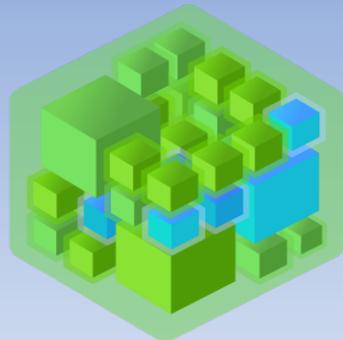


Sistema de Estacionamento Automático para um Veículo Autônomo

Mariella Berger



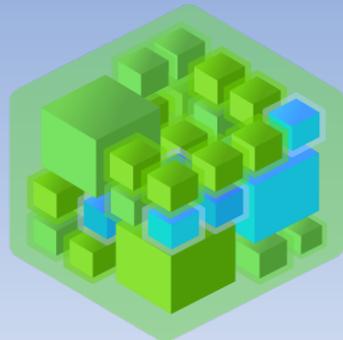
lcad

LABORATÓRIO DE COMPUTAÇÃO
DE ALTO DESEMPENHO

Agenda

- Introdução
- Sistema de Localização de Vagas
- Algoritmo de Geração de Trajetória
- Resultados

Introdução



lcad

LABORATÓRIO DE COMPUTAÇÃO
DE ALTO DESEMPENHO

Motivação

- Estacionar um automóvel é uma manobra que exige do motorista uma boa orientação espacial.



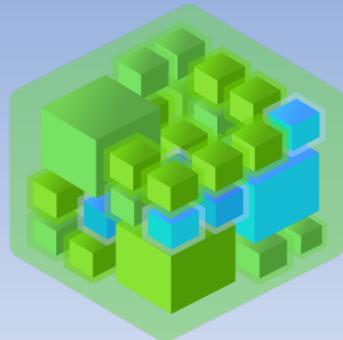
Objetivos

- Implementar um sistema de detecção de uma possível vaga através de sensores ultra-sônicos.
- Desenvolver um algoritmo que gera uma trajetória para se estacionar.

Local de desenvolvimento

- **CADU**: Carro Autônomo Desenvolvido na UFMG.
- **PDVA**: Grupo de Pesquisa e Desenvolvimento de Veículos Autônomos.
- Laboratório de Sistemas de Computação e Robótica.

Sistema de Localização de Vaga

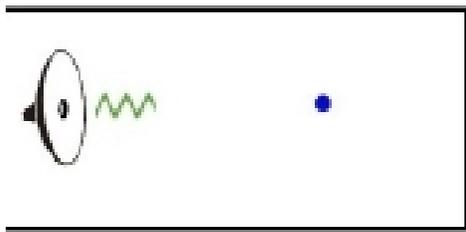


lcad

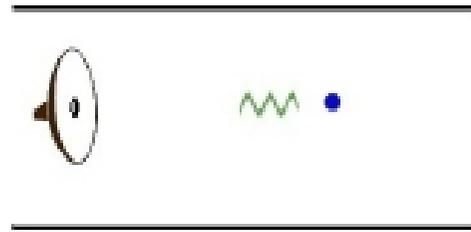
LABORATÓRIO DE COMPUTAÇÃO
DE ALTO DESEMPENHO

Ultra-som

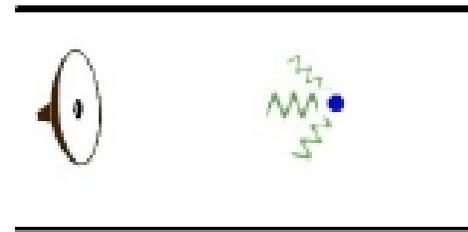
- A distância se baseia na medição do tempo decorrido entre a emissão e a recepção de uma onda (*time-of-flight*).



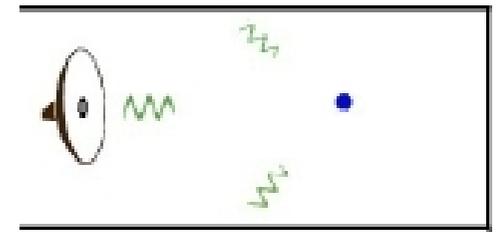
(a)



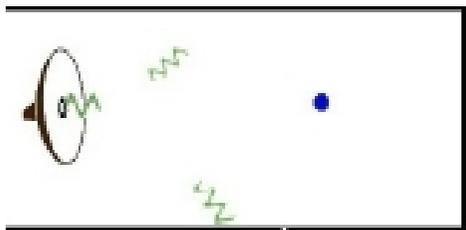
(b)



