



Sistemas Complexos

2014/2015

Projectos

Ernesto Costa

1 Introdução

Este texto destina-se a apresentar os vários projectos práticos, a realizar fora das aulas, no âmbito da avaliação da disciplina de Sistemas Complexos do Mestrado em Engenharia Informática. Os trabalhos são **individuais**, devendo cada aluno indicar, por ordem de preferência, **três** projectos a que se candidata, indiciando de modo claro o **código** do trabalho e o **título**. A data limite para a escolha é **2 de Maio de 2015** e o resultado será divulgado até **3 de Maio**. A entrega deverá ser feita até **05 de Junho de 2015**, através de correio electrónico para ernesto@dei.uc.pt¹. A qualidade do trabalho será avaliada em função do valor intrínseco do que foi realizado, isto é, da metodologia, dos resultados a que se chegou e da avaliação crítica desses resultados. Também terá em linha de conta o valor do documento descritivo do trabalho e a sua eventual defesa pública. O documento pode ser escrito em português ou em inglês.

O documento tem uma dimensão **máxima** de 15 páginas, podendo no entanto em casos excepcionais e justificados (por exemplo, um número elevado de tabelas e gráficos) ter este limite ultrapassado. Será facultado um modelo para o documento que ajudará a perceber o que se pretende. Tenha em atenção que se trata apenas de um modelo e não de um colete de forças que está obrigado a seguir. Para além do documento, deve ainda ser entregue todo o material que permita reproduzir as eventuais experiências realizadas. Caso já foi referido, caso se justifique haverá lugar a uma apresentação/defesa pública do trabalho, com a presença de todos os alunos, em data a combinar, mas nunca depois da data do exame normal.

Para a realização do trabalho o aluno pode consultar todas as fontes que julgar pertinentes, devendo no entanto indicar sempre a sua origem, sendo motivo de anulação da prova e reprovação o recurso a plágio. Este trabalho **não** se destina a avaliar competências no domínio da programação, pelo que, caso necessite, o estudante é livre de utilizar código fornecido pelo docente, ou código feito por si ou mesmo código de outros autores. Uma vez mais apenas se exige a indicação da origem.

Na cadeira de Sistemas Complexos discutimos sistemas, modelos e simulações. O objectivo maior é o de entender o comportamento de longo termo de diversos sistemas através de simulações computacionais de diferen-

¹Uma versão em papel do trabalho pode, **em complemento**, ser entregue na Secretaria do DEI

tes tipos de modelos. Os trabalhos que a seguir se apresentam levantam desafios de natureza diversa, uns mais teóricos outros mais aplicacionais. Alguns pretendem aprofundar o que foi dado nas aulas, outros destinam-se a colocar novos desafios. É livre de escolher em função dos seus interesses.

2 Problemas

Segue-se uma descrição dos diferentes problemas. Mais uma vez: quando enviar as suas preferências, não se esqueça de indicar o código e o nome das suas preferências.

2.1 TP1- O modelo de Ising

Descrição Sumária

Todos conhecemos o caso da água que se pode encontrar em diferentes estados: sólido, líquido ou gasoso. Estar num ou em outro dos estados possíveis depende da temperatura e o modo como esta condiciona a organização molecular da água. Sabemos que a transição entre estados, também designada por **transição de fase**, acontece repentinamente. Para entender o fenómeno da transição de fase foram propostos vários modelos, sendo que o Modelo de Ising é dos mais populares. Sendo na origem um modelo para sistemas físicos, na realidade trata-se de um modelo matemático do ferromagnetismo em mecânica estatística, tem sido também usado noutros contextos como, por exemplo, os mercados financeiros ou os sistemas sociais.

Objectivos

O objectivo deste trabalho é o de implementar e estudar o Modelo de Ising, na sua versão original. A forma mais simples de implementar consiste em considerar um mundo 2D em que cada célula do mundo pode estar num de dois estados possíveis (-1 e 1). Podemos considerar que a mudança de estado de cada célula depende probabilisticamente do estado dos seus vizinhos, ou então admitir que cada célula é capaz de sentir o estado global da grelha (aproximação conhecida por teoria do campo médio). Analise o comportamento do modelo nas duas situações definidas, estudando o comportamento no espaço e no tempo. Identifique a existência de transições de fase.

