دانشگاه تبریز

دانشکده برق وکامپیوتر

گروه الکترونیک

پایان نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته الکترونیک

عنوان

شناسایی الگو با استفاده از شبکه های عصبی و پیاده سازی آن روی FPGA

استاد راهنما

پروفسور دکتر حسین بالازاده بهار

استاد مشاور

دکتر جعفر صبحی

پژوهشگر

علی اعظمی

دی ماه ۱۳۹۰

تقدیم به :

پدر و مادر عزیزم

که همواره از راهنمایی‌های ارزشمندشان بهره‌مند بوده‌ام.

همسر عزیزم

که همواره یار و یاور صمیمی و مشوق من در امر ادامه تحصیل بوده است.

تشکر و قدردانی

بر خود لازم می‌دانم تا از زحمات تمامی عزیزانی که مرا در انجام این پایان‌نامه یاری نموده‌اند، خصوصاً استاد گرانقدر جناب آقای دکتر حسین بالازاده بهار که در طول مدت انجام پایان‌نامه علاوه بر راهنمایی‌های ارزشمندشان، نکات اخلاقی، علمی و عملی فراوان به من آموختند تشکر وقدردانی نمایم و امیدوارم که با تلاش وکوششهایم بتوانم جزء اندکی از زحمات استاد گرانقدرم را جبران کنم

نام خانوادگی دانشجو : اعظمی	**نام** : علی

عنوان پایان نامه : شناسایی الگو با استفاده از شبکه های عصبی و پیاده سازی آن روی FPGA

استاد راهنما : پروفسور دکتر حسین بالازاده بهار

استاد مشاور : دکتر جعفر صبحی

مقطع تحصیلی : کارشناسی ارشد **رشته :** برق **گرایش :** الکترونیک

دانشگاه : تبریز

دانشکده : برق و کامپیوتر **تاریخ فارغ التحصیلی :** آذر ماه ۱۳۹۰ **تعداد صفحه :** ۸۸

کلید واژه : شبکه های عصبی، پیاده سازی سخت افزاری روی FPGA، تخمین تابع زیگموئید، ، بازشناسی ارقام دست‌نویس فارسی، شبکه های پرسپترون چند لایه ، زبان برنامه نویسی verilog

چکیده :

بازشناسی ارقام دست‌نویس یکی از مسائل مهم در بازشناسی الگو است. در زمینه‌ی تشخیص ارقام دست-نویس فارسی در دو حوزه‌ی روش‌های استخراج ویژگی و استفاده از طبقه‌بندها تحقیقات زیادی صورت گرفته است. انتخاب روش استخراج ویژگی به عنوان مهم‌ترین عامل در بازشناسی الگو و به منظورکاهش ابعاد داده‌های ورودی مطرح است.

هدف از این پایان نامه طراحی و پیاده سازی یک کار برد خاص از شبکه های عصبی و پیاده سازی آن بر روی FPGA می باشد . از شبکه های عصبی پیچیده برای پیاده سازی توابع پیچیده در زمینه های مختلف از جمله تشخیص الگو ، تشخیص هویت ، طبقه بندی، پردازش صحبت و تصویر و سیستم های کنترلی استفاده می شود. ما سعی کردیم یکی از زیر شاخه‌های بازشناسی الگوکه سامانه بازشناسی‌ارقام وحروف دست‌نوشته است،روی FPGA پیاده سازی نماییم. این کار با استفاده از زبان های برنامه نویسی سخت افزاری نظیر Verilog صورت می گیرد. در این پروژه روشی مناسب در جهت بهبود عملکرد شبکه عصبی در جهت کاهش حجم سخت افزاری در شناسایی الگوی مورد نظر(بازشناسی ارقام دست نوشته فارسی) با زمان اجرای کم ارائه شده است . جهت کاهش میزان حجم سخت افزار و کاهش تعداد واحد های ضرب کننده ی مورد نیاز و منابع سخت افزاری روش تسهیم بندی لایه ای[48] ، استفاده می کنیم . بر اساس این روش، لا یه ای که بیشترین تعداد نورون را دارد ملاک قرارگرفته و واحد ها و منابع سخت افزاری به تعداد مورد نیاز آن لایه انتخاب می شود . سپس، توسط کنترل کننده ی سخت افزاری طراحی شده مخصوص عملیات تسهیم لایه ای در هر مرحله پردازشی، یک لایه به ترتیب از ورودی تا خروجی روی واحدها پیاده سازی می شود.

