Vida Artificial: Introdução

Ana Lúcia C. Bazzan
II/UFRGS

Setembro / 2001

Roteiro

- Definição
- Características
- Motivação: modelos complexos de animais simples vs modelos simples de animais complexos
- Histórico
- Principais trabalhos
- Vida artificial e biologia
- Sistemas ecológicos artificiais
- Animats

Vida Artificial: Introdução

Ana Lúcia C. Bazzan

Definição de Alife (I)

Artificial life (alife) is the study of artificial systems that exhibit behavior characteristics of natural living systems. It is the quest to explain life in any of its possible manifestations, without restriction to the particular examples that have evolved on earth. This includes biological and chemical experiments, computer simulations, and purely theoretical endeavors. Processes occurring on molecular, social, and evolutionary scales are subject to investigation. The ultimate goal is to extract the logical form of living systems.

(C. Langton)

Vida Artificial: Introdução

Ana Lúcia C. Bazzan

Definição de Alife (II)

Vida artificial pode ser definida como o estudo de sistemas que, embora tenham sido criados pelo homem, se comportam da mesma forma que sistemas naturais vivos. Uma das questões centrais é como produzir, em sistemas artificiais, comportamentos que possam imitar a vida em sistemas naturais.

Vida Artificial: Introdução

Ana Lúcia C. Bazzan

Características de Sistemas de Alife

- sistemas de Alife são povoados com criaturas artificiais capazes de demonstrar, **em conjunto**, um comportamento emergente (que emerge de forma não explícita)
- comportamentos locais (de cada criatura) podem ter sido programados mas o comportamento que emerge do sistema não (conceito *something out of nothing*).
- as criaturas são entidades distribuídas e autônomas; não há nenhuma forma de controle centralizado atuando sobre elas; o controle se dá em nível local, mesmo que se esteja de fato interessado no comportamento global

Vida Artificial: Introdução

Ana Lúcia C. Bazzan

Motivação

- inteligência artificial simbólica: eficaz em áreas onde é possível se construir abstrações do mundo real; cenários simplificados ou *toy scenarios*
- difíceis de se construir em escala real; necessidade de abordagens do tipo *bottom-up* ou sintéticas
- modelos complexos a partir de sistemas simples
- metáforas para sistemas complexos: estudo do mundo animal, colônias de insetos
- nova sub-área da inteligência artificial: vida artificial (*artificial life* ou *alife*).

Vida Artificial: Introdução

Ana Lúcia C. Bazzan

Alife forte vs. Alife fraca

- criatura: normalmente artificial
- *strong alife*: a longo prazo **criaturas vivas reais** podem ser criadas, podem ou ter uma forma corpórea ou fazer parte de um robô ou mesmo de um computador
- *weak alife*: tentar entender de forma mais clara a vida tal como existente no planeta ou fora dele

Vida Artificial: Introdução

Ana Lúcia C. Bazzan

Histórico

- "pato de Vaucanson": um autômato com centenas de peças, na forma de um pato que grasnava, comia, bebia, digeriu e nadava (início do século XIX)
- *The General and Logical Theory of Automata*, von Neumann (fim da década de 1940)
- jogo *Life*: J.H. Conway (fim da década de 1960)
- grupo *The Logic of Computers* (Univ. Michigan): J. Holland (alg. genéticos), Toffoli (CA), Langton
- Wolfram: CA, relação com fractais (década de 80)
- primeira conferência realizada em 1987 (Langton, 1989) em Los Alamos, EUA

Vida Artificial: Introdução

Ana Lúcia C. Bazzan

von Neumann

- projetou uma criatura artificial com a função biológica de auto reprodução (fazer cópias dela mesma e produzir descendentes)
- essencialmente não haveria uma diferença entre homem e máquina; abre a porta para a implementação de um processo evolucionário

Vida Artificial: Introdução

Ana Lúcia C. Bazzan

von Neumann

- modelo funcional: grade bidimensional (*grid*) ao invés da longa cadeia de *strings* proposta inicialmente (baseada na máquina de Turing)
- máquinas de estado finito processando um conjunto de regras
- um conjunto de informação determinando seu estado
- estado de cada célula é influenciado pelas células vizinhas

Vida Artificial: Introdução

Ana Lúcia C. Bazzan

Conway

- jogo *Life* inspirado em regras do *Go*: dependendo da vizinhança, algumas peças posicionadas nas células da grade "surgiriam", "sobreviveriam" ou seriam "eliminadas"
- pequenas alterações nas regras mudam um comportamento do sistema de estável para caótico
- simulação não era feita em computador mas em um modelo real!!!

