

Tópico 1: Introdução à Computação Natural

1. Motivação

- A computação natural é constituída por novas abordagens de computação caracterizadas por uma maior proximidade com a natureza.
- Seus resultados e transformações podem vir a ser marcantes em nossas vidas.
- Existem várias razões para se estudar a computação natural:
 - Possibilidade de desenvolver novas ferramentas computacionais para a solução de problemas complexos (de engenharia);
 - A possibilidade de projetar dispositivos (computacionais) que simulam, emulam, modelam e descrevem sistemas naturais;
 - A possibilidade de sintetizar novas formas de vida; e

- A possibilidade de utilizar mecanismos naturais, como cadeias de DNA e dispositivos mecânicos quânticos, como novos paradigmas de computação em substituição aos computadores atuais baseados em silício.
- Exemplos de objetos inspirados na natureza:
 - Velcro (plantas); Coletes a prova de bala (teias de aranha); Sonares (morcegos); Aviões (pássaros); Submarinos (peixes); etc.
- Além disso, a observação da natureza permitiu o desenvolvimento de diversas leis e teorias sobre como a natureza opera. Por exemplo, as leis da física:
 - Leis da termodinâmica (conservação, entropia, e zero absoluto); leis do movimento (leis de Newton); leis do eletromagnetismo (leis de Maxwell); etc.
- *A computação natural pode ser vista como uma versão computacional do processo de extração de idéias da natureza para o desenvolvimento de sistemas “artificiais”, ou então a utilização de meios e mecanismos naturais para realizar computação.*

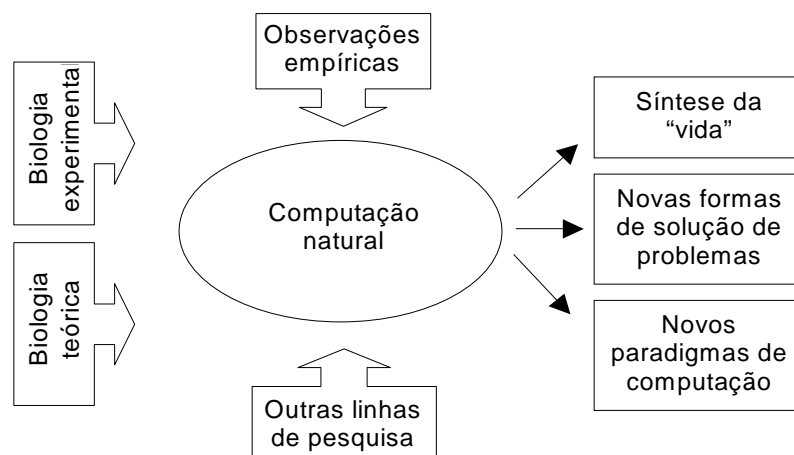
- É importante salientar que a palavra “artificial” neste contexto significa apenas que os sistemas são desenvolvidos por seres humanos ao invés de serem resultantes de processos naturais.
- A computação natural pode ser dividida em três grandes partes:
 - *Computação inspirada na biologia*: utiliza a natureza como fonte de inspiração para o desenvolvimento de novas técnicas de solução de problemas;
 - *Biologia inspirada na computação*: trata-se basicamente de um processo de síntese que objetiva criar formas, padrões e comportamentos similares àqueles conhecidos na natureza. Além disso, algumas áreas visam o desenvolvimento de organismos artificiais; e
 - *Biocomputação*: corresponde ao uso de mecanismos naturais para computar. Trata-se de um novo paradigma de computação que vem com o objetivo principal de substituir as arquiteturas computacionais conhecidas atualmente.

- *Sendo assim, é possível definir a computação natural como sendo a linha de pesquisa que, baseada ou inspirada na natureza: 1) permite o desenvolvimento de novas ferramentas de computação (em software e/ou hardware) para a solução de problemas; 2) resulta em processos de síntese de padrões, formas, comportamentos e organismos; e 3) que utiliza mecanismos naturais para o desenvolvimento de novos tipos de computadores.*
- Portanto, a computação natural é uma linha de pesquisa que depõe contra a especialização de disciplinas.
- Ela mostra, com suas três principais áreas de atuação, que o conhecimento em diversas linhas de pesquisa é necessário para uma maior compreensão da natureza, para o estudo e simulação de sistemas e processos naturais, e para o desenvolvimento de novos paradigmas de computação.
- Físicos, químicos, engenheiros, matemáticos, biólogos, etc., todos contribuem e trocam idéias para o desenvolvimento da computação natural.

