

پردازش تکاملی

آتوماتای سلولی و یادگیر سلولی

دانشگاه صنعتی مالک اشتر

مجتمع دانشگاهی فن آوری اطلاعات و امنیت

زمستان ۱۳۹۲

✓ آتوماتای سلولی در واقع یک مدل گسسته ریاضی است که در زمینه های مختلفی همچون تئوری محاسبات، ریاضیات، فیزیک و ... کاربرد دارد.

✓ آتوماتای سلولی در اواخر دهه ۱۹۴۰ توسط John von Neumann مطرح و پس از او توسط ریاضیدانی بنام Ulam به عنوان مدلی برای بررسی رفتار سیستم های پیچیده پیشنهاد شد.

✓ نامهای دیگر آتوماتای سلولی عبارتند از:

- cellular structures
- homogeneous structures
- tessellation structure
- iterative arrays

چرا CA ؟

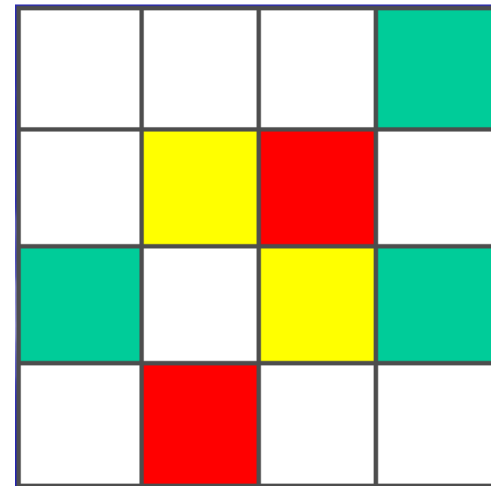
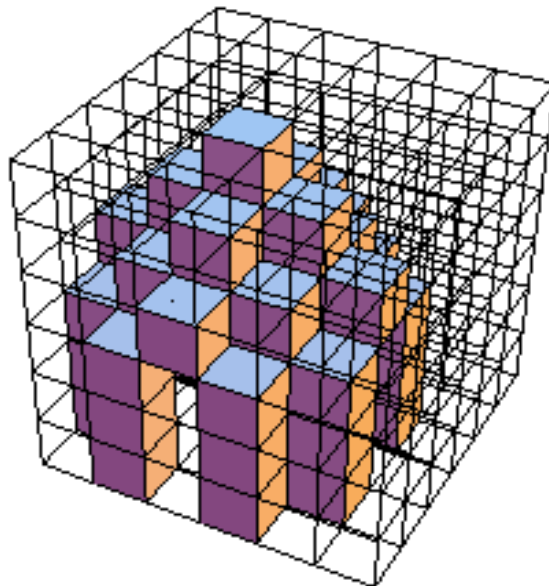
- شبیه سازی سیستم های پیچیده نیازمند معادلات پیچیده می باشد.
- ارائه معادلات پیچیده نیازمند شناخت قوانین و وجود دانش کامل در مورد سیستم مورد بررسی است.
- از معادلات پیچیده برای توصیف یک سیستم پیچیده استفاده نکنید و بجای آن اجازه دهید این پیچیدگی در قالب تعامل بین قوانین ساده بررسی گردد.
- ایده : استفاده از تعاملات ساده بین سلولها در اتوماتای سلولی برای شبیه سازی سیستمهای پیچیده

مفاهیم اساسی در یک اتوماتای سلولی

- سلول
- حالت
- شبکه
- تغییر و تحول (گسسته از لحاظ زمانی)
- همسایگی
- قوانین تغییر حالت
- وضعیت اولیه

سلول

- اصلی ترین مولفه آتوماتای سلولی
- سلولها را می توان بعنوان حافظه هایی که وضعیت را ذخیره می کنند در نظر گرفت.
- معمولا حالت سلولها بطور همزمان بر اساس قوانین انتقال بروز رسانی می گردد.



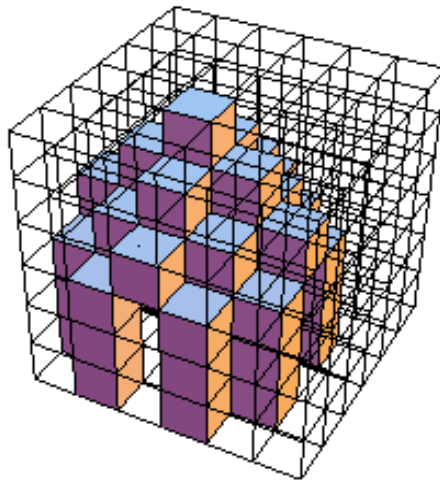
حالت

- حالات می توانند وضعیت، عدد، رنگ و ... باشند.
- تعداد حالاتی که یک سلول می تواند داشته باشد متناهی است.

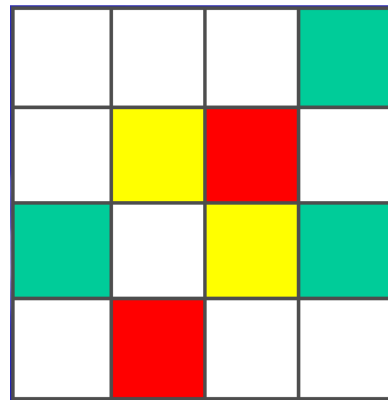
3

شبکه

- آتوماتای سلولی شامل شبکه ای از سلولها است.
- ابعاد شبکه یک مقدار متناهی است (یک بعدی، دو بعدی، سه بعدی و ...)