Vida Artificial: Introdução

Ana Lúcia C. Bazzan

Conway

- resultado importante: redução do número de estados de cada célula para apenas dois: vivo ou morto (autômato de von Neumann tinha 29 estados!)

<http://www.bitstorm.org/gameoflife/>

<http://serendip.brynmawr.edu/complexity/life.html>

Vida Artificial: Introdução

Ana Lúcia C. Bazzan

Holland

- algoritmos genéticos (1975):
 - codificação de informação em *strings* binárias
 - função de *fitness*
 - operadores:
 - reprodução (mais *fit* reproduz mais)
 - recombinação (*crossover*) na reprodução sexuada: parte da string vem do pai, parte da mãe
 - mutação: posição aleatória da string muda

Vida Artificial: Introdução

Ana Lúcia C. Bazzan

Wolfram

- uso de autômatos celulares para verificar idéias sobre sistemas complexos e sobre emergência da complexidade a partir de componentes simples
- autômatos unidimensionais (1-D CA)
- vantagens: menos vizinhos diretos (apenas dois), mais fácil estudar todas as variações do domínio e representar a evolução no decorrer do tempo (e.g. linhas colocadas uma abaixo da outra) como na figura da concha

Vida Artificial: Introdução

Ana Lúcia C. Bazzan

Wolfram

- cada célula: apenas dois estados
- configuração inicial: linha A
- segue-se no tempo: linha B e assim por diante
- estado de uma célula na linha B: determinado pelo estado correspondente a ela na linha A juntamente com os estados das células anteriores e posteriores

Vida Artificial: Introdução

Ana Lúcia C. Bazzan

Wolfram

- oito combinações de estados possíveis
- cada uma: pode levar a dois estados na linha B
- ao todo são 2 elevado a 2³ possíveis regras para determinar o estado de uma célula em particular
- todas regras exploradas e classificadas:
 - “regras classe 1”: desinteressantes pela periodicidade ou outros aspectos
 - “regras classe 2”: configuração constante após um certo tempo

Vida Artificial: Introdução

Ana Lúcia C. Bazzan

Wolfram

- “regras classe 3”: levam à desordem (aparentemente não se percebe nada além de aleatoriedade na transição entre as linhas A, B, etc., o que é falso pois o sistema era determinístico a partir de uma configuração inicial da linha A)
- “regras classe 4”: levam a sistemas complexos, capazes de propagar informação, como todos os autômatos nos quais as máquinas universais se baseiam (*Life* por exemplo)

Vida Artificial: Introdução

Ana Lúcia C. Bazzan

Fractais

- trabalho de Wolfram relacionado com padrões na natureza
- flocos de neve: Packard (1985)

Vida Artificial: Introdução

Ana Lúcia C. Bazzan

Langton

- cunhou o termo *Artificial Life*
- interesse por várias áreas da ciência: matemática, antropologia, física, ciência da computação, filosofia, biologia, ecologia, evolução etc.
- inspiraram o modelo para simulação da evolução de mariposas brancas (habitat = bétulas, Inglaterra):
 - revolução industrial / poluição: árvores (brancas) escurecem
 - mariposas: passaram a ser presa fácil para predadores
 - mutações: algumas mariposas nascem escuras
 - estas passaram a ser mais adaptadas ao novo meio

Vida Artificial: Introdução

Ana Lúcia C. Bazzan

Langton

- modelo era apenas resultado da função de adaptação (*fitness*)
- objetivo: um modelo onde o próprio ambiente ditasse esta função
- inspiração: trabalho de von Neumann
- 1984: reproduz (agora em computador) o autômato baseando-se em dois pontos:
 - interpretação da informação contida nas células do autômato
 - simples cópia desta informação.

Vida Artificial: Introdução

Ana Lúcia C. Bazzan

Langton

- abordagem: estrutura chamada *loop* agregando uma pequena cauda (como a letra “Q”) em forma quadrada, ao invés da grade bidimensional usada por von Neumann
- forma de Q um pouco mais complexa: cada lado composto de 3 camadas:
 - mais externas e mais internas, cada célula tinha o estado 2
 - camada central (o recheio) o estado variava conforme regras determinadas
 - regras permitiam que a cauda aumentasse de tamanho (por exemplo) até que eventualmente a letra Q se duplicasse (esse era o objetivo principal dos experimentos de Langton)