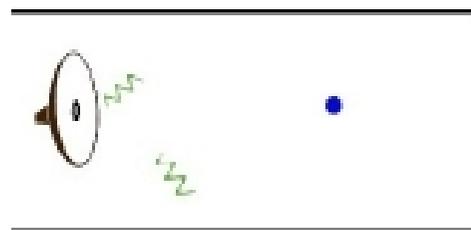
(c)



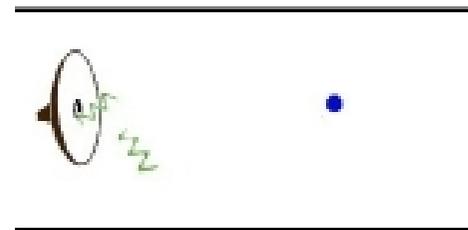
(d)



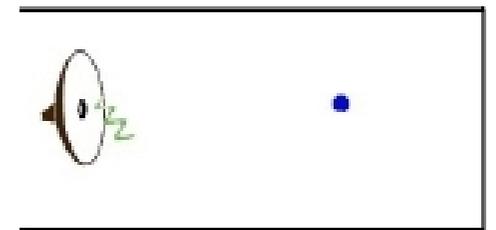
(e)



(f)



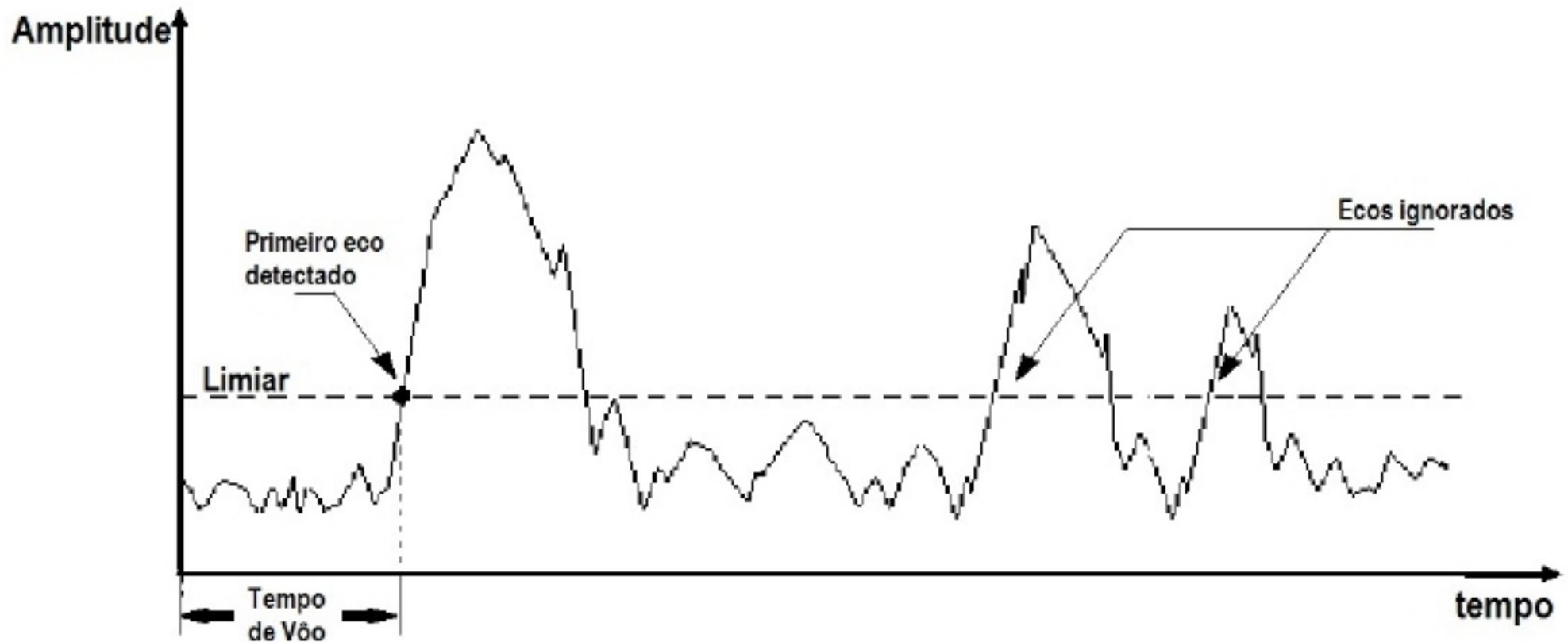
(g)