سه بعدی

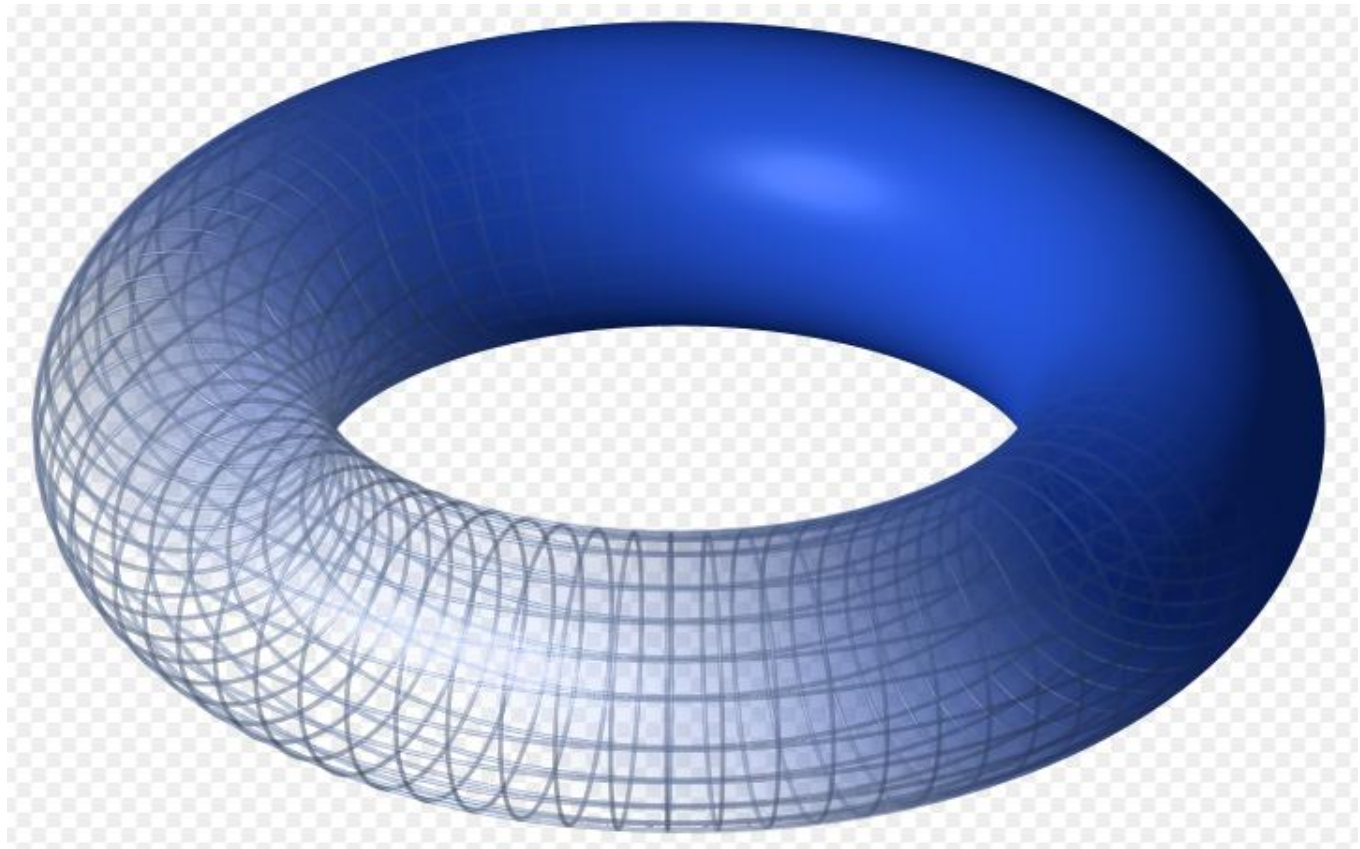


دو بعدی



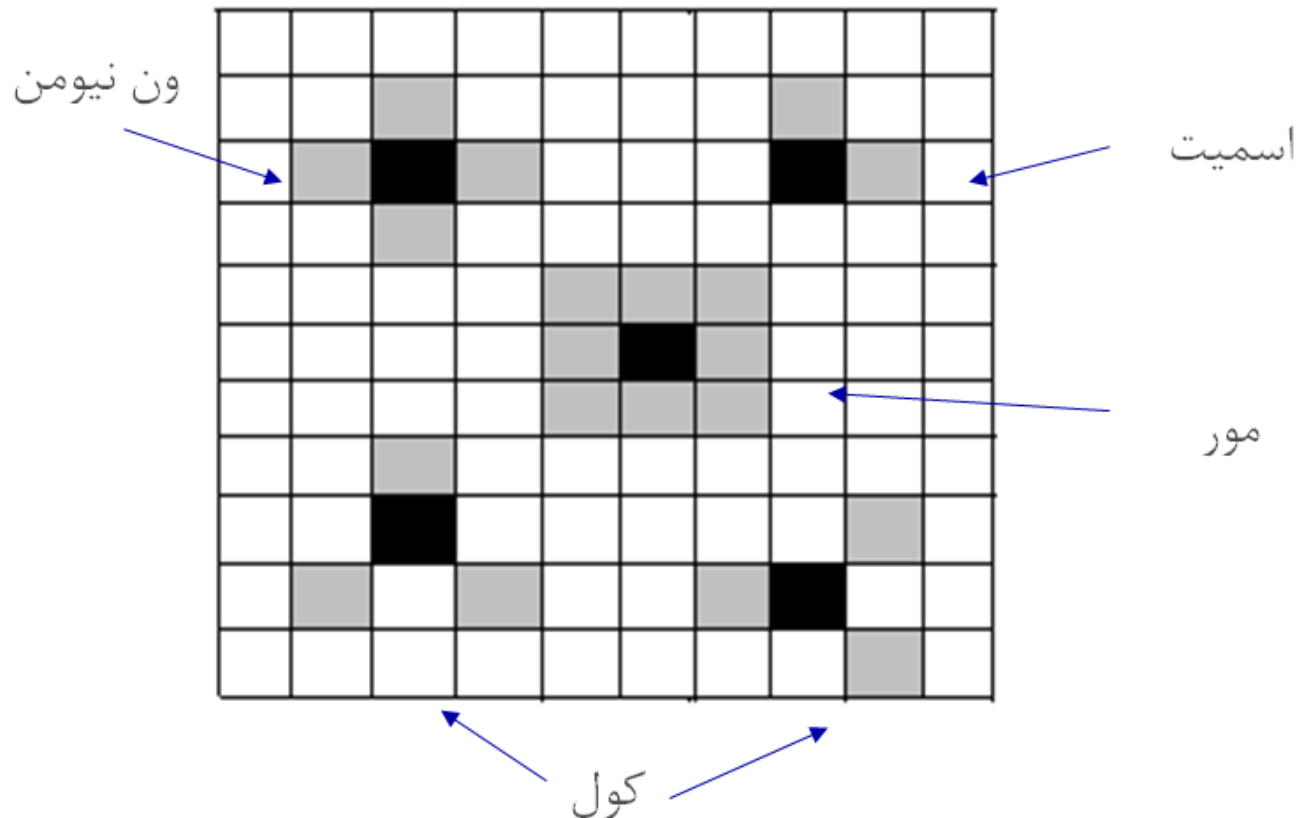
یک بعدی

نمای واقعی یک شبکه دو بعدی



همسایگی

■ همسایه های یک سلول در اتوماتای سلولی بسته به کاربرد سلولهای مختلفی از سلولهای مجاور می باشند.



قوانین تغییر حالت

در اتوماتای سلولی زمان گسسته است و در هر مرحله هر سلول، وضعیت جدید خود را با در نظر گرفتن حالت همسایه‌های مجاور خود بر اساس یکسری از قوانین بدست می‌آورد.



















قانونها به سه دسته قابل تقسیم می باشند:






1- قانون عمومی: در این قانون مقدار یک سلول در مرحله بعدی، به مقدار تک تک سلولهای همسایه در حالت فعلی وابسته است.

2- قانون totalistic: در این قانون مقدار یک سلول در مرحله بعدی، به تعداد سلولهای همسایه که در حالتهاى مختلف می باشند، وابسته است. در این نوع قانون برخلاف قانون عمومی، توجه ای به تک تک سلولها نمی شود.

3- قانون outer totalistic: تنها تفاوتی که این قانون با totalistic دارد در این است که در تعیین حالت بعدی سلول، حالت فعلی نیز موثر است.

قوانین انتقال

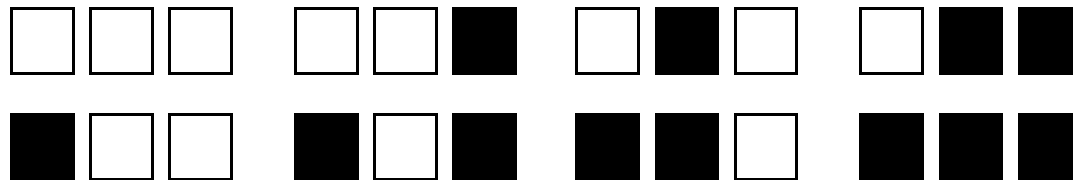
C	U	R	D	L	N
					
					
					
...					



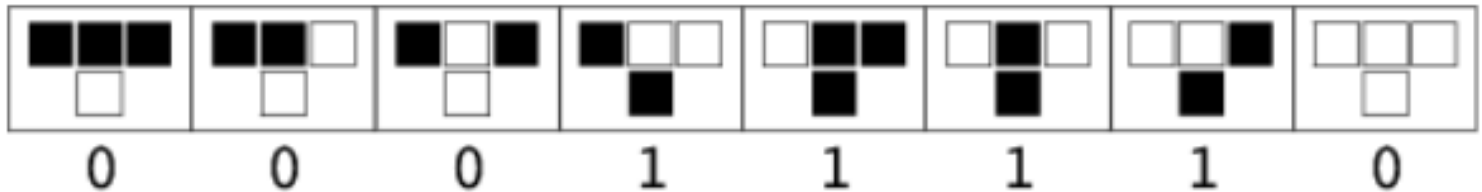
مثال: آتوماتای سلولی ابتدایی (یک بعدی)

- در این آتوماتا هر سلول دارای دو حالت صفر یا یک می باشد.
- همسایه های هر سلول دو سلول کناری آن می باشند.
- هر سلول به همراه دو همسایه کناری آن می توانند هشت مقدار مختلف داشته باشند.
- هر سلول با توجه به وضعیت فعلی خود و دو همسایه اش یکی از حالات زیر را خواهد داشت:

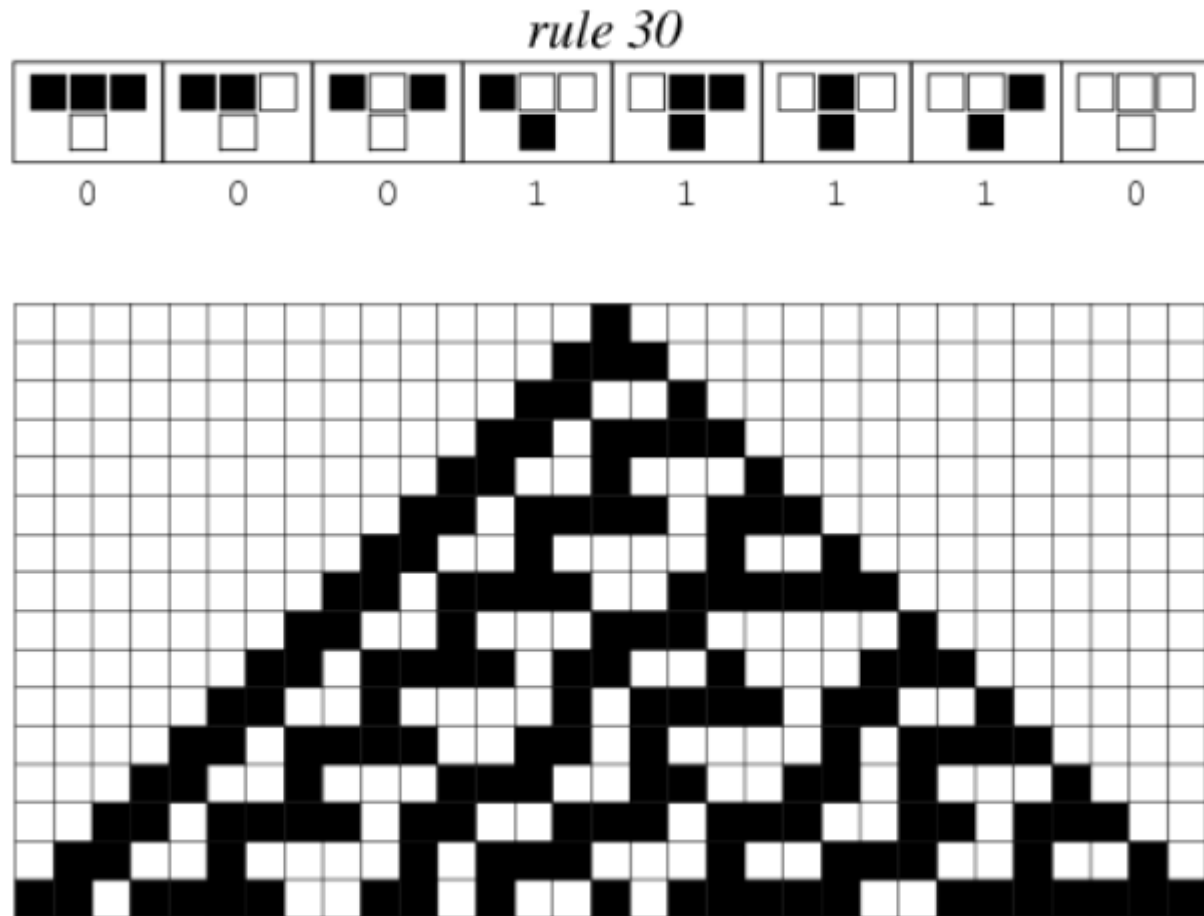


مثال: آتوماتای سلولی ابتدائی (یک بعدی)

- هر سلول در مرحله بعد می تواند دارای یکی از دو حالت صفر یا یک باشد.
- به ازای هشت نوع همسایگی مختلف ما ۲۵۶ نوع آتوماتای سلولی یک بعدی می توانیم داشته باشیم.
- هر کدام از این آتوماتاها دارای قانون خاص خود می باشند.
- شماره گذاری قانونها بسته به وضعیتی که در حالات مختلف سلول خواهد داشت انجام می شود. برای مثال قانون زیر به قانون ۳۰ معروف است.