- É importante salientar que o desenvolvimento da computação natural também resulta em benefícios para as ciências naturais (biociências), como a biologia.
- Diversas ferramentas, algoritmos e sistemas computacionais desenvolvidos em computação natural são empregadas para solucionar problemas em áreas como biologia, bioinformática, imunologia, etc., e também podem ser empregados como modelos abstratos de fenômenos naturais, podendo resultar assim em um melhor entendimento da natureza.
- *Este curso visa fornecer uma visão geral da ampla área de computação natural, apresentando conceitos básicos, pseudocódigos para algoritmos, discussões teóricas e filosóficas sobre temas específicos, guiando os alunos para a literatura relevante e sites na Internet aonde procurar informações de qualidade sobre os tópicos abordados, e propondo uma série de atividades teóricas, filosóficas e computacionais para garantir uma maior fixação dos conceitos abordados.*

2. Filosofia da Computação Natural e suas Sub-Áreas

- Como é possível descobrir regras e mecanismos naturais que podem ser úteis sob uma perspectiva computacional?
- A computação natural geralmente enfatiza modelos altamente simplificados e abstratos da natureza. (A lâmina de Occam – Occam's razor)



2.1. Computação Inspirada na Biologia

- Este curso irá abordar quatro tópicos da computação inspirada na biologia:
 - Computação evolutiva
 - Inteligência coletiva
 - Neurocomputação
 - Imunocomputação

2.2. Biologia Inspirada na Computação

- Tópicos a serem abordados:
 - Vida artificial e autômatos celulares
 - A geometria computacional da natureza

2.3. Biocomputação

- Tópicos a serem abordados:
 - Computação de DNA
 - Computação quântica

3. Inteligência Artificial e Computação Natural

- Em diversas situações é possível perceber uma confusão entre as várias nomenclaturas existentes, por exemplo, *inteligência artificial*, *inteligência computacional*, *computação flexível (soft computing)* e *sistemas complexos*.
- Entretanto, existem razões históricas para estas diferentes nomenclaturas e também algumas pequenas diferenças conceituais entre o que cada uma delas trata.

3.1. O Nascimento da IA

- Considera-se que a inteligência artificial (IA) surgiu formalmente como uma nova linha de pesquisa em meados de 1956, durante uma escola de verão no Campus da Faculdade de Dartmouth em Hanover, New Hampshire.
- Neste encontro, pesquisadores e estudantes se juntaram para discutir a possibilidade de criar ferramentas computacionais inteligentes.

- Dentre os participantes, vários foram importantes para o desenvolvimento da IA, como John McCarthy, Marvin Minsky, Herbert Simon, e Allen Newell.
- Este encontro aconteceu apenas algumas semanas antes do simpósio intitulado “Mecanismos Cerebrais do Comportamento”, que levou ao surgimento das *ciências cognitivas*.
- Após várias tentativas frustradas por parte da IA para o desenvolvimento de sistemas capazes de resolver uma grande quantidade de problemas, denominados *resolvedores universais de problemas* (*General Problem Solvers* – GPS), os pesquisadores começaram a perceber as limitações destas abordagens e passaram a enfocar ferramentas de uso dedicado.
 - Abandono das tentativas de implementar *resolvedores universais de problemas*.
- As técnicas mais tradicionais de inteligência artificial eram simbólicas, ou seja, propunham que uma manipulação algorítmica de estruturas simbólicas é necessária e suficiente para o desenvolvimento de sistemas inteligentes.

- Esta tradição simbólica também engloba as abordagens baseadas em lógica, nas quais os símbolos são utilizados para representar objetos e relações entre objetos, e estruturas simbólicas são utilizadas para representar fatos conhecidos.
- Uma característica marcante da IA clássica era a forma utilizada para construir o sistema inteligente.
- Existia uma visão procedural sugerindo que sistemas inteligentes poderiam ser projetados codificando-se conhecimentos especialistas em algoritmos específicos. Estes sistemas foram denominados genericamente de sistemas baseados em conhecimento (*knowledge-based systems*) ou sistemas especialistas (*expert systems*).
- Exemplo: sistema para diagnóstico médico.
- Atualmente a IA clássica envolve basicamente os sistemas especialistas, diversos métodos de busca, alguns sistemas baseados em agentes, e sistemas de raciocínio ou inferência baseados em lógica.

3.2. O Divórcio entre IA e Computação Inteligente

- Em meados dos anos 1960, novos sistemas começaram a ser desenvolvidos através da observação de outros fenômenos inteligentes naturais além da inteligência humana.
- Quem classificaria o mecanismo utilizado pelos cupins para a construção de seus ninhos como um comportamento inteligente?
- Vários outros exemplos existem na natureza: evolução das espécies, construção de colméias de abelhas, coleta de comida por formigas, etc.
- A dificuldade encontrada pela IA clássica em prover suas promessas (robôs inteligentes, etc.), geraram várias discordâncias entre ela e as abordagens mais recentes como redes neurais artificiais. Um dos motivos principais era, é claro, a disputa por financiamentos.