(h)

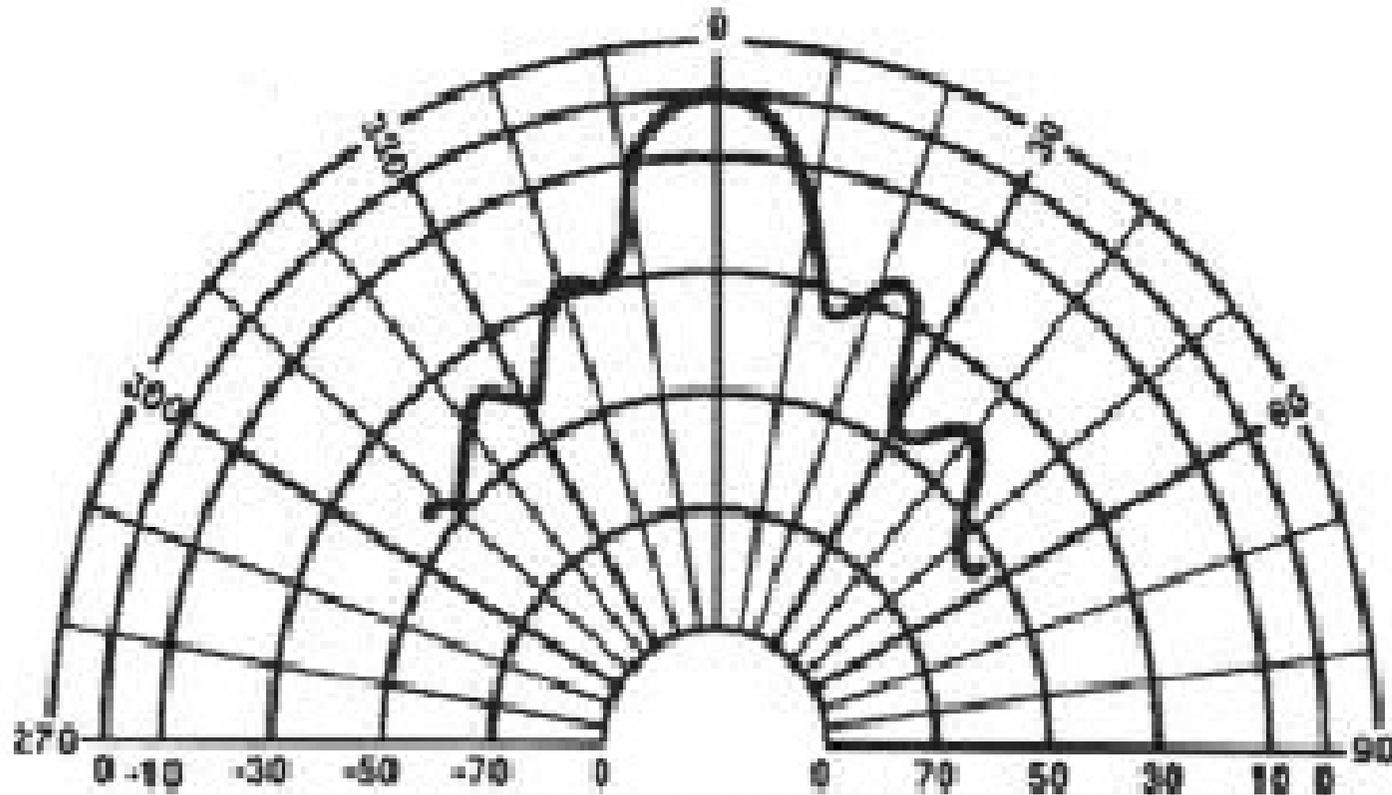
Ultra-som

- A distância ao obstáculo é proporcional ao tempo decorrido entre a emissão do feixe e a detecção do **primeiro** eco cuja amplitude exceda a um valor limiar.