Vida Artificial: Introdução

Ana Lúcia C. Bazzan

Langton

- outros trabalhos: VANTS ou *virtual ants* (1986)
 - observação de Simon (em 1981): uma formiga exibe um comportamento muito simples quando vista isoladamente; a complexidade do seu comportamento no tempo é um reflexo da complexidade do ambiente
 - Langton: supersimplificação pois as formigas são altamente cooperativas
 - explicação do fenômeno da vida: forma de organização *bottom-up*: uma célula de um organismo é uma máquina de estado finito processando regras do tipo “se A então B”
 - disto emergem outras formas (orgãos, tecidos, sistema nervoso, novos organismos e até sociedades inteiras)

Vida Artificial: Introdução

Ana Lúcia C. Bazzan

Alife e Biologia

- Von Neumann: “a vida como nós a conhecemos não poderia ter ocorrido a menos que um certo grau de complexidade estivesse presente”
- trabalhos mais representativos / seminiais:
 - S. Kauffman
 - T. Ray

Vida Artificial: Introdução

Ana Lúcia C. Bazzan

Kauffman

- vida artificial é uma forma de explorar como sistemas complexos podem exibir auto organização, adaptação, evolução, co-evolução, metabolismo etc.
- diferenciação celular: como um zigoto se divide em células aparentemente idênticas, mas que possuem funções tão diferentes quanto as células nervosas, musculares, do rim, etc. ?
- Jacob e Monod (1961): genes podem ser ativados ou desativados; genes ativam ou desativam outros genes
- processo altamente complexo: combinações existentes entre os 30 a 60 mil genes é absurdo!

Vida Artificial: Introdução

Ana Lúcia C. Bazzan

Kauffman e as RBN's

- genoma não é como um programa de computador (sensível a erros); é uma série de instruções aleatórias a partir das quais emerge algo complexo em termos de interações como o processo de geração da vida
- meados da década de 1960: conceito da rede booleana aleatória (*random boolean network*):
 - conectaria os genes dispostos aleatoriamente na rede
 - emergiria algo que se pudesse denominar “vida”?
 - programa imitava a ativação-desativação de genes na forma sugerida por Jacob e Monod

Vida Artificial: Introdução

Ana Lúcia C. Bazzan

Kauffman e as RBN's

- RBN é similar a um autômato celular:
 - um conjunto de nós com dois estados possíveis (ligado e desligado)
 - um conjunto de regras lógicas que tem como entrada os estados de outros nós
 - uso de regras da lógica booleana: “OU”, “AND” e outras
 - m vizinhos para cada posição na rede

Vida Artificial: Introdução

Ana Lúcia C. Bazzan

Kauffman e as RBN's

- Experimento:
 - rede de 100 nós (ligados ou desligados); grade 2D
 - 4 vizinhos; 2 a 2^4 regras booleanas
 - configuração inicial: regras distribuídas aleatoriamente pela grade
- Resultados:
 - esperado: sistema tem periodicidade (é determinístico)
 - inesperado: período é curto (repete-se de 4 em 4 ciclos, após o décimo)
 - ativação e desativação de genes depende da disposição global da rede e de reações complexas em nível local.

Vida Artificial: Introdução

Ana Lúcia C. Bazzan

Ray

- objetivo: estudo de sistemas naturais, não artificiais, onde o processo evolutivo é contínuo
- seleção artificial *a la* Holland não é tão criativa quanto a seleção natural (a natureza deve ter mecanismos sobre os quais não se tem a menor idéia e, conseqüentemente, não se pode replicar em um computador)
- 1992: trabalho sobre criaturas (conjunto de instruções de computador que poderiam conviver dentro da memória deste e competir por recursos da máquina)
- meta: impedir que estas criaturas se espalhassem para outras máquinas (sem sucesso; nasce o vírus mutante)

Vida Artificial: Introdução

Ana Lúcia C. Bazzan

Tierra

- ambiente que simula um processo evolutivo contínuo
- VENUS já havia simulado o processo evolutivo da vida a partir de elementos pré-bióticos (“caldo”)
- *Tierra*: processo inicia mais tardiamente focando mais na parte biológica que na química
- experimento:
 - criaturas: instruções computacionais se reproduzindo de acordo com sua adaptação ao ambiente, com mutação e um processo de divisão celular
 - caldo: condições sujeitas à mutações (replica não determinismo do ambiente)

Vida Artificial: Introdução

Ana Lúcia C. Bazzan

Tierra

- experimento (cont.)
 - ambiente com apenas uma criatura (*ancestor*) de tamanho igual a 80 instruções
- resultados
 - criatura e descendentes se reproduzem até que o caldo contenha 80% delas (após, crescimento cessa)
 - métricas: grau de proliferação no caldo, número de clones do ancestral, número de reproduções, tempo de vida, número de mutantes, tamanho das criaturas (número de instruções), etc. (ao longo do tempo)

Vida Artificial: Introdução

Ana Lúcia C. Bazzan

Tierra

- resultados (cont.)
 - criaturas diminuía em tamanho: mesmo criaturas menores se reproduzem porque encontram outras estratégias de sobrevivência no ambiente (adaptação)
 - criaturas de tamanho 45 começaram a parasitar criaturas maiores, usando o tempo de CPU alocado à esta
 - crescimento do número de parasitas e diminuição dos hospedeiros: parasitas acabavam por morrer (novos organismos são criados)
 - vantagem: simular experimentos que biólogos teriam que preparar com enorme custo e tempo (introdução ou retirada de um parasita em um ecossistema etc.)