قانون 30



ارائه یک طراحی

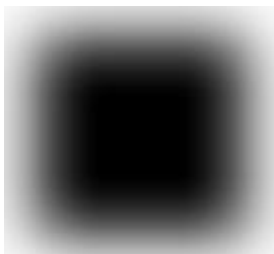
- هر سلول دارای یکی از چهار حالت زیر می باشد:

– حالت Blank

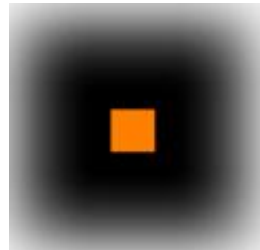
– حالت Copper

– حالت Head

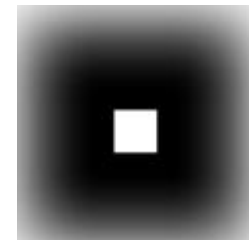
– حالت Tail



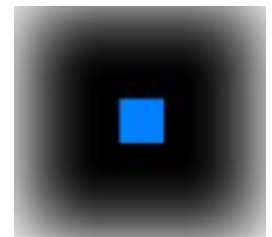
Blank



Copper



Head



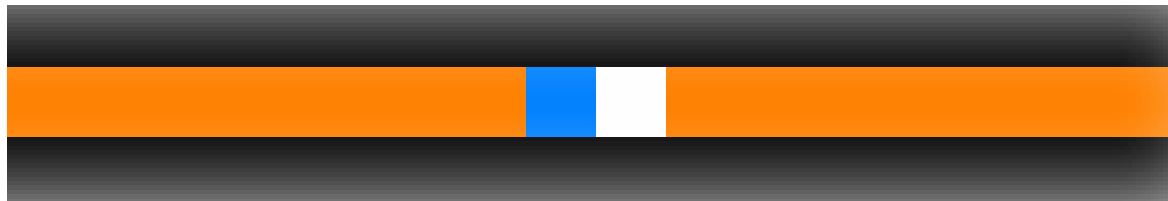
Tail

قوانین

- قوانین بصورت زیر هستند:
 - یک سلول در حالت Blank همواره در همان حالت باقی می ماند.
 - حالت بعدی یک سلول که دارای حالت head است، tail می باشد.
 - حالت بعدی یک سلول که دارای حالت tail است، Copper می باشد.
 - سلول دارای حالت Copper در همان حال باقی می ماند مگر اینکه یک یا دو همسایه آن در حالت head باشند. در اینصورت حالت آن به head تغییر خواهد کرد.
- هر الگو یا قالب معینی را می توان در شبکه سلولی در نظر گرفت و تکامل آنرا با استفاده از قانون های ذکر شده مشاهده نمود.

ارائه الگوهای مناسب

- در یک شبکه دو بعدی الگویی را در نظر بگیرید که در آن سلولهای تمام ردیف ها باستثناء یک ردیف در حالت Blank می باشند.
- در ردیف مذکور نیز تنها دو سلول مجاور یکی دارای حالت tail و دیگری head میباشد.
- بقیه سلولهای ردیف ذکر شده دارای حالت Copper هستند.



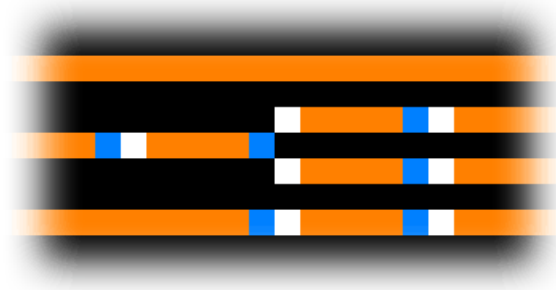
گذرگاه سیگنال



0

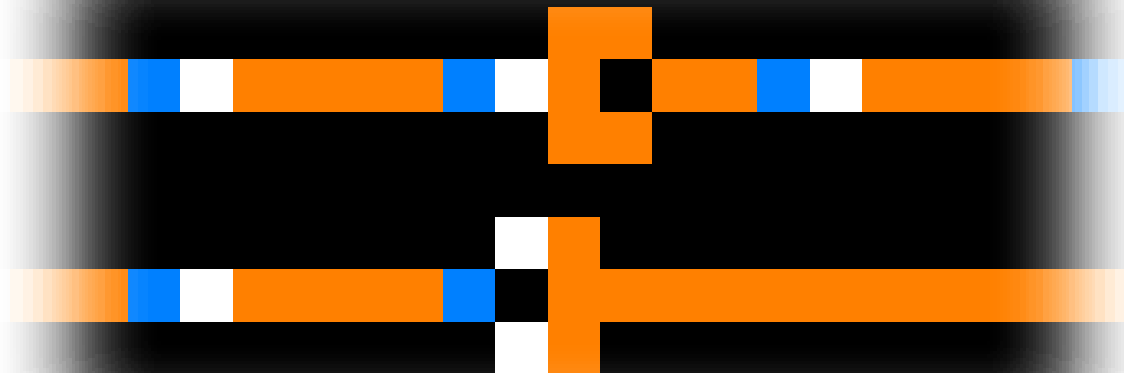
- یک جفت head-tail را یک الکترون می نامیم.
- الکترون در طول مداری که از طریق سلولهای Copper ایجاد گردیده حرکت می کند.
- برای انتقال داده از این طریق بروش زیر عمل می کنیم:
 - مدار را به قسمتهای مساوی به اندازه n تقسیم می کنیم.
 - اندازه n باید بزرگتر از ۲ باشد تا یک الکترون در آن بتواند قرار گیرد.
 - وجود یک الکترون در یک قسمت بمعنای مقدار یک و عدم وجود آن بمعنای مقدار صفر است.
 - وجود یک سلول در حالت copper در هر قسمت لازم است لذا n بایستی حداقل سه باشد.

انشعاب گذرگاهها



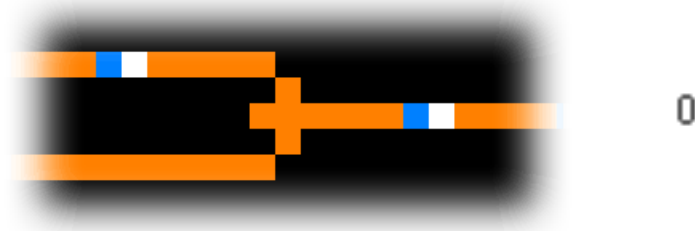
0

شبیه سازی دیود

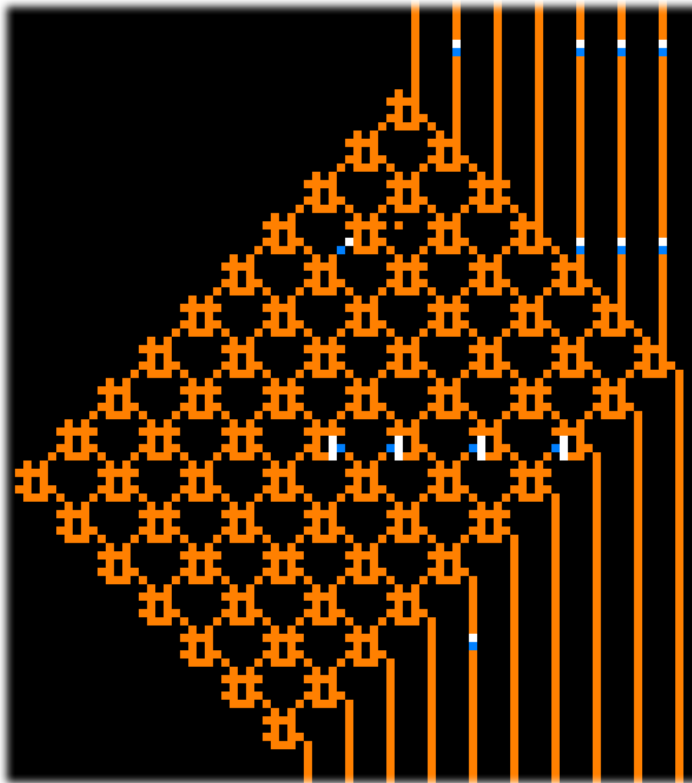


0

گیت OR



The ROM



■ با تکرار نوع دوم AND-NOT می توان الگویی ایجاد کرد که یک ROM شکل بگیرد.

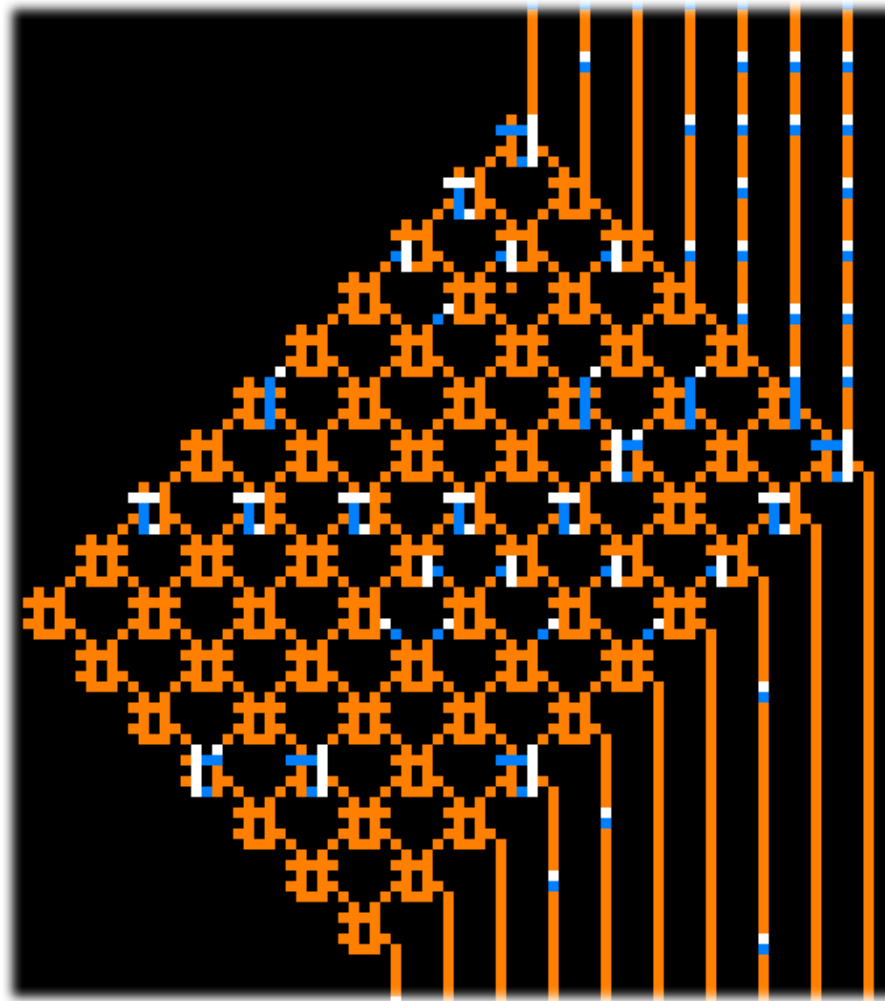
■ هر گیت صفر یا یک را در خود ذخیره میکند.