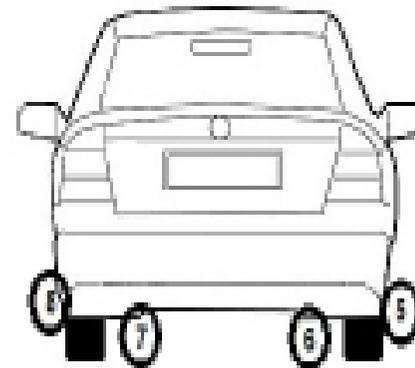
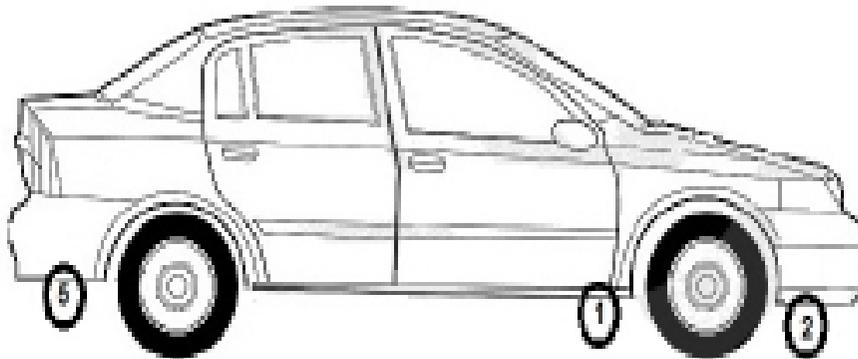
Ultra-som

- Problemas:
 - condições diferentes das encontradas na calibração (temperatura, umidade, ...);
 - localização não-exata do objeto ao qual está sendo feita a medição.



Sensores utilizados

- 1 = 1 sensor de ultra-som Polaroid, série 6500, com capacidade de medir distâncias entre 17cm e 10m;
- 7 sensores de ultra-som HG-M40DAII, que medem distâncias entre 32cm e 4m.



Medição de distância aos obstáculos

- As medições de distância para a montagem do mapa da vaga são feitas usando-se somente o sensor Polaroid.

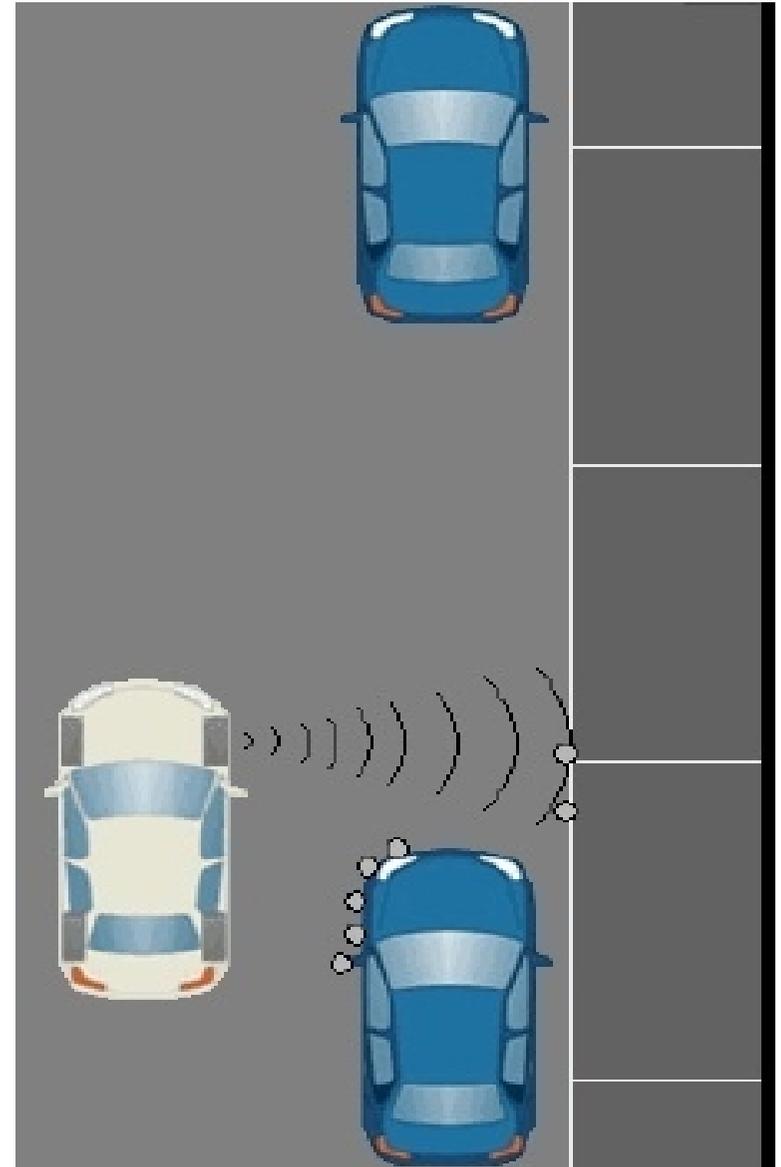


Medição de distância aos obstáculos

- A frequência de tomadas de distância é variável (sensor Polaroid).
 - Assim que o sensor sobe o nível do sinal ECHO conclui-se um ciclo;
 - Para objetos posicionados perto tem-se uma frequência de tomadas de distância maior que para objetos longe.
- No caso dos sensores HG-M40DAII, o ciclo de acionamento e leitura da resposta do sensor apresenta um tempo fixo.
 - Auxiliam o sistema a detectar possíveis obstáculos próximos ao carro.

