

Propagação de doenças: um estudo através de autômatos celulares

Um dos métodos mais utilizados na simulação de sistemas complexos é o método de autômatos celulares. Neste método, considera-se um conjunto de células em que cada uma pode estar em um conjunto finito e discreto de diferentes estados. Para cada célula define-se uma vizinhança, um conjunto de outras células com as quais ela interage. A partir disso, um estado inicial do sistema é gerado e a evolução temporal se dá através de regras de transição entre os estados possíveis da célula que depende do estado de sua vizinhança.

Para exemplificar o método vamos considerar um modelo extremamente simplificado da propagação de uma doença contagiosa. Considere uma rede quadrada em duas dimensões onde cada sítio representa uma pessoa. Os estados possíveis de cada célula (pessoa) são: **Suscetível**, quando a pessoa está suscetível a ser infectada pela doença; **Infectada**, quando a pessoa está infectada e transmitindo a doença; e, **Recuperada**, quando a pessoa, após ser infectada, se cura da doença e passa a não ser mais suscetível à doença. Esse é o famoso modelo SIR. Assim, se uma pessoa infectada estiver na vizinhança de uma pessoa suscetível ela poderá contaminá-la com uma dada probabilidade, p_c , em cada passo de tempo. Podemos atribuir também uma probabilidade, p_r , de uma pessoa contaminada se recuperar. Desta forma, a cada passo de tempo, o estado de toda a rede (todos os indivíduos) será atualizado seguindo as probabilidades definidas. Dependendo da condição inicial do sistema, isto é, do número e da disposição espacial dos infectados, da vizinhança considerada e das probabilidades definidas, o estado final do sistema pode variar enormemente. Além disso, por estarmos considerando que os processos de contaminação e recuperação ocorrem com uma determinada probabilidade, em cada realização do experimento, o resultado final poderá ser diferente.

Provavelmente neste ponto você já percebeu que a simulação desse sistema apresenta grandes similaridades com a simulação do modelo de Ising pelo método de Metropolis. De fato, é bem semelhante, mas perceba que os objetivos e teoria subjacente são muito diferentes. No caso da simulação da propagação de uma doença o estado final do sistema será um estado que conterà apenas indivíduos suscetíveis e recuperados e a dinâmica cessará. Isto não ocorreria numa simulação de Monte Carlo, já que sempre haverá uma probabilidade, por menor que possa ser, de o estado do sistema se modificar.

Na primeira parte da tarefa proposta para esta semana vocês devem fazer uma simulação do modelo SIR pelo método de autômatos celulares. Vocês devem considerar uma rede quadrada e interação entre primeiros vizinhos, assim como fizemos para o modelo de Ising. Como condição inicial considere que um indivíduo qualquer da rede está contaminado e que os demais são suscetíveis e que há condições de contorno periódicas, aproveitando a tabela de vizinhos que já havia sido criada para o modelo de Ising. Escolha livremente 3 conjuntos diferentes para

as probabilidades de contaminação, p_c , e recuperação, p_r . Apresente seus resultados através de gráficos com as populações médias de indivíduos Suscetíveis, Infectados e Recuperados em diferentes realizações (execute entre 5 e 10 vezes o método para diferentes sequências de números aleatórios). Apresente, também, para diferentes estágios da evolução temporal e para cada um dos conjuntos de probabilidades considerado, uma visualização da distribuição espacial dos indivíduos, ou seja, gráficos da rede quadrada mostrando através de cores diferentes os estados de cada um dos indivíduos. A ideia é termos com isso uma visualização mais clara de como a doença se espalha na rede.

As possibilidades de exploração deste problema são quase infinitas! Fiquem à vontade em modificar condições ou o modelo. Brincar com esse modelo e com esse método pode ser bem divertido. Uma sugestão de simulação que pode ser fácil e bem instrutiva é considerar uma rede mundo pequeno ao invés da rede quadrada proposta. Quais diferenças surgem na propagação da doença neste caso?

Referências

- Gledson Melotti, [Aplicação de Autômatos Celulares em Sistemas Complexos: Um Estudo de Caso em Espalhamento de Epidemias](#)
- S.C. Fu and G. Milne. [Epidemic modelling using cellular automata](#). In Proceedings of the 1st Australian Conference on Artificial Life (ACAL'03), Canberra, December 2003.
- Sharon Chang, [Cellular Automata Model for Epidemics](#), UC Davis, 2008.