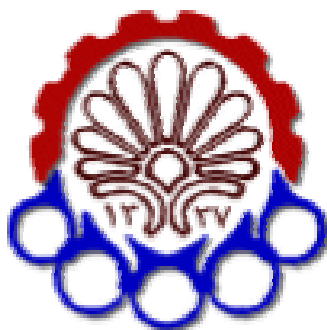


بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه صنعتی امیرکبیر

دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات

پایان نامه کارشناسی ارشد، گرایش هوش مصنوعی و رباتیک

توسعه اتوماتای یادگیر سلولی مبتنی بر روش های فازی

نگارش:

سید میثم حسینی سدهی

استاد راهنما:

دکتر محمدرضا میبیدی

اسفند ۱۳۸۶

تقدیم بہ پدر و مادر

تقدیر و تشکر

از اولین مراحل انجام این پروژه، زحمات بی‌دریغ استاد ارجمند جناب آقای دکتر میبیدی سبب شد تا اتمام آن میسر گردد. در اینجا لازم می‌دانم از راهنمایی‌های علمی و کمک‌های فکری ایشان کمال تشکر را ابراز دارم.

چکیده

هدف از این پایان‌نامه بررسی دقیقتر رفتار مدل اتوماتای یادگیری سلولی (CLA) و تحقیق در راستای کاربردهای این مدل می‌باشد. برای نیل به این منظور، سه بخش کاری در نظر گرفته شده است. در بخش اول مطالعه رفتاری بر روی اتوماتای یادگیر سلولی انجام شده و کاربردی از اتوماتای یادگیر سلولی در زمینه تشخیص لبه‌های تصویر ارائه شده است. در بخش دوم مدل جدیدی از اتوماتای یادگیر سلولی که در آن اتوماتاهای یادگیر توانایی حرکت از یک سلولی به سلول‌های مجاور دارند، معرفی شده است. مدل جدید معرفی شده در خوشه‌بندی دادگان مختلف مورد ارزیابی قرار گرفته است. سپس توسعه فازی مدل جدید ارائه و در مسائل خوشه‌بندی مشابهی مورد ارزیابی قرار گرفته است. در بخش آخر مدل جدیدی از CLA-EC با نام continuous CLA-EC معرفی شده که در خوشه‌بندی دادگان و بهینه‌سازی توابع استفاده شده و نشان داده شده است که در هر دو کاربرد از کارایی بالاتری نسبت به CLA-EC برخوردار می‌باشد.

کلمات کلیدی: اتوماتای یادگیر سلولی، محسبات تکاملی بر اساس اتوماتای یادگیر سلولی، اتوماتای یادگیر با مجموعه اعمال پیوسته، خوشه‌بندی، پردازش تصاویر.

فهرست مطالب

۱	مقدمه	۱
۱-۱	مقدمه	۲
۲-۱	اهداف این پایان نامه	۵
۳-۱	اتوماتای سلولی (CA)	۷
۱-۳-۱	اتوماتای سلولی استاندارد	۸
۲-۳-۱	دسته‌بندی اتوماتای سلولی	۹
۳-۳-۱	اتوماتای سلولی فازی	۱۱
۴-۱	اتوماتای یادگیر (LA)	۱۴
۱-۴-۱	اتوماتای یادگیر با مجموعه اعمال محدود (FALA)	۱۵
۱-۱-۴-۱	اتوماتای یادگیر با ساختار ثابت	۱۶
۲-۱-۴-۱	اتوماتای یادگیر با ساختار متغیر	۱۶
۲-۴-۱	اتوماتای یادگیر با مجموعه اعمال پیوسته	۱۸
۵-۱	اتوماتای یادگیر سلولی (CLA)	۲۰
۱-۵-۱	بررسی رفتار و طبقه‌بندی اتوماتای یادگیر سلولی	۲۱
۲-۵-۱	انواع و کاربردهای اتوماتای یادگیر سلولی	۲۵
۱-۲-۵-۱	استخراج ویژگی‌های تصویر	۲۵
۲-۲-۵-۱	محاسبات تکاملی بر پایه اتوماتای یادگیر سلولی	۲۷
۶-۱	سیستم‌های فازی	۲۹
۱-۶-۱	عملگرها و توابع فازی	۳۰
۲-۶-۱	سیستم خبره فازی	۳۰
۱-۲-۶-۱	موتور استنتاج	۳۲
۷-۱	خوشه‌بندی	۳۳
۱-۷-۱	چند روش خوشه‌بندی	۳۴
۲-۷-۱	چند معیار خوشه‌بندی	۳۶
۳-۷-۱	مجموعه داده‌های مورد استفاده در خوشه‌بندی	۳۷
۱-۳-۷-۱	دادگان مورد استفاده در قسمت ارزیابی	۳۸
۲-۳-۷-۱	دادگان مورد استفاده در قسمت مقایسه	۳۹
۸-۱	بحث و نتیجه‌گیری	۳۹
۴۱	پردازش تصویر	۴۱
۱-۲	مقدمه	۴۲
۲-۲	پردازش تصویر مبتنی بر اتوماتای سلولی	۴۲
۱-۲-۲	روش کاهش نویز نمک-فلفلی تصویر مبتنی بر اتوماتای سلولی	۴۲

- ۲-۲-۲. روش هموارسازی و ارتقاء لبه‌های تصویر مبتنی بر اتوماتای سلولی ۴۵
- ۳-۲-۲. روش ترکیبی هموارسازی و ارتقاء لبه‌ها همراه با کاهش نویز تصویر مبتنی بر اتوماتای سلولی ۴۷
- ۲-۳-۲-۱. استخراج لبه‌ها با استفاده از روش ترکیبی ۵۳
- ۲-۳-۲-۲. نکات تکمیلی ۵۴
- ۳-۲. استخراج لبه‌ها مبتنی بر اتوماتای یادگیر سلولی ۵۵
- ۲-۳-۲-۱. بررسی دو روش استخراج لبه خوارزمی-میبدی و مارچینی-میبدی ۵۵
- ۲-۳-۲-۲. استخراج لبه‌ها مبتنی بر اتوماتای یادگیر سلولی ۵۷
- ۲-۴. بحث و نتیجه‌گیری ۶۱
- ۳. بررسی رفتار اتوماتای یادگیر سلولی با ساختار متغیر ۶۲**
- ۳-۱. مقدمه ۶۳
- ۳-۲. بررسی عملکرد اتوماتای یادگیر سلولی در نحوه همگرایی و دریافت پاداش ۶۳
- ۳-۳. نکاتی در دسته بندی رستگار-میبدی ۶۹
- ۳-۴. بررسی رفتار قوانین ۱، ۲، ۵ و ۱۰ و لفرام بر مبنای نتایج حاصل از شبیه‌سازی ۷۱
- ۳-۴-۱. قانون ۱ و لفرام (کلاس I) ۷۳
- ۳-۴-۲. قانون ۲ و لفرام (کلاس II) ۷۶
- ۳-۴-۳. قانون ۵ و لفرام (کلاس I) ۷۷
- ۳-۴-۴. قانون ۱۰ و لفرام (کلاس III) ۸۱
- ۳-۵. بررسی رفتار عمومی اتوماتای یادگیر سلولی ۸۴
- ۳-۵-۱. بررسی رفتار عمومی قوانین ۱ و ۱۲ و لفرام در اتوماتای یادگیر سلولی دو سلوله ۹۰
- ۳-۵-۲. بررسی رفتار عمومی قوانین و لفرام در اتوماتای یادگیر سلولی دو سلوله ۹۲
- ۳-۶. چند نکته ۹۸
- ۳-۷. بحث و نتیجه‌گیری ۹۹
- ۴. خوشه‌بندی با استفاده از اتوماتای یادگیر سلولی ۱۰۰**
- ۴-۱. مقدمه ۱۰۱
- ۴-۲. بررسی رفتار انسانی در تعیین جهت حرکت با توجه مقصد ۱۰۱
- ۴-۲-۱. خوشه‌بندی بر مبنای رفتار انسانی در تعیین جهت حرکت ۱۰۲
- ۴-۳. اتوماتای یادگیر سلولی متحرک (M-CLA) ۱۰۳
- ۴-۴. الگوریتم خوشه‌بندی با استفاده از اتوماتای یادگیر سلولی متحرک ۱۰۵
- ۴-۴-۱. الگوریتم خوشه‌بندی با استفاده از اتوماتای یادگیر سلولی متحرک در محیط مدل P- ۱۰۶
- ۴-۴-۱-۱. الگوریتم اول خوشه‌بندی با استفاده از اتوماتای یادگیر سلولی متحرک مدل P- ۱۰۸
- ۴-۴-۱-۱-۱. ارزیابی الگوریتم خوشه‌بندی اول ۱۰۹
- ۴-۴-۲. نکات تکمیلی در بررسی الگوریتم اول ۱۱۷
- ۴-۴-۳. الگوریتم اول با قانون بهبود یافته ۱۱۸

