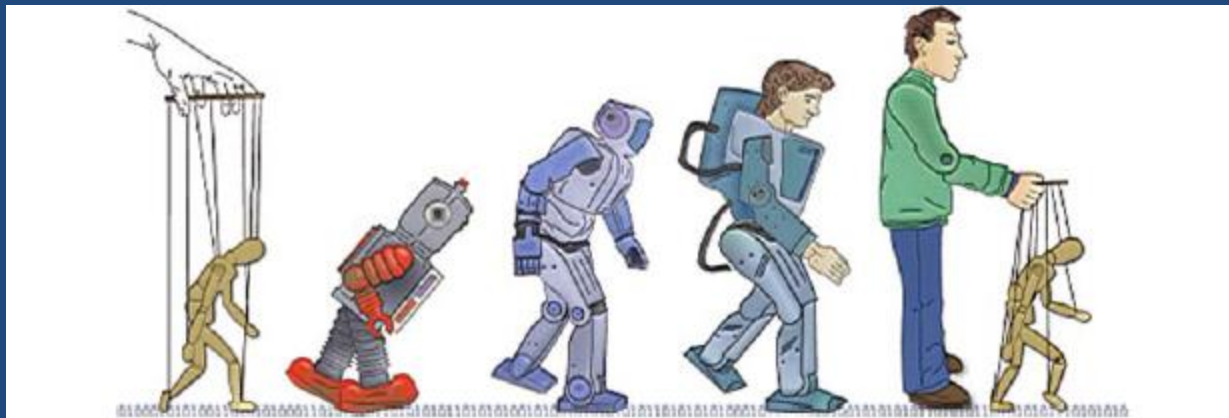


Robôs inspirados pela biologia



Plano

I. Introdução

II. Ponto de vista físico

II.1. Aspecto morfológico

II.2. Aspecto sensorial

II.2.1. Visão

II.2.2. Audição

II.2.3. Tacto

II.2.4. Olfacto

II.2.5. Paladar

*II.2.6. Estado interno
(equilíbrio, cinestesia...)*

II.3. Aspecto motor

II.3.1. Rastejar

II.3.2. Andar

II.3.3. Escalar

II.3.4. Nadar

II.3.5. Voar

II.3.6. Pegar

III. Ponto de vista psicológico

III.1. Robótica baseada em comportamentos

III.2. Aprendizagem e desenvolvimento

III.2.1. Aprendizagem por reforço

III.2.2. Aprendizagem por associação

III.2.3. Aprendizagem por imitação

III.2.4. Robôs baseados no cérebro

III.2.5. Desenvolvimento

III.3. Robótica social

III.3.1. Cooperação entre robôs

III.3.2. IHR (Interação Homem-Robô)

IV. Robôs bio-híbridos

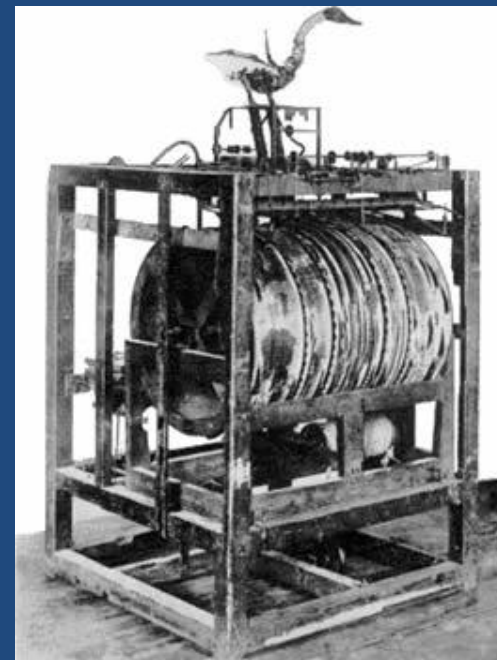
IV.1. Conexões cérebro-máquina

IV.2. Cyborgs (cyber-organismos)

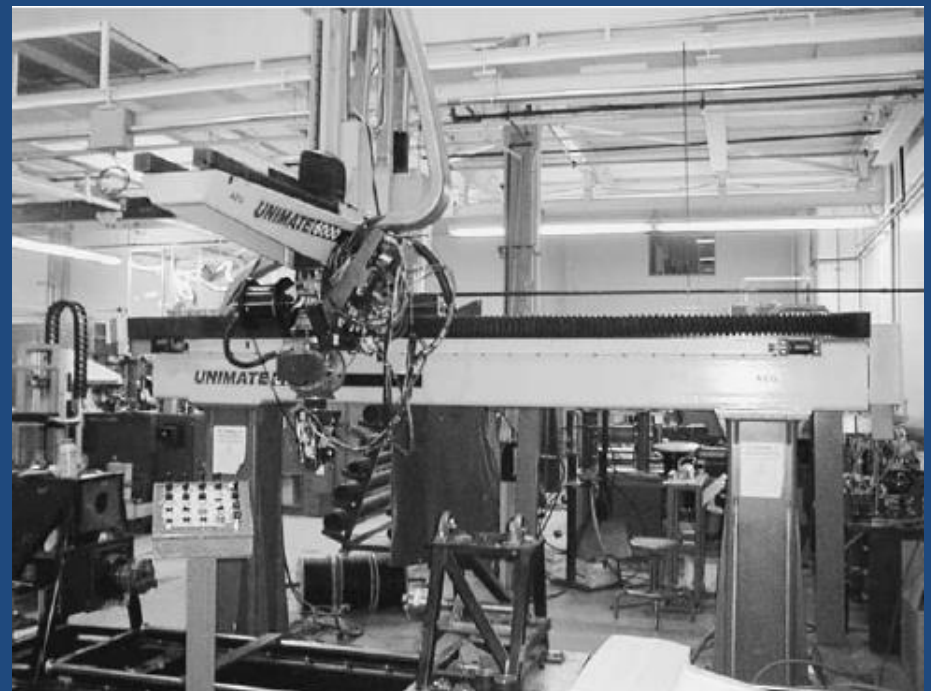
V. Conclusões

I. Introdução

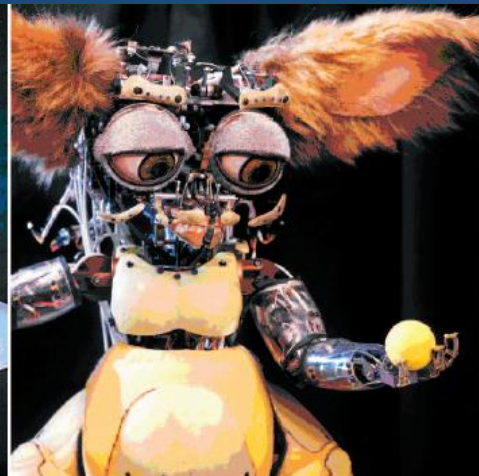
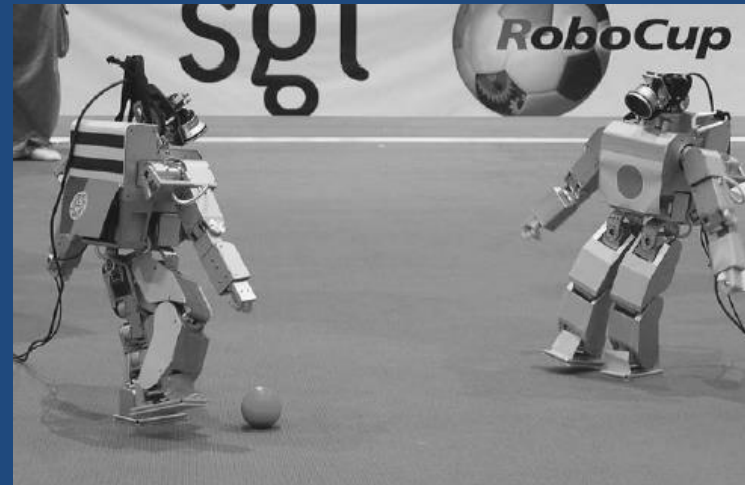
- Na antiguidade: a natureza como fonte de inspiração




- Na revolução industrial: afastamento da natureza



- Nas últimas décadas: regresso aos robôs bio-inspirados

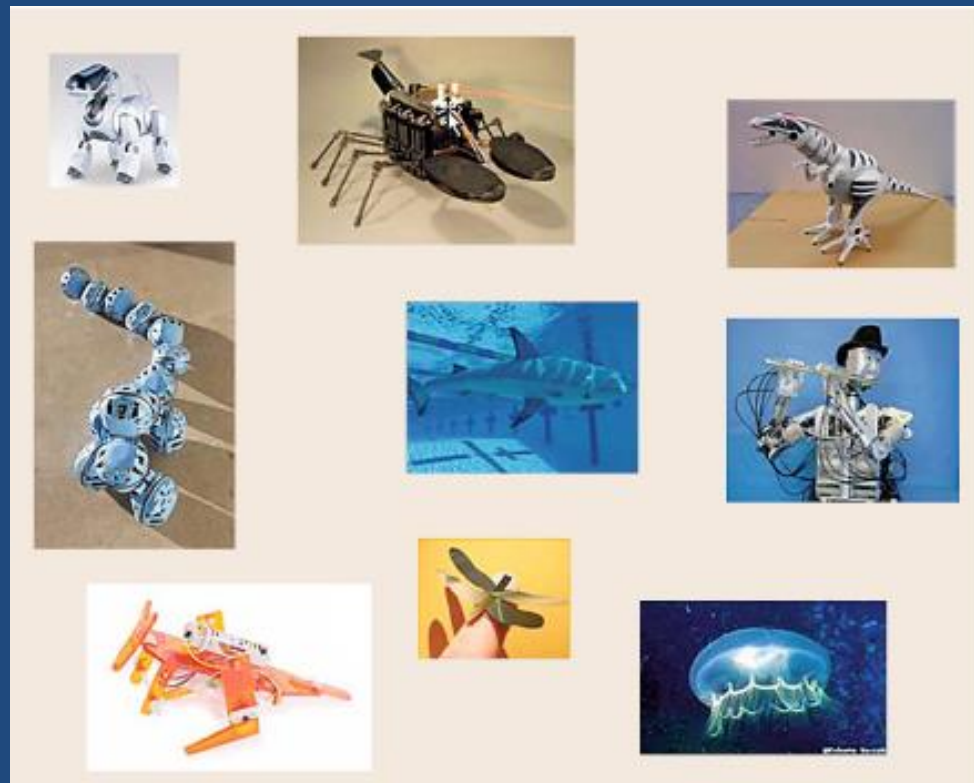


- Porquê este regresso?
 - Progressos na área da biologia.
 - Maior potencia dos sistemas computacionais.
 - Maior sinergia entre biologia e electrotecnicia => modelos directamente implementáveis.
-  Bio-inspirado vs bio-mimético:
 - Bio-inspirado = reprodução do resultado, mas não do processo.
 - Bio-mimético = resultado + processo.

