

Princípio de funcionamento de um servomotor: os servomotores são motores cc que giram apenas para determinar a posição (são formado por: posição desejada, circuito eléctrico de controlo (sinal de erro), motor cc, engrenagem redutora, sensor de posição e feedback). O controlo electrónico é feito por PWM. o sinal de controle é enviado ao servo, indica a posição desejada. Este sinal é comparado com o sinal feedback que indica a posição actual medida pelo sensor de posição. É gerado um sinal de erro que é usado para ajustar a posição do motor. Um servomotor usa o seu eixo (e roda) e em sentido horário e autónomo, mediante um ângulo tipicamente de 180°.

Classificação dos métodos de localização a partir de medidas:

- **relativas (Dead-Reckoning** - é 1 processo d integração d variáveis cinemáticas, requer condições iniciais, os erros dependem do tempo, freq d actualização é determinada pela precisão desejada. A propagação do erro depende das estimativas anteriores e ã requerem marcas especiais no ambiente): a posição actual é determinada com base na última posição conhecida e na medição do movimento do robô (localização baseada em odometria; navegação inercial);
- **absolutas:** a posição actual é determinada com base em informação sobre pontos de referência do mundo exterior (localização: baseada em faróis; baseada em marcas ou atributos; topológica; scan Matching; Markov);
- **mistas:** a posição actual é determinada recorrendo a métodos mistos de posicionamento relativo e posicionamento absoluto.

Considere 1 robô c 1 sist diferencial d direcção e 3 sensors d obstáculos representados por círculos vermelhos. Algoritmo d navegação p o robô seguir uma parede q s encontr à sua direita. Do sensor do lado direito sabemos a dist à parede e s considerarmos a dist min à parede d 5cm e a dist max d 7cm e a dist da frente d 10cm. loop/ s dist min < 5cm então/ roda p a esq p s afastar da parede/ s dist max > 7cm então/ roda p a direi p s aproximar da parede/ s dist max < 7cm e dist min > 5cm então/ segue em frente/ s dist frente < 10cm então/ vira a esq.

Um robô móvel necessita d ser alimentado c 1a tensão d 12V e consome até 880mAh. Qtas baterias d 6V e d 500mAh seriam necessárias p alimentar o robô durant pelo menos 3h seguidas? $880\text{mAh} \times 3 = 2640 \text{ mA}$; $2640/500 = 5,28$; P 1a tensão d 12V ($12:6=2$): $5,28 \times 2 = 10,56$ pilhas, m como tem d ser par dá 11 pares de pilhas=22.

Um robô móvel c 2 motores de 7,2V e 650mA cada, é controlado por um micocontrolador c 1 consumo de 50 mA e tem ainda dos sensores que consomem 20 mA cada. Considerando que o consumo é constante, e que o circuito está a ser alimentado por uma bateria com tensão suficiente de 4Ah, determine qto tempo o robô poderá funcionar em continuo ate a bateria descarregar? $65 \times 2 = 1300\text{mA/h}$, $1300 \times 4\text{Ah} = 5200\text{mA/h}$, motores ganham 5200mA e 4h, $4\text{Ah} = 4000\text{mA/h}$, $1300 + 50 + 40 = 1390\text{mA/h}$, $(4000 \times 60):1390 = 172,66 \text{ min}$, $172,66:60 = 2,88\text{h}$.

Locomoção diferencial: é constituído geral/ por 2 rodas d locomoção e 1a d apoio, neste tipo consegue-se diferenciar os nº d rotações d cada motor, o q permite obter movi/s + rápidos e o robô movimentar-se melhor em espaços peqs. Ex: qd está perto d 1a parede, p evitá-la bloqueia 1a roda, ou dá-lhe – rotações e faz rodar + rápida a outra.

Locomoção tipo carro: este tipo d locomoção é constituído por 2 rodas com locomoção m têm sempre as 2 a mma rotação. Com este tipo d locomoção p fazer o mm movimento q efectuado com a locomoção diferencial é preciso fazer + operações.