- ۱۱۹-۴-۲. الگوریتم خوشه‌بندی دوم ۱۱۹
- ۱۲۰-۴-۲-۱. ارزیابی الگوریتم خوشه‌بندی دوم ۱۲۰
- ۱۲۸-۴-۳. پارامترهای مدل اتوماتای یادگیر سلولی متحرک در مسئله خوشه بندی، کارهای صورت گرفته و کارهای آتی ۱۲۸
- ۱۳۰-۴-۵. الگوریتم خوشه‌بندی با استفاده از اتوماتای یادگیر سلولی متحرک مدل S- ۱۳۰
- ۱۳۱-۴-۵-۱. ارزیابی الگوریتم خوشه‌بندی با محیط مدل S- ۱۳۱
- ۱۴۵-۴-۶. الگوریتم خوشه‌بندی با استفاده از اتوماتای یادگیر سلولی متحرک مدل S- و قوانین فازی ۱۴۵
- ۱۴۵-۴-۱. ارزیابی الگوریتم با ضرایب یادگیری زبانی ۱۴۵
- ۱۵۰-۴-۷. مقایسه نتایج خوشه‌بندی ۱۵۰
- ۱۵۱-۴-۸. بحث و نتیجه‌گیری ۱۵۱
- ۵. خوشه‌بندی با استفاده از محاسبات تکاملی بر پایه اتوماتای یادگیر سلولی ۱۵۲**
- ۱۵۳-۵-۱. مقدمه ۱۵۳
- ۱۵۳-۵-۲. خوشه‌بندی با محاسبات تکاملی بر پایه اتوماتای یادگیر سلولی در محیط مدل S- ۱۵۳
- ۱۵۴-۵-۲-۱. ارزیابی خوشه‌بندی با محاسبات تکاملی بر پایه اتوماتای یادگیر سلولی در محیط مدل S- ۱۵۴
- ۱۵۷-۵-۳. خوشه‌بندی با مدل محاسبات تکاملی بر پایه اتوماتای یادگیر سلولی با اعمال پیوسته ۱۵۷
- ۱۵۷-۵-۳-۱. مدل محاسبات تکاملی بر پایه اتوماتای یادگیر سلولی با اعمال پیوسته ۱۵۷
- ۱۵۹-۵-۳-۲. خوشه‌بندی با مدل محاسبات تکاملی بر پایه اتوماتای یادگیر سلولی با اعمال پیوسته ۱۵۹
- ۱۵۹-۵-۳-۱. ارزیابی خوشه‌بندی با مدل محاسبات تکاملی بر پایه اتوماتای یادگیر سلولی با اعمال پیوسته ۱۵۹
- ۱۶۳-۵-۴. مقایسه نتایج خوشه‌بندی ۱۶۳
- ۱۶۴-۵-۵. بحث و نتیجه‌گیری ۱۶۴
- ۶. جمع‌بندی و پیشنهادات ۱۶۶**
- ۷. مراجع ۱۶۹**
- ۸. واژه‌نامه ۱۷۳**
- ۹. پیوست ۱۷۶**
- ۱۷۷-۹-۱. پیوست الف (همسایگی در پردازش تصاویر) ۱۷۷
- ۱۸۲-۹-۲. پیوست ب (پیاده‌سازی روش‌های معرفی شده) ۱۸۲
- ۱۸۲-۹-۲-۱. روش ترکیبی هموارسازی، ارتقاء لبه، حذف نویز تکی و دوتایی در همسایگی غیر گسترش یافته و استخراج لبه با استفاده از اتوماتای سلولی. ۱۸۲
- ۱۸۴-۹-۲-۲. استخراج لبه با استفاده از اتوماتای یادگیر سلولی ۱۸۴
- ۱۸۸-۹-۲-۳. خوشه‌بندی با استفاده از اتوماتای یادگیر سلولی مدل P- با یادگیری بهبود یافته ۱۸۸
- ۱۹۲-۹-۲-۴. خوشه‌بندی با استفاده از اتوماتای یادگیر سلولی مدل S- با احتمال ایستایی غیر خطی ۱۹۲
- ۱۹۵-۹-۲-۵. یادگیری با نرخ فازی (خوشه‌بندی با استفاده از اتوماتای یادگیر سلولی مدل S-). ۱۹۵

- ۶-۲-۹. خوشه‌بندی با استفاده از محاسبات تکاملی بر مبنای اتوماتای یادگیر سلولی پیوسته..... ۱۹۶
- ۷-۲-۹. واریانس با رابطه یادگیری تقویتی..... ۱۹۸
- ۸-۲-۹. واریانس با نرخ یادگیری فازی..... ۱۹۸
- ۳-۹. مقالات نوشته شده بر اساس این پایان‌نامه..... ۲۰۰

فهرست اشکال

- شکل ۱-۱ همسایگی اسمیت، کول، ون نیومن و مور ۹
- شکل ۲-۱ چند نمونه از رفتار کلاس‌های ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ قوانین اتوماتای سلولی فازی. ۱۳
- شکل ۳-۱ ارتباط بین اتوماتای یادگیر و محیط. ۱۴
- شکل ۴-۱ بالا-پاداش در اتوماتای دو عمل $L_{2N,2}$. پائین-جریمه در اتوماتای دو عمل $L_{2N,2}$ ۱۶
- شکل ۵-۱ جریمه در اتوماتای دو عمل $G_{2N,2}$ ۱۶
- شکل ۶-۱ پاداش و جریمه در اتوماتای دو عمل کرایلف. ۱۶
- شکل ۷-۱ رفتار عمومی اتوماتای یادگیر سلولی خطی با سه سلول، شعاع همسایگی یک با اتوماتای یادگیر L_{RI} و نرخ یادگیری ۰,۰۱ برای کلاس ۱ گروه اول. (الف) قانون شماره ۱۲. (ب) قانون شماره ۵۵. ۲۲
- شکل ۸-۱ رفتار عمومی اتوماتای یادگیر سلولی خطی با سه سلول، شعاع همسایگی یک با اتوماتای یادگیر L_{RP} و نرخ یادگیری ۰,۰۱ برای کلاس ۱ گروه دوم. (الف) قانون شماره ۴۷. (ب) قانون شماره ۵۸. ۲۳
- شکل ۹-۱ رفتار عمومی اتوماتای یادگیر سلولی خطی با سه سلول، شعاع همسایگی یک با اتوماتای یادگیر L_{RI} و نرخ یادگیری ۰,۰۱ برای کلاس ۱ گروه سوم. (الف) قانون شماره ۱۵۲. (ب) قانون شماره ۱۳۸. ۲۳
- شکل ۱۰-۱ رفتار عمومی اتوماتای یادگیر سلولی خطی با سه سلول، شعاع همسایگی یک با نرخ یادگیری ۰,۰۱ برای کلاس ۱ گروه چهارم. (الف) قانون شماره ۶۷ با اتوماتای یادگیر L_{RI} . (ب) قانون شماره ۴۶ با اتوماتای یادگیر L_{RP} ۲۳
- شکل ۱۱-۱ رفتار عمومی اتوماتای یادگیر سلولی خطی با سه سلول، شعاع همسایگی یک با نرخ یادگیری ۰,۰۱ برای کلاس ۲. (الف) قانون شماره ۶۵ با اتوماتای یادگیر L_{RI} . (ب) قانون شماره ۲۱۸ با اتوماتای یادگیر L_{RP} ۲۴
- شکل ۱۲-۱ رفتار عمومی اتوماتای یادگیر سلولی خطی با سه سلول، شعاع همسایگی یک با نرخ یادگیری ۰,۰۱ برای کلاس ۳. (الف) قانون شماره ۵ با اتوماتای یادگیر L_{RP} . (ب) قانون شماره ۱۰ با اتوماتای یادگیر L_{RI} ۲۴
- شکل ۱۳-۱ ارزیابی هر اتوماتا از همسایگان خود. ۲۶
- شکل ۱۴-۱ (الف) تصویر اصلی. (ب) تشخیص لبه روش خوارزمی-مییدی. ۲۶
- شکل ۱۵-۱ (الف) تصویر اصلی. (ب) تشخیص لبه روش مارچینی-مییدی. ۲۷
- شکل ۱۶-۱ ساختار داخلی یک سلول از مدل محاسبات تکاملی بر پایه اتوماتای یادگیر سلولی ۰. ۲۸
- شکل ۱۷-۱ توابع عضویت گوسی، مثلثی و دوزنقه‌ای. ۳۰
- شکل ۱۸-۱ عملگر بیشینه و کمینه به جای اجتماع و اشتراک در توابع فازی. ۳۰
- شکل ۱۹-۱ سیستم خبره فازی. ۳۱
- شکل ۲۰-۱ چند غیر فازی‌ساز. ۳۱
- شکل ۲۱-۱ خروجی قانون با R به صورت $\max\text{-min}$ و چند غیر فازی‌ساز مختلف. ۳۳
- شکل ۲۲-۱ (الف) توزیع دادگان نرمال اول. (ب) توزیع دادگان نرمال دوم. ۳۸
- شکل ۲۳-۱ (الف) توزیع نرمال بدست آمده سه خوشه دادگان $Iris$ از روی مقدار داده‌ها. (ب) ترسیم فاصله داده‌های موجود در دادگان $Iris$ ۳۸