0

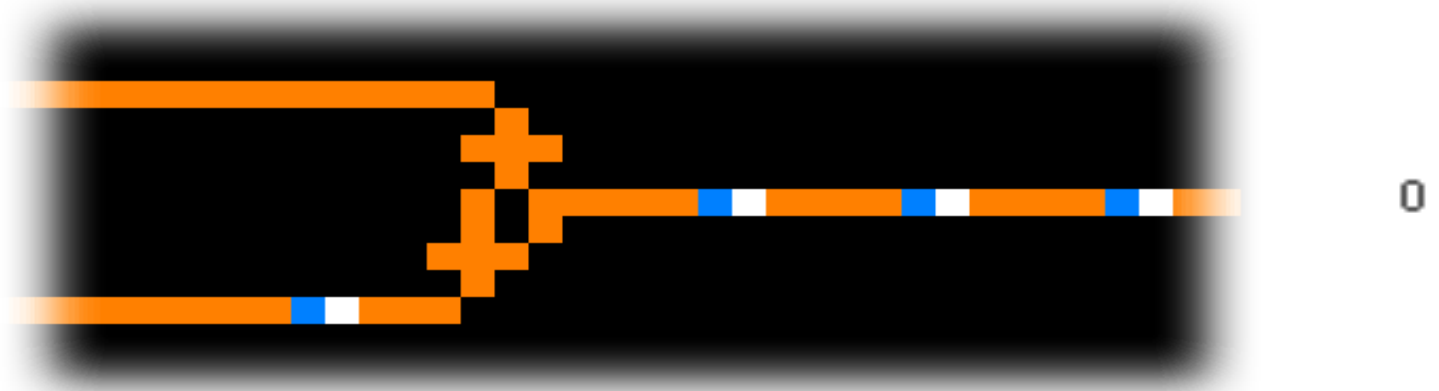
■ ذخیره عدد یک: گیت مربوطه ear در قسمت بالا سمت راست ندارد.

■ ذخیره عدد صفر: گیت مربوطه ear در قسمت بالا سمت راست دارد.

The ROM



flip-flop

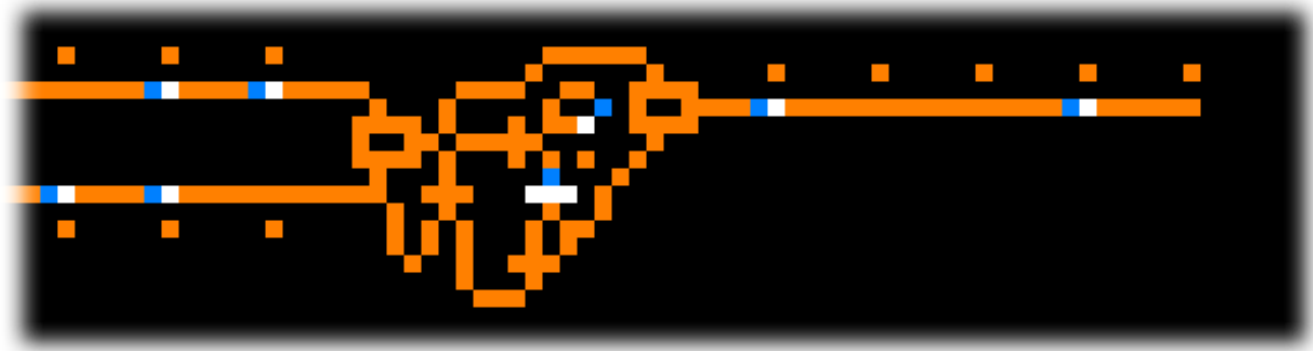


- فلیپ فلاپ دارای دو حالت set و unset می باشد.
- وقتی فلیپ فلاپ در حالت set باشد، در خروجی جریانی از یک ها را تولید خواهد کرد.
- ورودی بالا فلیپ فلاپ را reset می کند و خروجی پایین آنرا set می کند.

جمع کننده باینری

- در جمع کننده مذکور اعداد در قالب باینری نشان داده می شوند.
- بیت ها بصورت سریالی از ورودی ها وارد شده و حاصل جمع آنها در خروجی نیز بصورت سریالی (در قالب باینری) خواهد بود.
- نمایش اعداد بصورت ابتدا بیت دارای ارزش کمتر می باشد.
- مدار جمع کننده ترکیبی از گیت های AND- ، XOR ، NOT ، فلیپ فلاپ و ... می باشد.

جمع ۰۱۱ و ۱۱۰ (اعداد ۳ و ۶)

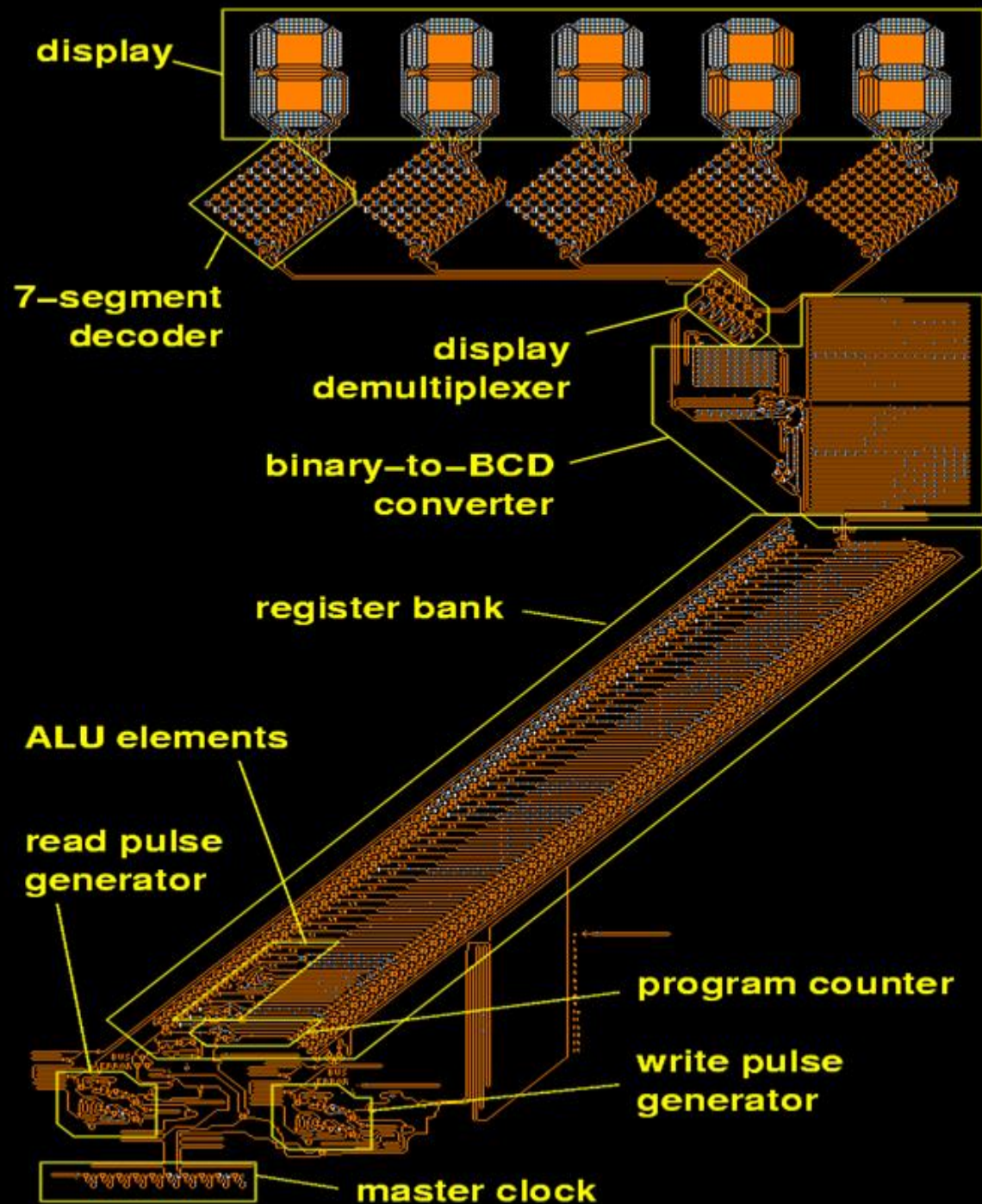


0

- خروجی حاصل از جمع این دو عدد ۴۸ نسل بعد در خروجی خواهد بود.

مجموعه رجیسترها





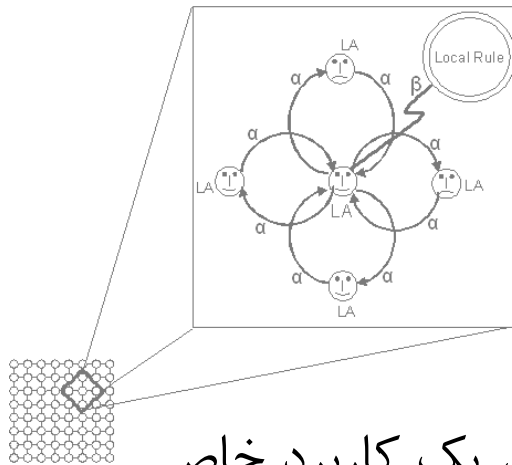
قابلیتها و نقصهای اتوماتای سلولی

■ CA مدلی است که از یکسری اجزاء مشابه و ساده تشکیل شده است که قوانین بسیار ساده محلی نیز بر آنها حاکم است. اما در نهایت می تواند سیستمهای پیچیده ای را مدل کند.

■ یک اشکال عمده CA تعیین فرم قطعی قوانین مورد نیاز برای یک کاربرد خاص است و اینکه CA برای مدل کردن سیستمهای قطعی مناسب می باشد.

■ پس باید به دنبال روشی باشیم که بدون نیاز به تعیین فرم قطعی قوانین، با گذشت زمان قوانین مناسب استخراج شوند.

هوشمند کردن سلولهای CA و افزودن قابلیت یادگیری به آنها یکی از این روشهاست!



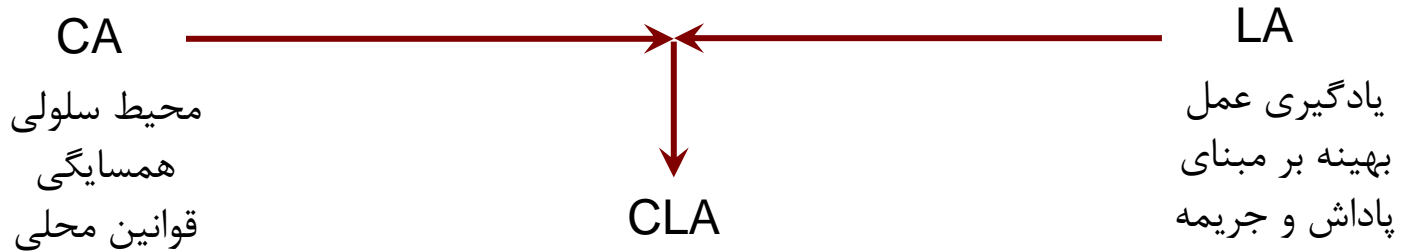
ایده‌ی اولیه

❑ مشکلات اتوماتای سلولی

■ تعیین فرم قطعی قوانین مورد نیاز برای یک کاربرد خاص
 ■ کارا نبودن در مدل‌سازی سیستم‌های نوپزی و دارای عدم قطعیت

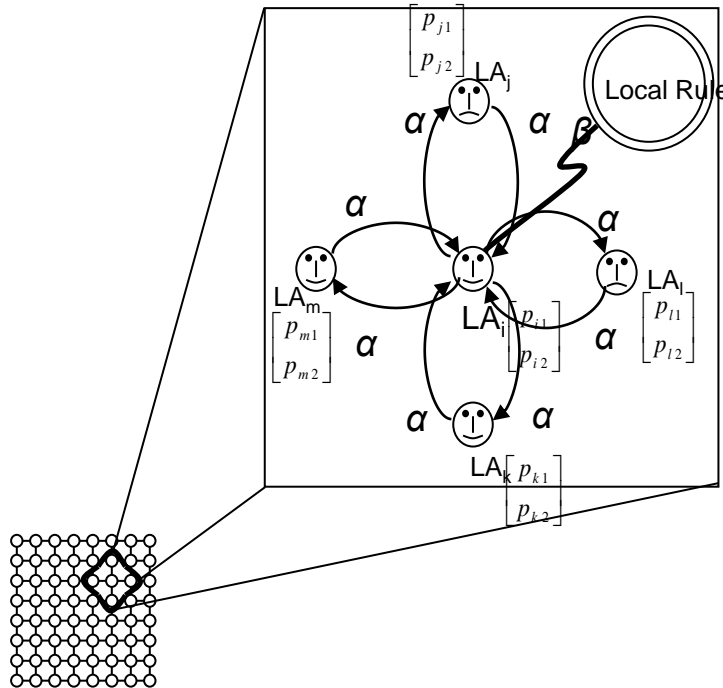
❑ مشکل اتوماتای یادگیر

■ سادگی بیش از حد ← به تنهایی قادر به حل بسیاری از مسائل پیچیده نمی‌باشد



❑ ایده‌ی اصلی اتوماتای یادگیر سلولی استفاده از عمل انتخاب شده توسط اتوماتای یادگیر به عنوان حالت سلول در اتوماتای سلولی می‌باشد

معرفی غیرفرمال



نحوه‌ی عملکرد

در هر گام، اتوماتای یادگیر هر سلول یکی از عمل‌های خود را به صورت تصادفی و بر اساس بردار احتمال عمل‌ها انتخاب می‌کند

قانون محلی حاکم در هر سلول بر اساس عمل انتخابی اتوماتا و عمل انتخابی اتوماتون‌های سلول‌های همسایه، سیگنال تقویتی تولید می‌کند

سیگنال تقویتی باعث پاداش یا جریمه‌ی عمل انتخابی هر سلول می‌شود

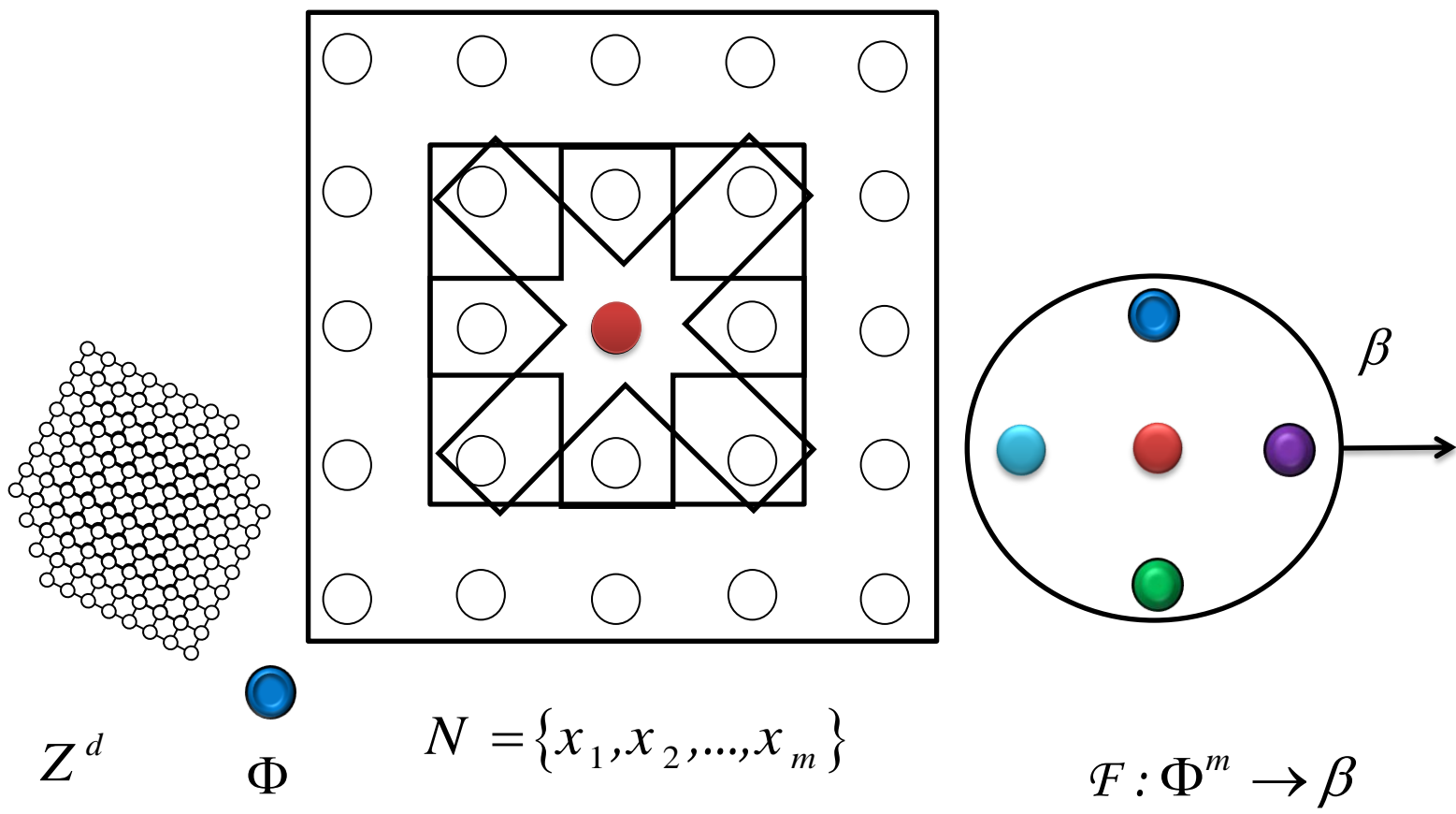
گام‌های فوق تا زمان رسیدن به وضعیت نهایی تکرار می‌شوند

• اتوماتای یادگیر سلولی

- اتوماتای سلولی
- یک یا چند اتوماتای یادگیر در هر سلول
- حالت بعدی هر سلول بر اساس حالت فعلی سلول و سلول‌های همسایه تعیین می‌شود
- قانون محلی تعیین می‌کند که عمل انتخاب شده توسط اتوماتای یادگیر در هر سلول باید پاداش داده شود و یا جریمه شود

