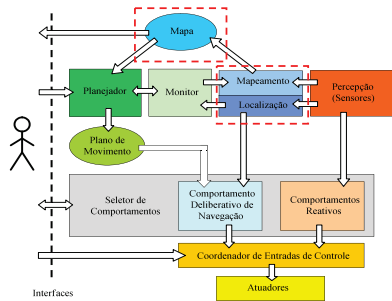
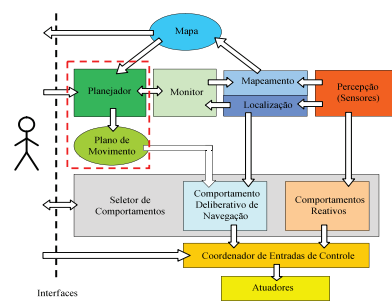


Arquitetura híbrida para robô móvel desenvolvida



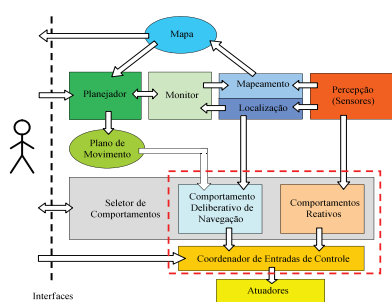
34

Arquitetura híbrida para robô móvel desenvolvida



35

Arquitetura híbrida para robô móvel desenvolvida



38

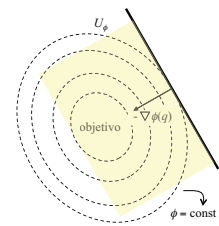
Comportamento deliberativo de navegação

Função de navegação: $\phi(q)$

Para atingir o objetivo: $\dot{\phi}(q) < 0$

Possível controlador (gradiente negativo):
 $\dot{q} = u_\phi = -\nabla\phi(q)$

Semi-espaço admissível (Esposito;Kumar, 2002)



39

Comportamento reativo de desvio de obstáculos

Função de restrição imposta pelo obstáculo

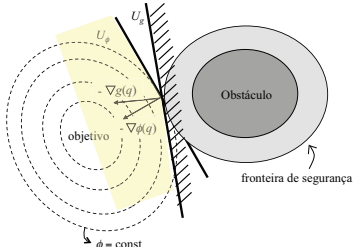
$$g_i = g_i(z_i, f_i, q)$$

Distância ao obstáculo deve aumentar

$$\dot{g}_i \leq 0$$

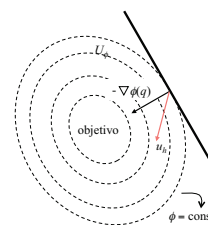
Espaço admissível

$$F = U_\phi \cap U_g$$



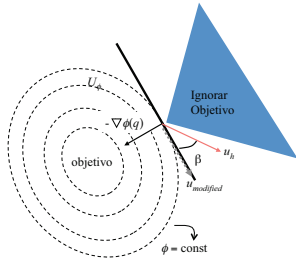
40

Combinando entrada do usuário com comportamento deliberativo



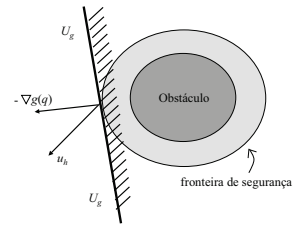
41

Combinando entrada do usuário com comportamento deliberativo



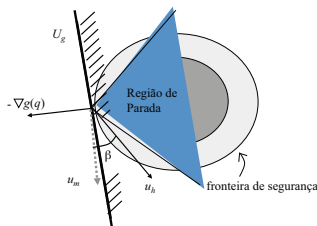
42

Combinando entrada do usuário com desvio de obstáculo



43

Combinando entrada do usuário com desvio de obstáculo



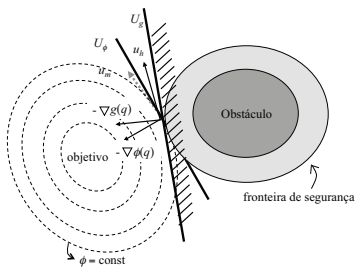
44

Algoritmo de coordenação de entradas de controle

- Se existe entrada de controle do usuário:
 - Coordena entrada do usuário com comportamento deliberativo de navegação (**alcançar objetivo**);
 - Coordena entrada resultante com comportamento reativo de desvio de obstáculos (**integridade física do robô**);
- Senão:
 - Coordena comportamento deliberativo de navegação (**alcançar objetivo**) com comportamento reativo de desvio de obstáculo (**integridade física do robô**);