فهرست مطالب

عنوان.....صفحه

مقدمه ۱

فصل اول: مفاهیم اولیه و بررسی منابع

۱-۱-بازشناسی الگو ۴

۱-۲-روش‌های بازشناسی الگو.....۶

۱-۲-۱-روش‌های حسی-تجربی.....۶

۱-۲-۲-روش‌های ساختاری یا نحوی.....۷

۱-۲-۳-روش‌های ریاضی.....۷

۱-۲-۳-۱-روش‌های آماری.....۸

۱-۲-۳-۲-روش‌های غیرآماری.....۸

۱-۲-۴-مقایسه تجربی طبقه‌بندها.....۹

۱-۲-۴-۱-انتخاب مجموعه آموزش.....۹

۱-۲-۴-۲-انتخاب مجموعه آزمایشی.....۱۰

۱-۲-۴-۳-تصادفی بودن ذاتی الگوریتم یادگیری.....۱۰

***1-3*-سیر تحول بازشناسی نوری نویسه‌ها.....۱۰**

1-3-1- سیر تحول عمومی *OCR*.....۱۱

***1-3-*۱-۱-پیدایش *OCR*.....۱۱**

***1-*۳-۲- سیر تحول *OCR* عربی.....۱۴**

***1-3-3-* سیر تحول *OCR* فارسی.....۱۶**

۱-۴- انواع سیستم‌های بازشناسی نوری کاراکتر از لحاظ نوع الگوی ورودی.....۱۷

۱-۵-معرفی بخش‌های مختلف یک سامانه بازشناسی نوری کاراکتر.....۱۷

۱-۵-۱- پیش پردازش.....۱۸

۱-۵-۱-۱-کاهش نویز.....۱۸

۱-۵-۱-۲-نرمالیزه کردن داده‌ها.....۱۸

۱-۵-۱-۳-فشرده‌سازی.....۱۸

۱-۵-۲-استخراج ویژگی.....۱۹

۱-۵-۲-۱-گشتاور.....۲۰

۱-۵-۲-۲-هیستوگرام.....۲۳

۱-۵-۲-۳-ویژگی‌های جهتی.....۲۳

۱-۵-۲-۴-ویژگی‌های ناحیه‌ای.....۲۶
۱-۵-۲-۵-تحلیل اجزاء اصلی (PCA).....۲۶
۱-۶- مروری بر پایه های شبکه های عصبی.....۳۰
۱-۶-۱- نورون های مصنوعی.....۳۲
۱-6-۲- شبکه ی چند لایه پرسپترونی.....۳۵
۱-۷-پیاده سازی سخت افزاری ۳۷
۱-۷-۱- ساختار FPGA.....۳۷
۱-۷-۲- مثالی از سلول منطقی مبتنی بر LUT.....۳۸
۱-۷-۳- پارالليسم در شبکه های عصبی و اهمیت آن در پیاده سازی.....۴۰
۱-۷-۳-۱- فرایند پارالليسم در شبکه های عصبی.....۴۰
۱ -۷-۴- جنبه های محاسبات کامپیوتری.....۴۱
۱-۷-۴-۱- نمایش اعداد ۴۱
۱-۷-۴-۲- نمایش اعداد باینری به صورت ممیز ثابت.....۴۲
۱-۷-۴-۲-۱- تبدیل از فرم صحیح به فرم کسری وبرعکس.....۴۳
۱-۱-۷-۴-۲- ۲- ضرب اعداد کسری با استفاده از ضرب کننده صحیح.....۴۵
۱-۷-۴-۲-۳-کوانتیزاسیون.....۴۶
۱-۷-۴-۲-۴- اشباع.....۴۷
۱-۷-۴-۲-۵- سرریز و مقیاس کردن ۴۸
۱-۷-۴-۲-۶- مشکل ناشی از کوانتیزاسیون ضرایب در فیلترهای IIR ۵۰
۱-۷-۴-۳- محاسبه نتایج حاصل از جمع.....۵۲
۱-۷-۴-۴- پیاده سازی تابع فعالسازی.....۵۵
۱-۷-۴-۴-۱- تخمین با تابع خطی مرتبه دوم.....۵۶
فصل دوم : مواد و روش ها
۲-۱-مقدمه.....۵۸
۲-۲- فاز اول- تکنیک شبکه های عصبی مصنوعی برای بازشناسی الگو.....۵۸
۲-2-۱- شبکه های عصبی مصنوعی ۵۸
۲-۲-2- پایگاه داده جهت ارزیابی روش‌های بازشناسی ارقام.....۵۹
۲-۳- فازدوم- توصیف سخت افزاری شبکه ی عصبی طراحی ، جهت پیاده سازی در تراشه های FPGA ۶۰
۲-۳- ۱- پیاده سازی سخت افزاری شبکه های عصبی.....۶۰
۲-۳-۳- زبان های توصیف سخت افزاری.....۶۵

۲-۳-۴- ورودی تراشه- نحوه ی نمایش اعداد و دقت مورد نظر.....۶۵
۲-۳-۵- WROMها ۶۶
۲-۳-۶- واحد مربوط به تابع راه انداز سیگموید.....۶۷
فصل سوم : نتایج و بحث
۳-۱- مقدمه.....۷۱
۳-۲-پایگاه داده برای ارزیابی و پیاده‌سازی ساختار ارائه شده.....۷۲
۳-۲-۱- نحوه بازنمایی تصاویر ارقام به شبکه عصبی.....۷۲
۳-۳- شبکه‌های عصبی.....۷۳
۳-۳-۱- مشخصات شبکه عصبی.....۷۵
۳-۴-نتایج آزمایشات انجام شده در فاز نهایی.....۷۷
۳-۵- ارائه ساختار پیشنهادی جهت کاهش حجم سخت افزاری ۷۹
فصل چهارم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها
۵-۱- مقدمه.....۸۲
۵-۲-جمع‌بندی نهایی.....۸۲
۵-۳-کارهای آینده.....۸۳
فصل پنجم : منابع مورد استفاده