معرفی فرمال

□ اتوماتای یادگیر سلولی به صورت ۵ تائی زیر تعریف می شود



چند مثال

• پردازش تصاویر

– تصویر: یک توری دو بعدی از نقاط

– نگاشت اتوماتای یادگیر سلولی به تصویر

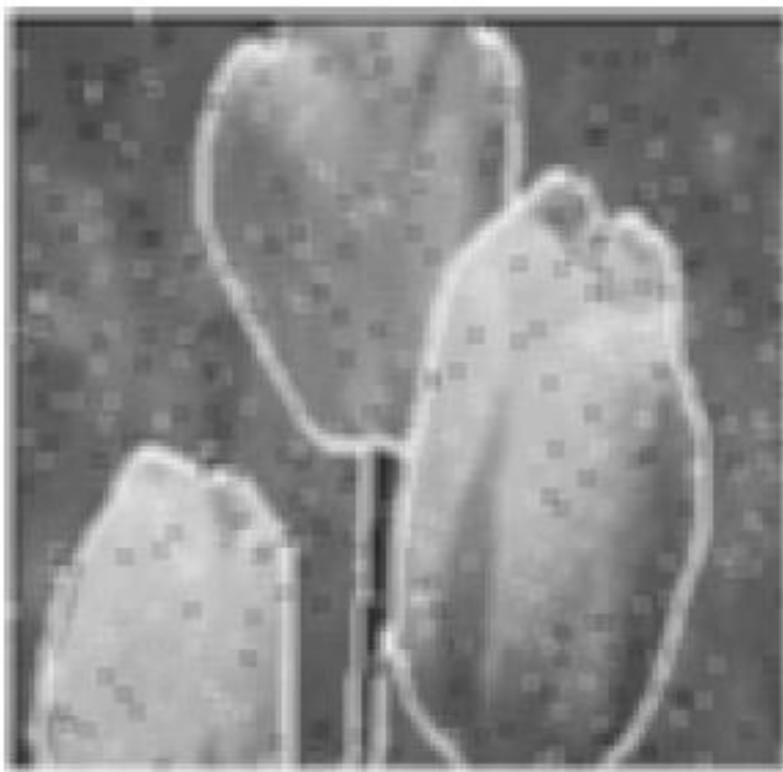
- هر نقطه: یک سلول
- همسایگی سلول‌ها: وابسته به کاربرد
- هر سلول: یک اتوماتای یادگیر
- عمل‌های هر اتوماتای یادگیر: وابسته به کاربرد
- قطعه‌بندی تصاویر

» تعیین کلاس هر نقطه از تصویر

- قانون محلی: وابسته به کاربرد

– مشابهت کلاس تعیین شده با کلاس سلول‌های همسایه و نیز سطوح خاکستری

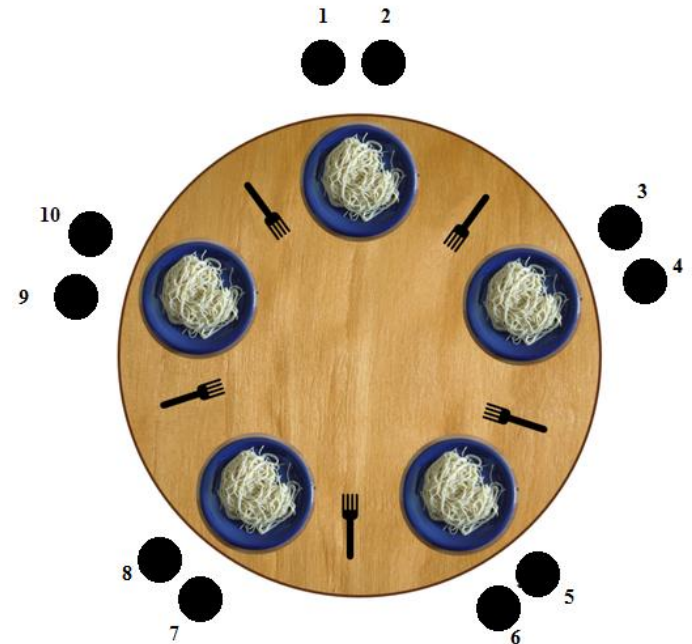
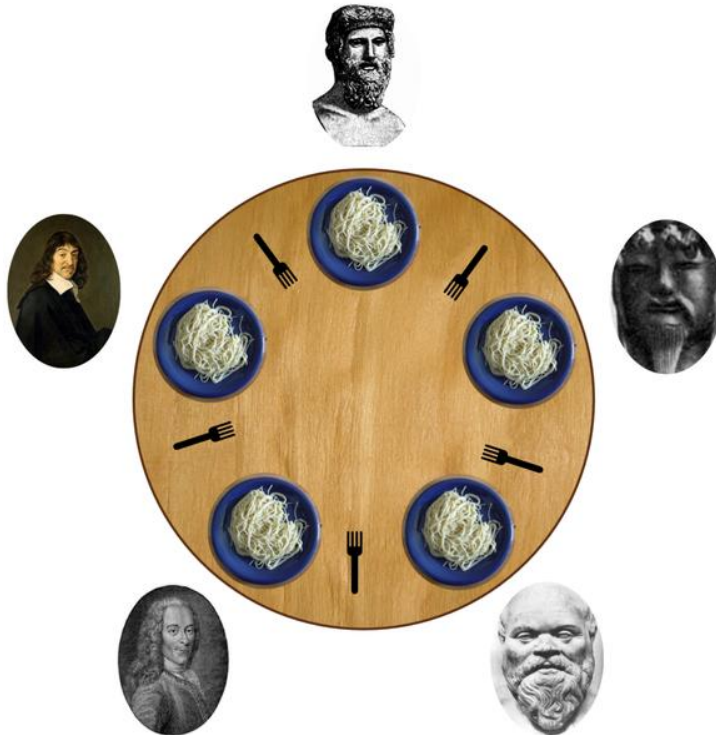
حذف نویز



چند مثال

- **تخصیص کانال** در شبکه‌های موبایل سلولی
 - هر سلول شبکه: یک سلول از اتوماتای یادگیر سلولی
 - همسایگی: هر دو سلول همسایه در شبکه
 - هر سلول: یک یا تعدادی اتوماتای یادگیر
 - عمل‌های هر اتوماتای یادگیر
 - تعیین کانال آزاد سلول
 - مورد استفاده بودن یا نبودن کانال مربوطه
 - قانون محلی: **همسان نبودن** کانال‌های انتخاب شده در سلول‌های همسایه

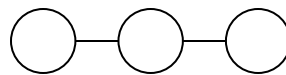
مساله غذا خوردن فیلسوفان



بررسی رفتاری اتوماتای یادگیر سلولی

- اتوماتای یادگیر سلولی

- تک بعدی با سه سلول
- هر سلول دارای دو عمل (۰ یا ۱)



- نحوه‌ی نمایش

- قانون‌ها همانند اتوماتای سلولی به فرم ولفرام نمایش داده می‌شوند

۱۱۱	۱۱۰	۱۰۱	۱۰۰	۰۱۱	۰۱۰	۰۰۱	۰۰۰
*	*	۱	۱	*	۱	۱	*

قانون ۵۴

- رفتار اتوماتای یادگیر سلولی بر حسب نوع قوانین به ۳ کلاس تقسیم‌بندی می‌شود

- همگرا شونده
- پریودیک
- نامنظم

بررسی رفتاری اتوماتای یادگیر سلولی

- کلاس همگرا شونده (کلاس ۱)

– این کلاس به ۴ زیرگروه تقسیم می‌شود

□ در گروه ۱ از این کلاس اتوماتای یادگیر سلولی به سادگی و با پیمودن مسیری تقریباً مستقیم به سمت پیکربندی نهایی خود حرکت می‌کند و در نهایت در این پیکربندی متوقف می‌شود

□ در گروه ۲ مسیر پیموده شده در فضای پیکربندی اتوماتای یادگیر سلولی به دو زیر مسیر قابل تقسیم است. زیر مسیر اول از پیکربندی شروع تا یک پیکربندی میانی است که در طول آن اتوماتای یادگیر سلولی مسیر ساده و تقریباً مستقیمی را طی می‌کند و در قسمت دوم رفتار پیچیده‌ای در فضای پیکربندی نشان می‌دهد

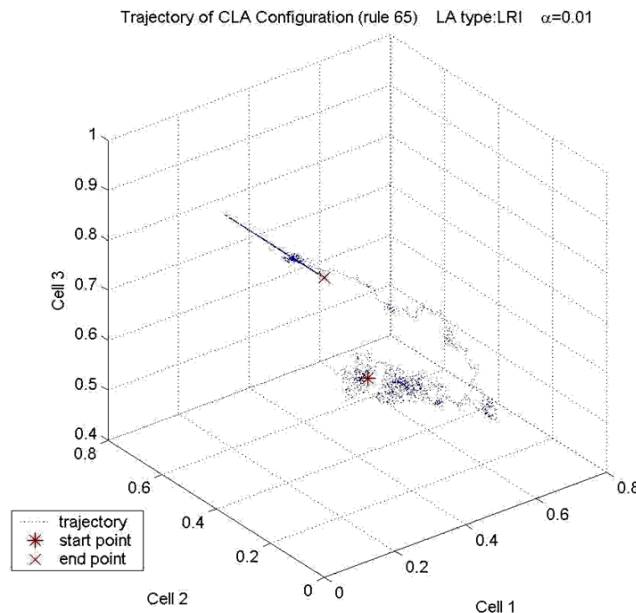
□ در گروه ۳ بر خلاف گروه ۲، اتوماتای یادگیر سلولی در زیر مسیر اول رفتار پیچیده‌ای از خود نشان می‌دهد و سپس در زیر مسیر بعدی به سادگی مسیر نسبتاً مستقیمی را تا پیکربندی نهایی طی می‌کند

□ در گروه ۴ بر خلاف گروه‌های ۱، ۲ و ۳، اتوماتای یادگیر سلولی در تمام مسیر خود رفتار پیچیده‌ای از خود نشان می‌دهد و پس از پیمودن یک مسیر پیچیده سرانجام در پیکربندی نهایی متوقف می‌شود