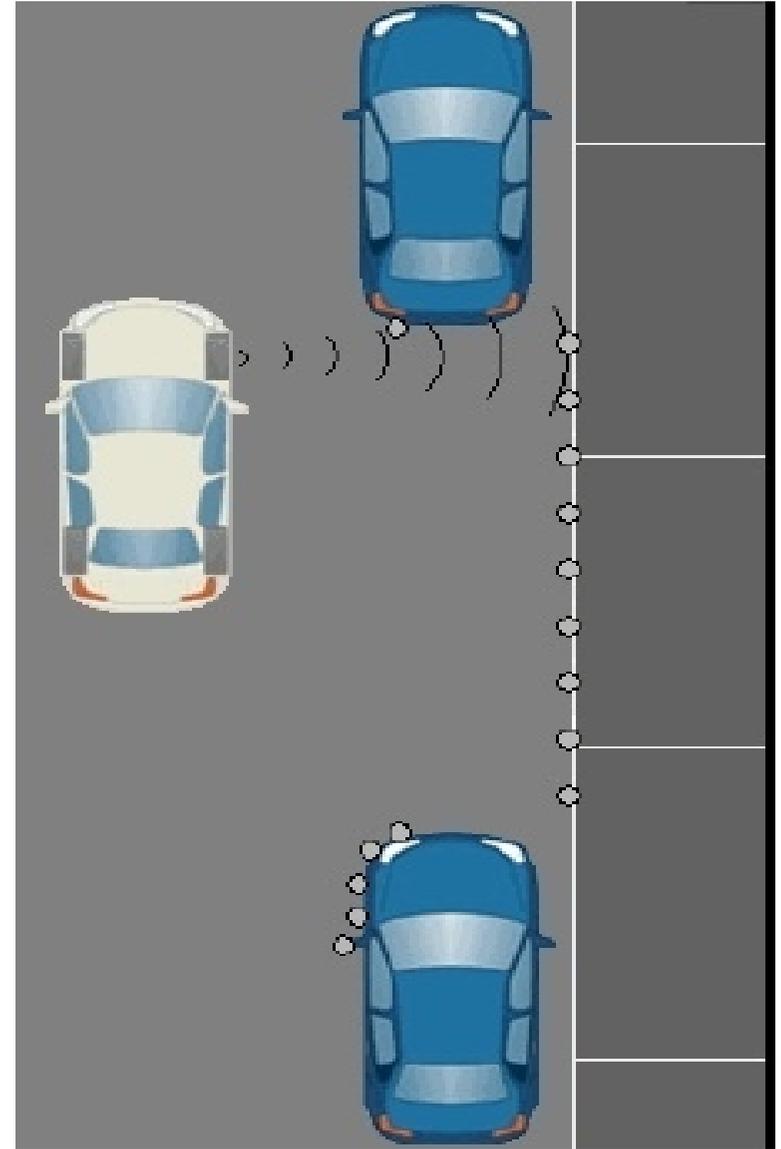
Montagem do mapa

- Momento (1): a distância acusada pelo sensor deixa de ser em relação ao carro parado atrás da vaga e passa a ser em relação à calçada.



Montagem do mapa

- Momento (2): a distância medida deixa de ser em relação à calçada e passa a ser em relação ao carro parado em frente à vaga.