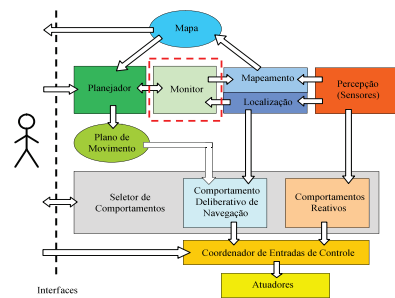
45

Plano deliberativo, comportamentos reativos, e entradas de usuário



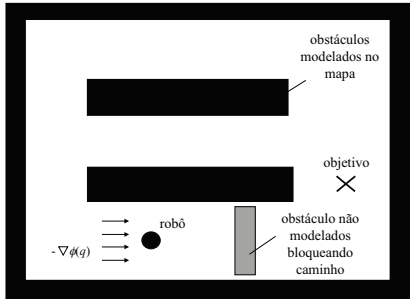
46

Arquitetura híbrida para robô móvel desenvolvida



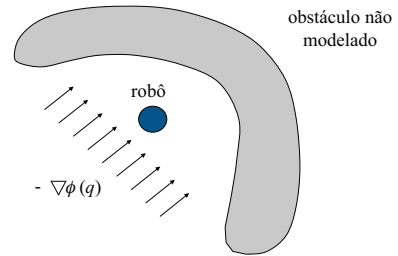
47

Monitor de progresso e replanejamento



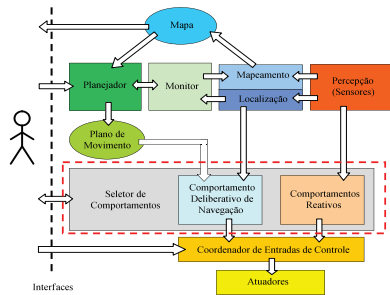
48

Monitor de progresso e replanejamento



49

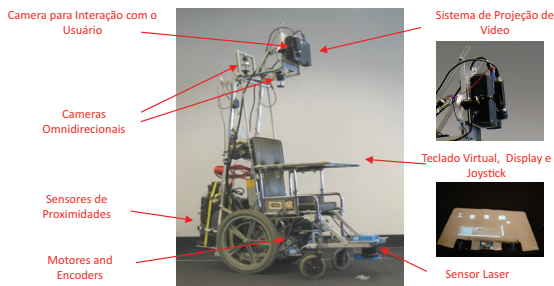
Arquitetura híbrida para robô móvel desenvolvida



50

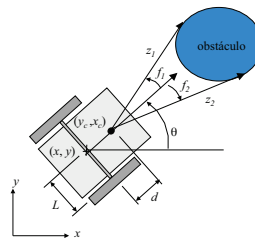
Implementação e Resultados

Implementação: cadeira de rodas SmartChair



53

Modelo do sistema



Equações de movimento:

$$\begin{aligned} \dot{x} &= v \cos(\theta) \\ \dot{y} &= v \sin(\theta) \\ \dot{\theta} &= \omega \end{aligned}$$

Variáveis de controle:

$$\dot{q} = \begin{pmatrix} \dot{x}_c \\ \dot{y}_c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta & -d \sin \theta \\ \sin \theta & d \cos \theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v \\ \omega \end{pmatrix}$$

54

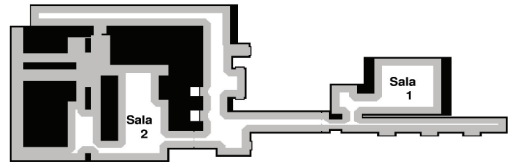
Mapeamento e Localização

- Localização:
 - Odometria
- Mapeamento
 - Mapa fornecido *a priori*
 - Não é atualizado durante navegação

55

Espaço de configurações

- Mapa do laboratório expandido: robô é considerado como um ponto no espaço de configurações



56

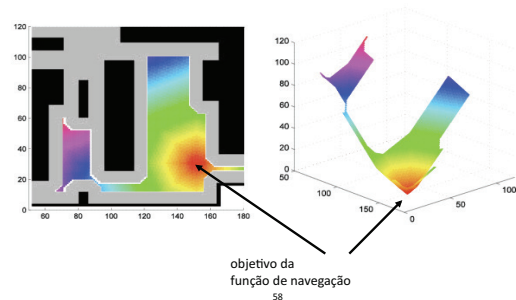
Planejador de movimento

- Algoritmo *wave-front* (programação dinâmica)
- Aproximação de uma função de navegação