فهرست جدول‌ها

شماره جدول.....صفحه
جدول۱-۱: گشتاور زرنیکی ۲۲
جدول۱-۲: سه روش استاندارد برای محاسبه ضرب ماتریسی ۵۵
جدول ۲-۱: مقایسه روشهای مختلف پیاده سازی تابع فعال سازی ۵۶
جدول۳-۱: تغییرات نرخ بازشناسی را نسبت به تعداد نورن‌های لایه میانی طبقه‌بندهای پایه برای میانگین نشان می دهد.....۷۷

جدول۳-۲: منابع سخت افزاری اشکالی توسط بلوک ها و کل شبکه عصبی(neural) ۷۹
جدول ۳-۳: مقایسه منابع سخت افزاری اشکالی توسط شبکه عصبی(*neural*) در دو حالت عادی و پیشنهادی ۸۰

فهرست شکل‌ها

شماره شکل ..... صفحه

شکل۱-۱: مراحل بازشناسی الگو..... ۴

شکل۱-۲: روش‌های غیرآماری، آماری و ساختاری برای بازشناسی حرف A ۹

شکل ۱-۳: معرفی بخش‌های مختلف یک سامانه بازشناسی نوری کاراکتر..... ۱۷

شکل۱-۴: عملگرهای سوبل..... ۲۴

شکل۱-۵: عملگرهای کریش..... ۲۴

شکل۱-۶: جهت پایه برای گرادیان..... ۲۵

شکل۱-۷: تصویر کردن یک جهت گرادیان به دو جهت پایه..... ۲۵

شکل۱-۸: نحوه محاسبه ویژگی ناحیه‌ای..... ۲۶

شکل۱-۹: محور های جدید با توجه به بردار های ویژه..... ۲۷

شکل۱-۱۰: داده‌ها..... ۲۹

شکل۱-۱۱: داده‌های اصلی به همراه داده‌های بازسازی شده با یک بردار ویژگی..... ۳۰

شکل۱-۱۲ : مولفه های اساسی یک نورون مصنوعی..... ۳۲

شکل ۱-۱۳: ساختار یک شبکه یMLP سه لایه..... ۳۶

شکل ۱-۱۴: ساختمان FPGA..... ۳۸

شکل۱-۱۵:سلول های FPGA..... ۳۸

شکل ۱-۱۶: مثالی از سلول منطقی مبتنی بر LUT..... ۳۹

شکل ۱-۱۷:مثالی از سلول منطقی مبتنی بر مالتی پلکسر..... ۳۹

شکل ۱-۱۸: الف) y[n]=0.9×0/8+0.8×0.6=1 الف)
y[n]=0.9×0.4+0.8×0.3=0.6.....۴۹

شکل ۱-۱۹ : سیکل های محدود ناشی از کوانتیزاسیون ضرایب..... ۵۱

شکل ۱-۲۰ : ناپایایداری ناشی از کوانتیزاسیون ضرایب در فیلترهای IIR ۵۱

شکل۱-۲۱: پیاده سازی فرم زنجیری برای محاسبه ضرب داخلی..... ۵۳

شکل۱-۲۲: پیاده سازی فرم درختی برای محاسبه ضرب داخلی..... ۵۳

شکل۲-۱: نمونه‌هایی از مجموعه ارقام هدی[۲۷]..... ۶۰

شکل۲-۲: نمونه‌هایی از مجموعه ارقام ۸۶۰۰ نمونه‌ای..... ۶۰

شکل۲-۳:الف) ساختار عمومی شبکه عصبی ب) ساختار شبکه باروش تسهیم بندی لایه ای[48]..... ۶۲

شکل ۲-۴: معماری داخلی یک واحد محاسبات نورون به صورت سخت فزاری..... ۶۴

شکل ۲-۵: بلوک دیاگرام یک in_rom.....۶۶
شکل ۲-۶: محتوا و نحوه نمایش اعداد در نرم افزار matlab و quartus(سمت راست quartus – سمت چپ Matlab).....۶۷
شکل ۲-۷: منحنی تابع sigmoid.....۶۸
شکل ۲-۸: پیاده سازی سخت افزاری تابع sigmoid به کمک تابع درجه ی دوم غیرخطی.....۶۹
شکل ۲-۹: مقایسه منحنی تابع sigmoid و خروجی سخت افزار طراحی شده بر اساس تابع درجه ی دوم غیرخطی ۶۹
شکل۳-۱: نمونه‌هایی از تصاویر ارقام مجموعه داده هدی[۲۷].....۷۲
شکل ۳-۲: ویژگی مکان‌های مشخصه برای یک نقطه از تصویر عدد ۷[۵۱].....۷۳
شکل ۳-۳: شمای کلی از شبکه عصبی برای تشخیص ارقام دست نوشته فارسی با ساختار ۸۱-۱۰-۱۰.....۷۶
شکل۳-۳: نمودار تغییرات نرخ بازشناسی بر حسب تعداد نورونهای لایه میانی.....۷۷
شکل ۳-۵: نتایج شبیه سازی در نرم افزار Quartus ومقایسه ی آن با نتایج خروجی مطلب..۷۸
شکل ۳-۶: ارائه روش پیشنهادی در جهت کاهش حجم سخت افزاری.....۷۹