II. Ponto de vista físico

II.1. Aspecto morfológico

- Uma grande variedade para todos os meios



- Motivações para copiar a morfologia animal?
 - Por razões funcionais.
 - Para facilitar a interacção homem-robô.



Kismet (Breazeal, 2002)

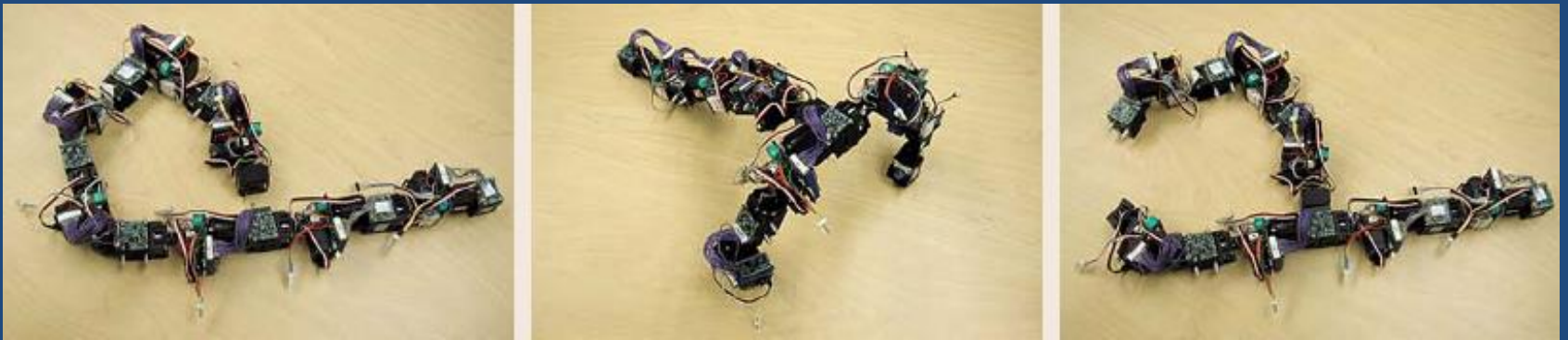


WE-4RII (Itoh et al., 2006)

- *Uando*: um exemplo de robô “sociável”
 - Expressões faciais.
 - Movimentos corporais.
 - Sensibilidade ao toque.
 - Visão omnidireccional.
 - Responde ao interlocutor.



- Os robôs reconfiguráveis
 - Reconfiguração de acordo com os constrangimentos internos ou externos.
 - Exemplo do *Conro* (*Polymorphic Robotics Laboratory – University of Southern California*):

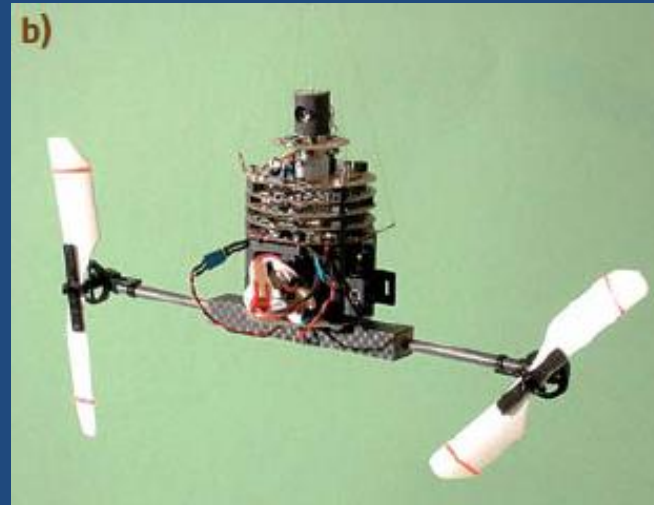


II.2. Aspecto sensorial

II.2.1. Visão

- Numa escala entre 2 extremos:
 - Simples dispositivos fotossensíveis para implementar comportamentos fototáxicos.
 - Complexos dispositivos estereoscópicos para tarefas cognitivas como o reconhecimento de objectos.

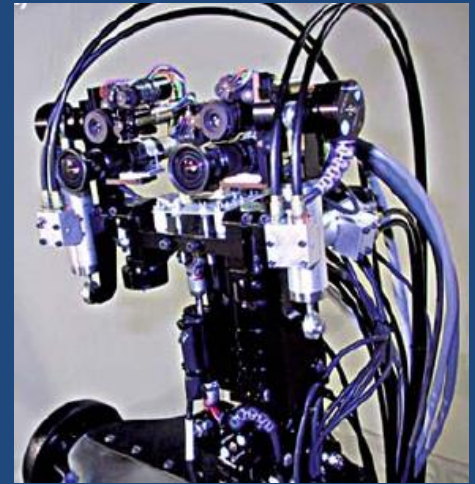
- Os dispositivos fotossensíveis
 - Para mexer e evitar os obstáculos.
 - Exploração do fluxo óptico e contraste de luz.
 - Exemplo do “*olho de mosca*” (Franceschini et al. 1992) para evitar obstáculos (a) e seguir um alvo (b):



- A visão binocular

- Numa cabeça humanóide (robô *DB*):

- 2 câmaras por olho.
 - Visão periférica para detectar e seguir os objectos, na base da forma e da cor.
 - Visão foveal para o reconhecimento e a análise detalhada do objecto.



- Num corpo humanóide:

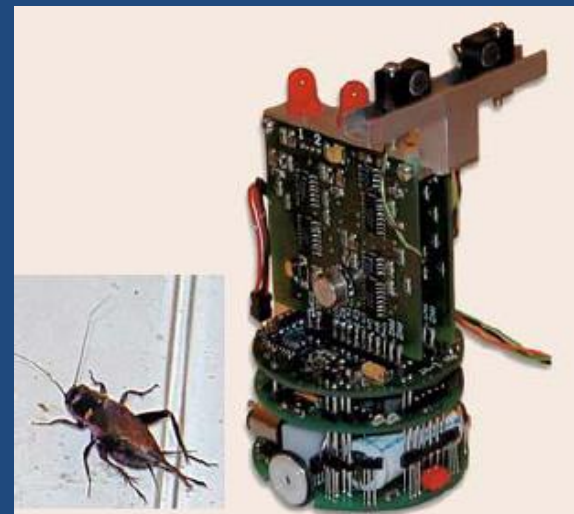
- Planificação do movimento e localização baseada num processamento visual em tempo real.
 - *HRP2* e *ASIMO*.



II.2.2. Audição

- Numa escala entre 2 extremos:
 - Simples dispositivos fonossensíveis para implementar comportamentos fonotáxicos.
 - Complexos dispositivos estereofónicos para tarefas cognitivas como o reconhecimento de objectos.

- Exemplo de comportamento fonotáxico
 - Robô Khepera com sistema auditivo de tipo grilo (*University of Edinburgh*).
 - Modelação dos circuitos neuronais que permitem à fêmea i) encontrar o macho (canto) e ii) fugir dos predadores (ecolocalização).
 - Resultados => ↗ conhecimento em biologia: sons direccionais do grilo, para a frente para o canto e para trás para a ecolocalização.



- A audição activa

- Projecto *CIRCE*: estudar como a forma, o tamanho e o movimento do morcego influenciam o sinal que recebe do ambiente => aplicação para melhorar as antenas.



- *Yale Sonar Robot*: inspirar-se na rotação dos ouvidos do morcego, ou do corpo do golfinho, em direcção à fonte sonora para facilitar o reconhecimento dos objectos.

- Implementação do “cocktail party effect” (Nakadai et al., 2003).

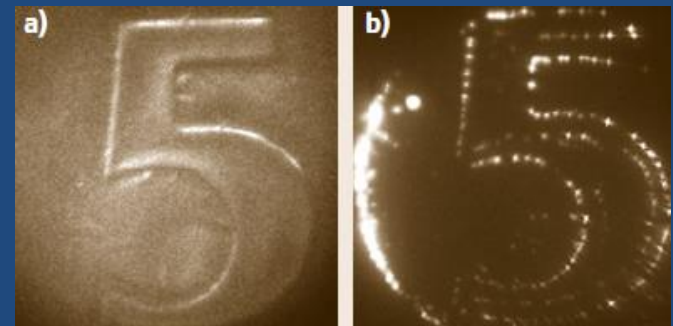
II.2.3. Tacto

- Copiar a barata
 - Sensores tácteis deformáveis inspirados nas antenas do insecto.
 - Resultados => a barata utiliza o ratio de convergência à parede (= “fluxo táctil”) para controlar a orientação do seu corpo.



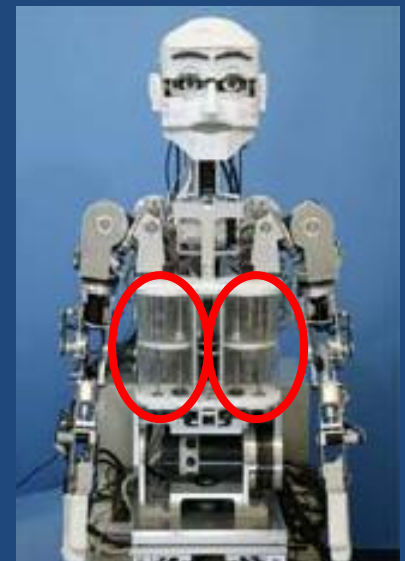
- Copiar o rato
 - Bigode do rato = pêlo flexível com sensores apenas na base.
 - Russel & Wijaya (2003):
 - Bigodes passivos.
 - Capacidade de reconhecimento de objectos.
 - Pearson et al. (2005):
 - Bigodes activos.
 - Objectivo de concepção de uma arquitectura integrativa dos processos cognitivos, emocionais e bioreguladores do roedor.

- Copiar o homem
 - Mão robótica equipada por sensores de pressão (*University of Tokyo*).
 - Pele artificial sensível à pressão e temperatura.
 - Película de sensores tácteis de sensibilidade similar aos dedos humanos: mapa topográfico após pressão contra um objecto (*University of Nebraska*).



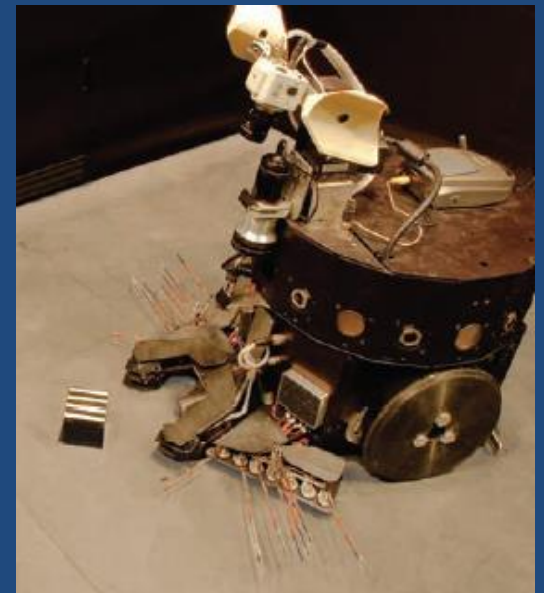
II.2.4. Olfacto

- Implementação dos circuitos neuronais quimiotáxicos do *C. elegans* num robô peixe (Morse et al., 1998).
- *RoboLobster* (Grasso, 2001).
- Humanóide *WE-4RII* (University of Waseda): reconhecimento do cheiro do álcool, amoníaco e cigarro graças **pulmões artificiais** que lhe permitem inalar o ar.