Sensores: é qualquer dispositivo que permite ao robô aperceber-se do meio ambiente que o rodeia e do seu próprio estado de funcionamento. Genericamente convertem sinais captados no meio ambiente, em sinais eléctricos que são enviados para o sistema de controlo do robô para serem processados. Os robôs usam os sensores para aquisição de dados e para auto-controlo. Os sensores podem ser classificados em duas categorias: sensores passivos e sensores activos. Os sensores activos também chamados de transceivers, são sensores que baseiam o seu funcionamento na emissão e recepção de sinais (Ex.: sonar, IV, laser). **Categorias de sensores:** Os sensores usados em robótica são peças chave nos actuais tópicos de investigação: construção de mapas, localização, planeamento de trajectórias, detecção de obstáculos, etc. Podem ser divididos nas categorias: • posicionamento e medição de distâncias (São usados para determinar a posição de robôs móveis no meio ambiente em que se encontram; sensores de distância (sonar, IV, laser), bússola digital, GPS, etc.); • detecção de movimento (detectam tipos de movimento como translação e rotação (encoders), velocidade rotacional e longitudinal (velocímetros), aceleração (acelerómetros), etc.); • visão (usados para a vigilância do ambiente onde se encontra o robô. Detectam tipos de movimento como translação e rotação (encoders), velocidade rotacional e longitudinal (velocímetros), aceleração (acelerómetros), etc.); • inspiração biológica (simulam os sentidos dos órgãos sensoriais biológicos; olfacto (nariz electrónico), tacto (sensores tácteis, pele artificial), audição (analisador de som) e visão (visãorobótica)); • ambiente (são usados para explorar o ambiente onde se encontra o robô e detectar fenómenos físicos tais como temperatura, pressão do ar, radiação, humidade, campos magnéticos, etc). **Sensores de posicionamento:** ► **Bússola digital:** permite determinar a orientação absoluta em relação ao campo magnético terrestre. • **Ligação ao BasicX-24:** possibilidade de ligação em rede. O esquema de endereçamento usado permite ligar um máximo de 65000 nós em rede; a capacidade pode ter várias task a executar ao mesmo tempo, inclui conversor analógico digital de 8 canais (correspondem às portas 13 a 20) e de 10 bits de resolução. Todos os canais podem ser usados tanto como input analógico ou digital. o input analógico deve estar entre 0v e 5v. é aconselhável que a ligação terra da fonte de voltagem que se está a medir, seja ligada à terra do BX-24. ► **IR Beacon:** quando usados aos pares permitem determinar a orientação de um deles em relação ao outro. Cada dispositivo tem 4 emissores e 4 receptores de IV estrategicamente posicionados de modo a definirem 4 direcções (N, S, E, W). Os dispositivos estão constantemente a alternar o seu funcionamento entre emissão e recepção do sinal de IV. Assim, quando um dispositivo muda a sua orientação em relação ao outro, o sensor que estava na direcção do outro dispositivo, deixa de receber o sinal de IV e o sensor que fica na direcção do outro dispositivo passa a receber o sinal. A orientação de um dispositivo em relação ao outro é assim determinada pelo sensor que estiver a receber o sinal em dado momento.