مقدمه

پیداش علوم و فنون جدید، جوامع بشری را با شکل‌های مختلفی از اطلاعات روبرو نموده است. سطح توسعه یک جامعه را می‌توان با مقدار اطلاعات و دانش تولید شده در آن ارزیابی کرد. تولید فزاینده اطلاعات به شکل‌های مختلف صورت می‌گیرد و با درجات متفاوتی از پیچیدگی‌ها همراه است و در نتیجه نیاز به سیستم‌های پردازش اطلاعات به‌صورت روز افزون افزایش یافته است. یکی از مسائل مهم در طراحی سیستم‌های مدرن اطلاعاتی، بازشناسی الگوهاست. یکی از زیر شاخه‌های بازشناسی الگو، سامانه بازشناسی نوری کاراکتر است که خود به دو زیر بخش، بازشناسی ارقام دست‌نوشته و بازشناسی حروف دست‌نوشته تقسیم می‌شود. یکی از دلایل تفکیک کاراکترها به ارقام و حروف از منظر بازشناسی الگو، سهولت در طبقه-بندی[1] و تمرکز برای استخراج ویژگی‌های مناسب برای هر کدام است. اغلب مردم در سنین کودکی خواندن و نوشتن را می‌آموزند، انسان همزمان با فرآیند رشد خود مهارت‌های خواندن و نوشتن را به‌خوبی می‌آموزد و توانایی خواندن اکثر نوشته‌های پرینت شده یا دست‌نویس را دارد. همچنین اغلب مردم در خواندن متون پررنگ، کمرنگ، واژگون، متون با قلم‌های فانتزی و تبلیغات، متون با تزئینات و جلوه‌های خاص حتی گاهی با قلم‌خوردگی، مشکلی ندارند. در مقابل علی‌رغم پنج دهه تحقیقات متمرکز در حوزه بازشناسی نوری کاراکتر، مهارت خواندن توسط رایانه عقب‌تر از نوع بشر است. اغلب سامانه‌های بازشناسی نوری کاراکتر[2] توانایی خواندن کامل و دقیق متون ساده و یا متون دست‌نوشته را ندارند.

با توجه به کاربرد گسترده بازشناسی ارقام دستنویس، نظیر خواندن مبلغ چک بانکی، خواندن پلاک-خودرو، خواندن کدپستی و سایر اطلاعات فرمها، در این زمینه تحقیقات زیادی صورت گرفته که مبتنی بر روش‌های استخراج ویژگی و استفاده از طبقه‌بند آموزش‌پذیر است. استخراج ویژگی به منظور کاهش ابعاد داده های ورودی مطرح است. برای بازشناسی حروف و ارقام، ویژگی‌های ناحیه‌ای، گشتاورهای هندسی، گشتاورهای زرنیکی، توصیفگرهای فوریه، گشتاورهای پایا، هیستوگرام‌نما و ویژگی مکانهای مشخصه پیشنهاد شده‌اند. انتخاب نوع ویژگی به کاربرد وابسته است. معمولا با یک ارزیابی تجربی از داده‌های مورد نظر، ویژگی مناسب‌تر مشخص می‌شود.

شبکه عصبی مصنوعی نامی نوین در علوم مهندسی است که به‌طور ابتدایی و آغازین درسال ۱۹۶۲ توسط فرانک روزن بلات و در شکل جدی و تأثیرگذار در سال ۱۹۸۶ توسط رومل‌هارت و مک‌کلند با ابداع و ارائه مدل پرسپترون بهبود یافته به جهان معرفی شد. در بسیاری از مسائل پیچیدهٔ ریاضی که به حل معادلات مشکل غیر خطی منجر می‌شود ، یک شبکهٔ پرسپترون چند لایه می‌تواند به سادگی با تعریف اوزان و توابع مناسب مورد استفاده قرارگیرد . از شبکه های عصبی در جاهایی استفاده می کنیم که یکسری داده ورودی–خروجی داریم که پدیده اش را نمی شناسیم.

[1] - Classification
[2] - Optical Character Recognition(OCR)

یک مشکل عمده ی این گونه الگوریتم ها زمان بر بودن و سرعت پایین آن هاست که عمدتا به دلیل ذات تکراری آن ها و بزرگی و پیچیده بودن فضای جستجو است. اجرای این الگوریتم ها درمسائل پیچیده می تواند ساعت ها و روزها طول بکشد. بر خلاف سادگی قالب پیاده سازی ، هزینه ی بالای محاسباتی الگوریتم های تکاملی غالبا مانع از استفاده ی این گونه الگوریتم ها در کاربرد های بی درنگ می شود. در حالی که کاربرد های نیازمند کارایی بالایی وجود دارد که نیازمند تصمیم گیری در زمان محدود هستند.