Montagem do mapa

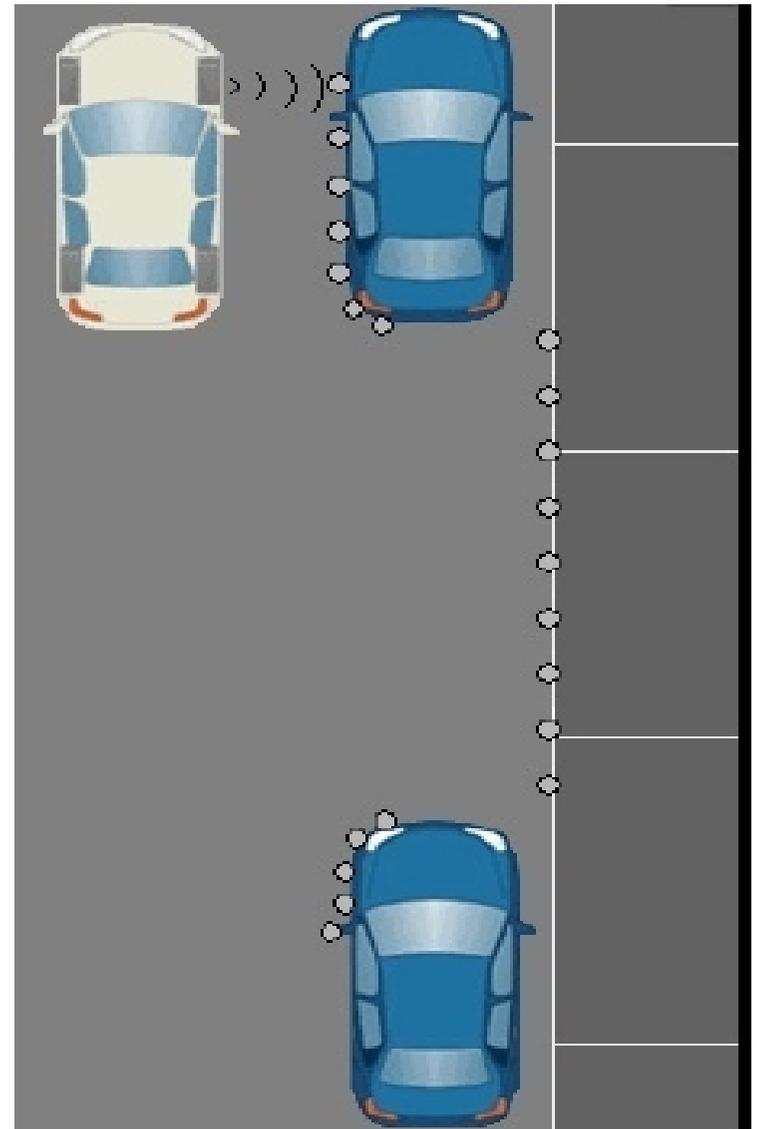
- Para se obter o comprimento da vaga:
 - foi calculada a velocidade média (V_m) entre os momentos (1) e (2);
 - foi obtido o tempo (Δt) decorrido entre (1) e (2).
- Comprimento do espaço correspondente a uma vaga:

$$\Delta s = V_m * \Delta t$$

- Profundidade da vaga = o menor valor de distância medido em relação à calçada.