Sensores de medição de distâncias: • **Princípios mais comuns de medição:** - **Tempo de voo:** conhecida a velocidade de propagação de um feixe emitido pelo sensor e medido o tempo que o eco deste leva a retornar ao sensor depois de embater num objecto, a distância do sensor ao objecto pode ser determinada pela expressão: $d = \frac{1}{2} v \times Pt$; - **Triangulação:** conhecido o ângulo que um feixe emitido pelo sensor faz com o eco deste que retorna ao sensor depois de embater num objecto, a distância do sensor ao objecto pode ser determinada pela expressão: $d = \tan Q \times A$. Sendo A a distância entre o emissor e o receptor do feixe. Ex.: • Infravermelhos; • Sonar (ultra-som); • Laser; • Radar. ► **Medição de distâncias com sonar:** medem a distância usando o princípio do tempo de voo. Um circuito transmissor emite sinais acústicos com uma frequência típica de 50kHz (**ultra-sons**). Estes sinais ao chocarem com objectos provocam ecos que são captados por um circuito receptor. A distância a que se encontra o objecto é proporcional ao tempo que decorre entre a transmissão do sinal e a recepção do eco correspondente. Este tipo de sensor acústico é mais preciso do que o sensor de IV. Existem no mercado vários exemplares de diferentes marcas. • **Sonar** (explorar o tampo de uma mesa sem cair): Vantagens: baixo custo; leves e pequenos; baixo consumo energético; mais preciso em relações as medições do sensor IV. Desvantagens: atenuação do sinal; reflexão especular do sinal; cross talk; limites mínimos e máximos na medição; efeito das condições atmosféricas; baixa velocidade do som (ex.: Sonar SRF04). ► **Medição de distância com laser:** segue o mesmo princípio de funcionamento do sonar, mas usa um feixe de luz laser em vez de som ultra-sónico. Tipicamente o feixe gira num plano horizontal permitindo obter uma fatia 2D do ambiente. • **Laser:** Vantagens: velocidade superior (3×10^8 m/s); grande precisão (10 mm); resolução angular superior. Desvantagens: limitado ao plano 2D; consumo de energia elevado; custo elevado; materiais indetetáveis. ► **Medição de distâncias com infravermelhos:** medem a distância usando o princípio da triangulação. São de 2 tipos: transmissivos e reflectivos. Ambos são constituídos por emissor e um receptor de luz IV, a diferença esta no caminho que a luz segue. Nos transmissivos a luz emitida pelo emissor dirige-se directamente para o receptor, enquanto que nos reflectivos a luz é reflectida por um objecto antes de seguir ao receptor. Ambos podem ser usados para detectar a presença de objectos. Os do tipo reflectivo podem ser usados para distancias. Resumindo: um circuito transmissor emite um feixe de infravermelhos; este feixe é reflectido por um objecto e um circuito receptor capta-o determinando o ângulo de reflexão; a distância a que se encontra o objecto é proporcional a este ângulo de reflexão. Existem no mercado vários exemplares de diferentes marcas. • **Infravermelhos:** Vantagens: baixo custo; mais rápidos do que o sonar. Desvantagens: menos precisos que o sonar; materiais indetectáveis; gama de distâncias limitadas. (ex.: Sharp GP2d12).

Sensores de detecção de movimento:

- **Codificador absoluto:** gera um padrão linear de bits representativo de uma posição angular de um eixo;
- **Codificador incremental (encoder):** gera um impulso por cada incremento de um certo valor conhecido no deslocamento angular de um eixo. Podem ser usados para determinar a posição e/ou a velocidade de eixos. Usados também para indicar o número total de voltas de eixos (odómetros). Podem ter resoluções muito altas, não necessitam de contacto mecânico, permitem repetir resultados e são fáceis de construir de forma caseira. São relativamente caros. ►
- **Sensores de velocidade:** a velocidade medida é normalmente a velocidade angular, isto porque a maioria dos sistemas baseiam-se em elementos de rotação. Há ainda os sistemas que, usando informação temporal de relógio, usam informação sensorial de posição e derivam a velocidade – caso dos codificadores incrementais;
- **Taquímetro:** dispositivo que gera uma tensão eléctrica proporcional à velocidade de rotação. Acopla-se ao veio em rotação (apropriado para grandes velocidades de rotação, i.e., dezenas de rotações por segundo);
- **Giroscópios:** dispositivo que indica a velocidade angular; fica solidário com o sistema em rotação (apropriado para baixas velocidades angulares, i.e., menores que 100 °/s).

Sensores de inspiração biológica:

- **Sensores de contacto (bumpers e whiskers):** os bumpers consistem normalmente numa série de inúmeros interruptores que se abrem ou fecham por contacto e estão recobertos de um material amortecedor. É muito fácil construir este tipo de sensores de uma forma caseira, onde o limite é a nossa imaginação. São baratos, simples de usar e robustos. Os whiskers (bigodes de gato) são muitas vezes usados para navegação efectiva e são filamentos semi-rígidos que activam um contacto eléctrico quando tocam em algo.
- **Sensores de som:** Descodificador de tom.
- **Sensores de cor:** Sensor de cor TCS230 (ex.: seguir uma linha preta, pintada em chão).
- **Sensor de visão robótica (ex.: CMUCam. Câmara:** seguimento de objectos com uma cor) – Características: 17 frames por segundo, a CMUCam é capaz de: identificar a posição e tamanho de um objecto; medir o histograma RGB ou YUV de uma região da imagem; identificar e seguir automaticamente o primeiro objecto visível; seguir automaticamente um objecto através de um servomotor ligado directamente; enviar a imagem capturada através da porta série; enviar um bitmap com a forma do objecto detectado, através da porta série; é o sensor com maior grau de consistência que os outros, existe para visualizar qq objecto.