- شکل ۱-۲۴ دادگان پنجم شامل ۲۱۹ داده دو بعدی. ۳۹.....
- شکل ۱-۲ نمونه‌ای از نگاشت حاصل از خوشه‌بندی محتوای همسایگی. در شکل سمت راست C بیانگر مرکز خوشه‌ای است که سلول مرکزی به آن تعلق دارد. ۴۲.....
- شکل ۲-۲ همسایگی مرکزی، از نوع همسایگی مور با شعاع یک (۳*۳) بوده و همسایگی گسترش‌یافته که با هاشور نشان داده شده، ۱۶ سلول دور همسایگی مرکزی می‌باشد. ۴۳.....
- شکل ۲-۳ الگوی نوپز تکی در همسایگی با شعاع یک. ۴۳.....
- شکل ۲-۴ الگوهای نوپز دوتایی با استفاده از همسایگی مرکزی (شعاع یک). ۴۳.....
- شکل ۲-۵ نمونه‌ای از یک خط نازک پس از اعمال خوشه‌بندی. ۴۴.....
- شکل ۲-۶ الگوی سمت چپ بیانگر نوپز و الگوی سمت راست بیانگر غیر نوپز بودن سلول مرکزی می‌باشد. ۴۴.....
- شکل ۲-۷ حذف نوپز نمک-فلفلی با چگالی توزیع ۰,۰۲. در اشکال سمت راست خوشه‌بندی بر روی همسایگی با شعاع دو (۵*۵) اعمال شده و در اشکال سمت چپ خوشه‌بندی بر روی همسایگی با شعاع یک گسترش‌یافته اعمال شده است. ۴۵.....
- شکل ۲-۸ روش هموارسازی و ارتقاء لبه مبتنی بر اتوماتای سلولی با حد آستانه ۳. با تکرار این روش زمینه تصویر، یکنواخت‌تر و لبه‌ها متمایزتر می‌شوند. ۴۶.....
- شکل ۲-۹ تکرار پنجم از روش هموارسازی و ارتقاء لبه مبتنی بر اتوماتای سلولی با حد آستانه ۰, ۱, ۳ و ۵. چنانچه دیده می‌شود با افزایش آستانه زمینه یکنواخت‌تر می‌شود. ۴۷.....
- شکل ۲-۱۰ مقایسه تکرار دهم روش هموارسازی و ارتقاء لبه، روش کاهش نوپز و روش ترکیبی. سمت راست نشان دهنده نتایج روش هموارسازی و ارتقاء لبه و روش ترکیبی بر روی تصویر اصلی و سمت چپ نشان دهنده نتایج روش کاهش نوپز و روش ترکیبی بر روی تصویر آغشته به نوپز نمک-فلفلی با چگالی ۰,۰۲ می‌باشد. در روش ترکیبی فوق از جایگزینی شدت روشنایی خوشه غیر نوپز استفاده شده است. ۴۹.....
- شکل ۲-۱۱ (الف) جایگزینی شدت روشنایی خوشه غیر نوپز به جای نوپز. (ب) جایگزینی میانگین وزندار شدت روشنایی دو خوشه به جای نوپز را در تکرار دهم روش ترکیبی بر روی تصویر آغشته به نوپز نمک-فلفلی نشان می‌دهد. ۴۹.....
- شکل ۲-۱۲ الگوهای نوپز چهارتایی در همسایگی با شعاع یک مور. ۵۰.....
- شکل ۲-۱۳ الگوی سمت راست نمونه‌ای از الگوی غیر نوپز و الگوی سمت چپ نمونه‌ای از الگوی نوپز چهارتایی می‌باشد. ۵۰.....
- شکل ۲-۱۴ (الف) الگوی سه‌تایی اضافات لبه‌ای. (ب) الگوی چهارتایی اضافات لبه‌ای. حذف این الگوها با شعاع یک در تغییر لبه‌ها مؤثر می‌باشد. ۵۰.....
- شکل ۲-۱۵ سمت چپ، تصویر اصلی. سمت راست اعمال الگوی چهارتایی و سه‌تایی اضافات لبه‌ای (نوپز لبه‌ها) که باعث تغییر در لبه‌ها می‌شود. ۵۱.....
- شکل ۲-۱۶ (الف) تصویر اصلی همراه با نوپز نمک-فلفلی ۰,۰۲. (ب) تکرار ۱۰ روش ترکیبی. (ج) تکرار ۱۰ روش ترکیبی همراه با الگوی نوپز چهارتایی. (د) تکرار ۱۰ روش ترکیبی همراه با الگوی نوپز چهارتایی و الگوهای سه‌تایی و چهارتایی اضافات لبه‌ای. ۵۱.....
- شکل ۲-۱۷ مقایسه تکرار اول روش ترکیبی و روش ترکیبی تکمیلی دوم با فیلتر هموارسازی مدین با پنجره ۵*۵ و فیلتر واضح‌سازی Unsharp با ضریب ۰,۱ بر روی تصویر آغشته شده به نوپز نمک-فلفلی با چگالی ۰,۰۲. ۵۲.....

- شکل ۱۸-۲ مقایسه تکرار اول روش ترکیبی و روش ترکیبی تکمیلی دوم با فیلتر هموارسازی مدین با پنجره ۵*۵ و فیلتر واضح‌سازی Unsharp با ضریب ۰,۱ بر روی تصویر آغشته به نویز نمک-فلغلی با چگالی ۰,۰۲ ۵۳
- شکل ۱۹-۲ مقایسه استخراج لبه تکرار اول و دوم روش ترکیبی با روش استخراج لبه سوئل و کنی بر روی تصویر آغشته به نویز نمک-فلغلی با چگالی ۰,۰۲ ۵۴
- شکل ۲۰-۲ (الف) تصویر اصلی. (ب) لبه‌های استخراجی از روش خوارزمی-میبدی. ۵۶
- شکل ۲۱-۲ (الف) تصویر اصلی. (ب) تشخیص لبه روش مارچینی-میبدی. ۵۷
- شکل ۲۲-۲ چند تکرار از روش لبه‌یابی مبتنی بر اتوماتای یادگیر سلولی. (الف) شکل اصلی. (ب) مرحله صفر. (ج) تکرار دو. (د) تکرار بیست. ۵۸
- شکل ۲۳-۲ الگوهای همسایگی که جریمه دریافت می‌دارند. سلول لبه روشن و سلول غیر لبه با هاشور تیره نشان داده شده است. (الف) لبه پهن. (ب) نویز. (ج) لبه‌های اضافی. ۵۹
- شکل ۲۴-۲ (الف) تصویر اصلی. (ب) لبه استخراجی روش سوئل، (ج) لبه استخراجی روش کنی، (د) لبه استخراجی روش پیشنهادی با اتوماتای یادگیر سلولی. ۵۹
- شکل ۲۵-۲ (الف) تصویر اصلی. (ب) لبه استخراجی روش سوئل، (ج) لبه استخراجی روش کنی، (د) لبه استخراجی روش پیشنهادی با اتوماتای یادگیر سلولی. ۶۰
- شکل ۲۶-۲ (الف) تصویر با نویز نمک-فلغلی ۰,۰۲. (ب) لبه استخراجی روش سوئل، (ج) لبه استخراجی روش کنی، (د) لبه استخراجی روش پیشنهادی با اتوماتای یادگیر سلولی. ۶۰
- شکل ۱-۳ تغییرات احتمال عمل اول (۰) در یک اتوماتای یادگیر سلولی تک سلوله با قانون صفر و لفرام (هر دو عمل پاداش دریافت می‌نمایند). مقدار اولیه احتمال هر دو عمل مساوی ۰,۵ در نظر گرفته شده‌اند. ۶۴
- شکل ۲-۳ چند نمونه از همگرایی قانون ۲ و لفرام در اتوماتای یادگیر سلولی سه سلوله با ساختار دوری و شعاع همسایگی یک با یادگیری LRI در ۲۰۰۰۰ تکرار. در اشکال فوق تنها تغییرات احتمال اعمال اول (۰) هر یک از سه سلول نشان داده شده است. در تمامی اشکال فوق اتوماتای یادگیر سلولی پاداش کل ۳ از ۳ دریافت نموده است. ۶۶
- شکل ۳-۳ همگرایی قانون ۲ و لفرام به حالت میانه $1p1$ (پیکربندی احتمالی) در اتوماتای یادگیر سلولی سه سلوله با ساختار دوری و شعاع همسایگی یک با یادگیری LRI در ۲۰۰۰۰ تکرار. در اشکال فوق تنها تغییرات احتمال اعمال اول (۰) هر یک از سه سلول نشان داده شده است. در اشکال فوق اتوماتای یادگیر سلولی پاداش کل ۳ از ۳ دریافت نموده است. ۶۷
- شکل ۴-۳ همگرایی قانون ۲ و لفرام به حالت میانه $0p1$ در اتوماتای یادگیر سلولی سه سلوله با ساختار دوری و شعاع همسایگی یک با یادگیری LRI در ۲۰۰۰۰ تکرار. در اشکال فوق تنها تغییرات احتمال اعمال اول (۰) هر یک از سه سلول نشان داده شده است. در شکل فوق پاداش کل اتوماتای یادگیر سلولی بین ۲ و ۳ در نوسان است (جریمه بین ۰ و ۱ در نوسان است). ۶۸
- شکل ۵-۳ فضای همگرایی حالات عمومی یک اتوماتای سه سلوله. ۶۹
- شکل ۶-۳ مقایسه ترسیم دو بعدی و سه‌بعدی رفتار اتوماتای یادگیر سلولی با یادگیری LRI در قانون ۱۵۲ و ۱۸۴ و لفرام. شکل سه بعدی بیانگر آشفته بودن رفتار قانون ۱۵۲ و نامنظم بودن رفتار قانون ۱۸۴ بوده که بر اساس دسته‌بندی رستگار-میبدی جزء قوانین دسته سوم می‌باشند؛ شکل دو بعدی این قوانین بیانگر رفتار همگرا شونده است. ۷۰