یکی از دیدگاه ها برای حل این مشکل راه حل های مبتنی بر سخت افزار بوده است. با کمک سخت افزار می توان زمان اجرای مسائل را تا حد قابل توجهی کاهش داد.

امروزه در تمامی محصولات بشری که به صورت سیستم عرضه می شوند، دو فاکتور بسیار مهم دقت و سرعت همواره مَدنظر قرار دارند. در اغلب علوم، خصوصاً علوم فنی و مهندسی نیز تولید کنندگان سیستم ها، همواره در تلاش برای رسیدن به حداقل یکی از این دو پارامتر، با هم رقابت می کنند.

در فصل اول مباحثی در زمینه بازشناسی الگو و مراحل آن مطرح شده است. ونیز مقدمه‌ای بر سامانه بازشناسی نوری کاراکتر و روند بازشناسی ارقام دست‌نویس به عنوان یک زیر مجموعه‌ای از سامانه بازشناسی الگو مطرح گردیده است و در آخر نحوه نمایش اعداد ممیز ثابت بیان گردیده و مختصرا ساختمان FPGA[1] توضیح داده می شود. در فصل دوم روشهای مختلف پیاده سازی سخت افزاری شبکه های عصبی بیان گردیده در فصل سوم نتایج شبیه سازی پیاده سازی شبکه عصبی جهت بازشناسی ارقام دستنویس فارسی بیان شده و فصل چهارم به پیشنهادها اختصاص دارد.

[1] -Field programmable gate arrays

فصل اول

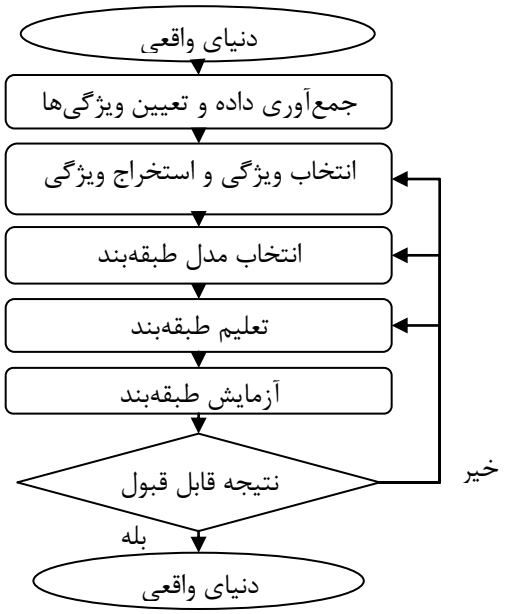
مفاهیم اولیه و بررسی منابع

۱-۱- بازشناسی الگو

یادگیری ماشینی یک شاخه مهم از گرایش هوش‌مصنوعی است که هدف آن تعلیم یک ماشین است به‌طوری‌که بتواند تجربیات و نمونه‌های موجود را یاد بگیرد. حاصل این یادگیری ایجاد یک مدل طبقه‌بندی است که بر اساس آن ماشین می‌تواند نمونه‌هایی را که در آینده می‌بیند و مشابه نمونه‌های موجود هستند در کلاس مناسب خود قرار دهد. امروزه روش‌های بازشناسی الگو، به عنوان یک شاخه از یادگیری ماشینی، کاربردهای فراوانی در زمینه‌های مختلف علمی و صنعتی پیدا کرده‌اند.

در حالت کلی هر توصیف کیفی یا کمی از یک موضوع را می توان یک الگو نامید. الگو می تواند خود یک شیء باشد و یا ساختار اجزاء یک شیء و روابط بین آنها را توصیف کند. هدف از بازشناسی الگو می‌تواند شناسایی منطقه‌ای خاص در تصویر، تشخیص آوا یا کلمه در صدا یا تشخیص هویت باشد. در حال حاضر از تکنیک‌های بازشناسی الگو در بسیاری از کاربردهای صنعتی، پردازش مستندات، تشخیص هویت و بسیاری از زمینه‌های دیگر استفاده می‌شود.

در فرآیند بازشناسی الگو، الگوهای ورودی در کلاس‌ها و دسته‌های از پیش تعیین شده‌ای طبقه‌بندی می‌شوند. روند بازشناسی الگو، در شکل(۱-۱) نشان داده شده است.