II.2.5. Paladar

- Robô da *NEC System Technologies*: capacidade para examinar o sabor da comida e dizer o nome dos ingredientes, através de uma tecnologia de espectroscopia infravermelha.
- Robôs *Darwin (Neuroscience Institute of San Diego)*: predilecção para provar coisas e ter uma noção inata do que sabe bem...



II.2.6. Estado interno

- Sensores do equilíbrio (vestíbulo), da cinestesia (fusos neuromusculares), ...
- Usados na implementação de vários comportamentos visuo-motores: tracking visual, sacadas oculares, convergência binocular, reflexos vestibulo-oculares e opto-cinéticos (*e.g.* o humanóide *Cog*).



II.3. Aspecto motor

II.3.1. Rastejar

- O *AmphiBot* da EPFL:
 - Robô de tipo cobra com uma deslocação ondulatória inspirada pelos geradores de movimentos da M.E. dos vertebrais.
 - Contribuição para a compreensão dos padrões motores das serpentes (robô \leftrightarrow animal).
- Projecto *BIOLOCH*:
 - *BIO-mimetic structure for Locomotion in Human body.*
 - Mimetismo com a deslocação da minhoca para ∇ os traumatismos ligados a uma endoscopia dos intestinos.



II.3.2. Andar

- Os múltípedes: exemplo do *SPRAWL*
 - Como muitos animais, tem uma auto-estabilização sem intervenção do cérebro, mas através de algoritmos de controlo embutidos nas suas estruturas físicas.
 - É inspirado na barata:
 - rápida,
 - robusta,
 - auto-estabilizada sem sensibilidade activa.

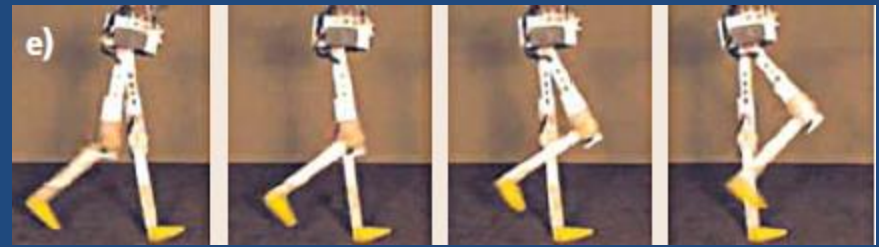


- Os quadrúpedes: exemplo do *BigDog*
 - Para o exército dos E.U.
 - Anda.
 - Corre (5km/h).
 - Sobe terrenos acidentados (até 35°).
 - Carrega cargas pesadas (até 50kg).
 - Pernas articuladas como um animal.



- Os bípedes

- Exemplo do *RunBot*:



- O mais rápido robô bípede em relação à sua altura (velocidade de marcha \approx humano).
 - Controladores sensori-motores inspirados nos modelos biológicos dos neurónios sensoriais e motores.
 - Sem algoritmo de controlo de posição ou de tracking de trajectória: utiliza a sua própria dinâmica durante as fases críticas do ciclo de marcha.

- Exemplo de *ASIMO*:

- Anda,
 - Corre,
 - Dança,
 - ...



II.3.3. Escalar

- *Stickybot*: robô de tipo lagarto
 - Concebido para escalar nas superfícies lisas (e.g. vidros).
 - Espátulas nas extremidades dos pêlos que compõem os pés do robô.
 - Adesão através das forças intermoleculares de Van Der Waals.
 - Se inclinação dos pêlos de $30^\circ \Rightarrow$ descolamento fácil.



II.3.4. Nadar

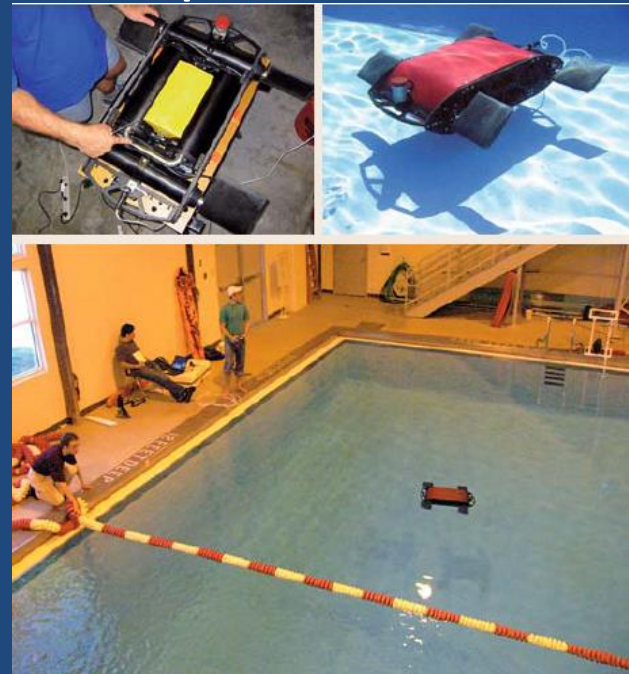
- Copiar o peixe
 - Objectivo: emular o sistema propulsivo dos peixes ou mamíferos marinhos (golfinhos, focas, ...).
 - Vantagens: posição de flutuação, ganho de energia, eficiência do movimento, ...
 - Protótipos do MIT: *Robotuna* e *Robopike*.

- Resultados para a taxa de viragem:

robô-peixe ($75^\circ/\text{s}$) \gg robô-rígido ($3\text{-}5^\circ/\text{s}$).

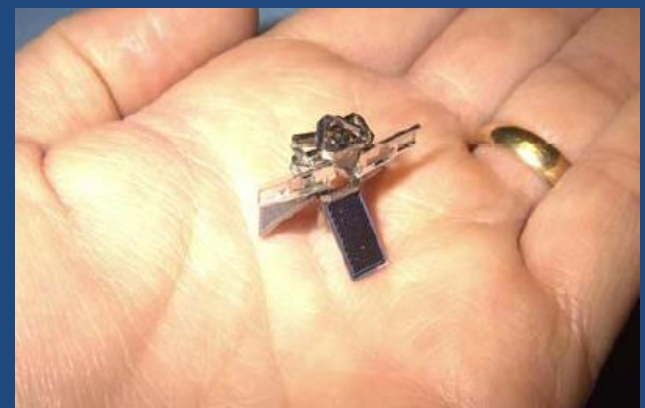


- Copiar a tartaruga: o robô *Madeleine*
 - Para testar teorias sobre a locomoção dos animais desaparecidos ou em via de desaparecimento.
 - Resultados:
 - 4 barbatanas não \nearrow a velocidade (turbulência das anteriores sobre as posteriores).
 - 4 barbatanas \nearrow o gasto energético.
 - \Rightarrow selecção natural a favor dos animais com 2 barbatanas ou que utilizam apenas 2 para a propulsão (pinguins, tartarugas, focas, ...).



II.3.5. Voar

- Vantagens de bater as asas:
 - Voar a baixa velocidade.
 - Voo parado.
 - Realizar curvas apertadas.
 - Voar em marcha atrás.
- Aplicação directa: aviões de reconhecimento de tipo *drones*.



- *Projecto Micromechanical*

- Flying Insect (University of Berkeley):*

- Objectivo: pequeno robô (25mm) capaz de sustentar um voo autónomo.
- Copiar o desempenho aéreo da mosca:
 - Grande força gerada por um estado aerodinâmico inconstante.
 - Sistema motor com alto ratio potencia/peso.
 - Rápido sistema de controlo baseado em sensores visuais e inerciais altamente integrados.
- Autonomia energética graças a células solares.

- Robô *Mentor* (*University of Toronto*):
 - Ornitoptero de 4 asas.
 - 1º dispositivo capaz de realizar um voo com a agilidade do colibri:
 - Emulação do batimento das asas para o voo parado.
 - Capacidade para deslocar-se a alta velocidade.

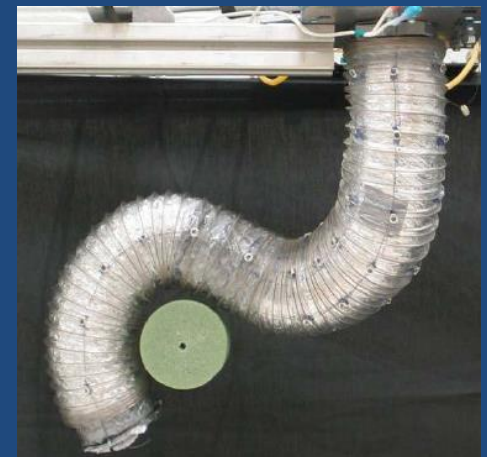


- À escala de um avião:
 - Anos 90: ornitoptero biplano construído por Toporov e movido pela força muscular do piloto.
 - Recentemente: avião *Flapper* (*University of Toronto*) voou 14s numa velocidade média de 88km/h.



II.3.6. Pegar

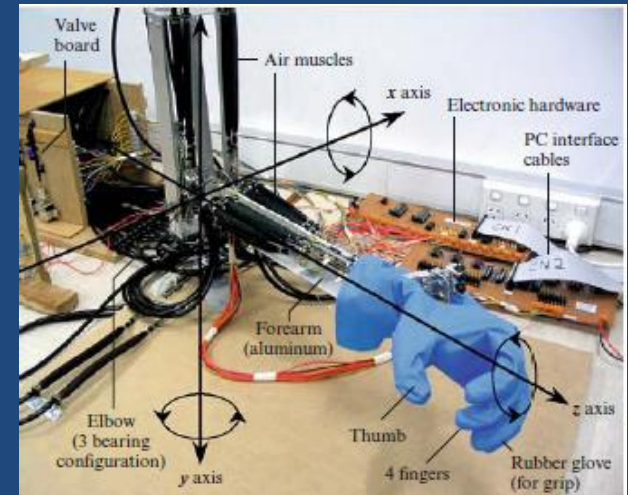
- Tipo cefalópode
 - Robô *OCTARM*:
 - A partir da investigação sobre as estratégias de manipulação e controlos neurais do polvo.
 - Baseado em polímeros electroactivos e músculos pneumáticos.
 - Robô *Air-Octor*:
 - Inspirado nas trompas e tentáculos do mundo animal.
 - Desempenho > braço com mesmos graus de liberdade.