بررسی رفتاری اتوماتای یادگیر سلولی

• کلاس پریودیک (کلاس ۲)

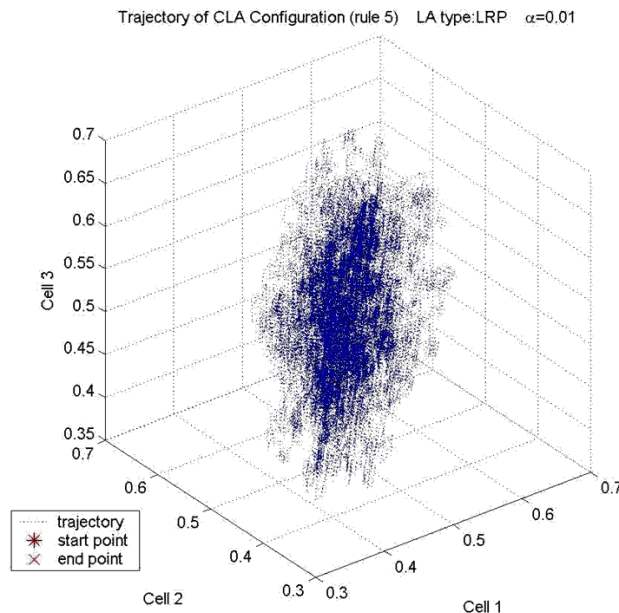
- در این کلاس تکامل اتوماتای یادگیر سلولی به نحوی صورت می‌پذیرد که پس از گذر از یک مرحله‌ی گذرا وارد مرحله‌ای می‌شود که در یک زیر فضای محدود به صورت متناوب نوسان کند



بررسی رفتاری اتوماتای یادگیر سلولی

• کلاس نامنظم (کلاس ۳)

– در این کلاس هیچ رفتار منظمی در تکامل اتوماتای یادگیر سلولی مشاهده نمی شود. به عبارت دیگر اتوماتای یادگیر سلولی همگرا نمی شود و در عین حال رفتار پریودیک نیز از خود نشان نمی دهد



معیارهای ارزیابی رفتار

آنتروپی

■ معرفی شده توسط Shannon در سال ۱۹۴۸

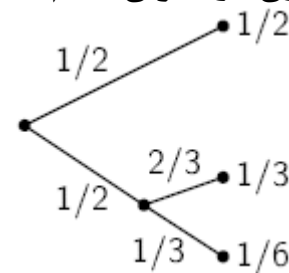
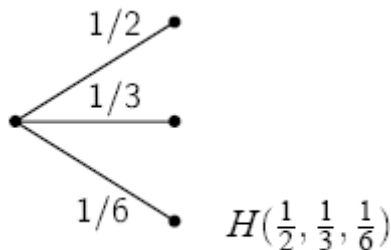
■ معیار **عدم قطعیت** یک **متغیر تصادفی**

■ **ویژگی‌هایی** که یک معیار عدم قطعیت باید داشته باشد

□ پیوستگی

□ اگر **احتمال** تمامی حالت‌های متغیر تصادفی **یکسان** باشد، میزان **عدم قطعیت** باید **تابعی صعودی** از **تعداد حالت‌ها** باشد

□ اگر برخی از حالت‌ها، زیر مجموعه یک حالت کلی‌تر شوند، میزان عدم قطعیت اولیه باید برابر با مجموع وزن‌دار میزان عدم قطعیت‌های جدید باشد



■ Shannon نشان داد که تنها تابعی که می‌تواند سه ویژگی فوق را همزمان داشته باشد، تابع آنتروپی است و عبارت است از:

$$H = -K \sum_{i=1}^n p_i \cdot \ln(p_i)$$

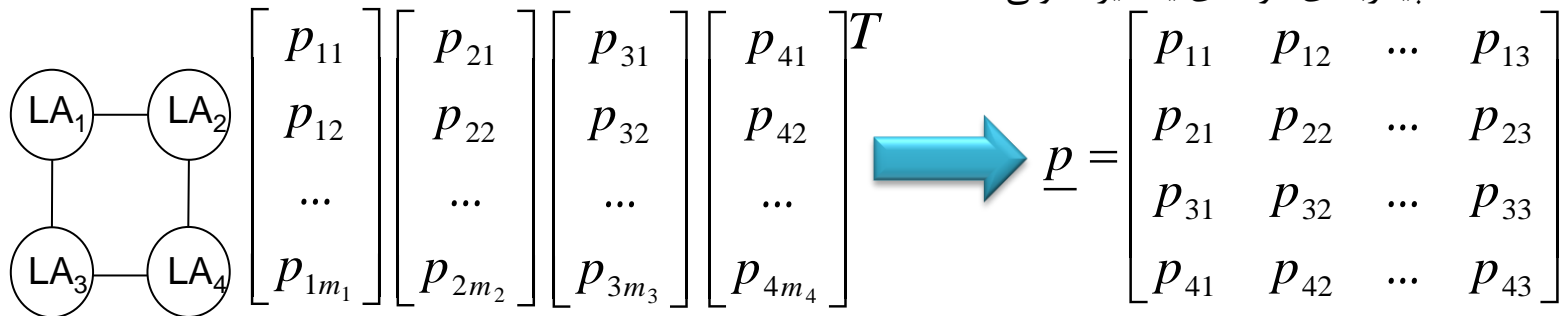
معیارهای ارزیابی رفتار

- **عمل** انتخاب شده توسط یک اتوماتای یادگیر، یک **متغیر تصادفی** است
 - مفهوم آنترופی برای تعیین میزان عدم قطعیت یک اتوماتای یادگیر می‌تواند به کار رود
- **بردار احتمال** عمل‌های یک اتوماتای یادگیر، **وابسته به زمان** است
 - آنترופی یک اتوماتای یادگیر تابعی از زمان می‌باشد
- یک **اتوماتای یادگیر سلولی** دارای **مجموعه‌ای از اتوماتون‌های** یادگیر است
 - آنترופی اتوماتای یادگیر سلولی، **مجموع** آنترופی اتوماتون‌های یادگیر آن است

$$H(n) = \sum_{i=1}^N H_i(n) \quad H_i(n) = - \sum_{j=1}^{m_i} p_{ij}(n) \cdot \ln(p_{ij}(n))$$

• درجه مصلحت‌گرایی (Degree of Expediency)

– پیکربندی اتوماتای یادگیر سلولی



■ فضای پیکربندی‌ها

$$\mathcal{K} = \left\{ \underline{p} \mid \underline{p} = (\underline{p}_1, \underline{p}_2, \dots, \underline{p}_n)^T, \underline{p}_i = (p_{i1}, \dots, p_{im_i})^T, 0 \leq p_{iy} \leq 1 \forall y, i, \sum_y p_{iy} = 1 \forall i \right\}$$

■ رفتار اتوماتای یادگیر سلولی نگاشت $G: \mathcal{K} \rightarrow \mathcal{K}$ است که با اعمال قانون محلی ایجاد می‌شود

■ متوسط (پاداش/جریمه) دریافتی توسط عمل r ام اتوماتای یادگیر i ام در یک پیکربندی مشخص از اتوماتای یادگیر سلولی

$$d_{ir}(\underline{p}) = \sum_{r(n_1^i)} \sum_{r(n_2^i)} \cdots \sum_{r(n_{m_i}^i)} \left(F^i \left(r, r(n_1^i), r(n_2^i), \dots, r(n_{m_i}^i) \right) \right) \cdot \prod_{n_j^i} p_{(n_j^i)r(n_j^i)}$$

■ متوسط (پاداش/جریمه) دریافتی توسط اتوماتای یادگیر i ام در یک پیکربندی مشخص از اتوماتای یادگیر سلولی

$$D_i(\underline{p}) = \sum_r d_{ir}(\underline{p}) \cdot p_{ir}$$

■ مجموع متوسط (پاداش/جریمه)‌های دریافتی اتوماتای یادگیر سلولی در یک پیکربندی خاص

$$D(\underline{p}) = \sum_{i=1}^N D_i(\underline{p})$$

• اتوماتای سلولی کاملاً شانس

– اتوماتای سلولی که در هر سلول آن یک اتوماتای کاملاً شانس وجود داشته باشد

– پیکربندی یک اتوماتای سلولی کاملاً شانس: \underline{p}^0

– مجموع متوسط (جریمه/پاداش)های دریافتی اتوماتای سلولی کاملاً شانس:

$$D(\underline{p}^0)$$

• یک اتوماتای یادگیر سلولی مصلحت‌گراست اگر

$$\lim_{n \rightarrow \infty} E[D(\underline{p}(n))] \approx D(\underline{p}^0)$$

معیارهای ارزیابی رفتار

• **درجه مصلحت گرایی**

$$M_d = 1 - \left(\frac{\lim_{k \rightarrow \infty} E[D(\underline{p}(k))]}{D(\underline{p}^0)} \right)$$

(با فرض اینکه $D(\underline{p})$ متوسط جریمه باشد)

□ $M_d < 0$ اتوماتای یادگیر سلولی از اتوماتای سلولی کاملاً شانس **بدتر** عمل می کند

□ $M_d = 0$ اتوماتای یادگیر سلولی **همانند** اتوماتای سلولی کاملاً شانس عمل می کند

□ $M_d > 0$ اتوماتای یادگیر سلولی از اتوماتای سلولی کاملاً شانس **بهتر** عمل می کند

□ $M_d < 1$: کران بالای درجه مصلحت گرایی مقدار ۱ می باشد.