شکل۱-۱: مراحل بازشناسی الگو[۱]

چنانچه شکل(۱-۱) نشان می‌دهد، اولین گام در بازشناسی الگو، جمع‌آوری تعداد مناسبی نمونه از الگوهای مورد نظر است. این بخش زمان زیادی از فرآیند طراحی سامانه بازشناسی الگو را به خود اختصاص می‌دهد و گاهی اوقات با مشکلاتی همراه است. در این پایان‌نامه از مجموعه داده‌های استاندارد موجود بهره گرفته شده است. پس از جمع آوری نمونه‌های لازم، باید اقدام به انتخاب نوع ویژگی کرد. انتخاب نوع ویژگی‌ها نیازمند دانش اولیه در مورد الگوهاست. انتخاب باید به گونه‌ای باشد که ویژگی‌ها، وجه اشترک

الگوهای متعلق به یک کلاس و وجه تمایز الگوهای کلاس‌های مختلف باشند. توانمندی ویژگی برای جداسازی نمونه‌های کلاس‌های مختلف، معیار انتخاب آن است.

گام بعدی، استخراج ویژگی است. استخراج ویژگی به معنی به‌دست آوردن خصوصیات الگوها به‌نحوی است که این خصوصیات وجه اشترک الگوهای متعلق به یک کلاس و وجه تمایز الگوهای کلاس‌های مختلف باشند. استخراج ویژگی یک نگاشت از فضای الگوها به فضای ویژگی‌ها است که نتیجه آن پیدایش یک بردار ویژگی X است که خصوصیات الگو را به صورت معنی‌دارتر و مناسب‌تری برای مرحله طبقه‌بندی آماده می‌کند. ویژگی‌های استخراج شده از الگوها ممکن است کیفی (توصیفی) یا کمی[1](مقداری) باشند. ویژگی‌های کیفی تعداد محدودی حالت دارند و برای معرفی کیفی الگو استفاده می‌شوند. به عنوان مثال آفتابی، برفی، بارانی ویژگی‌های کیفی برای توصیف هوا هستند. ویژگی‌های کمی، معمولا یک مقدار پیوسته(تعداد حالات نامحدود) دارند و الگوها را به صورت مقادیر عددی (کمی) توصیف می‌کنند. به عنوان مثال، مقدار گاز دی‌اکسیدکربن موجود در یک لیتر هوا، یک ویژگی کمی برای معرفی وضعیت هواست. تبدیل ویژگی‌های کیفی به کمی نیازمند یک روش یا متدولوژی است. به عنوان مثال برگزاری یک امتحان روشی است برای کمی کردن میزان یادگیری. در مورد ویژگی‌های کمی، مولفه‌های بردار ویژگی با اندازه-گیری به‌دست می‌آیند. هر کمیت اندازه‌گیری شده، یک ویژگی از شیء مورد نظر را بیان می‌کند. این کار عملا یک فرآیند کدگذاری است چرا که از نظر هندسی، هر شیء را می‌توان به عنوان یک نقطه در فضای اقلیدسی در نظر گرفت. انتخاب روش استخراج ویژگی یک عامل مهم در کارایی سامانه بازشناسی‌الگو است. در کاربردهای عملی بازشناسی الگو، معمولا از داده‌های خام ویژگی‌های متفاوتی استخراج می‌شوند و مجموعه آنها برای بازشناسی الگو استفاده می‌شوند.

ویژگی‌هایی که از الگوها استخراج می‌شوند دارای اهمیت یکسان نیستند و برخی از آنها نسبت به بقیه مهمترند. در مرحله انتخاب ویژگی، با انتخاب ویژگی‌هایی که بیشترین اهمیت را در جداسازی کلاس‌های الگو دارند، هم بعد بردار ویژگی کاهش داده می‌شود و هم کیفیت توصیف الگو توسط ویژگی‌ها بهتر می‌شود.

انتخاب نوع مدل طبقه‌بندی، مرحله بعدی در بازشناسی الگو است. طبقه‌بند به عنوان هسته اصلی یک سامانه بازشناسی الگو مطرح است. مدل طبقه‌بندی، هر الگوی ناشناخته را بر اساس ویژگی‌های آن، به یکی از کلاس‌های شناخته شده نسبت می دهد. به بیان ریاضی، به هر نگاشتی از فضای nبعدی ویژگی‌ها، به فضای K بعدی برچسب‌های کلاسی، یک طبقه‌بندی گفته می شود.

$$D: R^n \rightarrow \Omega \qquad (۱-۱)$$

که در آن $\Omega = \{\omega_1, \omega_2, ..., \omega_k\}$ مجموعه برچسب‌های کلاسی الگوهاست. یک طبقه‌بند، میزان تعلق بردار ویژگی $X \in R^n$ به هر یک از کلاس‌های الگو را به صورت یک عدد حقیقی بیان می‌کند. مدل‌های طبقه‌بندی متعددی برای بازشناسی الگو پیشنهاد شده‌اند که می توان به طبقه‌بند بیز، شبکه‌های عصبی، ماشین بردار پشتیبان[2] و طبقه بند کمترین فاصله اشاره کرد. پس از انتخاب مدل طبقه‌بندی، باید پارامترهای آن را مشخص کرد. روش‌های مختلفی برای تعیین این پارامترها ارائه شده‌اند. گروهی از این

[1] - Quantative Feature
[2] - Support Vector Machine(SVM)