2.2 TP2- Fogos Florestais

Descrição Sumária

Os autómatos celulares são modelos matemáticos discretos que evoluem no espaço e no tempo sendo usados como modelos de vários sistemas. Para além da estrutura celular, a sua definição inclui os estados possíveis de cada célula do autómato, o conceito de vizinhança e as regras de transição de estado. As transições, no modelo padrão, são determinísticas e ocorrem em paralelo. Existem diversas variantes dos AC, nomeadamente os AC probabilísticos e os AC em que a actualização dos estados das células é assíncrono. As versões probabilísticas permitem simular diversos tipos de sistemas. Vamos ver o caso dos fogos florestais.

Objectivos

Pretende-se implementar uma variante probabilística de um AC 2D de simetria rectangular. Vamos usar o modelo para estudar o modo como os fogos florestais se podem propagar. Considere que no seu mundo 2D existem árvores, podendo a sua densidade variar. As árvores podem estar num de três estados: (1) em bom estado, (2) a arder ou (3) carbonizadas. Estude o comportamento do sistema quando considera diferentes densidades iniciais para as árvores, diferentes vizinhanças e regras de passagem de estado (bom estado para arder, arder para carbonizada). Tente perceber em que condições o fogo pode ser contido, analisando o tempo que demora a estabilizar em função da densidade inicial de árvores. Por fim, tente tornar o seu modelo mais completo do modo que lhe parecer mais acertado, por exemplo, prevendo a possibilidade de aparecerem (nascerem) novas árvores.

2.3 TP3- Propagação de Doenças

Descrição Sumária

Ao longo dos tempos a humanidade foi confrontada com epidemias de doenças, seja no passado a peste negra, seja nos nossos dias a gripe ou o Ébola. O modo como se combate a propagação da doença é fundamental para se evitar uma tragédia de grandes dimensões. Vamos fazer um estudo simples de propagação de doenças tendo por base o modelo **SIR** que significa os três estados em que uma pessoa se pode encontrar: (1) Susceptível (de ser infectada), (2) Infectada e (3) Recuperada. Existem algumas variantes, como seja o modelo **SIS** em que uma pessoa passa de susceptível a infectada e de novo a susceptível (não fica neste caso imunizada), ou a variante **SEIR** em

que uma pessoa susceptível (S) tem que estar um tempo exposta (E) antes de ser infectada (I) e mais tarde recuperar (R).

Objectivos

Pretende-se estudar estes modelos matematicamente e através do recurso a simulações. Tente estudar diferentes situações possíveis, i.e., diferentes vizinhanças, diferentes regras de transição, para a propagação poder ou não ser controlada. Tente comparar os resultados com os previstos pelos modelos analíticos.

2.4 TP4- Jogo do Prisioneiro Iterado

Descrição Sumária

O **Dilema do Prisioneiro** é um jogo de soma zero envolvendo dois jogadores, e usado para estudar o problema da emergência (ou não) da cooperação. Na sua versão de base, dois supostos ladrões (**A** e **B**) são presos e colocados em duas células sem possibilidade de comunicar. A cada um deles é feita uma proposta: caso confessem e testemunhem contra o seu companheiro de infortúnio serão libertados enquanto o parceiro terá uma pena de 5 anos, a menos que o seu colega também tenha o mesmo comportamento, caso em que a pena é de 3 anos. Se nenhum dos dois presos denunciar o parceiro, serão ambos condenados a 1 ano de cadeia. Perante esta situação, para cada um a melhor estratégia parece ser a de denunciar: caso o outro não denuncie ficamos livres, caso também denuncie apanhamos 3 anos em vez de 5. Se ambos cooperarem entre si, isto é se mantiverem calados, então a sentença será de 1 ano para cada um. A tabela 1 ilustra a situação.

		B	
		Denuncia	Cala-se
A	Denuncia	(3,3)	(0,5)
	Cala-se	(5,0)	(1,1)

Tabela 1: Dilema do Prisioneiro

Deve ser referido que os valores concretos que se colocam na matriz não são determinantes para a evolução do jogo. O importante é a **relação** entre os diferentes valores. A diferentes relações entre as diferentes situações (tentação para denunciar, ser ingénuo e não denunciar, punição por não cooperar com a polícia, e recompensa por não denunciar) correspondem diferentes tipos

de jogos. Quando o jogo é repetido N vezes, e cada jogador eventualmente altera o seu comportamento face ao comportamento do outro, dizemos que estamos perante o jogo do Dilema do Prisioneiro Iterado.