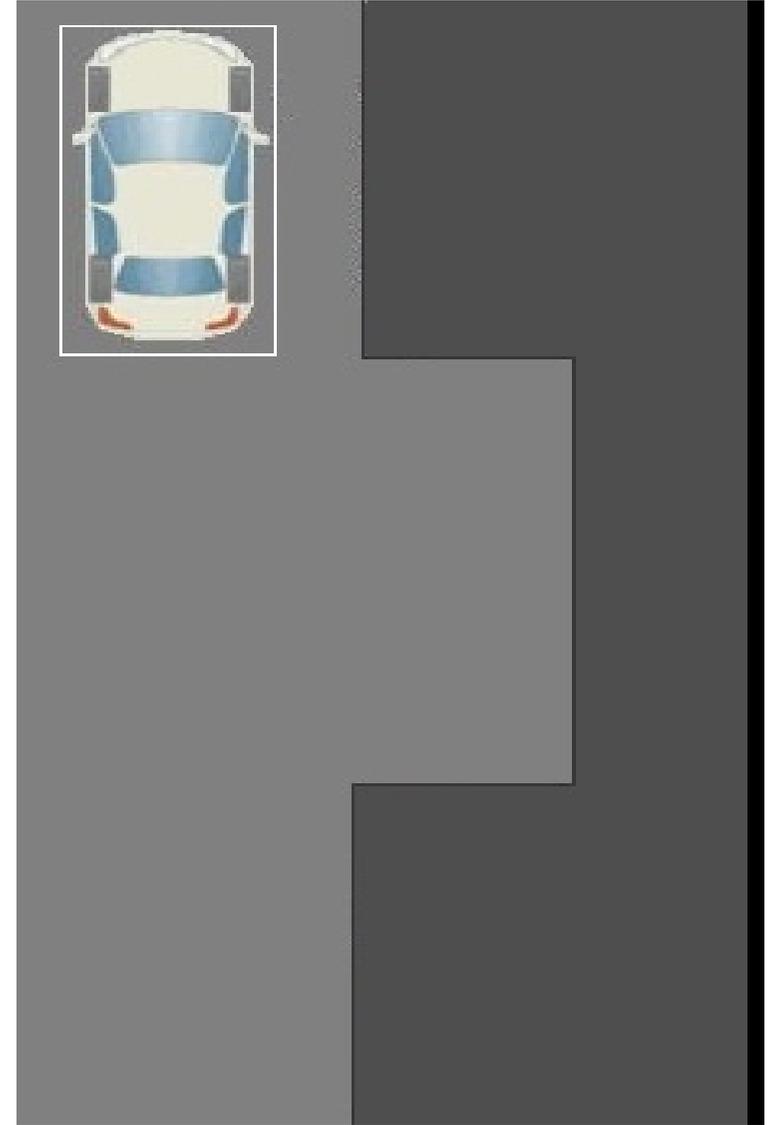
Montagem do mapa

- Posição em que o carro deverá parar após os dados para montagem do mapa serem medidos.

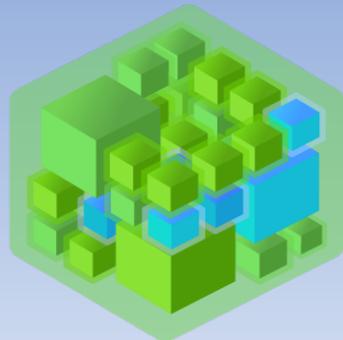


Montagem do mapa

- Mapa gerado a partir dos dados medidos.



Algoritmo de Geração de Trajetória



lcad

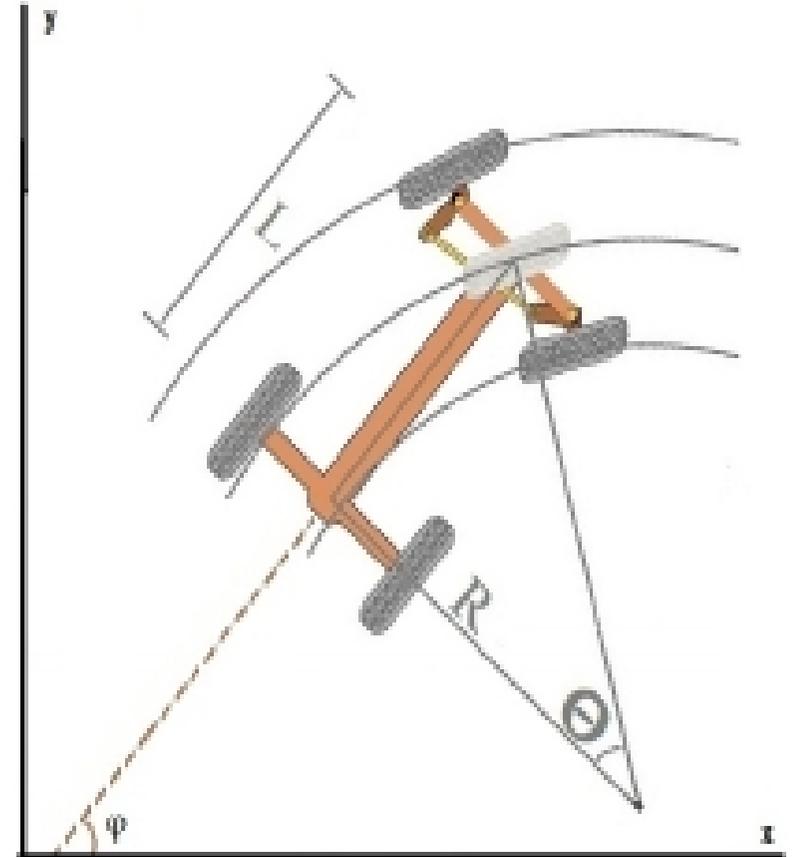
LABORATÓRIO DE COMPUTAÇÃO
DE ALTO DESEMPENHO

Modelo Ackermann

- Um veículo é representado por um volume sólido sobre quatro rodas;
- As rodas dianteiras são atuadas por meio do volante;
- A tração do veículo é dianteira;
- A velocidade das rodas dianteiras é conhecida por meio de sensores;
- As rodas traseiras são fixas.