روش‌ها بر اساس خواص آماری، مانند بردار میانگین و ماتریس کوواریانس نمونه‌های آموزشی هر کلاس در طبقه‌بند بیز، پارامترهای طبقه‌بندی را تعیین می‌کنند. گروه دیگری از روش‌ها وجود دارند که با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری تکراری، مانند آموزش یک طبقه‌بند شبکه عصبی بر روی نمونه‌های یادگیری، پارامترهای طبقه‌بندی را تعیین می‌کنند. در روش‌های گروه دوم، پارامترهای طبقه‌بندی در طول فرآیند یادگیری، تعیین می‌شوند. پس از آنکه مدل طبقه‌بندی کامل شد، با استفاده از نمونه‌های آزمایشی، سامانه بازشناسی الگو اعتبارسنجی می‌شود. اگر نرخ بازشناسی مورد نیاز بدست نیامد یک یا چند تا از کارهای زیر را انجام داد.

۱. ویژگی‌های استخراج شده از الگو یا ویژگی‌های انتخاب شده از بین ویژگی‌های قبلی را بهبود داد.
۲. مدل طبقه‌بندی را عوض کرد یا پارامترهای آن را تغییر داد.
۳. یادگیری(تعلیم) طبقه‌بند را کامل‌تر کرد.

کارهای فوق آنقدر تکرار می‌شوند تا تضمین کافی جهت یک تعمیم معتبر حاصل شود.

۱-۲- روش‌های بازشناسی الگو

تکنیک‌های بازشناسی الگو، یک شیء یا یک رخداد فیزیکی را به یک یا چند کلاس الگوی از قبل معلوم نسبت می‌دهند. بنابراین یک سامانه بازشناسی الگو می‌تواند به عنوان یک قاعده تصمیم‌گیری خودکار در نظر گرفته شود که با اندازه‌گیری‌های انجام شده روی الگو آن‌را به یک کلاس نسبت می‌دهد. روش‌های انتساب الگو به یکی از کلاس‌ها، به سه گروه عمده تقسیم می‌شوند. روش‌های حسی-تجربی[۱]، روش‌های نحوی یا ساختاری[۲] و روش‌های ریاضی[۳].

۱-۲-۱- روش‌های حسی-تجربی

این روش‌ها بر مبنای تجربیات طراح استوار هستند و یک سامانه مبتنی بر این روش‌ها شامل مجموعه-ای از قواعد تجربی است که با توجه به خصوصیات الگوها حاصل شده‌اند. به عنوان مثال سامانه بازشناسی دست‌نوشته‌های فارسی(مبتنی بر روش‌های حسی-تجربی) شامل قواعدی حسّی است که مخصوص الگو-های دست‌نویس فارسی است و ممکن است برای بازشناسی دست‌نوشته‌های لاتین مناسب نباشد. این قواعد به عنوان مثال بر مبنای تعداد و توالی حرکات قلم، تعداد و موقعیت نقاط و علائم و تعداد زیرکلمات هستند که به صورت تجربی به‌دست می آیند. به عنوان مثال، در زبان فارسی، اگر توالی نقاط یک کلمه به صورت سه نقطه در بالا، یک نقطه در بالا و یک نقطه در پایین باشد این کلمه "شنبه" است. کارایی یک سامانه بازشناسی الگو مبتنی بر روش‌های حسی-تجربی بستگی به گستره تجربیات طراح دارد.

---

[1] - Heuristic Methods
[2] - Syntactic(Structural) Methods
[3] - Mathematical Methods

۱-۲-۲- روش های ساختاری یا نحوی

در خیلی از مسائل پیچیده، تعداد ویژگی‌های مورد نیاز ممکن است بسیار زیاد باشند. در چنین شرایطی می توان یک الگو را مجموعه‌ای از چند الگوی ساده‌تر در نظر گرفت. هر الگوی ساده می‌تواند از چندین زیرالگوی ساده‌تر تشکیل شده باشد. ساده‌ترین زیرالگوها را عناصرپایه[۱] می‌گویند. بیان الگو بر حسب عناصر پایه، اساس شناسایی ساختاری الگو را تشکیل می‌دهد. ویژگی‌های ساختاری می‌توانند به صورت صریح با روابط ریاضی یا به صورت ضمنی با یک گرامر زبان بیان شوند. الگوها جملاتی از یک زبان هستند که عناصر پایه، الفبای آن هستند. این جملات با توجه به گرامر زبان شاخته می‌شوند. با استفاده از الفبای زبان و گرامر آن می توان مجموعه‌ی پیچیده‌ای از الگوها را با مجموعه‌ی کوچکی از عناصر پایه و قواعد گرامری زبان بیان کرد.گرامرهای هر کلاس با توجه به نمونه‌های آموزشی همان کلاس ساخته می‌شوند. روش‌های ساختاری، زمانی مفید هستند که الگوها، ساختار های قابل تعریفی به‌وسیله مجموعه‌ای از قواعد داشته باشند. به‌دلیل وجود الگوهای نویزی در شناسایی عناصر پایه و قواعد گرامری، پیاده سازی ساختاری دارای مشکلات زیادی است.