Sensores de ambiente: ► **Sensor de radiação infravermelha:** na sua forma mais simples detectam a proximidade de um objecto através da radiação reflectiva. Podem usar triangulação para determinar a distância a que se encontra o objecto. São baratos e simples de usar. Alguns modelos usam modelação de frequência para se tornarem imunes a fontes de radiação infravermelha do meio ambiente. Fototransistor como sensor da chama da vela A chama da vela é uma fonte de radiação infravermelha. • **Modelação do sinal de infravermelhos:** normalmente a luz IV emitida pelo emissor é modelada a uma determinada frequência e o receptor apenas responde à luz recebida nessa mesma frequência. O circuito (P1-r1-not D1-terra; P0-and T1- terra) pode ser construído com o emissor de IV D1 que emita luz com um comprimento de onda de 980nm, por exemplo. O receptor T1 deverá ter um filtro óptico que deixe passar luz apenas com esse mesmo comprimento de onda e terá também um filtro electrónico que permita apenas passar luz modelada a 38kHz. Por outras palavras, o receptor só responde a luz infravermelha que pisque 38.000 vezes por segundo. Este método evita interferências provocadas por fontes externas de IV como o sol (0Hz) ou as luzes das casas (120 Hz). Os sensores IV podem dar leituras erradas devido à interferência de fontes de infravermelhos presentes no ambiente.► **Sensor de linha branca,** ► **Sensor de radiação ultravioleta (ex.: UV-Tron),** ► **Sensor piroelectrico:** sensíveis ao calor em forma de radiação infravermelha. São úteis para detectar objectos emissores de calor. São baratos, simples de usar e robustos, mas normalmente é necessário haver movimento para detecção contínua (ex.: Eltek 442-3 IR-EYE. Localização de uma fonte de calor). **Representação do ambiente:** a escolha correcta da representação interna do ambiente é um dos principais factores que influencia o sucesso de uma técnica de localização. O mapa do ambiente deve ser capaz de armazenar informações suficientes para que o robô se localize, mas não pode ser muito pesado a ponto de comprometer a performance do sistema de controle. Existem duas formas principais de representação de ambiente utilizadas pelas técnicas de localização: - **Mapas geométricos:** representam os objectos de acordo com a sua posição geométrica absoluta. Este tipo de mapa pode ser poligonal (os obstáculos são representados por polígonos) ou baseado em grelhas (o valor de cada célula indica a presença de um obstáculo naquela posição). - **Mapas topológicos:** são baseados nas relações geométricas observadas entre características do ambiente, ao invés de sua posição absoluta. Esta representação toma a forma de grafos, onde os nós são os pontos de referência (ou características) e os arcos indicam a relação entre estes pontos e como o robô pode mover-se entre eles. Os mapas topológicos podem ser construídos sem a necessidade de estimar a posição exacta do robô. Esta abordagem permite a integração de grandes mapas, minimizando o problema de erros sensoriais, pois as conexões entre os nós são relativas. O problema com este tipo de representação é o fato de que é necessário que o sistema seja capaz de reconhecer os pontos de referência e diferencia-los uns dos outros.