Objectivos

Pretende-se simular o Dilema do Prisioneiro Iterado, isto é, simular o que acontece quando se jogam vários jogos do prisioneiro em sequência. Vamos fazê-lo do seguinte modo. Em primeiro lugar, colocamos os jogadores numa grelha 2D e atribuímos a cada um uma estratégia. A situação mais básica corresponde a considerar cada prisioneiro num de dois estados: denunciar ou calar-se. Atribuímos uma mudança de comportamento em função do comportamento dos vizinhos, e analisamos o que acontece para diferentes configurações iniciais (i.e., proporção de denunciadores e de calados) e diferentes regras de transição. Nesta parte não há jogo propriamente dito, mas apenas perceber como a observação do comportamento dos meus vizinhos influencia o comportamento do conjunto dos jogadores. Feito este estudo, vamos complicar um pouco o cenário. Admita que cada jogador tem a seguinte estratégia: cala-se até ao jogo de ordem k ou até o outro jogador denunciar (o que acontecer primeiro) e depois denuncia até ao final. Inicie o jogo com jogadores com diferentes estratégias $E(k)$, com k a variar entre 0 (denuncia sempre) e o número N de jogos (mantém-se sempre calado). Analise o jogo dividindo-o em duas fases: competição e reprodução. Na primeira, é feita uma competição, vários jogos, entre pares de jogadores e guarda-se a pena final. Na segunda, cada jogador adopta a estratégia que é a melhor de entre os seus vizinhos, caso seja melhor do que a sua. E o ciclo competição reprodução é repetido. A vizinhança pode ser definida de diferentes modos (e.g., Von Neumann, Moore).

2.5 TP5- Sistemas Parasita - Hospedeiro

Descrição Sumária

Sabemos que existem na natureza muitas situações em que parasitas habitam um hospedeiro, sendo que nuns casos provocam a morte do hospedeiro enquanto que noutras isso não acontece. Suponha um modelo 2D em grelha, no qual as células ou estão vazias ou estão habitadas por um organismo. O organismo pode estar saudável ou infectado. Admita que o organismo infectado tem uma certa probabilidade de morrer, seja imediatamente seja após algum tempo. Admita também que um organismo saudável pode ficar probabilisticamente infectado em função do número de vizinhos infectados.

Objectivos

Pretende-se estudar o comportamento deste sistema para diferentes situações iniciais (percentagem de organismos saudáveis e de infectados), diferentes vizinhanças, diferentes probabilidades de morte ou de ficar infectado. Queremos visualizar não apenas a evolução no tempo e no espaço do sistema, mas também obter os gráficos com a evolução dos organismos saudáveis e infectados ao longo do tempo.

2.6 TP6- Formação de Agregados

Descrição Sumária

Suponha um mundo em que existe um tipo de objectos que pode estar num de dois estados: activo ou inactivo. As entidades activas movimentam-se de modo aleatório. Sempre que têm uma entidade na sua vizinhança que está inactiva passam também elas ao estado inactivo. As entidades inactivas nunca passam ao estado activo. Para além disso, o mundo onde as entidades vivem é limitado pelo que uma entidade em movimento pode ultrapassar a fronteira do mundo e desaparecer.

Objectivos

Vamos estudar o comportamento no espaço e num tempo de um sistema com estas entidades. Em particular, vamos estudar o que acontece para diferentes situações iniciais (número fixo ou aleatório de entidades em cada estado, no limite uma só entidade inactiva no *centro* do mundo), e vizinhanças (Moore, Von Neuman ou outra).

2.7 TP7- Modelo de Pilha de Areia

Descrição Sumária

O modelo de **Pilha de Areia** de Per Bak e colegas é um modelo que permite simular fenómenos como os tremores de terra e dá corpo à teoria da criticidade auto-organizada. Neste modelo temos um mundo 2D, **finito**, em que cada célula pode ter um número de grãos de areia entre 0 e 4. No caso da célula ter quatro grãos diz-se que está no estado crítico e vai originar uma avalanche de grãos de areia em que os seus 4 grãos vão ser distribuídos um para cada um dos quatro vizinhos (norte, este, sul, oeste). Inicialmente os grãos de areia por célula são colocados aleatoriamente. Ao longo do tempo, é colocado um grão de areia numa célula escolhida ao acaso (ou um grão de areia

no centro da grelha). Este processo pode originar que outras células atinjam o seu estado crítico (quatro grãos) e também elas passam os seus 4 grãos aos seus vizinhos, que por sua vez podem alcançar o estado crítico... O número de vezes que este processo se repete em cadeia, até estabilizar, traduz-se por um número que se designa por dimensão da avalanche. Quando a avalanche termina, retoma-se o processo de acrescentar grãos de areia. Quando uma avalanche ocorre no limite do mundo alguns dos grãos de areia perdem-se, pois o mundo é limitado.