- Houve então uma necessidade de dissociar redes neurais das técnicas de IA clássica, e, para isso, criou-se uma nova linha de pesquisa denominada de *inteligência computacional*.
- A inteligência computacional engloba principalmente as redes neurais artificiais, a computação evolutiva, os sistemas nebulosos, e mais recentemente, a inteligência coletiva e os sistemas imunológicos artificiais.

3.3. Computação Natural e as Outras Nomenclaturas

- Diversas outras nomenclaturas existem, como computação flexível (*soft computing*) e sistemas complexos.
- A computação flexível foi um termo introduzido por L. Zadeh para descrever uma nova metodologia de computação que permitiu a manipulação de variáveis lingüísticas e raciocínio aproximado.

- Atualmente, computação flexível é o termo utilizado para descrever basicamente técnicas híbridas de computação inteligente, como sistemas neuro-nebulosos, neuro-evolutivos, etc.
- Os *sistemas complexos*, por outro lado, são aqueles compostos por uma grande quantidade de componentes que interagem entre si, e cujas propriedades globais são não-lineares. Eles geralmente apresentam processos auto-organizados.
 - Exemplos de sistemas complexos: sistemas imunológicos, colônias de insetos, revoada de pássaros, redes neurais, etc.

4. O Problema do Lixo

- Benefícios à natureza + Lucros



- O lixo brasileiro é um dos mais ricos do mundo. Nele é possível encontrar, literalmente, até dinheiro.
- São produzidas 245.000 toneladas de lixo por dia no Brasil.

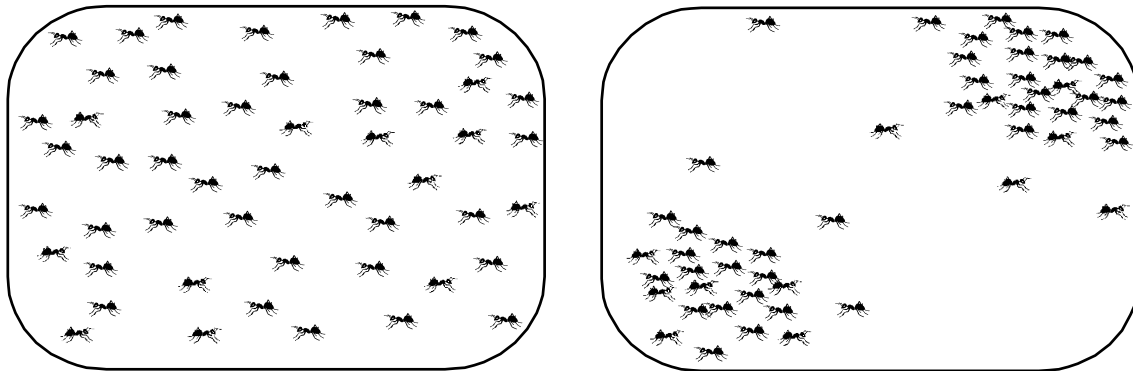
- Uma estimativa do Cempre (Compromisso Empresarial para Reciclagem) mostra que, só na reciclagem de produtos pós-consumo, o Brasil movimentava atualmente em torno de R\$3 bilhões de reais por ano, considerando apenas os cinco grandes grupos de materiais recicláveis: plástico, papel e papelão, vidro, alumínio e borracha.
- Em 1994, 81 municípios possuíam coleta seletiva, e em 2002 esse número subiu para 192 (137% de aumento).
- A coleta seletiva é a primeira etapa do processo de reciclagem. Em seguida deve-se fazer a triagem, enfardamento e venda.
- As empresas que compram material reciclável dão os mais diversos fins a estes. Por exemplo:
 - Garrafas PET podem ser transformadas em fibra de tecido para camisetas e jeans, cordas e cerdas de vassouras, tapetes, carpetes, brinquedos, etc.

- Embalagens longa vida (Tetra Pak) têm o papel separado do filme plástico e do alumínio que são utilizados posteriormente para a produção de canetas, régua, telhas, chapas planas na construção de móveis, etc.
- Pneus e câmaras são utilizadas na produção de tapetes para autos, solado de sapato, pisos, etc. Entretanto, o processo de reciclagem de pneus é muito caro. Dar um fim ecológico e economicamente viável aos pneus ainda é um desafio.
- O governo também vem contribuindo para o aumento da reciclagem através de incentivos fiscais. Por exemplo, as empresas que reciclam plástico tiveram seu IPI reduzido de 15% a 0% em 2002.
- Algumas estimativas do Cempre apontam US\$5 bilhões de dólares como sendo o volume de negócios que o Brasil poderia gerar.
- Muito ainda há para se fazer e nós podemos contribuir...