Localização baseada em odometria: determina a localização do robô de forma incremental através da contagem do deslocamento angular das rodas. É um sistema totalmente autocontido (não depende de partes externas ao robô). Está no entanto sujeito a erros que pela natureza incremental do método, podem crescer muito depressa e de forma descontrolada. **Erros da odometria:** - **sistemáticos:** (característicos do robô e/ou dos sensores): rodas com diâmetros diferentes e não alinhadas; valor médio do diâmetro diferente do eixo nominal; encoder de resolução finita e tempo de amostragem discreto. - **não-sistemáticos** (São característicos da interacção do robô com o ambiente): movimento em terreno irregular; derrapagem das rodas (solo escorregadio; grandes acelerações; forças internas - rodas de apoio; forças externas - interacção com obstáculos; rodas sem apoio). **Localização baseada em faróis:** são dispositivos que permitem obter informação sobre pontos do mundo exterior cuja localização é conhecida. Os faróis enviam essa informação ao robô por via óptica ou rádio, a qual é depois usada para determinar a posição do robô através: - **Trilateração** (reconhecimento aéreo): a posição do robô é determinada com base na distância deste a um conjunto de faróis. Existem duas configurações típicas: 3 ou mais faróis em localizações conhecidas e um receptor no robô, ou um transmissor no robô e receptores em localizações conhecidas (ex.: sistema GPS); - **Triangulação:** é a resolução de sistemas de equações não lineares, não requer condições iniciais, os erros dependem do tempo, a frequência de actualização é determinada pelos requisitos de actualização, a propagação do erro não depende das estimativas anteriores e requerem marcas especiais no ambiente. **Localização baseada em marcas** (cortar erva num jardim): as marcas são sinais que o robô detecta e que lhe permitem determinar a sua posição usando métodos semelhantes aos usados com os faróis, e/ou comparando as marcas com mapas do mundo. (adquirir informação sensorial; detectar e segmentar as marcas; determinar correspondência entre os dados sensoriais e o mapa do mundo; calcular a posição). Detectar e determinar correspondências, são as tarefas mais complexas. Após ter sido determinada a correspondência, podemos usar triangulação para calcular a posição do robô. - **Marcas naturais** (robô aspirador): são objectos ou características do meio ambiente cuja função específica não é o auxílio na navegação de robôs, mas que podem ser usados como pontos de referência caso sejam detectada pelo robô. - **Marcas Artificiais:** são objectos ou marcadores especialmente desenhados para serem usados como pontos de referência para a navegação do robô. A detecção é muito mais fácil neste caso porque as marcas são especialmente desenhadas para que isso aconteça. Para além disso as marcas são conhecidas à partida o que simplifica os algoritmos de detecção e correspondência. **Localização topológica** (Transporte de mercadorias numa fábrica: é tb marca artificial): baseada na descrição topológica do ambiente. Este método é motivado pelas evidências da ciência cognitiva que indicam que os humanos dependem inicialmente de informações topológicas, ao invés de métricas, para navegação. O modelo topológico é organizado como um grafo, com os nós representando pontos de referência (chamados "distinctive places" – DPs), e os arcos representando rotas conectadas. Conhecimento procedural sobre como detectar os DPs e de como seguir as rotas descritas pelos arcos são incorporados no modelo e informações métricas são associadas com cada nó e arco para permitir uma precisão geométrica local. O robô utiliza esse grafo para se mover de forma eficiente de um DP para outro seguindo as rotas definidas pelos arcos. O método depende muito da noção de DPs. Um DP é definido como um ponto no ambiente que é distinguível localmente de acordo com alguns critérios geométricos. Isto é definido como "assinatura", um sub-conjunto de características que são maximizadas no DP, tais como: distância entre objectos, simetria do ambiente, entre outros.

Principais técnicas de navegação: Sensorial/Reativa; roadmap (Mapa de Estrada); Matricial. **Resumo dos**

Método: representação, custo computacional, mínimos locais, global, ambiente dinâmico, posição precisa.

DistBug: n utiliza, baixo, não, não, não, não. **Nav baseada em comportamentos:** não utiliza, baixo, sim, não, sim, não. **Mapas neurais:** campo neural, alto, sim, sim, não, sim. Grafo de visibilidade: poligonal, alto, não, sim, não, sim. **Voronoi:** poligonal, alto, não, sim, não, sim. **Decomposição Celular:** poligonal e topológica, médio, não, sim, não, sim. **Transformada de distancia:** grade, médio, não, sim, não, sim. **Campos Potenciais:** grade e poligonal, médio, sim, não, sim, não. **Astar:** grade, baixo, não, sim, não, sim. **Dstar:** grade, médio, não, sim, sim, sim. ♦ **Abordagem Sensorial/Reactiva:** o processo de planeamento de trajectórias do robô incorpora directamente as informações sensoriais, reflectindo o estado actual do ambiente. Isto é justamente o oposto das técnicas de navegação clássicas, onde o conhecimento total sobre a geometria do ambiente precisa ser estabelecido antes de se iniciar o processo de planeamento. A navegação baseada em sensores pode ser preferível em relação aos métodos clássicos porque: - em muitos casos o robô não possui conhecimento antecipado sobre o ambiente onde ele irá actuar; - o robô dispõe de um conhecimento parcial sobre o ambiente devido a limitação de memória; - os modelos de ambiente geralmente não são precisos; - no ambiente podem ocorrer situações inesperadas ou mudanças rápidas. ► **Algoritmo “Bug”:** inspirados no comportamento de insectos. Método apropriado para quando se tem informação limitada sobre o espaço. Apenas é conhecida a direcção até ao objectivo. O robô apenas tem percepção local para detectar obstáculos. Assume-se um espaço onde existe um número finito de obstáculos com formas finitas que podem ser intersectados por uma linha um número de vezes finito. ► **Algoritmo “Bug” 1:** considerar uma linha s-line que une a posição inicial do robô e a posição do objectivo. 1) Avançar em direcção ao objectivo segundo a s-line; 2) Rodear o obstáculo até encontrar novamente a s-line; 3) Deixar de rodear o obstáculo e continuar em direcção ao objectivo segundo a s-line; 4) Repetir até atingir o objectivo. ► **Algoritmo “Bug” 2:** 1) Avançar em direcção ao objectivo; 2) Rodear o obstáculo até poder avançar novamente em direcção ao objectivo; 3) Repetir até atingir o objectivo. • **Navegação baseada em comportamentos:** o robô executa comportamentos como “seguir a parede” ou “entrar na sala”. Estes comportamentos podem ser representados através de autómatos de estados finitos nos quais os estados correspondem aos comportamentos e os arcos correspondem aos gatilhos que indicam um novo comportamento. O estado actual indica o comportamento seguido pelo robô. Quando o robô recebe as informações sensoriais, e estas informações correspondem a um determinado gatilho que o estado actual possui, o comportamento que o gatilho indica torna-se no novo estado actual. Já que os autómatos de estados finitos são baseados em comportamentos e gatilhos, o robô não necessita de um modelo do ambiente ou informações completas sobre o estado actual do mundo.