- Tipo humano

- Mão humanóide (*Curtin University of Technology*):

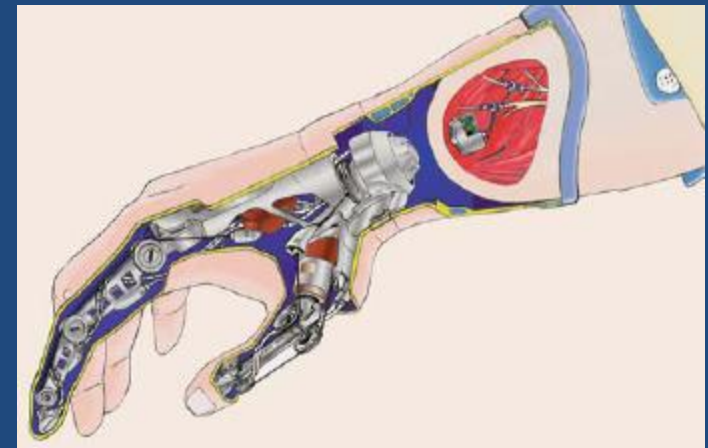
- 10 graus de liberdade (cotovelo -> dedos).
 - Músculos pneumáticos.
 - Capacidade para pegar e deslocar objectos.



- *EC CYBERHAND*

(Carozza et al., 2003):

- Prótese manual cibernética.
 - Recrear sensação da mão real para \nearrow a aceitação.
 - Tecnologia: sensores bio-miméticos e eléctrodos.



III. Ponto de vista psicológico

III.1. Robótica baseada em comportamentos

- Robótica de situação vs robótica industrial
 - Situacional: ambientes dinâmicos, complexos e imprevisíveis.
 - Industrial: ambientes fixos, estruturados e previsíveis.
- 4 métodos de controlo dos robôs:
 - Deliberativo.
 - Reactivo.
 - Híbrido.
 - Baseado nos comportamentos.

III.1.1. Métodos de controlo

- Deliberativo – pensa, depois age
 - Percepção → modelação → acção.
 - Construção de um modelo interno do mundo.
 - Exemplo da navegação:
 - 1º - combinação dos dados sensoriais num mapa do mundo,
 - 2º - avaliação de todos os caminhos possíveis,
 - 3º - decisão da trajectória a executar.
 - Não adaptado para actuar em tempo real num mundo dinâmico.

- Reactivo – não pensa, (re)age
 - Percepção → acção.
 - Resposta rápida às alterações do ambiente.
 - Computação minimalista (sem modelo interno).
 - Exemplo dos veículos de *Braitenberg*.
 - Adaptado aos mundos dinâmicos e não-estruturados.
 - Inadaptado para aprender e ter uma representação do mundo.

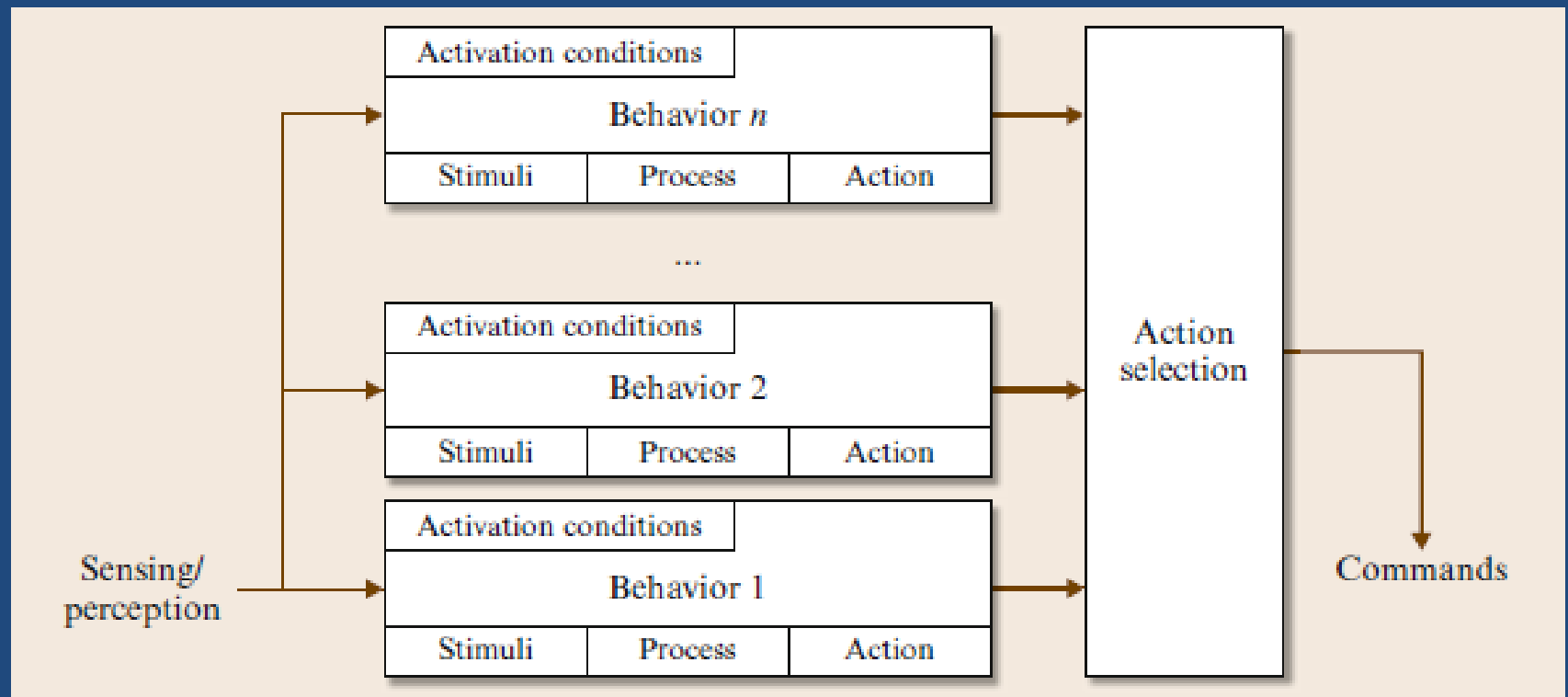
- Híbrido – pensa e age concorrencialmente
 - Combinar o reactivo e deliberativo:
 - Resposta em tempo real.
 - Racionalidade e optimização.
 - 3 camadas:
 - Reactiva (execução).
 - Deliberativa (planificação).
 - Intermédia (coordenação).
 - Complexidade de misturar um funcionamento imediato (componente reactiva) com um funcionamento simbólico (componente deliberativa).

- Comportamental – pensa à maneira de actuar
 - Rede de módulos (comportamentos) para cumprir um objectivo.
 - A acção do robô *emerge* a partir da interacção entre os módulos comportamentais.
 - ≠ / outros métodos:
 - “Deliberativo”: reactividade da ligação sensor-actuador.
 - “Reactivo”: representação para planificar e aprender.
 - “Híbrido”: - descentralização da planificação em vários módulos.
 - melhor adaptação à interacção entre robôs.

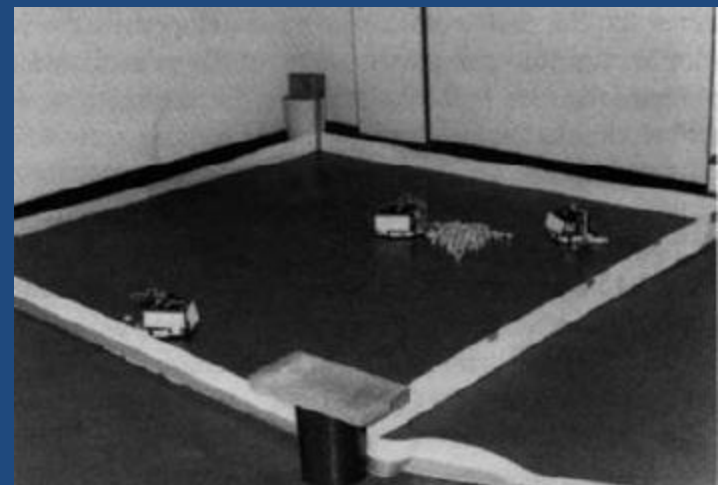
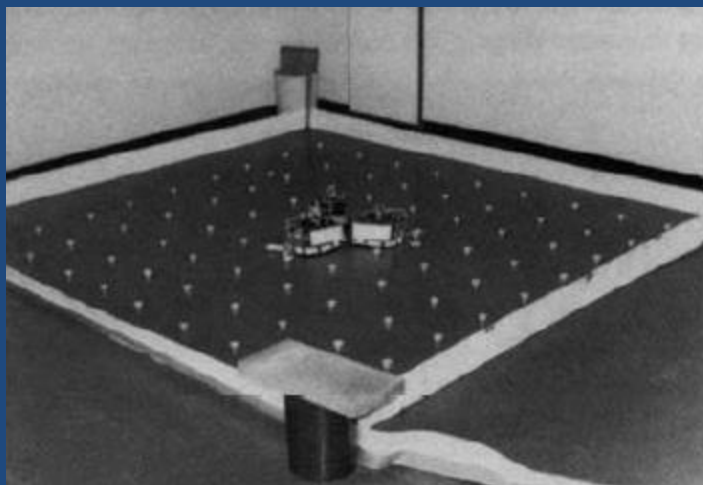
III.1.2. Arquitectura geral dos sistemas baseados em comportamentos

- 5 princípios básicos:
 - Leis de controlo do robô = os comportamentos.
 - Sensores do robô e outros comportamentos → inputs do comportamento.
Outputs do comportamento → actuadores do robô e outros comportamentos.
 - Um sensor pode estar ligado a \neq comportamentos.
Um actuador pode estar ligado a \neq comportamentos.
 - Implementação de comportamentos simples.
 - Comportamentos executados em paralelo.

- Arquitectura de base:



- Comportamentos emergentes:
 - Exemplo de emergência de um comportamento gregário a partir de 3 comportamentos simples: *evitar colisões, ficar perto do grupo e avançar.*
 - Exemplo de emergência de uma tarefa global a partir de simples regras locais (Becker et al., 1994): *evitar colisões, apanhar peças e largar peças quando tem 3.*



III.1.3. Robô *Spartacus*

- Arquitectura baseada em comportamentos + módulos motivacionais.
- Objectivos: i) concepção de robôs com inteligência de tipo humana (IA) e ii) IHR.
- Capacidades do *Spartacus*:
 - Leitura de mensagens,
 - Processamento de sons,
 - Sistema de tracking,
 - Sistema de localização.