- شکل ۷-۳ بردار احتمال اعمال اتوماتای یادگیر در سلول‌های اتوماتای یادگیر سلولی، سه سلوله. ۷۱
- شکل ۸-۳ دو نمونه از همگرایی قانون ۱ و لفرام به حالات عمومی. ۷۴
- شکل ۹-۳ همگرایی قانون ۱ و لفرام به حالات میانه $1p1$. ۷۵
- شکل ۱۰-۳ همگرایی قانون ۱ و لفرام به حالات میانه $1pp$. ۷۵
- شکل ۱۱-۳ چند نمونه از همگرایی قانون ۲ و لفرام به حالات عمومی و میانه. ۷۷
- شکل ۱۲-۳ همگرایی قانون ۵ و لفرام به حالات عمومی 011 و 111 . ۷۹
- شکل ۱۳-۳ همگرایی قانون ۵ و لفرام به حالات میانه $1p1$. ۷۹
- شکل ۱۴-۳ همگرایی قانون ۵ و لفرام به حالات عمومی 001 . ۸۰
- شکل ۱۵-۳ چند نمونه از همگرایی قانون ۵ و لفرام به حالات نیمه. ۸۱
- شکل ۱۶-۳ چند نمونه از همگرایی قانون ۱۰ و لفرام به حالات عمومی با پاداش کلی ۳ از ۳. ۸۲
- شکل ۱۷-۳ همگرایی قانون ۱۰ و لفرام به حالت عمومی 101 با پاداش کلی ۲ از ۳. ۸۳
- شکل ۱۸-۳ همگرایی قانون ۱۰ و لفرام به حالت میانه $1p1$ با پاداش کلی ۲ از ۳. ۸۳
- شکل ۱۹-۳ همگرایی قانون ۱۰ و لفرام به حالت نیمه $10f$ با پاداش کلی ۲ از ۳. ۸۴
- شکل ۲۰-۳ رفتار ثابت برای اتوماتای یادگیر سلولی LRI تک سلوله با دو عمل در ۵۰۰۰ هزار تکرار. هر دو عمل جریمه دریافت می‌نمایند. ۸۵
- شکل ۲۱-۳ رفتار همگرا شونده برای اتوماتای یادگیر سلولی LRI تک سلوله با دو عمل در ۵۰۰۰ هزار تکرار. عمل اول پاداش و عمل دوم جریمه دریافت می‌نماید. ۸۶
- شکل ۲۲-۳ رفتار نامشخص برای اتوماتای یادگیر سلولی LRI تک سلوله با دو عمل در ۵۰۰۰ هزار تکرار. هر دو عمل پاداش دریافت می‌نمایند. ۸۷
- شکل ۲۳-۳ رفتار ناشخص برای اتوماتای یادگیر سلولی LRI تک سلوله با دو عمل در ۵۰۰۰ هزار تکرار و نرخ یادگیری کم. هر دو عمل پاداش دریافت می‌نمایند. ۸۷
- شکل ۲۴-۳ رفتار ناشخص برای اتوماتای یادگیر سلولی LRI تک سلوله با دو عمل در ۵۰۰۰ هزار تکرار و نرخ یادگیری زیاد. هر دو عمل پاداش دریافت می‌نمایند. ۸۸
- شکل ۲۵-۳ رفتار همگرا شونده و نامشخص اتوماتای یادگیر سلولی LRP تک سلوله دو عمل در ۵۰۰۰ تکرار. ۸۸
- شکل ۲۶-۳ رفتار همگرا شونده و نامشخص اتوماتای یادگیر سلولی LREP تک سلوله دو عمل در ۵۰۰۰ تکرار. ۸۹
- شکل ۲۷-۳ رفتار نوسانی اتوماتای یادگیر سلولی LRP تک سلوله با دو عمل در ۵۰۰۰ هزار تکرار. هر دو عمل جریمه دریافت می‌نمایند. ۸۹
- شکل ۲۸-۳ رفتار نوسانی اتوماتای یادگیر سلولی LREP تک سلوله با دو عمل در ۵۰۰۰ هزار تکرار. هر دو عمل جریمه دریافت می‌نمایند. ۹۰
- شکل ۲۹-۳ رفتار نامشخص سلول سمت راست اتوماتای یادگیر سلولی دو سلوله با مرز دوری، با توجه به همگرایی سلول سمت چپ به عمل دوم خود در قانون ۱. تغییرات احتمال عمل اول نشان داده شده است. ۹۱
- شکل ۳۰-۳ رفتار ثابت سلول سمت راست اتوماتای یادگیر سلولی دو سلوله با مرز دوری، با توجه به همگرایی سلول سمت چپ به عمل اول خود در قانون ۱۲. تغییرات احتمال عمل اول نشان داده شده است. ۹۲
- شکل ۳۱-۳ همگرایی اتوماتای یادگیر سلولی دو سلوله با مرز دوری و یادگیری LRI و قانون محلی ۹ به حالات عمومی 01 و 10 با تغییر بردار احتمال اولیه. محور x ، تغییر مقدار احتمال اولیه عمل اول (0)

