

Integração de trajetória em modelos de atratores contínuos com defeitos no padrão de células de grade

Roger P. Moreira da Silva¹, Marco Aurélio Pires Idiart²

1. Bolsista PIBIC, Instituto de Física, UFRGS – rogerpmds@hotmail.com

2. Professor orientador, Instituto de Física, UFRGS – marco.idiart@gmail.com

Introdução

Este trabalho teve como foco o estudo de modelos para células de grade, neurônios descobertos no córtex entorrinal em 2005 por Edvard Moser e May-Britt Moser[1] importantes na integração da localização do animal no espaço. Em específico foi estudado um modelo da classe de atratores contínuos proposto por Burak & Fiete (2009)[2] que descreve uma rede neural capaz de apresentar comportamento semelhante ao observado nas células de grade. Uma peculiaridade destes neurônios é o padrão de disparos conforme o animal se move, que forma um formato hexagonal (Fig. 1), dando assim origem ao seu nome.

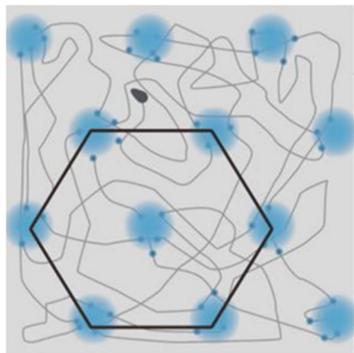


Figura 1 Cinza: Trajetória do rato no espaço real. Azul: Local em que o neurônio apresentou atividade. Retirada de [3];

Figura 1

A rede - Características

O modelo proposto por Burak & Fiete (2009)[2] descreve a atividade neural da rede por meio de uma equação diferencial que relaciona neurônios que compõem uma rede de tamanho $n \times n$ em uma caixa bidimensional. A equação é:

$$\tau \frac{ds_i}{dt} + s_i = f \left[\sum_j W_{ij} s_j + B_i \right]$$

Onde τ é a constante de resposta de um neurônio, s_i é a atividade do neurônio “i”, a função f é uma função em que $f(x) = x$ se $x > 0$ e $f(x) = 0$ se $x \leq 0$, onde B_i equivale ao estímulo externo e W_{ij} é a matriz de pesos sinápticos entre os neurônios “i” e “j” tal que:

$$W_{ij} = -\tanh(d) \left(\frac{W_{top} + W_{bottom}}{2} \right) - W_{width} + \left(\frac{W_{top} - W_{bottom}}{2} \right) + H[x - 2W_{width}] e^{-(d-2W_{width})}$$

Onde as constantes utilizadas em W_{ij} foram $W_{top} = 0$, $W_{bottom} = 0,07$, $W_{width} = 8$, d equivale a distância na rede entre os dois neurônios.

Ao realizar simulações computacionais é possível gerar um mapa da rede neural bidimensional em que é possível observar a atividade de cada neurônio (cada ponto do gráfico representa um neurônio). Com isto é esperado que a rede neural apresente um padrão hexagonal assim como observado nos estudos experimentais. Uma rede gerada é vista ao lado (Fig. 2)

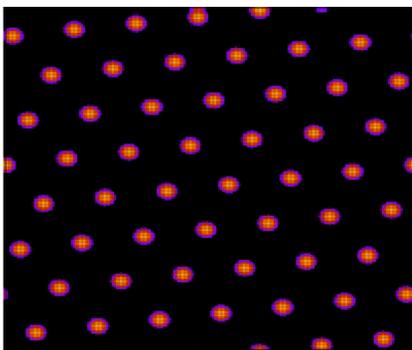
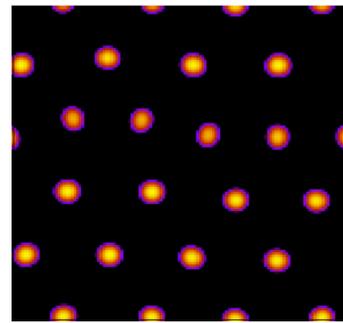


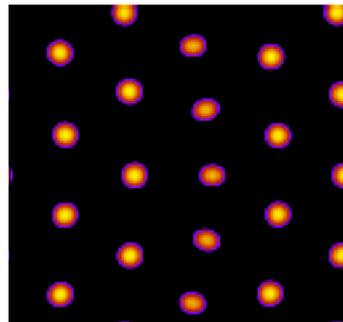
Figura 2. Rede neural. A cor representa a intensidade da atividade neural em um dado neurônio.

A existência de defeitos

Ao realizar simulações computacionais utilizando a linguagem CUDA-C, foi observado que a maioria das redes neurais geradas não apresentam padrões hexagonais perfeitos.



Em geral estes defeitos na rede são problemas de conformação, onde o padrão em que a rede se estabilizou não é adequado para o tamanho de rede simulado.



Ao lado existem dois exemplos de redes neurais que apresentam deformações em seus padrões (Fig. 3).