Abordagem Roadmap: para a geração de caminhos consiste em reduzir as informações do ambiente a um grafo representativo dos possíveis caminhos existentes entre a posição actual do robô e a posição objectivo. Depois o grafo é usado para determinar uma trajectória que leve o robô da sua posição actual até ao objectivo. No geral os métodos roadmap são rápidos e simples de implementar, mas são limitados quanto à forma de representação das informações do ambiente. ► **Decomposição Celular:** a ideia básica por trás do método de decomposição celular é que um caminho entre a posição actual e o objectivo pode ser determinado subdividindo-se o espaço livre em regiões menores chamadas células. Após esta decomposição, um grafo de conectividade é construído de acordo com as adjacências entre as células, onde os nós representam as células no espaço livre, e os arcos entre os nós indicam as adjacências. Através do grafo de conectividade, um caminho contínuo, ou canal, pode ser determinado simplesmente seguindo as células livres adjacentes. A decomposição celular pode ser exacta - o espaço livre é decomposto em células cuja união é exactamente o espaço livre; ou pode ser aproximada - o espaço livre é decomposto em células de forma pré-definida (quadrados por exemplo), em que a união das células está estritamente incluída no espaço livre. • **Decomposição trapezoidal:** O espaço S com a posição inicial do robô e a posição do objectivo. Partição do espaço livre em células trapezoidais e triangulares com base nos vértices dos obstáculos e na fronteira do ambiente (partição exacta). Este método garante uma partição exacta e completa: todo o espaço livre será decomposto em células. A decomposição em células é representada num grafo cujos vértices representam as células e as arestas representam a relação de adjacência entre estas. Pesquisa de um caminho de células adjacentes desde a posição inicial do robô até à posição do objectivo. Transformação da sequência de células num caminho livre de obstáculos, por exemplo, conectando os pontos médios dos segmentos de intersecção entre duas células adjacentes. A decomposição trapezoidal é exacta mas não é óptima. A obtenção do número mínimo de células é um problema NP-completo. • **Decomposição quadtree:** Cada região ocupada com uma mistura de obstáculo e espaço vazio é subdividida recursivamente em quatro quadrantes. Este método não garante uma partição exacta e completa. Cada região ocupada com uma mistura de obstáculo e espaço vazio é subdividida recursivamente em quatro quadrantes. As células rectangulares são decompostas recursivamente em células rectangulares mais pequenas. Para um dado nível de resolução apenas são usadas as células cujo interior esteja totalmente dentro do espaço livre. As células adjacentes são novamente representadas por um grafo que é usado para encontrar um caminho livre de obstáculos. ► **Grafo de Visibilidade** (ex.: labirinto do concurso): obtido gerando-se segmentos de recta entre os pares de vértices dos obstáculos. Todo o segmento de recta que estiver inteiramente na região do espaço livre é adicionada ao grafo. Para executar o planeamento de trajectória, a posição actual e o objectivo são tratados como vértices, isso gera um grafo de conectividade onde se podem utilizar algoritmos de procura para se encontrar um caminho livre. Os métodos mais simples utilizados para construir um grafo de visibilidade tem complexidade $O(n^3)$. O caminho mais curto que for encontrado no grafo de visibilidade é o caminho óptimo para o problema especificado. Mas os caminhos encontrados no grafo “tocam” os obstáculos. Isso não é aceitável num problema de navegação robótica, por esse motivo os obstáculos devem ser modificados, criando-se um espaço de configuração. Para a utilizar um método de navegação com grafo de visibilidade é necessário que o mapa seja completo e bem definido. Não é possível navegar num ambiente que possua obstáculos móveis e a localização do robô móvel deve ser conhecida com precisão durante toda a navegação. O espaço S com a posição inicial do robô e a posição do objectivo. Construção de um grafo de visibilidade formado por todas as sequências de segmentos que unem vértices de obstáculos sem atravessar nenhum deles, incluindo a posição inicial do robô e a posição do objectivo. Determinação do caminho mais curto entre a posição inicial e a posição final, isto é, caminho com menor número de segmentos. O caminho final requer processamento adicional para se afastar dos obstáculos.