- سلول سمت راست می‌باشد، محور y ، تغییر مقدار اولیه احتمال عمل اول (۰) سلول سمت چپ می‌باشد.
 محور z ، بیانگر تعداد همگرایی اتوماتا به حالت عمومی ۰۱ و یا ۱۰ در ۱۰ تکرار می‌باشد. مثبت محور z ،
 تعداد همگرایی به حالت عمومی ۰۱ و منفی محور تعداد همگرایی به حالت عمومی ۱۰ را نشان می‌دهد. ۹۷
- شکل ۱-۴ همسایگی از نوع مور با شعاع یک (هر نه سلول همسایه سلول مرکزی می‌باشند) و جهات حرکت از
 نوع ون نیومن با شعاع یک (سلول‌های هاشور خورده) می‌باشد. ۱۰۴
- شکل ۲-۴ شبه کد الگوریتم خوشه‌بندی توسط اتوماتای یادگیر سلولی متحرک. ۱۰۶
- شکل ۳-۴ شبه کد یادگیری بر مبنای حد آستانه ثابت در محیط مدل P- ۱۰۷
- شکل ۴-۴ جهت قراردادی دریافت کننده پاداش بر اساس جهت بیشینه عامل و جهت بیشینه عامل همسایه. ... ۱۰۸
- شکل ۵-۴ جهت قراردادی دریافت کننده جریمه بر اساس جهت بیشینه عامل همسایه. ۱۰۹
- شکل ۶-۴ شبکه دوبعدی مربعی شامل مرز دوری. ۱۰۹
- شکل ۷-۴ مقایسه فراوانی داده‌ای خوشه‌های بدست آمده از چهار یادگیری L_{RP} ، L_{RI} ، L_{RP} و L_{PEL} در
 خوشه‌بندی دادگان نرمال اول با هشت جهت حرکت. ۱۱۰
- شکل ۸-۴ مقایسه میانگین بیشینه جهات حرکت عامل‌های موجود در شبکه سلولی، معیار فاصله درون
 کلاسی، معیار فازی و معیار $F_measure$ با یادگیری نوع L_{PEL} و دو نرخ یادگیری $a=0.01, b=0.1$ و
 $a=0.05, b=0.1$ در ۱۰۰۰ تکرار با حد آستانه ثابت $t=0.3$ برای دادگان اول نرمال. ۱۱۱
- شکل ۹-۴ فراوانی داده‌ای خوشه‌بندی دادگان دوم نرمال با یادگیری نوع L_{PEL} ، نرخ یادگیری
 $a=0.05, b=0.1$ در ۱۵۰۰ تکرار با چهار حد آستانه ثابت $t=0.1, t=0.3, t=0.5, t=0.7$... ۱۱۲
- شکل ۱۰-۴ فراوانی داده‌ای خوشه‌بندی دادگان Iris با یادگیری نوع L_{PEL} ، نرخ یادگیری $a=0.05, b=0.1$
 در ۱۵۰۰ تکرار با سه حد آستانه ثابت $t=0.2, t=0.3, t=0.4$ ۱۱۳
- شکل ۱۱-۴ فراوانی داده‌ای و محتوای اتوماتای سلولی در چند تکرار با نرخ یادگیری $a=0.05, b=0.1$ و حد
 آستانه ثابت $t=0.4$ برای دادگان نرمال دوم. هر خوشه با یک رنگ خاص، سلول‌های غیر فعال با رنگ
 سفید و سلول‌های حاوی حداقل دو داده غبر هم خوشه با رنگ سیاه نشان داده شده است. ۱۱۴
- شکل ۱۲-۴ فراوانی داده‌ای و محتوای اتوماتای سلولی در هشت تکرار با یادگیری نوع L_{PEL} ، نرخ یادگیری
 $a=0.05, b=0.1$ و حد آستانه ثابت $t=0.4$ برای دادگان Iris. هر خوشه با یک رنگ خاص،
 سلول‌های غیر فعال با رنگ سفید و سلول‌های حاوی حداقل دو داده غبر هم خوشه با رنگ سیاه نشان
 داده شده است. ۱۱۶
- شکل ۱۳-۴ فراوانی داده‌ای و محتوای اتوماتای سلولی در چهار تکرار با یادگیری نوع L_{PEL} ، نرخ یادگیری
 $a=0.05, b=0.1$ و حد آستانه ثابت $t=0.3$ برای دادگان Iris. هر خوشه با یک رنگ خاص،
 سلول‌های غیر فعال با رنگ سفید و سلول‌های حاوی حداقل دو داده غبر هم خوشه با رنگ سیاه نشان
 داده شده است. ۱۱۷
- شکل ۱۴-۴ شبه کد ایستایی عامل بر اساس احتمال تناسب محیطی. ۱۲۰
- شکل ۱۵-۴ نمودار فراوانی داده‌ای و محتوای شبکه سلولی خوشه‌بندی دادگان اول نرمال با حد آستانه ثابت
 $t=0.3$ ، نرخ یادگیری $a=0.05, b=0.1$ و k کاهنده از ۸ تا ۱ در هر ۲۵۰ تکرار. ۱۲۱
- شکل ۱۶-۴ نمودار فراوانی داده‌ای و محتوای شبکه سلولی خوشه‌بندی دادگان Iris با حد آستانه ثابت
 $t=0.3$ ، نرخ یادگیری $a=0.05, b=0.1$ و k کاهنده از ۸ تا ۱ در هر ۲۵۰. ۱۲۱
- شکل ۱۷-۴ تابع $\omega(m)$ تابع $\omega(m)$ برای تکرار ۱ تا ۵۰۰۰ با پارامتر $l=1000$ و $l=500$ ۱۲۲

- شکل ۱۸-۴ ترسیم $Pstay_i$ با ۵۰۰۰ تکرار و $l = 500$ در بازه‌های ۰,۱ ۱۲۲
- شکل ۱۹-۴ نمودار فراوانی داده‌ای و محتوای شبکه سلولی خوشه‌بندی دادگان اول نرمال با حد آستانه ثابت $t = 0.3$ ، نرخ یادگیری $a = 0.05, b = 0.1$ و $l = 1000$ ۱۲۳
- شکل ۲۰-۴ نمودار فراوانی داده‌ای و محتوای شبکه سلولی خوشه‌بندی دادگان اول نرمال با حد آستانه ثابت $t = 0.3$ ، نرخ یادگیری $a = 0.05, b = 0.1$ و $l = 500$ ۱۲۳
- شکل ۲۱-۴ تابع سیگموئید در بازه [۰-۱] ۱۲۴
- شکل ۲۲-۴ نمودار فراوانی داده‌ای و محتوای شبکه سلولی خوشه‌بندی دادگان اول نرمال با حد آستانه ثابت $t = 0.3$ ، نرخ یادگیری $a = 0.05, b = 0.1$ و $l = 500$ و استفاده از تابع سیگموئید ۱۲۵
- شکل ۲۳-۴ ایستایی دادگان اول نرمال با حد آستانه ثابت $t = 0.3$ و $l = 500$ و تغییر شعاع سلولی ۱۲۶
- شکل ۲۴-۴ در اجرای ۸۲۰۰ به بعد، داده‌های دادگان اول نرمال جهت مناسب حرکت خود را یافته و دور یکدیگر تجمع نموده‌اند. داده نشان داده شده به دلیل یک شدن احتمال جهت بیشینه حرکتش دائماً در حال چرخش بوده و مانع از توقف الگوریتم با شرط یک شدن احتمال ایستایی می‌شود ۱۲۷
- شکل ۲۵-۴ آخرین مرحله از خوش بندی دادگان دوم با $t = 0.3$ و دادگان Iris با سه حد آستانه ثابت $t = 0.4$ ، $t = 0.3$ و $t = 0.2$. شرط خاتمه در ترسیم این اشکال، رسیدن به تعداد تکرار ۱۰۰۰۰، یک شدن احتمال ایستایی کل داده‌ها و یا رسیدن احتمال جهت بیشینه داده‌ها به مقدار ۰,۸ در نظر گرفته شده است ۱۲۸
- شکل ۲۶-۴ شبه کد یادگیری بر مبنای تابع تشابه در محیط مدل S- ۱۳۰
- شکل ۲۷-۴ مقایسه میانگین بیشینه جهت حرکت عامل‌های موجود در شبکه سلولی، معیار فاصله درون کلاسی، معیار فازی و معیار F_measure با الگوریتم یادگیری خطی نوع L_{pel} و سه نرخ یادگیری $a = 0.001, b = 0.1$ ، $a = 0.01, b = 0.1$ و $a = 0.05, b = 0.1$ در ۱۰۰۰ تکرار برای دادگان اول نرمال ۱۳۲
- شکل ۲۸-۴ مقایسه میانگین بیشینه جهت حرکت عامل‌های موجود در شبکه سلولی، معیار فاصله درون کلاسی، معیار فازی و معیار F_measure با الگوریتم یادگیری غیر خطی نوع L_{pel} و سه نرخ یادگیری $a = 0.001, b = 0.1$ ، $a = 0.01, b = 0.1$ و $a = 0.05, b = 0.1$ در ۱۰۰۰ تکرار برای دادگان اول نرمال ۱۳۲
- شکل ۲۹-۴ مقایسه میانگین بیشینه جهت حرکت عامل‌های موجود در شبکه سلولی، معیار فاصله درون کلاسی، معیار فازی و معیار F_measure با یادگیری نوع L_{pel} و نرخ یادگیری $a = 0.01, b = 0.1$ در ۱۰۰۰ تکرار با یادگیری خطی و غیر خطی برای دادگان اول نرمال ۱۳۳
- شکل ۳۰-۴ مقایسه میانگین بیشینه جهت حرکت عامل‌های موجود در شبکه سلولی، معیار فاصله درون کلاسی، معیار فازی و معیار F_measure با یادگیری نوع L_{pel} و نرخ یادگیری $a = 0.01, b = 0.1$ در ۱۰۰۰ تکرار با یادگیری خطی و غیر خطی برای دادگان دوم نرمال ۱۳۴
- شکل ۳۱-۴ فراوانی داده‌ای و مقایسه میانگین بیشینه جهت حرکت عامل‌های موجود در شبکه سلولی، معیار فاصله درون کلاسی، معیار فازی و معیار F_measure با الگوریتم یادگیری غیر خطی نوع L_{pel} و نرخ یادگیری $a = 0.05, b = 0.1$ ، $a = 0.01, b = 0.1$ و $a = 0.001, b = 0.1$ در ۱۰۰۰ تکرار برای دادگان Iris ۱۳۵
- شکل ۳۲-۴ از چپ به راست جهت حرکت هشت (مور)، چهار (ون نیومن) و سه (کول) برای سلول مرکزی ۱۳۵

- شکل ۳۳-۴ فراوانی داده‌ای و مقایسه میانگین بیشینه جهات حرکت عامل‌های موجود در شبکه سلولی، معیار فاصله درون کلاسی، معیار فازی و معیار F_measure دادگان دوم نرمال با الگوریتم یادگیری غیرخطی نوع L_{PEL} و نرخ یادگیری $a = 0.01, b = 0.1$ برای سه جهات حرکت کول (۳)، ون‌نیومن (۴) و مور (۸). ۱۳۶
- شکل ۳۴-۴ فراوانی داده‌ای و مقایسه میانگین بیشینه جهات حرکت عامل‌های موجود در شبکه سلولی، معیار فاصله درون کلاسی، معیار فازی و معیار F_measure دادگان Iris با الگوریتم یادگیری غیرخطی نوع L_{PEL} و نرخ یادگیری $a = 0.01, b = 0.1$ برای سه جهات حرکت کول (۳)، ون‌نیومن (۴) و مور (۸). ۱۳۷
- شکل ۳۵-۴ مقایسه میانگین بیشینه جهات حرکت عامل‌های موجود در شبکه سلولی، معیار فاصله درون کلاسی، معیار فازی و معیار F_measure دادگان Iris با الگوریتم یادگیری غیرخطی نوع L_{PEL} و نرخ یادگیری $a = 0.01, b = 0.1$ برای دو نرمال‌سازی داده‌ها. ۱۴۰
- شکل ۳۶-۴ مقایسه میانگین بیشینه جهات حرکت عامل‌های موجود در شبکه سلولی، معیار فاصله درون کلاسی، معیار فازی و معیار F_measure دادگان Iris با الگوریتم یادگیری غیرخطی نوع L_{PEL} و نرخ یادگیری $a = 0.01, b = 0.1$ برای سه نرمال‌سازی تشابه. ۱۴۱
- شکل ۳۷-۴ مقایسه میانگین بیشینه جهات حرکت عامل‌های موجود در شبکه سلولی، معیار فاصله درون کلاسی، معیار فازی و معیار F_measure خوشه‌بندی دادگان Iris با الگوریتم یادگیری غیرخطی نوع L_{PEL} و نرخ یادگیری $a = 0.01, b = 0.1$ برای سه الگوریتم بدون احتمال ایستایی، با احتمال ایستایی حاصل از رابطه (۱۵-۴) با $l = 500$ و احتمال ایستایی حاصل از رابطه (۱۵-۴) با $l = 250$. ۱۴۲
- شکل ۳۸-۴ فراوانی داده‌ای تکرار آخر خوشه‌بندی دادگان Iris با الگوریتم یادگیری غیرخطی نوع L_{PEL} و نرخ یادگیری $a = 0.01, b = 0.1$ برای سه الگوریتم بدون احتمال ایستایی، با احتمال ایستایی حاصل از رابطه (۱۵-۴) با $l = 500$ و احتمال ایستایی حاصل از رابطه (۱۵-۴) با $l = 250$. ۱۴۳
- شکل ۳۹-۴ شبه کد پس‌پردازش داده‌ایی که جهت بیشینه آنها کمتر از θ باشد. ۱۴۳
- شکل ۴۰-۴ توابع عضویت سیستم نرخ یادگیری فازی. ۱۴۶
- شکل ۴۱-۴ نتایج خوشه‌بندی دادگان دوم نرمال با سیستم نرخ یادگیری فازی در رنج پاداش $[0, 1]$ و رنج جریمه $[0, 1]$ با چهار غیرفازی‌ساز مختلف. ۱۴۶
- شکل ۴۲-۴ نتایج خوشه‌بندی دادگان دوم نرمال با سیستم نرخ یادگیری فازی در رنج پاداش $[0, 1]$ و رنج جریمه $[0, 1]$ و یادگیری غیر فازی با نرخ یادگیری ثابت $a = 0.01, b = 0.1$. ۱۴۷
- شکل ۴۳-۴ نتایج خوشه‌بندی با پارامتر یادگیری اول فازی با چند رنج پاداش و رنج جریمه بر روی دادگان اول نرمال با غیرفازی‌ساز mom. ۱۴۷
- شکل ۴۴-۴ مقایسه نتایج خوشه‌بندی دادگان Iris با نرخ یادگیری فازی به سه روش، بدون استفاده از احتمال ایستایی و با استفاده از احتمال ایستایی اول و f_i'' دوم. ۱۴۹
- شکل ۴۵-۴ محتوای شبکه سلولی در تکرار آخر خوشه‌بندی دادگان Iris با نرخ یادگیری فازی به سه روش، بدون استفاده از احتمال ایستایی و با استفاده از احتمال ایستایی اول و f_i'' دوم در ۵۰۰ تکرار. ۱۴۹
- شکل ۱-۵ شبه کد نرمال‌سازی مقادیر ارزیابی همسایه‌های انتخاب شده (se). ۱۵۴
- شکل ۲-۵ مقایسه میانگین ۲۰ اجرای خوشه‌بندی دادگان Iris با دو روش مدل-P و مدل-S روش اول با یادگیری L_{REP} و نرخ یادگیری $a = 0.1, b = 0.01$ برای تعداد سلول ۵، ۷، ۹ تا ۳۳ سلول با دو مقدار $se = 2$ و $se = 3$ و شعاع همسایگی یک. تعداد تکرار هر اجرا، ۲۰۰ در نظر گرفته شده است. ۱۵۵