3.5	2.5	1.5	1	1.5
3	2	1	0	1
		1.5	1	1.5
		2.5	2	2.5
5.5	4.5	3.5	3	3.5

57

Função potencial de navegação



objeto da
função de navegação
58

Outros aspectos de implementação

- Seletor de comportamentos manual
- Monitor de progresso e replanejamento não foram implementados nesta versão
- Coordenador de entradas de controle implementado conforme método desenvolvido
 - Comportamento deliberativo de navegação
 - Comportamento reativo de desvio de obstáculos
 - Entrada do usuário através de um joystick

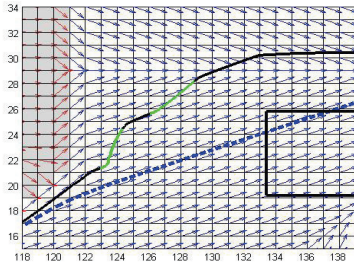
59

Experimentos

- Três modos de operação:
 - Autônomo
 - Manual
 - Semi-autônomo
- Dois ambientes diferentes
- Presença de obstáculo não modelado no mapa
 - Este obstáculo não foi levado em consideração no planejamento da trajetória

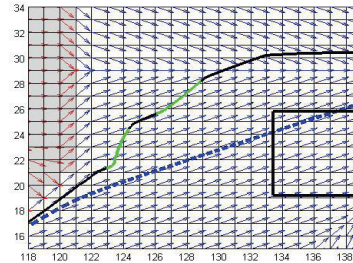
60

Modo de operação autônomo



61

Modo de operação autônomo



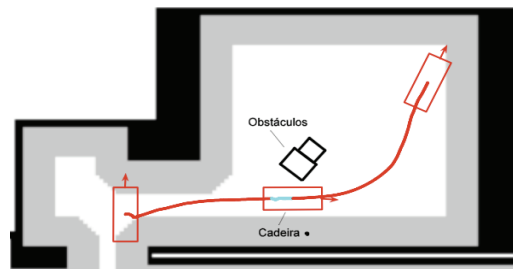
62

Múltiplas trajetórias



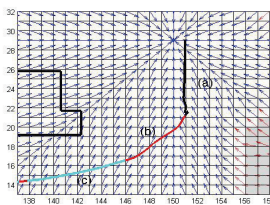
63

Modo de operação manual



64

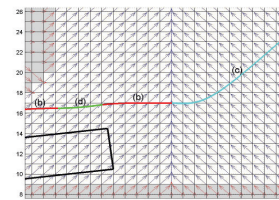
Modo de operação semi-autônomo



- (a) plano deliberativo
- (b) entrada do usuário
- (c) comportamento reativo

65

Modo de operação semi-autônomo

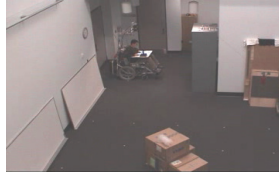


- (a) Plano deliberativo
- (b) entrada do usuário
- (c) Entrada do usuário modificada
- (d) comportamento reativo

Modo de operação autônomo

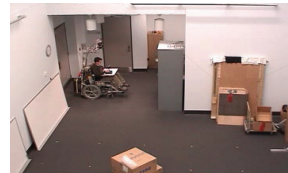


Sem obstáculos

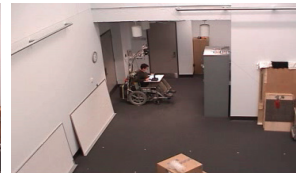


Com obstáculo não modelado

Modo manual e modo semi-autônomo



Modo manual



Modo semi-autônomo

Desempenho do sistema

- Remote Objects Control Interface – ROCI
 - Plataforma de programação
 - Modular, distribuída
 - Integração dos módulos em tarefas descritas em um arquivo XML
- Pentium 4, 2.4GHz, Windows 2000
- Sensor laser a 5Hz
- Odometria a 9Hz
- Velocidade da cadeira de rodas 0.13m/s

69

Conclusões

Conclusão

- Arquitetura híbrida (deliberativa/reactiva) para robôs móveis
 - Tarefas de navegação
 - Planejamento utilizando funções de navegação
 - Diferentes modos de autonomia
 - Interação humana no papel de supervisor e operador
 - Operador compartilha o controle do robô com o sistema de navegação

71

Conclusão

- Arquitetura implementada em uma cadeira de rodas robótica
- Experimentos e resultados em três modos de operação: autônomo, manual, e semi-autônomo
- Sistema impede colisões através do desvio de obstáculos mesmo no modo manual

72