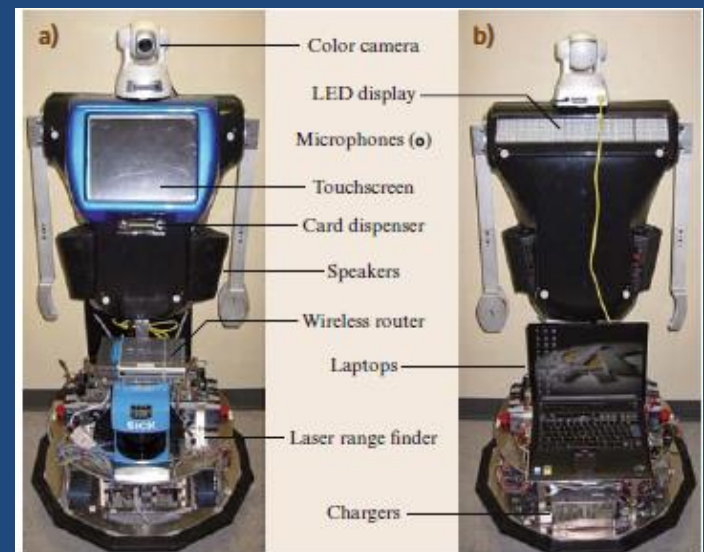
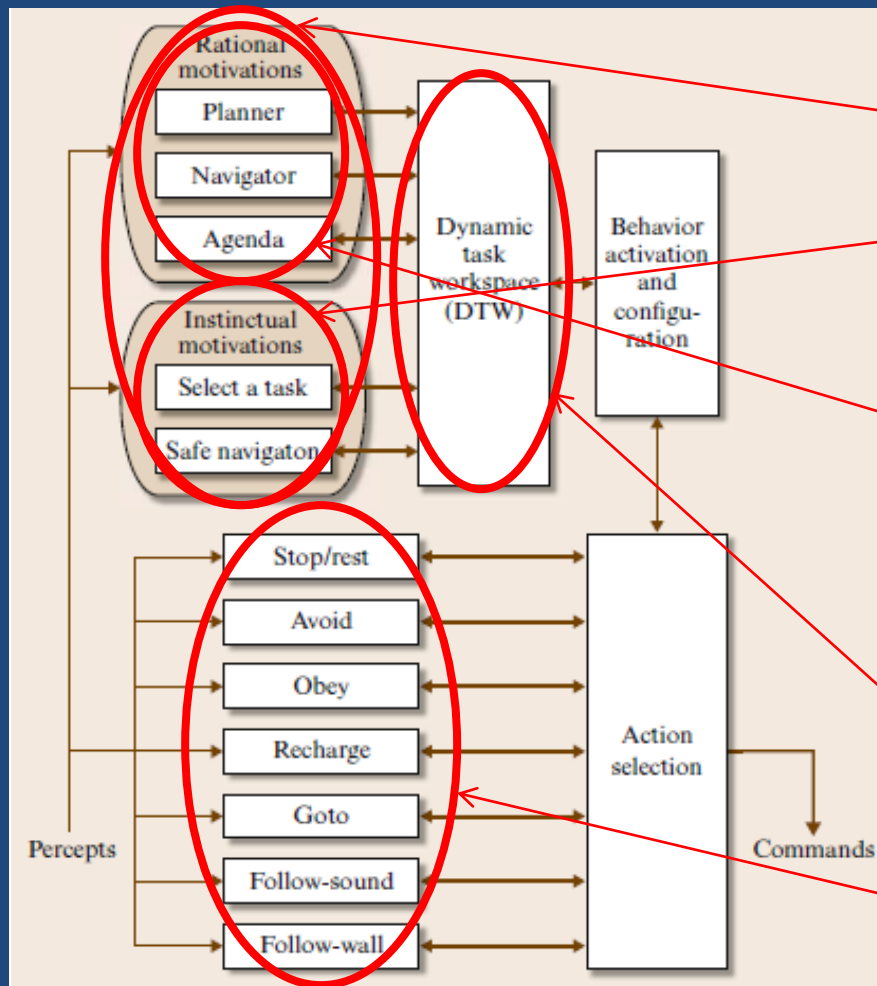


Fig. 38.5a,b Spartacus (front view (a), back view (b))

- Arquitectura de controlo do *Spartacus*:



Módulos motivacionais:

- módulos de selecção das tarefas de alto nível (e.g., entregar uma mensagem) + segurança do robô.
- módulos de determinação das subtarefas necessárias para cumprir as altas.

Módulo de organização arborescente das tarefas de acordo com as interdependências entre elas (alta → subtarefas).

Módulos comportamentais

III.2. Aprendizagem e desenvolvimento

- Mecanismos de aprendizagem bio-inspirados:
 - Por reforço.
 - Por associação.
 - Por imitação.
 - Robôs baseados no cérebro.
- Processos de desenvolvimento:

Reprodução das etapas sucessivas do desenvolvimento sensori-motor e cognitivo das crias (ver Piaget).

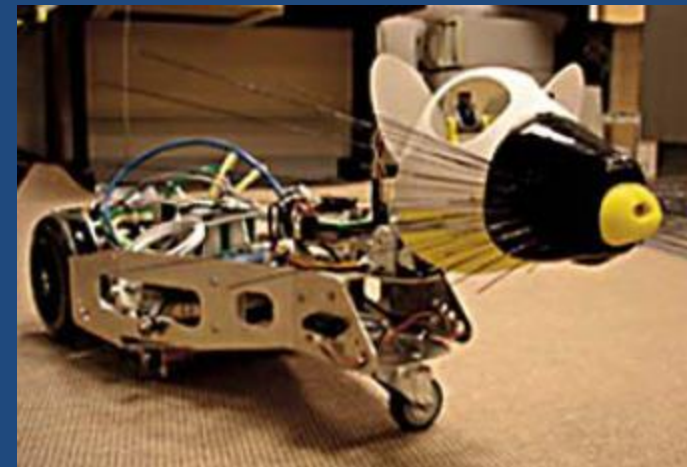
III.2.1. Aprendizagem por reforço

- Princípio: condicionamento por recompensas vs castigos afim de aprender uma tarefa.
- Robô *Brachiator* (*University of Nagoya*)
 - Algoritmo de reforço utilizado para aprender as coordenações sensori-motores certas:
 - IF o robô gibão acertar o trapézio
 - THAN** recompensa
 - ELSE punição
 - Após umas tentativas o robô cumpre a tarefa em segurança.



III.2.2. Aprendizagem por associação

- Princípio: inspirar-se nas células de lugar e direccionais encontradas no hipocampo, para a localização e navegação dos robôs.
- Robô *Psikharpax* (*University of Paris VI*)
 - Módulo motivacional.
 - Explora o ambiente.
 - Constrói um mapa topológico.
 - Associa lugares com necessidades internas (comer, descansar, evitar perigo, ...).



III.2.3. Aprendizagem por imitação

- Princípio: inspirar-se nos neurónios em espelho do lobo frontal, implicados na integração da percepção, acção e linguagem.
- Projecto *MirrorBot*
 - Aprendizagem multimodal através de uma arquitectura baseada em neurónios em espelho.
 - Aplicação em tarefas de procura de objectos a partir do nome.



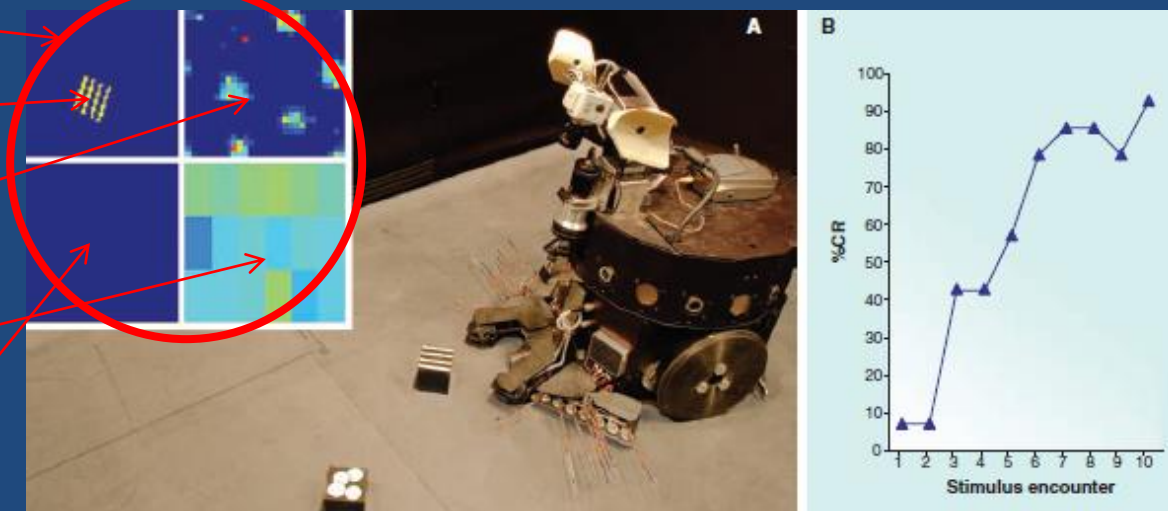
III.2.4. Robôs baseados no cérebro

- *Darwin VII*
 - Categorização autónoma dos sinais ambientais sem instruções predefinidas (= animal e ≠ IA).
 - Simula o S.N. animal (neurónios e sinapses).
 - Equipamento do robô:
 - Vídeo câmara, para a visão.
 - Par de microfones, para a audição.
 - Garra, para pegar blocos.
 - Cérebro = sistema visual + sistema auditivo + sistema “gustativo” (simulado pela condutância da garra) + sistema motor.

- Experiência de condicionamento instrumental no *Darwin VII*:
 - Blocos com riscas (detectados pela câmara) associados a um sabor bom (condutância alta) e blocos com pintas associadas a um sabor mau.
 - IF condutância alta **THAN** reforço +
IF condutância baixa **THAN** reforço -
 - Resultado: após 10 ensaios, o robô aprendeu a evitar as pintas e a pegar apenas nas riscas.

Actividade neural:

- área visual I^a (com riscas).
- área visual integrativa.
- resposta ao sabor apetitivo.
- resposta ao sabor aversivo.

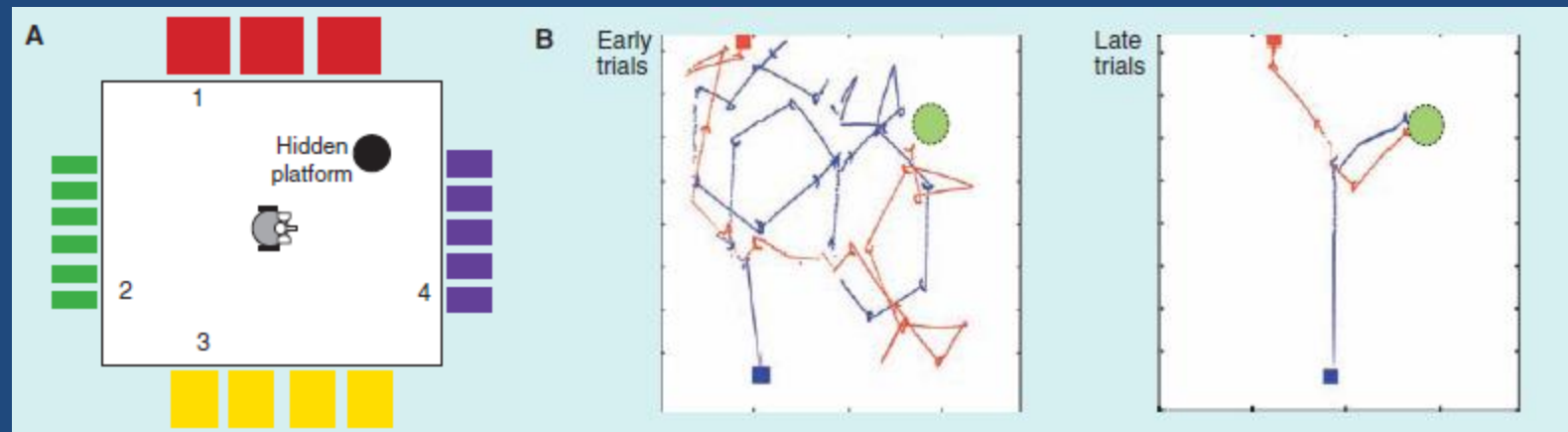


- *Darwin X*

- Modelação do hipocampo, para testar a memória de curto prazo.