- شکل ۳-۵ مقایسه میانگین ۲۰ اجرای خوشه‌بندی دادگان Iris با دو روش مدل-P و مدل-S روش اول با یادگیری L_{RP} و نرخ یادگیری $a=0.1, b=0.1$ برای تعداد سلول ۵، ۷، ۹ تا ۳۳ سلول با دو مقدار $se=2$ ، $se=3$ و شعاع همسایگی یک. تعداد تکرار هر اجرا، ۲۰۰ در نظر گرفته شده است. ۱۵۵
- شکل ۴-۵ مقایسه میانگین ۲۰ اجرای خوشه‌بندی دادگان Iris با دو روش مدل-P و مدل-S روش اول با یادگیری $L_{R\&P}$ و نرخ یادگیری $a=0.1, b=0.01$ با نرخ یادگیری L_{RP} با $a=0.1, b=0.1$ برای تعداد سلول ۵، ۷، ۹ تا ۳۳ سلول با دو مقدار $se=2$ ، $se=3$ و شعاع همسایگی یک. تعداد تکرار هر اجرا، ۲۰۰ در نظر گرفته شده است. ۱۵۶
- شکل ۵-۵ مقایسه میانگین ۲۰ اجرای خوشه‌بندی دادگان Iris با مدل-S روش اول و مدل-S روش دوم با یادگیری L_{RP} و نرخ یادگیری $a=0.1, b=0.1$ برای تعداد سلول ۵، ۷، ۹ تا ۳۳ سلول با دو مقدار $se=2$ ، $se=3$ و شعاع همسایگی یک. تعداد تکرار هر اجرا، ۲۰۰ در نظر گرفته شده است. ۱۵۷
- شکل ۶-۵ نمایی از یک سلول در روش پیشنهادی ۱۵۸
- شکل ۷-۵ مقایسه میانگین ۲۰ اجرای خوشه‌بندی دادگان Iris با چهار روش مدل-P، مدل-S روش دوم، مجموعه اعمال پیوسته و مجموعه اعمال پیوسته با یادگیری برای تعداد سلول ۵، ۷، ۹ تا ۳۳ سلول با دو مقدار $se=2$ ، $se=3$ و شعاع همسایگی یک. تعداد تکرار هر اجرا، ۵۰۰ در نظر گرفته شده است. یادگیری در روش مدل-P و مدل-S از نوع L_{RP} با نرخ یادگیری $a=0.1, b=0.1$ می‌باشد. ۱۶۰
- شکل ۸-۵ مقایسه میانگین ۲۰ اجرای خوشه‌بندی دادگان Iris با سه روش مدل-S روش دوم، مجموعه اعمال پیوسته و مجموعه اعمال پیوسته با یادگیری برای تعداد سلول ۵، ۷، ۹ تا ۳۳ سلول با دو مقدار $se=2$ ، $se=3$ و شعاع همسایگی یک. تعداد تکرار هر اجرا، ۵۰۰ در نظر گرفته شده است. یادگیری در روش مدل-S از نوع L_{RP} با نرخ یادگیری $a=0.1, b=0.1$ می‌باشد. ۱۶۱
- شکل ۹-۵ توابع عضویت سیستم خبره فازی برای تعیین نرخ یادگیری سیگما. ۱۶۲
- شکل ۱۰-۵ ترسیم سه بعدی نرخ جریمه و پاداش بر اساس ورودی سیستم فازی. ۱۶۲
- شکل ۱۱-۵ مقایسه میانگین ۲۰ اجرای خوشه‌بندی دادگان Iris با دو روش مجموعه اعمال پیوسته و مجموعه اعمال پیوسته با نرخ یادگیری فازی برای تعداد سلول ۵، ۷، ۹ تا ۳۳ سلول با دو مقدار $se=2$ ، $se=3$ و شعاع همسایگی یک. تعداد تکرار هر اجرا، ۵۰۰ در نظر گرفته شده است. ۱۶۳
- شکل ۱-۸ ساختار تابعی برنامه روش ترکیبی پردازش تصاویر با استفاده از اتوماتای سلولی. ۱۸۲
- شکل ۲-۸ ساختار تابعی برنامه استخراج لبه‌های تصاویر با استفاده از اتوماتای یادگیر سلولی. ۱۸۴
- شکل ۳-۸ ساختار تابعی برنامه خوشه‌بندی با استفاده از اتوماتای یادگیر سلولی مدل-P با یادگیری بهبود یافته. ۱۸۸
- شکل ۴-۸ ساختار تابعی برنامه خوشه‌بندی با استفاده از اتوماتای یادگیر سلولی مدل-S. ۱۹۳
- شکل ۵-۸ ساختار تابعی برنامه خوشه‌بندی با استفاده از محاسبات تکاملی بر مبنای اتوماتای یادگیر پیوسته. ۱۹۶

فهرست جداول

- جدول ۱-۱ قانون ۱۳۱ حاصل از اعداد Wolfram ۹
- جدول ۲-۱ قوانین متغیر زبانی A ورودی با دو تابع عضویت و متغیر زبانی B خروجی با دو تابع عضویت. ۳۳
- جدول ۳-۱ اطلاعات دادگان استفاده شده برای مقایسه الگوریتم‌های خوشه‌بندی ۳۹
- جدول ۱-۳ مشخصات جریمه و پاداش حالات عمومی قانون ۲ و لفرام در اتوماتای یادگیر سلولی سه سلوله با ساختار دوری و شعاع همسایگی یک با یادگیری L_{RI} ۶۵
- جدول ۲-۳ حالات عمومی (پیکربندی قطعی) بدست آمده از ۴۰ بار شبیه‌سازی قانون ۲ با ۲۰ هزار تکرار در اتوماتای یادگیر سلولی سه سلوله با ساختار دوری و شعاع همسایگی یک با یادگیری L_{RI}. بردار احتمال اولیه عمل اول (۰) سه سلول به صورت [۰,۵ - ۰,۵ - ۰,۵] در نظر گرفته شده است. ۶۵
- جدول ۳-۳ حالات میانه (پیکربندی احتمالی) بدست آمده از ۴۰ بار شبیه‌سازی قانون ۲ با ۲۰ هزار تکرار در اتوماتای یادگیر سلولی سه سلوله با ساختار دوری و شعاع همسایگی یک با یادگیری L_{RI}. بردار احتمال اولیه عمل اول (۰) سه سلول به صورت [۰,۵ - ۰,۵ - ۰,۵] در نظر گرفته شده است. ۶۵
- جدول ۴-۳ حالات عمومی بدست آمده از ۸۰ بار شبیه‌سازی در اتوماتای یادگیر سلولی سه سلوله با ساختار دوری و شعاع همسایگی یک با یادگیری L_{RI} در ۲۰ هزار تکرار. بردار احتمال اولیه عمل اول (۰) سه سلول به صورت [۰,۹ - ۰,۹ - ۰,۱] در نظر گرفته شده است. ۶۷
- جدول ۵-۳ حالات میانه (پیکربندی احتمالی) بدست آمده از ۸۰ بار شبیه‌سازی در اتوماتای یادگیر سلولی سه سلوله با ساختار دوری و شعاع همسایگی یک با یادگیری L_{RI} در ۲۰ هزار تکرار. بردار احتمال اولیه عمل اول (۰) سه سلول به صورت [۰,۹ - ۰,۹ - ۰,۱] در نظر گرفته شده است. ۶۸
- جدول ۶-۳ مشخصات کلی قانون ۱ و لفرام. ۷۳
- جدول ۷-۳ حالات عمومی بدست آمده از شبیه‌سازی قانون ۱ با تکرار ۱۰ هزار و ۳۰ بار اجرای برنامه. ۷۳
- جدول ۸-۳ حالات میانه بدست آمده از شبیه‌سازی قانون ۱ با تکرار ۱۰ هزار و ۳۰ بار اجرای برنامه. ۷۳
- جدول ۹-۳ مشخصات کلی قانون ۲ و لفرام. ۷۶
- جدول ۱۰-۳ حالات عمومی بدست آمده از شبیه‌سازی قانون ۲ با تکرار ۱۰ هزار و ۳۰ بار اجرای برنامه. ۷۶
- جدول ۱۱-۳ حالات میانه بدست آمده از شبیه‌سازی قانون ۲ با تکرار ۱۰ هزار و ۳۰ بار اجرای برنامه. ۷۶
- جدول ۱۲-۳ مشخصات کلی قانون ۵ و لفرام. ۷۸
- جدول ۱۳-۳ حالات عمومی بدست آمده از شبیه‌سازی قانون ۵ با تکرار ۱۰ هزار و ۳۰ بار اجرای برنامه. ۷۸
- جدول ۱۴-۳ حالات میانه بدست آمده از شبیه‌سازی قانون ۵ با تکرار ۲۰ هزار و ۳۰ بار اجرای برنامه. ۷۸
- جدول ۱۵-۳ حالات نیمه بدست آمده از شبیه‌سازی قانون ۵ با تکرار ۲۰ هزار و ۳۰ بار اجرای برنامه. ۷۸
- جدول ۱۶-۳ مشخصات کلی قانون ۱۰ و لفرام. ۸۱
- جدول ۱۷-۳ حالات عمومی بدست آمده از شبیه‌سازی قانون ۱۰ با تکرار ۱۰ هزار و ۳۰ بار اجرای برنامه. ۸۲
- جدول ۱۸-۳ حالات میانه بدست آمده از شبیه‌سازی قانون ۱۰ با تکرار ۲۰ هزار و ۳۰ بار اجرای برنامه. ۸۲
- جدول ۱۹-۳ حالات نیمه بدست آمده از شبیه‌سازی قانون ۱۰ با تکرار ۲۰ هزار و ۳۰ بار اجرای برنامه. ۸۲
- جدول ۲۰-۳ رفتار عمومی اتوماتای یادگیر سلولی تک سلوله با دو عمل بر مبنای جریمه و پاداش. ۸۵