Figura 3. Redes neurais com defeitos. É possível observar que as redes apresentam regiões não hexagonais.

Os tipos de defeitos

Ao longo do estudo da existência de irregularidades conforme a rede se forma, foram observados principalmente dois tipos de defeitos: As deformações conformes e os defeitos de linha.

O tipo de deformação conforme acontece quando os picos de atividade sofrem uma deformação semelhante em toda a rede, de forma que altere o padrão hexagonal regular. Os picos de atividade sofrem deformações semelhantes a pressões que alteram as distâncias entre eles. Sendo assim as distâncias dos picos na vertical tornam-se diferentes das distâncias na horizontal.

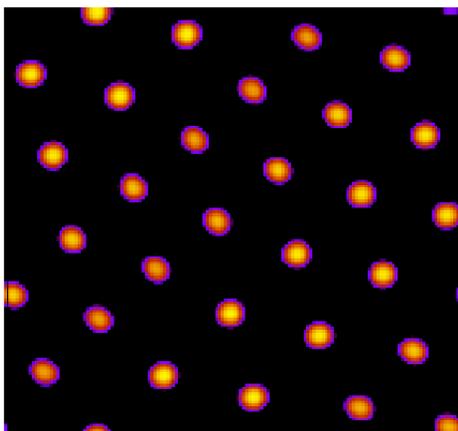


Figura 4. Rede com padrão de atividade que apresenta defeito de linha. Os picos de atividade na terceira e quarta diagonal estão cisalhados em relação à rede.

Visualmente as deformações conformes são facilmente confundidas com o padrão hexagonal perfeito e somente são observadas com medidas mais precisas, tais como medir as distâncias individuais entre os picos de atividade.

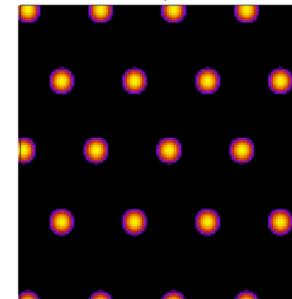
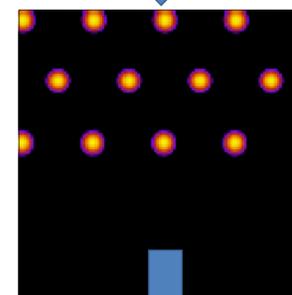
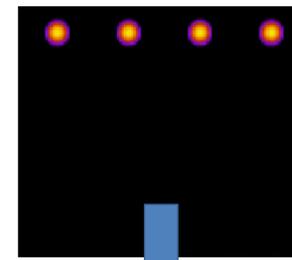
Os defeitos de linha, diferentemente das deformações conformes são defeitos que ocorrem somente em uma região específica da rede, podendo ser observados mais facilmente. Esses defeitos são caracterizados pela presença de uma linha de irregularidades onde as distâncias entre os picos de atividade tornam-se muito diferentes do padrão hexagonal formado pela rede. Este tipo de defeito acontece devido a existência de dois padrões hexagonais formados logo no início da simulação e que conforme a evolução da rede tornam-se incapazes de serem encaixados, formando assim o defeito.

A excitação em forma de onda

Em estudos da atividade neural do hipocampo, foram observados padrões de disparo em formato de onda, de forma que a atividade neural se desloca pela rede e percorre a rede, assim como uma onda.

Sendo observado que o defeito de linha surge devido ao aparecimento de dois padrões incompatíveis em diferentes regiões da rede, a excitação em formato de onda nos pareceu um bom mecanismo para ordenar o aparecimento do padrão e assim corrigir os defeitos de linha no modelo de células de grade.

As imagens ao lado retratam a inicialização da rede e é possível observar que conforme a rede evolui no tempo, ela mantém seu padrão hexagonal bastante definido até mesmo sem apresentar rotações, desta forma ficando no padrão esperado.



Discussão e conclusão

A rede neural do modelo de Burak & Fiete[2] ao ser simulada apresenta diversos defeitos não discutidos no estudo de 2009. Estes defeitos divergem do observado experimentalmente, visto que a maioria das células de grade observadas são bastante hexagonais. A correção para o modelo é utilizar uma excitação que faça com que a evolução da rede se dê na forma de uma onda, que impede a rede de gerar defeitos locais impossíveis de serem corrigidos após a inicialização da rede como um todo.

Referências

- Hafting, T., Fyhn, M., Molden, S., Moser, M.-B. & Moser, E. I. Microstructure of a spatial map in the entorhinal cortex. *Nature* 436, 801–806 (2005).
- Burak, Y. & Fiete, I.R. Accurate path integration in continuous attractor network models of grid cells. *PLoS Comput. Biol.* 5, e1000291 (2009).
- <http://www.brainfacts.org/-/media/Brainfacts/Article-Multimedia/Brain-Basics/Neuroanatomy/Grid-Cells-diagram-BF.ashx>

Consultados em 14/09

Agradecimentos:

