H. Y., Pang G. K., and Yung N. H. (2011), "Automated fabric defect detection—a review", **Image and Vision Computing**, vol. 29, pp. 442-458.

Abstract

The process of quality control is made for assurance of designing high quality flawless products. In previous years, some sections of quality control that need visual inspection were done by humans. Nowadays, these works are done by machines and robots. The purpose of surface control is recognition and revelation of surfaces in products and industrial goods that those surfaces do not have ideal quality according to specified criteria. Today this procedure is used for identification of defects in many surfaces such as ceramic tiles, fabric, wood, paper, leather and so on.

The revelation of defects of surfaces is possible through texture analysis methods, which explain the characteristic of surfaces. For this purpose we have used, Contourlet transform for analyzing of tile's images. Contourlet is 2D directional transform, which is used to describe curves and delicate details in images. Contourlet expansion is made from basic functions that have distinctive shapes and scales in tendency towards different directions (Anisotropic). Then we used a neural network for training data and finding defective tiles. The results are excellent and detect faults with more than 96.87% accuracy. Compared to the previous works, this is a remarkable primacy.

Keywords: Defect Detection of Surface Tile, Contourlet Transformation, Image Processing and Neural Networks.



Shahrood University of Technology

Faculty of Mechanic Engineering

Detection and classification of tile and ceramic defects

Behzad Sarshad

Supervisors:

Dr. Alireza Ahmadyfard

Dr. Hosein Khosravi

FOR THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE

February, 2014