- جدول ۳-۲۱ رفتار سلول سمت راست اتوماتای یادگیر سلولی دو سلوله با یادگیری LRI و مرز دوری برای قانون ۱ و لفرام با فرض همگرایی سلول سمت چپ به یکی از اعمال موجود. ۹۱.....
- جدول ۳-۲۲ رفتار سلول سمت راست اتوماتای یادگیر سلولی دو سلوله با یادگیری LRI و مرز دوری برای قانون ۱۲ و لفرام با فرض همگرایی سلول سمت چپ به یکی از اعمال موجود. ۹۱.....
- جدول ۳-۲۳ رفتار عمومی سلول سمت راست در یک اتوماتای یادگیر سلولی دو سلوله با یادگیری LRI و مرز دوری با فرض همگرایی سلول سمت چپ به یکی از دو عمل ممکن خود در قوانین ۰، ۱، ۲، ۳، ۱۲، ۱۳، ۱۴ و ۱۵ و لفرام. ۹۲.....
- جدول ۳-۲۴ رفتار عمومی سلول سمت راست در یک اتوماتای یادگیر سلولی دو سلوله با یادگیری LRI و مرز دوری با فرض همگرایی سلول سمت چپ به یکی از دو عمل ممکن خود در قوانین ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۰ و ۱۱ و لفرام. ۹۳.....
- جدول ۳-۲۵ بررسی رفتار قانون ۰ و ۱ اتوماتای یادگیر سلولی دو سلوله با ساختار دوری با یادگیری LRI. ۹۳.....
- جدول ۳-۲۶ بررسی رفتار قانون ۲ تا ۶ اتوماتای یادگیر سلولی دو سلوله با ساختار دوری با یادگیری LRI. ۹۴.....
- جدول ۳-۲۷ بررسی رفتار قانون ۷ تا ۱۲ اتوماتای یادگیر سلولی دو سلوله با ساختار دوری با یادگیری LRI. ۹۵.....
- جدول ۳-۲۸ بررسی رفتار قوانین ۱۳ تا ۱۵ اتوماتای یادگیر سلولی دو سلوله با ساختار دوری با یادگیری LRI. ۹۶.....
- جدول ۳-۲۹ همگرایی قوانین ۰ تا ۱۵ اتوماتای یادگیر سلولی دو سلوله با ساختار دوری با یادگیری LRI. ۹۸.....
- جدول ۴-۱ مقایسه میانگین گیری ۲۰ اجرای مختلف خوشه‌بندی دادگان اول نرمال با استفاده از قانون اول و قانون بهبود یافته. ۱۱۹.....
- جدول ۴-۲ مشخصات میانگینی زمان اجرا و تعداد دفعات تکرار خوشه‌بندی دادگان اول نرمال با حد آستانه ثابت $t=0.3$ ، نرخ یادگیری $a=0.05, b=0.1$ برای ۲۰ اجرای مختلف با پارامتر $l=1000$ و $l=500$. ۱۲۴.....
- جدول ۴-۳ مشخصات میانگینی زمان اجرا و تعداد دفعات تکرار خوشه‌بندی دادگان اول نرمال با حد آستانه ثابت $t=0.3$ ، نرخ یادگیری $a=0.05, b=0.1$ برای ۲۰ اجرای مختلف با پارامتر $l=1000$ و $l=500$ و استفاده از تابع سیگموئید. ۱۲۵.....
- جدول ۴-۴ مشخصات میانگینی زمان اجرا و تعداد دفعات تکرار برای ۲۰ اجرای مختلف با $Gsize = \rho * \text{round}(\sqrt{Npop})$. ۱۲۶.....
- جدول ۴-۵ میانگین معیار فازی و معیار F_measure تکرار آخر در ۲۰ اجرا برای دادگان اول نرمال با دو فاصله اقلیدسی و کسینوسی به عنوان تابع تشابه مورد استفاده بین دو عامل. شرط خاتمه الگوریتم رسیدن به تکرار ۵۰۰ می‌باشد. ۱۳۸.....
- جدول ۴-۶ میانگین معیار فازی و معیار F_measure تکرار آخر در ۲۰ اجرا برای دادگان دوم نرمال با دو فاصله اقلیدسی و کسینوسی به عنوان تابع تشابه مورد استفاده بین دو عامل. شرط خاتمه الگوریتم رسیدن به تکرار ۵۰۰ می‌باشد. ۱۳۹.....
- جدول ۴-۷ میانگین معیار فازی و معیار F_measure تکرار آخر در ۲۰ اجرا برای دادگان Iris با دو فاصله اقلیدسی و کسینوسی به عنوان تابع تشابه مورد استفاده بین دو عامل. شرط خاتمه الگوریتم رسیدن به تکرار ۵۰۰ می‌باشد. ۱۳۹.....
- جدول ۴-۸ مقایسه میانگین معیار F-measure حاصل از خوشه‌بندی دادگان Iris با استفاده از پس‌پردازش به دو صورت θ_1 و θ_2 با سه ضریب مختلف برای ε . شرط خاتمه هر اجرا رسیدن به تکرار ۵۰۰ می‌باشد. ۱۴۴.....

- جدول ۴-۹ مقایسه میانگین تعداد داده‌هایی از دادگان Iris که بر روی آنها در ۲۰ اجرا، پس‌پردازش اعمال شده است. پس‌پردازش به دو صورت θ_1 و θ_2 با سه ضریب مختلف برای ϵ در نظر گرفته شده است. شرط خاتمه هر اجرا رسیدن به تکرار ۵۰۰ می‌باشد. ۱۴۵
- جدول ۴-۱۰ قوانین سیستم نرخ یادگیری فازی. ۱۴۶
- جدول ۴-۱۱ مقایسه خوش بندی دادگان Glass با سه روش FPCM, Kmeans و M-CLA. ۱۵۰
- جدول ۴-۱۲ مقایسه خوش بندی دادگان Iris با سه روش FPCM, Kmeans و M-CLA. ۱۵۰
- جدول ۴-۱۳ مقایسه خوش بندی دادگان wine با سه روش FPCM, Kmeans و M-CLA. ۱۵۰
- جدول ۴-۱۴ مقایسه خوش بندی دادگان wisconsin با سه روش FPCM, Kmeans و M-CLA. ۱۵۱
- جدول ۴-۱۵ مقایسه خوش بندی دادگان پنجم با سه روش FPCM, Kmeans و M-CLA. ۱۵۱
- جدول ۵-۱ قانون سیستم فازی برای تعیین نرخ جریمه و پاداش در واریانس یادگیری. ۱۶۱
- جدول ۵-۲ مقایسه خوش بندی دادگان Glass با سه روش P-model, Continuous Fuzzy و EP. ۱۶۴
- جدول ۵-۳ مقایسه خوش بندی دادگان Iris با سه روش P-model, Continuous Fuzzy و EP. ۱۶۴
- جدول ۵-۴ مقایسه خوش بندی دادگان wine با سه روش P-model, Continuous Fuzzy و EP. ۱۶۴
- جدول ۵-۵ مقایسه خوش بندی دادگان wisconsin با سه روش P-model, Continuous Fuzzy و EP. ۱۶۴
- جدول ۵-۶ مقایسه خوش بندی دادگان پنجم با سه روش P-model, Continuous Fuzzy و EP. ۱۶۴
- جدول ۸-۱ مرکز الگو غیر لبه (زمینه - لبه تاریک) می‌باشد. شمارش بر اساس تعداد لبه روشن در هر الگو صورت گرفته است. الگوهای زیر به عنوان نمونه الگو می‌باشند. الگوهای شامل ۸، ۷، ۶ و ۵ لبه روشن. ۱۷۷
- جدول ۸-۲ مرکز الگو غیر لبه (زمینه - لبه تاریک) می‌باشد. شمارش بر اساس تعداد لبه روشن در هر الگو صورت گرفته است. الگوهای زیر به عنوان نمونه الگو می‌باشند. الگوهای شامل ۴، ۳ و ۲ لبه روشن. ۱۷۸
- جدول ۸-۳ مرکز الگو غیر لبه (زمینه - لبه تاریک) می‌باشد. شمارش بر اساس تعداد لبه روشن در هر الگو صورت گرفته است. الگوهای زیر به عنوان نمونه الگو می‌باشند. الگوهای شامل ۹، ۸، ۷ و ۶ لبه روشن. ۱۷۹
- جدول ۸-۴ مرکز الگو لبه روشن می‌باشد. شمارش بر اساس تعداد لبه روشن در هر الگو صورت گرفته است. الگوهای زیر به عنوان نمونه الگو می‌باشند. الگوهای شامل ۹، ۸، ۷ و ۶ لبه روشن. ۱۷۹
- جدول ۸-۵ مرکز الگو لبه روشن می‌باشد. شمارش بر اساس تعداد لبه روشن در هر الگو صورت گرفته است. الگوهای زیر به عنوان نمونه الگو می‌باشند. الگوهای شامل ۵، ۴ و ۳ لبه روشن. ۱۸۰
- جدول ۸-۶ مرکز الگو لبه روشن می‌باشد. شمارش بر اساس تعداد لبه روشن در هر الگو صورت گرفته است. الگوهای زیر به عنوان نمونه الگو می‌باشند. الگوهای شامل ۲ و ۱ لبه روشن. ۱۸۱