انواع اتوماتای یادگیر سلولی

• همگام

- تمامی سلول‌ها با یک ساعت مرکزی همگام هستند
- اتوماتون‌های یادگیر تمامی سلول‌ها با هم فعال می‌شوند، با هم عمل انتخاب می‌کنند و با هم وضعیت خود را بروز می‌نمایند
- مناسب برای کاربردهای متمرکز یا کاربردهای توزیع‌شده‌ای که در آنها اجزاء توزیع شده همگام هستند
- نمونه کاربردها
 - انتشار شایعه
 - پردازش تصاویر
 - بازیابی تصاویر
 - قطعه‌بندی تصاویر
 - جایابی مدارهای مجتمع متراکم

انواع اتوماتای یادگیر سلولی

• ناهمگام

– در اغلب کاربردهای توزیع شده به دلیل عدم امکان همگام‌سازی تمامی سلول‌ها با یکدیگر، کاربرد بیشتری نسبت به حالت همگام دارد

– آخرین حالت هر همسایه به عنوان ورودی قانون محلی مورد استفاده قرار می‌گیرد

– Step Driven

• ترتیب فعال‌سازی به یکی از حالات زیر و یا هر حالت قابل تصور دیگری انجام می‌شود

– ترتیب ثابت

– ترتیب تصادفی

– ترتیب جدید تصادفی

– ترتیب یکنواخت

– Time Driven

• هر سلول یک ساعت داخلی دارد که آن سلول را در زمان‌های خاصی فعال می‌کند

• فعال شدن هر سلول کاملاً مستقل از فعال شدن سایر سلول‌ها صورت می‌پذیرد

• در بسیاری از کاربردهای توزیع‌شده واقعی، به دلیل عدم وجود یک مرکز تعیین ترتیب، گزینه‌ی مناسب‌تری می‌باشد

– نمونه‌ها

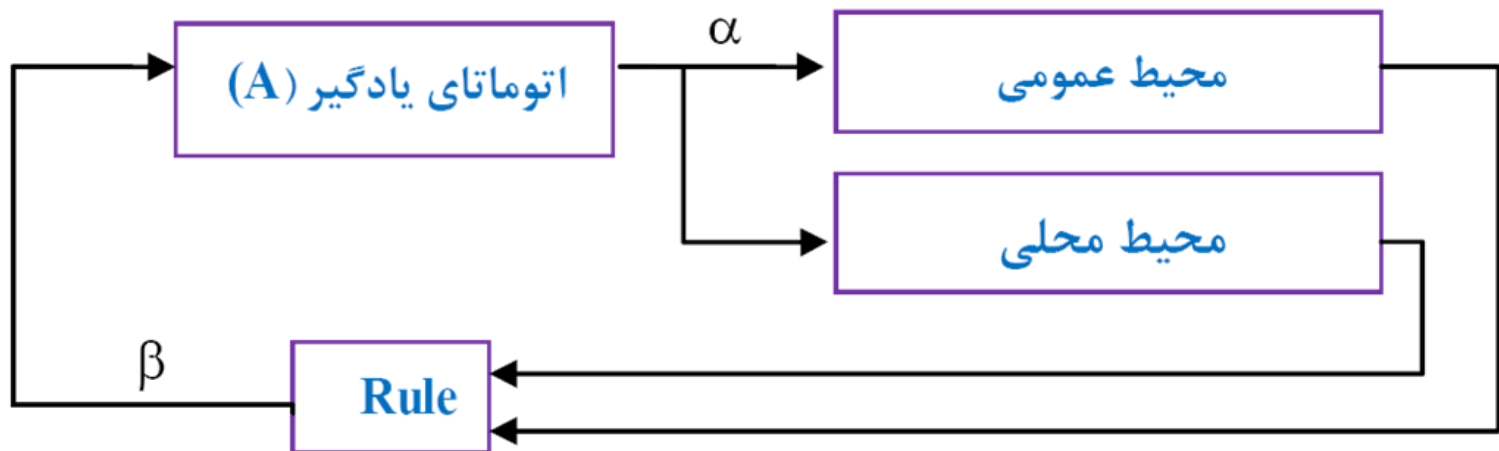
• تشخیص لبه در تصاویر

• پیمایش موضوعی وب

• اختصاص کانال پویا

انواع اتوماتای یادگیر سلولی

- بسته
 - در اتوماتای یادگیر سلولی بسته، سیگنال تقویتی تنها تابعی از عمل انتخابی هر سلول و عمل‌های انتخابی سلول‌های همسایه (محیط محلی) می‌باشد
- باز
 - در اتوماتای یادگیر سلولی باز، سیگنال تقویتی تابعی از محیط محلی و محیط سراسری می‌باشد
- نمونه‌ها
 - لبه‌یابی تصاویر
 - بهینه‌سازی (مبتنی بر ترکیب اتوماتای یادگیر سلولی باز و بهینه‌سازی گروه ذرات PSO)



انواع اتوماتای یادگیر سلولی

- شعاع همسایگی متغیر

- در اتوماتای یادگیر سلولی استاندارد شعاع همسایگی عددی از پیش تعیین شده و در طول اجرا ثابت است
- در برخی کاربردها لازم است تا شعاع همسایگی در طول زمان تغییر یابد. به طور مثال در ابتدا همه‌ی سلول‌ها در همسایگی هم در نظر گرفته شوند و در طول محاسبه شعاع همسایگی کاهش یابد و تأثیرات محلی‌تر در نظر گرفته شود
- نمونه

- جایابی مدارهای مجتمع متراکم

انواع اتوماتای یادگیر سلولی

- چند اتوماتون یادگیر در هر سلول
 - در برخی کاربردها لازم است که در هر سلول بیش از یک اتوماتون یادگیر قرار داشته باشد
- یادگیری پارامترهای مختلف در یک سلول
 - اختصاص کانال پویا در شبکه‌های سلولی سیار
- تعیین هر زیربخش از حالت سلول توسط یک اتوماتون
 - مدل ترکیبی CLA-EC

کاربردها

- شبیه سازی مدل انتشار شایعه
- تنظیم بار در گریدهای محاسباتی
- تخصیص کانال در شبکه های سلولی
- جایابی مدارات مجتمع متراکم
- شبیه سازی تکامل ماقبل حیات
- مدل سازی شبکه های تجاری
- پردازش تصاویر
 - قطعه بندی
 - تشخیص لبه
 - رفع نویز
 - واضح سازی تصویر
- خوشه بندی شبکه های حسگر بی سیم

- [۱] محمدرضا میبدی، حمید بیگی و مسعود طاهرخانی، « اتوماتای یادگیر سلولی»، در مجموعه مقالات ششمین کنفرانس انجمن کامپیوتر ایران، ص ۱۶۳-۱۵۳، ۱۳۷۹.
- [2] A Mathematical Framework for Cellular Learning *Automata*”, “ Beigy, H., and Meybodi, M. R. Advanced in Complex Systems, to appear.
- [3] Beigy, H., and Meybodi, M. R., “A Mathematical Framework for Cellular Learning *Automata*”, Advanced in Complex Systems, to appear.
- [۴] رضا رستگار و محمد رضا میبدی، «یک طبقه بندی برای اتوماتاهای یادگیر سلولی»، در مجموعه مقالات دومین کنفرانس فناوری اطلاعات و دانش، ۱۳۸۴.
- [5] M. R. Kharazmi, and M. R. Meybodi, “Application of Cellular Learning Automata to Image Segmentation”, Proceedings of Tenth Conference on Electrical Engineering (10th ICEE), University of Tabriz, Vol 1, pp. 298-306, May 2002.
- [6] M. R. Kharazmi, and M. R. Meybodi, “An Algorithm Based on Cellular Learning Automata for Image Restoration”, Proceedings of The First Iranian Conference on Machine Vision & Image Processing, University of Birjand, pp. 244 –254, March 2001.
- [7] F. Marchini and M. R. Meybodi, “Application of Cellular Learning Automata to Image Processing: Finding *Skeleton*”, Proceedings of The Third Conference on Machine Vision, Image Processing and Applications (MVIP 2005) University of Tehran, Tehran, Iran, pp. 271-280, Feb. 2005.
- [8] H. Beigy and M. R. Meybodi, “A Self-Organizing Channel Assignment Algorithm: A Cellular Learning Automata Approach”, Vol. 2690 of Springer-Verlag Lecture Notes in Computer Science, PP. 119-126, Springer-Verlag, 2003.
- [9] H. Beigy and M. R. Meybodi, “A Dynamic Channel Assignment Algorithm: A Cellular Learning Automata Approach”, Proceedings of The 2nd Workshop on Information Technology & It's Disciplines, pp. 218-231, Kish Island, Iran, February 24-26, 2004.

- [10] M. R. Meybodi and M. R. Khojaste, "Application of Cellular Learning Automata in Modeling of Commerce *Networks*", in Proceedings of 6th Annual International Computer Society of Iran Computer Conference CSICC2001, Isfahan, Iran, PP. 284-295, 2001.
- [11] M. R. Meybodi and F. Mehdipour, "VLSI Placement Using Cellular Learning *Automata*", Journal of Modares, University of Tarbeit Modares, Vol. 16, pp. 81-95, summer 2004.
- [12] M. R. Meybodi and M. Taherkhani, "Application of Cellular Learning Automata to Modeling of Rumor *Diffusion*", in Proceedings of 9th Conference on Electrical Engineering, Power and Water institute of Technology, Tehran, Iran, PP. 102-110, May 2001
- [13] R. Ghanbari and M. R. Meybodi, "Load Balancing in Grid Computing Using Cellular Learning *automata*", Technical Report, Computer Engineering Department, Amirkabir University, Tehran, Iran, 2004.
- [14] Beigy, H. and Meybodi, M. R., "*Asynchronous Cellular Learning Automata*", Proceedings of 10th Annual CSI Computer Conference o Iran, Telecommunication Research Center, Tehran, Iran, pp. 271-280, Feb. 2005.
- [15] Beigy, H. and Meybodi, M. R., "*Open Synchronous Cellular Learning Automata*", Proceedings of the 8th world Multi-conference on Systemics, Cybernetics and Informatics(SCI2004), pp. 9-15, Orlando, Florida, USA. July 18-21, 2004.
- [16] R. Rastegar and M. R. Meybodi, "A New Evolutionary Computing Model based on Cellular Learning *Automata*", to appear in proceedings of IEEE conference on Cybernetics and Intelligent Systems 2004 (CIS2004), Singapore, December 2004.