5. Questões para Discussão

Problema 1

- Para limpar seus formigueiros, algumas espécies de formigas juntam corpos e partes de corpos de formigas mortas em regiões específicas do formigueiro.
- O mecanismo básico por trás deste processo é uma atração entre os itens mortos mediada pelas formigas. Pequenos amontoados se formam e vão crescendo atraindo uma maior quantidade de corpos naquela região do espaço.



Tópico 1: Introdução à Computação Natural

17

- Este comportamento pode ser modelado utilizando-se duas regras simples:
 - *Regra para pegar um item:* se uma formiga encontra um item morto ela o pega e passeia pelo ambiente até encontrar outro item morto. A probabilidade desta formiga pegar o item morto é inversamente proporcional à quantidade de itens mortos naquela região do espaço.
 - *Regra para largar um item:* enquanto carregando um item, a formiga eventualmente encontra mais itens mortos no caminho. A probabilidade desta formiga deixar este item junto ao outro é proporcional à quantidade de itens mortos naquela região.
- Como resultado destas simples regras comportamentais, todos os itens mortos irão, eventualmente, ser agrupados na mesma região do espaço.

Pergunta-se

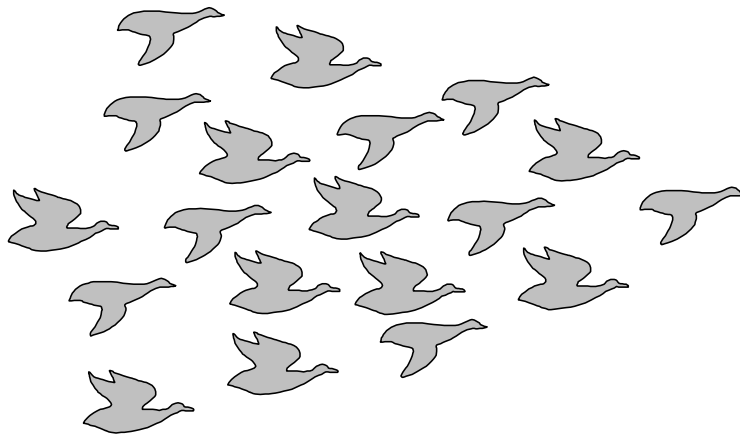
- Que tipo de problema poderia ser resolvido inspirado neste simples modelo de um fenômeno natural?

18

- Como você utilizaria estas idéias para desenvolver uma ferramenta para solucionar o(s) problema(s) sugerido(s)?

Problema 2

- Observando uma revoada de pássaros é possível afirmar que não existe um líder no grupo (embora muitos acreditem que exista). Não existe uma “regra global” que pode ser utilizada isoladamente para simular uma revoada de pássaros.



Pergunta-se

- Proponha algumas regras comportamentais de forma que, quando aplicadas a cada pássaro individualmente, resultem em um comportamento emergente para o grupo. Estas regras devem ser tais que, dadas as diversas interações possíveis dos pássaros, eles consigam voar de forma harmoniosa.
- É possível estender estas regras para grupos de animais terrestres e cardumes de peixes?

6. Pesquisa Bibliográfica

- Dados os diversos temas abaixo, faça uma breve pesquisa bibliográfica.
- Cada grupo deverá apresentar um texto de 2 (duas) páginas, preferencialmente impressas frente e verso, no qual a primeira página descreve sucintamente o assunto e a segunda página apresenta 20 (vinte) referências bibliográficas sobre o tema sorteado.

Temas

- Artificial Life
- Fractal Geometry
- Particle Swarm Optimization
- GAIA Hypothesis
- Cellular Automata
- Quantum Computing
- Collective Robotics
- Biomorphs
- Self-Organization
- Complex Adaptive Systems
- Reductionism
- Determinism
- L-Systems
- Ant Colony Optimization
- Artificial Immune Systems
- Complex Systems
- DNA Computing (ou computation)
- Membrane Computing
- Iterative Function Systems
- Chaos
- Reductionism
- Emergence
- Fractal Dimension
- Molecular Computation

- Sites de busca, como: <http://www.google.com/> e <http://altavista.com/>
- Sites de venda de livros, como: <http://www.amazon.com>
- ResearchIndex (CiteSeer): <http://citeseer.nj.nec.com/>
- Biblioteca da Área de Engenharia (BAE/Unicamp) e abstract de artigos em periódicos (via consulta de sites de editoras)
- CDs das últimas conferências nacionais e internacionais de áreas pertinentes
- Anais de conferências on-line, como <http://nips.djvuzone.org>
- Web of Science e ProBE (Fapesp → Links): <http://www.fapesp.br/>