Vida Artificial: Introdução

Ana Lúcia C. Bazzan

Organismos e Sistemas Artificiais

- A. Lindenmayer e os *L-systems*: teoria formal de gramáticas gerando um organismo completo (planta)
- gramática de Lindenmayer: alfabeto de 4 letras e regras de formação de palavras (um símbolo da gramática é gerado em função dos símbolos vizinhos)
- 1974: interpretação visual dos *L-systems* (Hogeweg e Hesper)
- 1984: *parallel graph languages* ou graftals (A.R. Smith) para gerar estruturas encontradas em árvores, flores, arbustos etc.
- Lindenmayer e P. Prusinkiewicz: busca de formas botânicas reais

Vida Artificial: Introdução

Ana Lúcia C. Bazzan

Animats

- criaturas artificiais que, em conjunto, devem exibir um comportamento inteligente
- devem ser capazes de perceber o ambiente onde atuam, processar os sinais relevantes, agir ou se movimentar (nesta fase, suas ações ou movimentos em geral influenciam ou modificam o ambiente) e perseguir um dado objetivo que pode ser otimizar sua taxa de satisfação relativa a um desejo interno (por exemplo saciar sua fome)
- decisão e ação: através de regras que associam um dado estado de um sinal percebido com uma ou mais ações

Vida Artificial: Introdução

Ana Lúcia C. Bazzan

Animats

- implementação computacional: um animat é um modelo de um animal simples inserido em uma situação na qual suas regras de associação estado-ação conseguem levar à sua satisfação
- animats e ambiente: simulados através de um programa
- exemplo:
 - animats interagindo em grades toroidais $n \times m$
 - animat, comida, predadores, obstáculos, etc. tem um caracter ou ícone que os represente
 - definição do ambiente (número de animats, duração da simulação, quantidade de obstáculos, etc.).

Vida Artificial: Introdução

Ana Lúcia C. Bazzan

Animats

- simulação:
 - objetos são posicionados aleatoriamente na grade
 - discreta; a cada passo, cada animat repete seu ciclo de percepção, decisão sobre melhor ação e ação efetiva
 - [aprendizado através de sistemas de classificação, redes neurais]
- Wilson (1985): o animat deve aprender o caminho para encontrar comida; vaga pela grade aleatoriamente até encontrar; aprende com a experiência obtida

Vida Artificial: Introdução

Ana Lúcia C. Bazzan

Robôs

- Genghis: corpo composto de pastilhas de silício, pernas em forma de barras e cabeça é uma série de sensores; objetivo atravessar um espaço evitando barreiras
- artefatos parecidos seguiram-se: os robôs de R. Brooks apoiados na sua arquitetura de subsunção, Agar, Herbert, Toto, etc.
- trabalhos relativos a etologias computacionais derivados do grupo de L. Steels em Bruxelas

Vida Artificial: Introdução

Ana Lúcia C. Bazzan

Mais Informação

- sites:
 - L-systems e Fractais:
<http://www.cpsc.ucalgary.ca/projects/bmv/java/LSystems/LSys.html>
<http://www.go2net.com/internet/deep/1996/12/11/>
 - Applets: <http://www.aist.go.jp/NIBH/~b0616/Lab/Links.html>
 - Alife:
http://www.world-of-dawkins.com/rl_alife.htm
<http://alife.org/>
 - Ants: <http://www.drizzle.net/~goldbav/boid.html>

Bibliografia Relacionada

- Levy, S. (1992). *Artificial Life: a report from the frontier where computers meet biology*. New York: Vintage Books
- Lindenmayer, A. and P. Prusinkiewicz (1990). *The Algorithmic Beauty of Plants*. New York: Springer-Verlag
- Packard, N. (1985). Lattice Models for Solidification and Aggregation. *Proc. of the First Int. Symposium for Science on Form*, Tsukuba Univ., Japan
- Smith, A. R. (1984). Plants, Fractals, and Formal Languages. *Computer Graphics* 18: 1-10