- Experiência da “piscina de Morris”:

- Rato/robô deve encontrar uma plataforma escondida graças a indícios à volta da piscina.



Indícios de cores ≠ para cada parede.

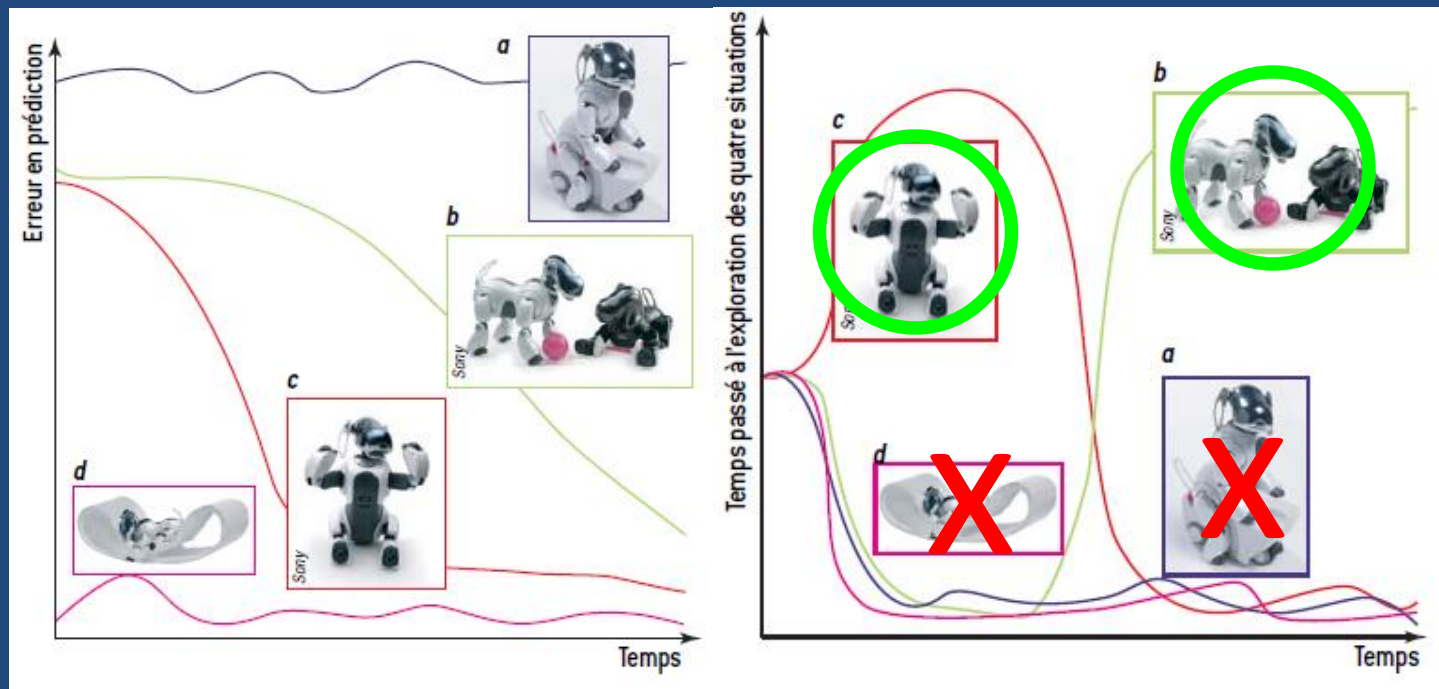
Após um treino de aprendizagem para associar cada indício de cores à localização da plataforma, Darwin X consegue encontrá-la a partir de qualquer ponto de partida.

III.2.5. Desenvolvimento

- Robô *Cog* de Brooks et al. 1999
 - Tronco humanóide.
 - Sensores de estado externo e interno:
 - Câmaras miméticas da visão humana (foveal vs periférico e tracking/atenção visual).
 - Audição estereofónica (2 microfones).
 - Sensores tácteis, vestibulares e cinestésicos.
 - Algumas rotinas inatas, o resto é adquirido através de fases de desenvolvimento sensorimotores e cognitivas \approx criança:
 - mecanismos para atingir e pegar,
 - controlo rítmico dos movimentos,
 - pesquisa visual e atenção,
 - aprendizagem por imitação,
 - “teoria da mente”, ...



- Robô *AIBO* de Oudeyer et al. 2005
 - Tem um sentido de curiosidade para maximizar o seu progresso de aprendizagem.
 - => concentra-se sobre situações não demasiado previsíveis (= fáceis) nem demasiado imprevisíveis (= complicadíssimas):



III.3. Robótica social

- Cooperação entre robôs
 - Necessária quando uma tarefa não pode ser realizada por apenas um agente.
 - Inspira-se nos animais sociais (e.g., colónias de formigas).
- Interação homem-robô (IHR)
 - Para a educação, saúde, qualidade de vida, entretenimento, colaboração, ...
 - Implica habilidades sensorimotoras, cognitivas e emocionais.

III.3.1. Cooperação entre robôs

- Robôs *SWARM-BOTS*
 - Auto-organização e auto-assemblagem de robôs biologicamente inspirados.
 - \Leftrightarrow agregação de robôs *s-bots* para cumprir tarefas impossíveis individualmente (e.g., atravessar fendas largas).



- *Projecto Cyber Rodent*

- Perceber as origens dos comportamentos de preservação e reprodução das espécies, através de agentes artificiais.

- Propriedades dos robôs:

- Capacidade de “copular” => transferência de programas (genes) com um agente próximo.



- Deduções biológicas:

- Estudar como a evolução ajuda na aprendizagem de comportamentos de captura de baterias, através da propagação de “genes” de codificação de comportamentos exploratórios, actualização de memória, ...

- Comunicação verbal e não verbal

- “Verbal” (Steels, 2003):

- Estudo da evolução de um léxico partilhado numa população de agentes incarnados.
 - Desenvolvimento de um vocabulário a partir da observação comum de um objecto.



- “Não verbal” (Hafner & Kaplan, 2005):

- Estudo de como o gesto de apontar pode desencadear o sistema de comunicação dos robôs, pelo facto de atrair a atenção do outro.

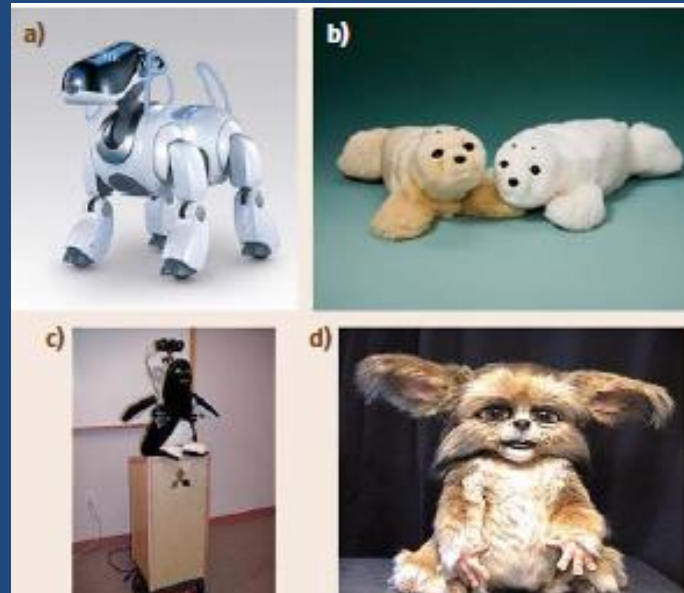
III.3.2. IHR

- Abordagem multidisciplinar:
 - Robótica,
 - Inteligência Artificial,
 - Neurociências,
 - Factores humanos,
 - Design, ...
- Desafio: aproximar-se de uma comunicação (verbal e não verbal) humano-robô natural.

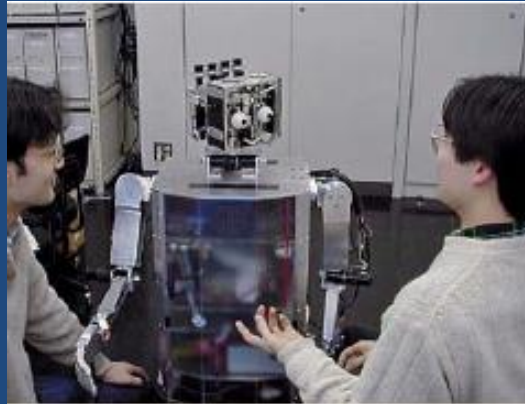
- O realismo morfológico
 - Inspirado no homem:



- Inspirado no animal:



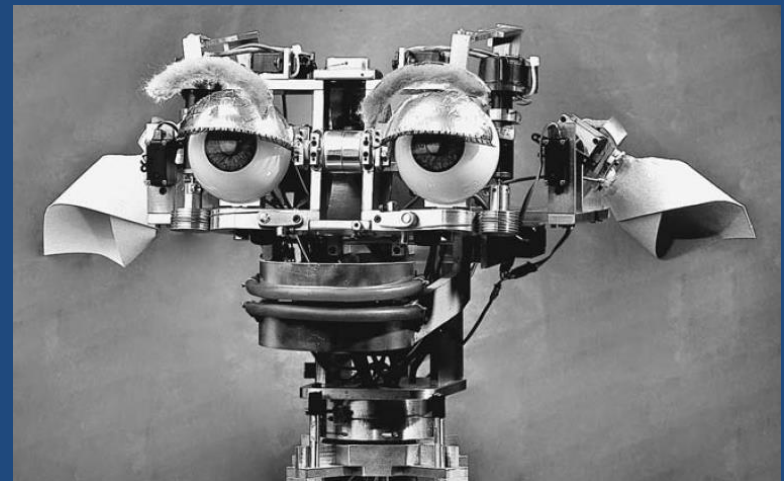
- O realismo sensorimotor
 - Olhar nos olhos quando conversa:



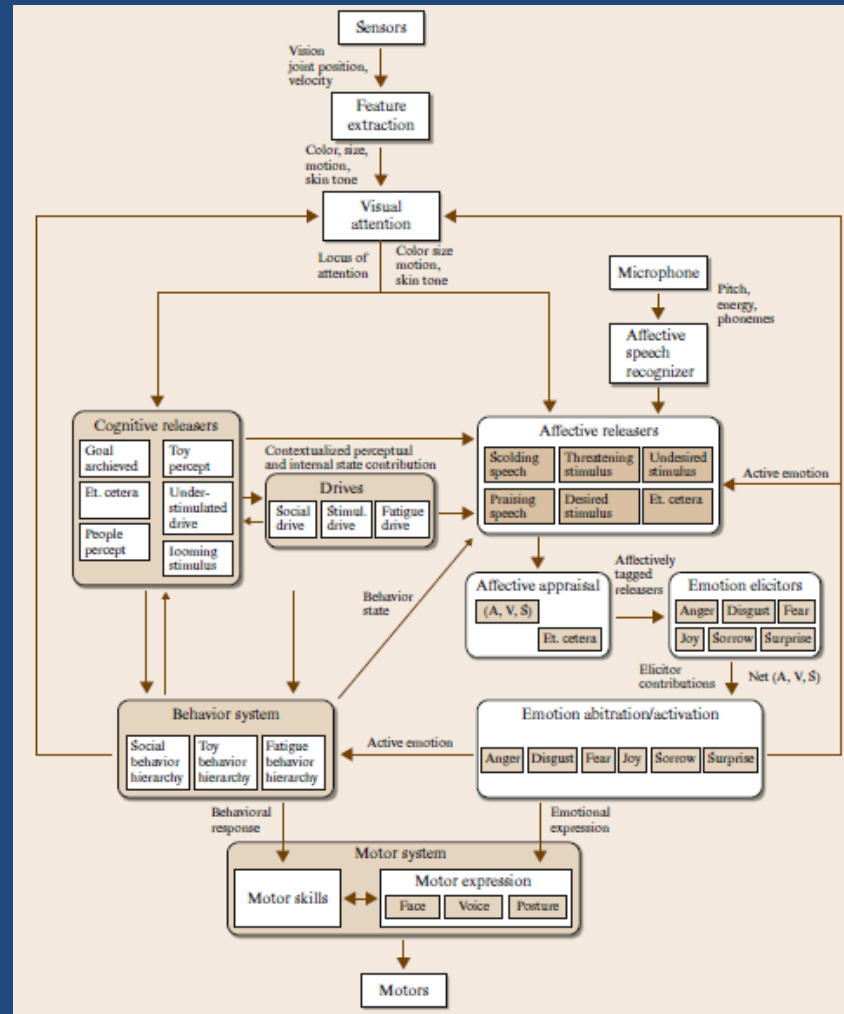
- Seguir a direcção do gesto pelo olhar:



- O realismo emocional
 - Ser humano = ser emocional.
 - Uma comunicação natural implica para o robô:
 - Reconhecer e interpretar os sinais afectivos do ser humano.
 - Expressar as suas próprias emoções.
 - 1º robô concebido para explorar as emoções através da interacção com humanos: *Kismet*.

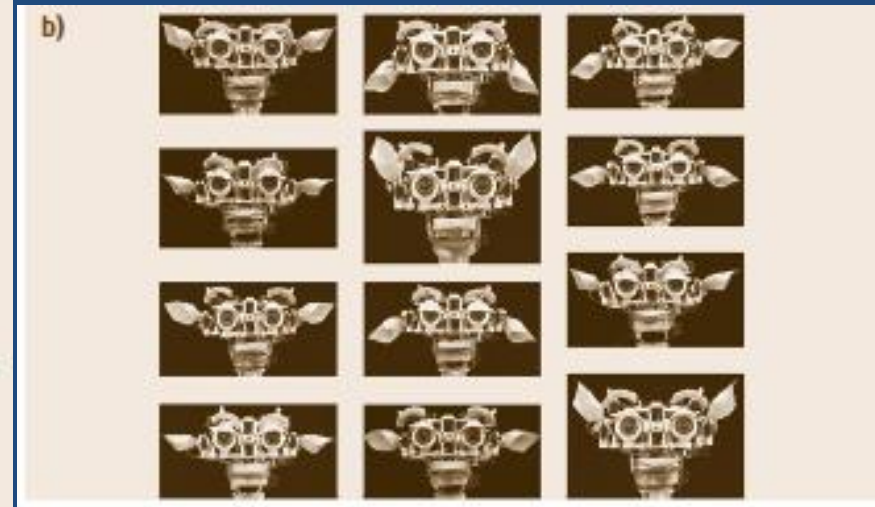
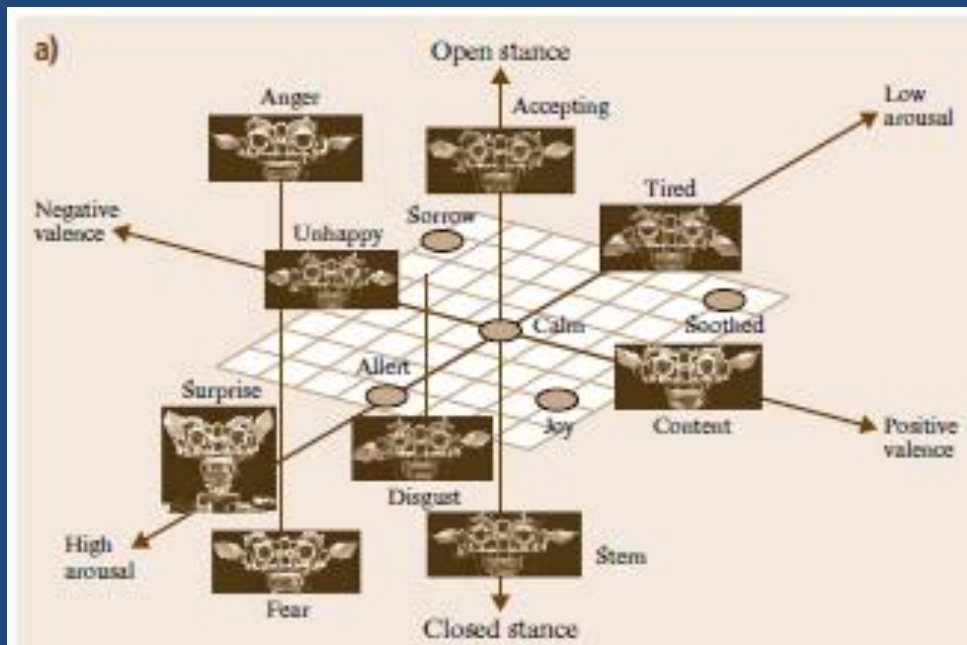


- Arquitetura cognitivo-emocional de *Kismet*:
Intima interacção do sistema cognitivo com o sistema emocional, para influenciar o comportamento motor



– Expressões faciais de *Kismet*:

São geradas a partir de uma técnica de interpolação baseada num espaço 3D



Determinação das expressões possíveis a partir dos seus valores em termos de valência (x), alerta (y) e posição (z)

Amostra de expressões

- O realismo socio-cognitivo
 - Capacidade de perceber e prever os comportamentos humanos em termos de estados mentais subjacentes, tal como as crenças, intenções, desejos, sensações, ...
= *teoria da mente* (ou *senso comum*).
 - Importante para reagir de forma apropriada.

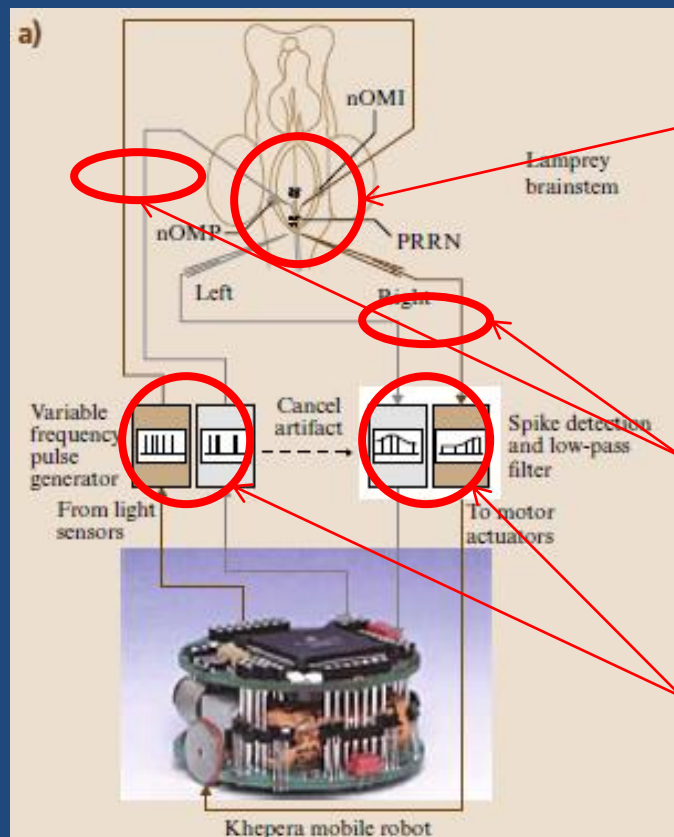


Poder de empatia de Kismet:
a) reflecte o “interesse”.
b) reflecte o “afecto negativo”.

IV. Robôs bio-híbridos

IV.1. Conexões cérebro-máquina

- Híbrido robô-lampreia



Cérebro implicado no equilíbrio

- Situação natural:

- Input sensorial = vestibular

- Output motor = estabilização do corpo

- No híbrido:

- Input = sensores de luz

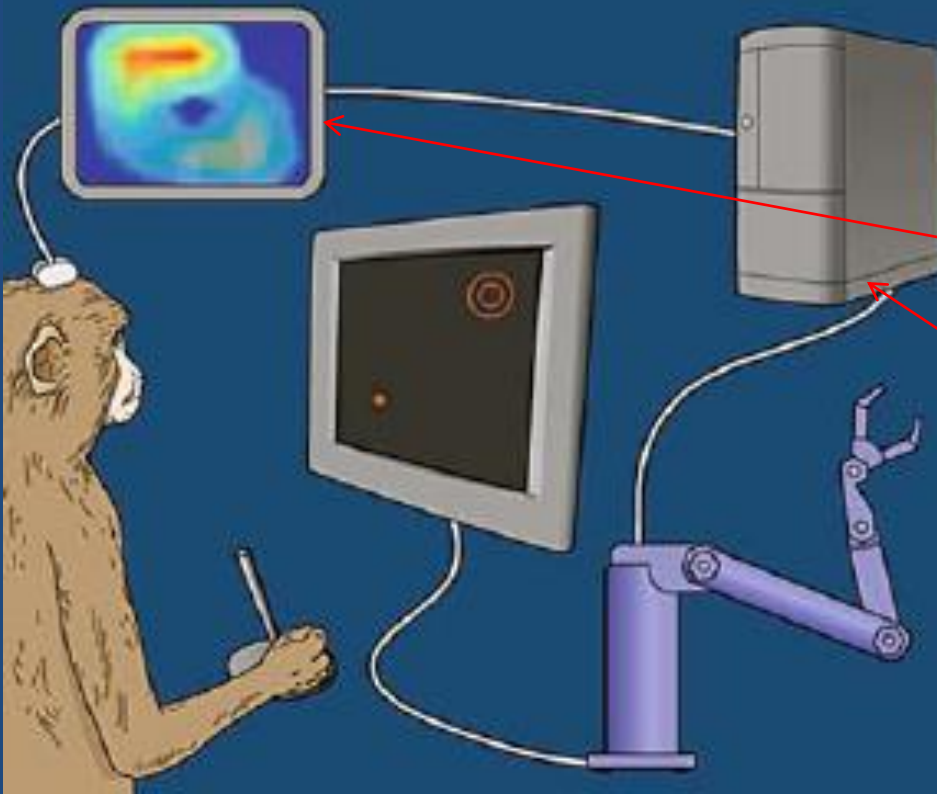
- Output = motores do robô

Tradução (+ filtro) pelo computador

- Input: bits -> spikes

- Output: spikes -> bits

- Híbrido robô-macaco



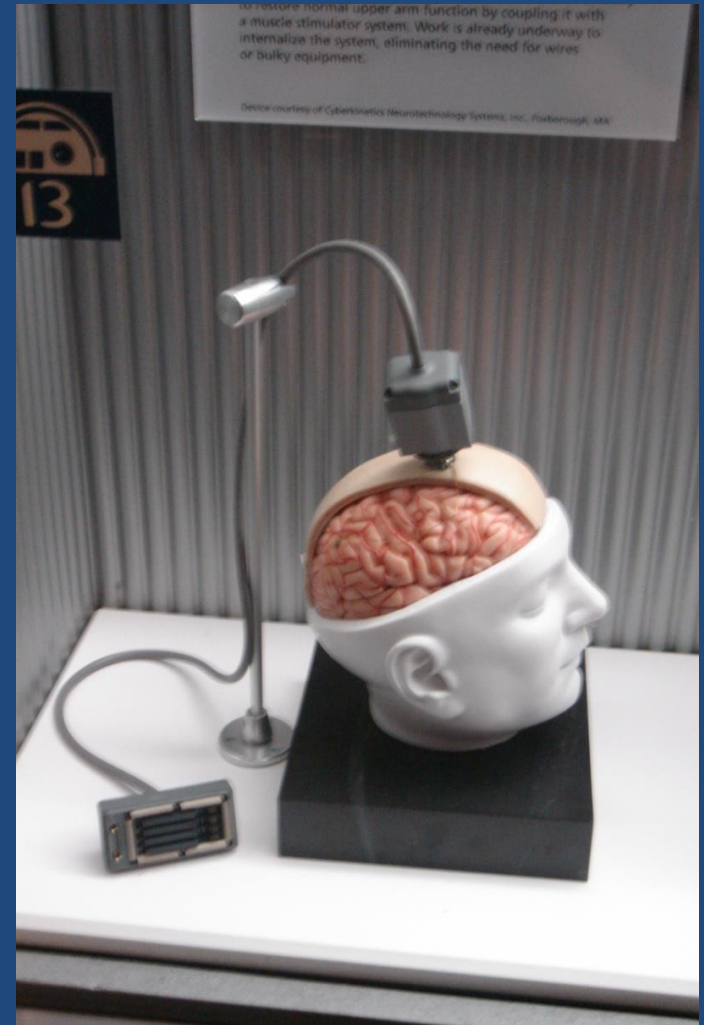
Controlo do robô através da actividade cerebral:

- monitorização do cérebro quando mexe o braço
- tradução do sinal em controlo do robô

Resultado final:

O macaco cumpre a tarefa (acertar no alvo) só pelo pensamento

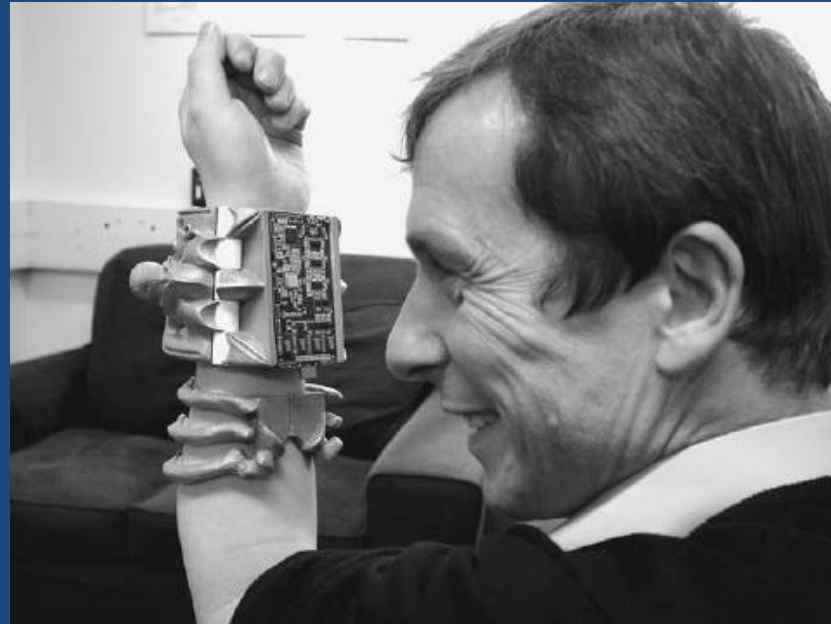
- Aplicações para pessoas deficientes
 - Lesões do SNC (AVC, síndrome “locked-in”, tetraplegia, ...).
 - 2005: 1ª pessoa a controlar uma mão artificial através de um chip (96 eléctrodos) implantado no córtex motor.
 - => capacidade de controlar um robô pelo pensamento.



IV.2. Os Cyborgs

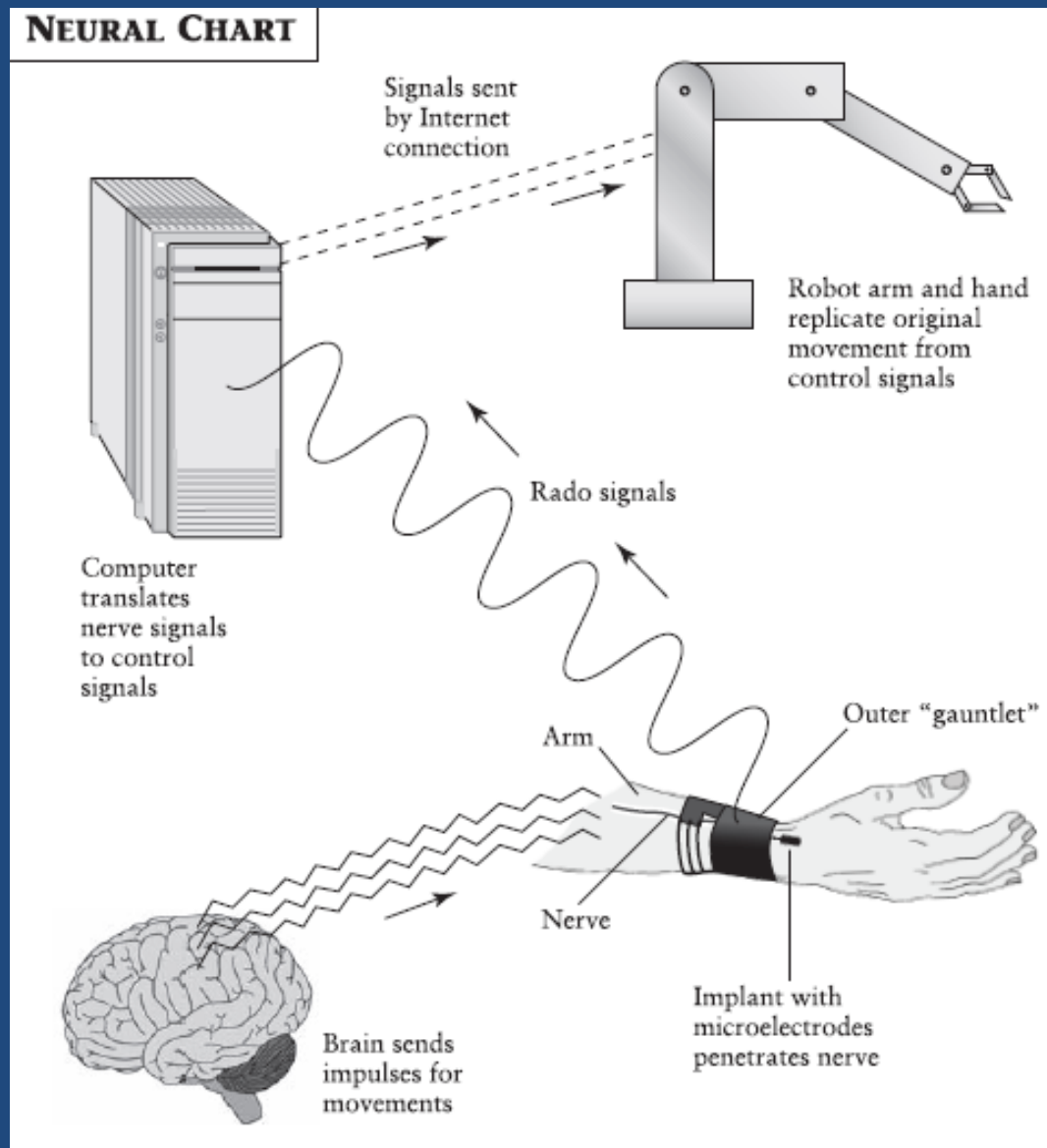
- Humano com o sistema nervoso directamente conectado a um dispositivo electrónico, afim de aumentar as suas capacidades.
- Potenciais aplicações:
 - ↗ memória pelo implante de um chip no cérebro,
 - Controlar a distância uma máquina através da monitorização da actividade neural,
 - Telepatia electrónica,
 - ...

- Dr. K. Warwick: o 1º homem cibernético
 - Implante neural no braço.



- Capacidades adquiridas:
 - Controlo directo de um robô pelo movimento dos dedos.
 - Troca de sinais nervosos com uma outra pessoa implantada.

- Projecto: extensão à escala planetária



V. Conclusões

- Copiar o ser vivo => máquinas adaptadas para “sobreviver” na imprevisibilidade do ambiente natural.
- Ainda longe das capacidades do animal:
 - ↗ conhecimento biológico,
 - O todo não é apenas a soma das partes => ter uma abordagem bottom-up (colecção de módulos comportamentais para obter um sistema integrado).
- ↗ colaboração inter-disciplinar.

Bibliografia

- **Handbook of Robotics.** *Springer, 2008.*
- **Modern Robotics: building versatile machines.** *Harry Henderson, 2006.*
- R. Pfeifer et al. (2007). **Self-organization, Embodiment and Biologically Inspired Robotics.** *Science, 318, 1088-1093.*
- G.M. Edelman (2007). **Learning in and from Brain-Based Devices.** *Science, 318, 1103-1105.*
- F. Kaplan & P-Y. Oudeyer (2006). **Un Robot Curieux.** *Pour la Science, 348, 32-39.*