Arquitecturas de Controlo: **A. Delirativa:** o robô usa todos os sensores e toda a informação global que possui do mundo e cria um plano de acção. O robô executa uma pesquisa através de todos os planos possíveis até encontrar uma que executa a tarefa. Este tipo de raciocínio pode ser muito demorado pelo que não é adequado a situações em que o robô tem que actuar com rapidez. No entanto, nas situações em que há tempo, estas arquitecturas são apreciáveis, pois é possível encontrar um plano que optimiza a execução de determinada tarefa.

Reactiva bas comportamentos (robô de entretenimento tipo AIBO): inspirados na biologia e tratam modelar a maneira como os cérebros dos animais lidam com os problemas difíceis de raciocínio e acção. Estas arquitecturas são também formadas por várias partes ou camadas, mas as diferentes camadas são muito diferentes entre si. As camadas são formadas por conjuntos de comportamentos, isto é, processos que recebe importantes e enviam outputs entre si.

Arquitectura híbrida (robô opportunity a explorar Marte, bombeiro): combinar o melhor das arquitecturas deliberativas e reactivas, nesta arquitectura existe um módulo responsável por executar o planeamento a longo prazo e o outro para lidar com situações que necessitam de reacção imediata. Exemplo para controlar o robô bombeiro: (input, sensores, percepção, modulação, planeamento, execução, motores, output dos actuadores) 1º as entradas sensoriais são utilizadas para modificar a representação interna do ambiente; 2º baseada nesta representação um plano a longo prazo é elaborado, isto resulta numa série de acções que o robô deve executar para alcançar o seu objectivo; 3º esta série de acções é utilizada para comandar os actuadores do robô, isto completa o ciclo de controlo e o sistema é reiniciado para atingir novos objectivos.

Subsumption: proporciona uma manobra de combinar, controlo distribuído em tempo real, com comportamentos disparados por informação sensorial, os comportamentos são simplesmente níveis de controlo que são executados em paralelo, sempre que determinados sensores a disparem.

Características: a ligação directa entre os sensores e actuadores significa que a maioria dos comportamentos pode ser visto como simples reflexos, isto é, importante porque este tipo de sistemas não necessita de um modelo do mundo. Uma vez, que não há um modelo, o robô necessita de muita memória e o processamento é trivial, o que permite a implementação em microcontroladores simples. Comportamentos complexos podem ser obtidos a partir das iterações de comportamentos mais simples (ex. para o robô bombeiro: sonar – evitar (escada); câmara – centrar robô; sensor luz – detectar vela; sensor linha – detectar linha; navegar; actuadores).

Probl da integração entre a camada reactiva e a deliberativa: as camadas diferem em termos de representação, a camada reactiva usa tipicamente uma representação muito simples do estado do ambiente e trabalha tipicamente com intervalos de tempo muito pequenos implementados em loops de feedback entre sensores e motores; a camada deliberativa usa representações complexas do mundo e trabalha com escalas de tempo muito maiores na ordem dos minutos ou horas. Para resolver este problema, geralmente requer um terceiro módulo responsável pela gestão da comunicação entre o módulo planeador e o modulo reactivo. por este motivo estas arquitecturas são também chamadas de arquitecturas de 3 camadas (planeador, camada intermédia, sistema reactivo).