۱-۲-۳- روش‌های ریاضی

در روش‌های ریاضی بازشناسی الگو، هر الگوی $X=\{x_1,x_2,...,x_k\}$ به صورت نقطه‌ای در فضای n بعدی مدل شده و با توجه به مقدار ویژگی‌هایش به یکی از کلاس‌ها نسبت داده می‌شود. ویژگی‌ها به گونه‌ای انتخاب می‌شوند که بردارهای نمونه‌های مربوط به کلاس‌های مختلف، ناحیه‌های متفاوتی از فضا را اشغال کنند. روش‌های ریاضی، بر مبنای توابع تصمیم[۲] (جداساز) برای کلاس‌های الگو بنا شده‌اند. برای یک مساله طبقه‌بندی K کلاسه نیاز به پیدا کردن K تابع تصمیم $d_1(x),d_2(x),...,d_k(x)$ با خاصیت زیر است.

$$if \quad x\in\omega_i \; then \;\; d_i(x)>d_j(x) \quad for \quad j=1,2,...,k \;\; , j\neq i \qquad (۲-۱)$$

به عبارت دیگر الگوی ناشناخته x به کلاس ω_i متعلق است اگر با جایگزینی x در توابع تصمیم فوق، مقدار عددی $d_i(x)$ بزرگتر از بقیه باشد. در این‌صورت، مرز تصمیم جدا کننده کلاس ω_i از ω_j به صورت زیر خواهد بود:

$$d_{ij}(x)=d_i(x)-d_j(x)=0 \qquad (۳-۱)$$

برای الگوهای متعلق به کلاس ω_i مقدار $d_{ij}(x)$ مثبت و برای الگوهای متعلق به کلاس ω_j منفی است. برای تعیین تابع تصمیم هر کلاس معمولا از نمونه‌های آموزشی آن کلاس استفاده می‌شود. روش های ریاضی شامل دو گروه آماری[۳] و غیر آماری[۴] هستند. از این دو گروه با عنوان پارامتریک(غیر آموزش‌پذیر[۵]) و غیر پارامتریک (آموزش‌پذیر) نیز یاد می‌شود. در روش‌های پارامتریک، پارامترهای تابع تصمیم مستقیما از خصوصیات آماری نمونه‌های آموزشی تعیین می‌شوند و در روش‌های غیر پارامتریک، پارامترهای تابع

---

[1] - Primitive Elements
[2] - Decision(Discriminant) functions
[3] - Statistical
[4] - Deterministic
[5] - Nontrainable

تصمیم معمولا در یک فرآیند یادگیری تعیین می‌شوند. بسیاری از تکنیک‌های ارائه شده در روش‌های پارامتریک مبتنی بر فرض نرمال بودن توابع توزیع الگوها هستند. در صورتی که تعداد نمونه‌های موجود در هر کلاس کم باشد، معمولا روش‌های غیر پارامتریک بهتر عمل می‌کنند.

۱-۲-۳-۱-روش‌های آماری

روش‌های آماری بر مبنای قواعد طبقه‌بندی ریاضی با بهره‌گیری از خصوصیات آماری الگوها استوار هستند. در این روش‌ها، مرزهای تصمیم‌گیری به‌وسیله توزیع‌های آماری نمونه‌ها تعیین می‌شوند. طبقه‌بند-های الگو برای روش‌های آماری عموما بر مبنای قاعده تصمیم بیز[1] کار می‌کنند. با به‌کارگیری این قاعده، اگر تابع چگالی احتمال هر یک از کلاس‌های الگو و همچنین احتمال پیشین هر کلاس مشخص باشد، سطح تصمیم بهینه پیدا می شود.

۱-۲-۳-۲-روش‌های غیرآماری

روش‌های غیرآماری بر مبنای یک چارچوب ریاضی بدون استفاده صریح از خصوصیات آماری الگوها استوار هستند. در این روش‌ها، ابتدا فرم کلی مرز جدا کننده (مانند توابع خطی یا درجه دوم) مشخص شده و سپس پارامترهای آن با استفاده از نمونه‌های آموزشی تعیین می‌شود. الگوریتم‌های یادگیری تکراری، نمونه‌ای از روش‌های غیر آماری هستند که در آنها توابع تصمیم از الگوهای آموزشی و در یک فرآیند تکرار تولید می‌شوند. یعنی پس از انتخاب نوع تابع تصمیم، ضرایب مربوط به آن در یک فرآیند تکراری، با استفاده از نمونه‌های آموزشی، تعیین می‌شوند. شبکه‌های عصبی پرسپترون چند لایه از متداولترین روش های غیرآماری برای بازشناسی الگو هستند. برخی مراجع روش‌های غیرآماری را با عنوان روش های عصبی نیز معرفی کرده‌اند. در شکل(۱-۲) روش‌های غیرآماری، آماری و ساختاری برای بازشناسی حرف A نشان داده شده‌اند. روش آماری از تابع چگالی‌احتمال ویژگی‌ها استفاده می‌کند و روش ساختاری با تبدیل الگو به سه عنصر پایه به بازشناسی آن می‌پردازد.

[1] - Bayes Decision