Objectivos

Pretende-se estudar o fenómeno das avalanches para o que precisamos de implementar o modelo de pilha de areia. Vamos atribuir cores a cada um dos valores possíveis de grãos de areia (entre zero e 4) e simular a dinâmica do mundo. Vamos iniciar o mundo com diferentes probabilidades para os valores iniciais, entre zero e quatro e perceber a sua influência. Vamos estudar também a dimensão das avalanches e o tempo que demoram e fazer um gráfico que relacione a dimensão da avalanche com o número de vezes que ocorre durante uma simulação.

2.8 TP8- Sincronização

Descrição Sumária

Todos já tivemos a experiência de no final de um espectáculo a ovação do público começar por ser desconexa, para pouco depois todos baterem palmas em uníssono. A emergência de sincronismo é um fenómeno conhecido, por exemplo em biologia, em química, em sistemas sociais e em grupos de indivíduos. O sincronismo emerge a partir de interacções locais sujeitas as regras simples. Um exemplo conhecido é o do sincronismo do disparo de luz dos pirilampos. Vamos procurar estudar o fenómeno através de uma simulação computacional simples, usando precisamente o caso dos pirilampos. Cada pirilampo pisca com uma dada frequência natural que pode ser alterada dentro de determinados limites. Depois de piscar existe um período em que o pirilampo está inibido de voltar a piscar.

Objectivos

Assuma um mundo 2D onde estão colocados alguns pirilampos cada um com a sua frequência de disparo. Quando um pirilampo vê os seus vizinhos a piscar tem tendência para antecipar o seu piscar e alterar o seu período. Por outro lado, se no momento em que pisca a generalidade dos seus vizinhos não

tiver piscado tem tendência para na vez seguinte piscar mais tarde, ou seja, aumenta o seu período. Com base nestas ideias simples estude as condições que permitem a emergência e estabilização do sincronismo. Admita que a amplitude do sinal luminoso é irrelevante.

2.9 TP9- Congestão de Tráfego

Descrição Sumária

Numa das aulas vimos um exemplo de um AC 1D que permitia simular o aparecimento de congestão no tráfego. Este fenómeno ocorre não apenas em redes viárias mas também, por exemplo em redes de computadores, redes de distribuição de energia, ou redes de comunicações móveis. Vamos analisar uma versão mais complexa de rede viária, mas, mesmo assim com simplificações que mantêm o problema com uma complexidade aceitável. Admita por isso que tem um autómato 2D e em que em cada célula pode estar vazia ou ter um carro. O carro tem uma direcção de movimento associada (Norte, Este, Sul ou Oeste).

Objectivos

Defina as regras de transição do AC e tente perceber as condições que levam ao aparecimento de congestão. Existe um fenómeno de transição de fase(fluxo, congestão)? Actualizar de modo síncrono ou assíncrono faz alguma diferença? A colocação de semáforos em que medida altera o problema?

2.10 TP10- Recolha de objectos

Descrição Sumária

Suponha um mundo onde vivem formigas e pedaços de madeira dispostas de modo aleatório. As formigas podem deslocar-se no mundo, fazendo-o de modo aleatório. Sempre que na sua vizinhança encontram um pedaço de madeira e não têm nenhum consigo, recolhem-no e continuam o passeio. Caso encontrem pedaços de madeira na sua vizinhança quando já transportam um pedaço de madeira depositam-no na célula onde estão as outras.

Objectivos

Pretendemos estudar o comportamento macro de um sistema com estas características, analisando-o no espaço e no tempo. Queremos saber a influência da densidade inicial de pedaços de madeira (apenas um por célula no início)

e de densidade de formigas. Igualmente, pretendemos analisar o tipo de vizinhança utilizada (Moore, Von Neumann ou outra). Caso introduza um conceito de limiar **acima** do qual não há mais depósito, o que acontece? Caso considere que no início algumas células podem ter mais do que um pedaço de madeira e exista um limiar **mínimo** para o depósito, o que acontece?