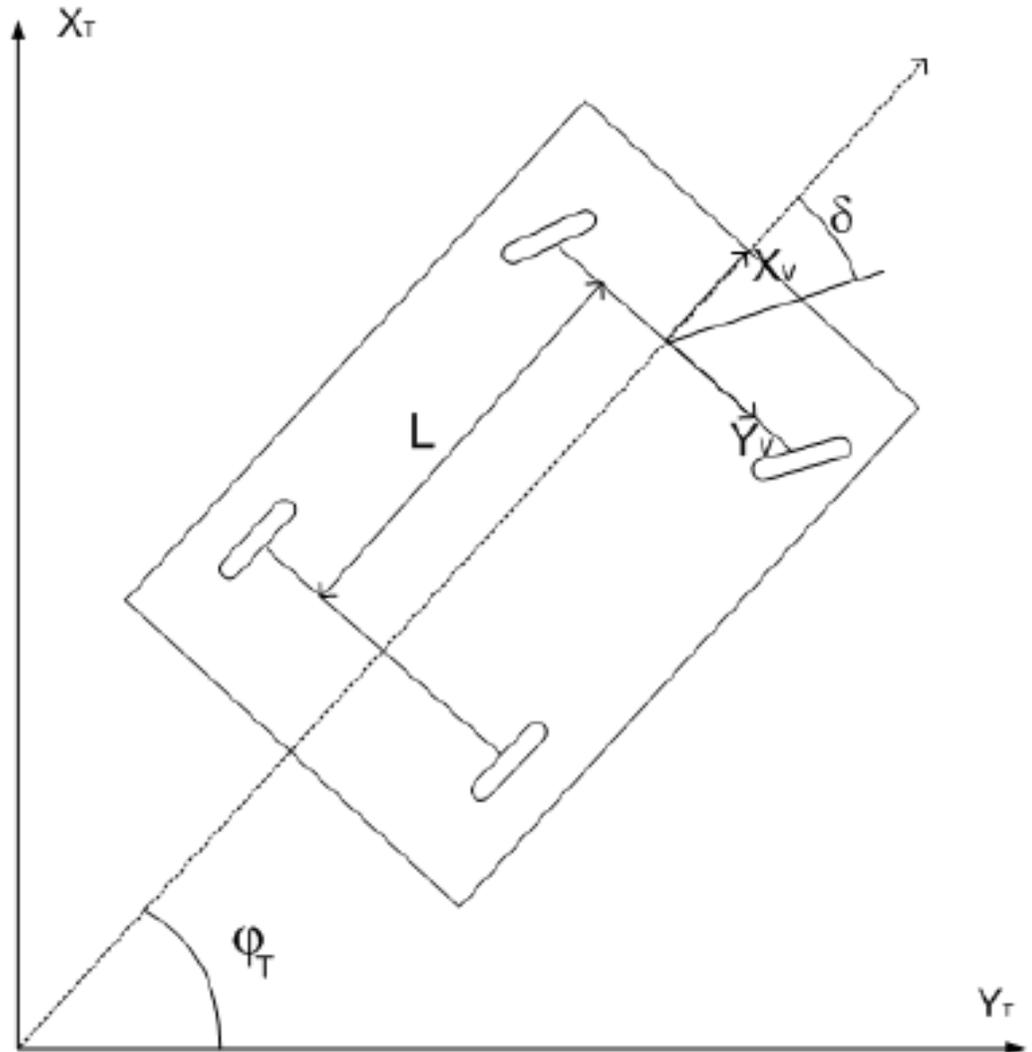
Modelo Ackermann

- L é a distância entre eixos do veículo;
- Θ é o ângulo de esterçamento do volante;
- R é o raio do arco do círculo descrito pelo ponto central do eixo traseiro do veículo quando este se movimenta com o ângulo Θ .
- O ângulo de esterçamento do volante é obtido por uma roda virtual localizada entre as duas rodas dianteiras, cujo valor é dado pela média dos ângulos das mesmas.



Modelo Ackermann

- δ é o ângulo da roda virtual;
- A velocidade virtual $v(t)$ é dada pela média das velocidades das duas rodas;



Modelo Ackermann

- Os estados dos modelos são:
 - as posições $x(t)$ e $y(t)$
 - a velocidade $v(t)$
 - a orientação absoluta do veículo no plano horizontal ($\psi(t)$).

$$\dot{x}(t) = v(t) \cdot \cos(\psi_T(t) - \delta(t)),$$

$$\dot{y}(t) = v(t) \cdot \text{sen}(\psi_T(t) - \delta(t)),$$

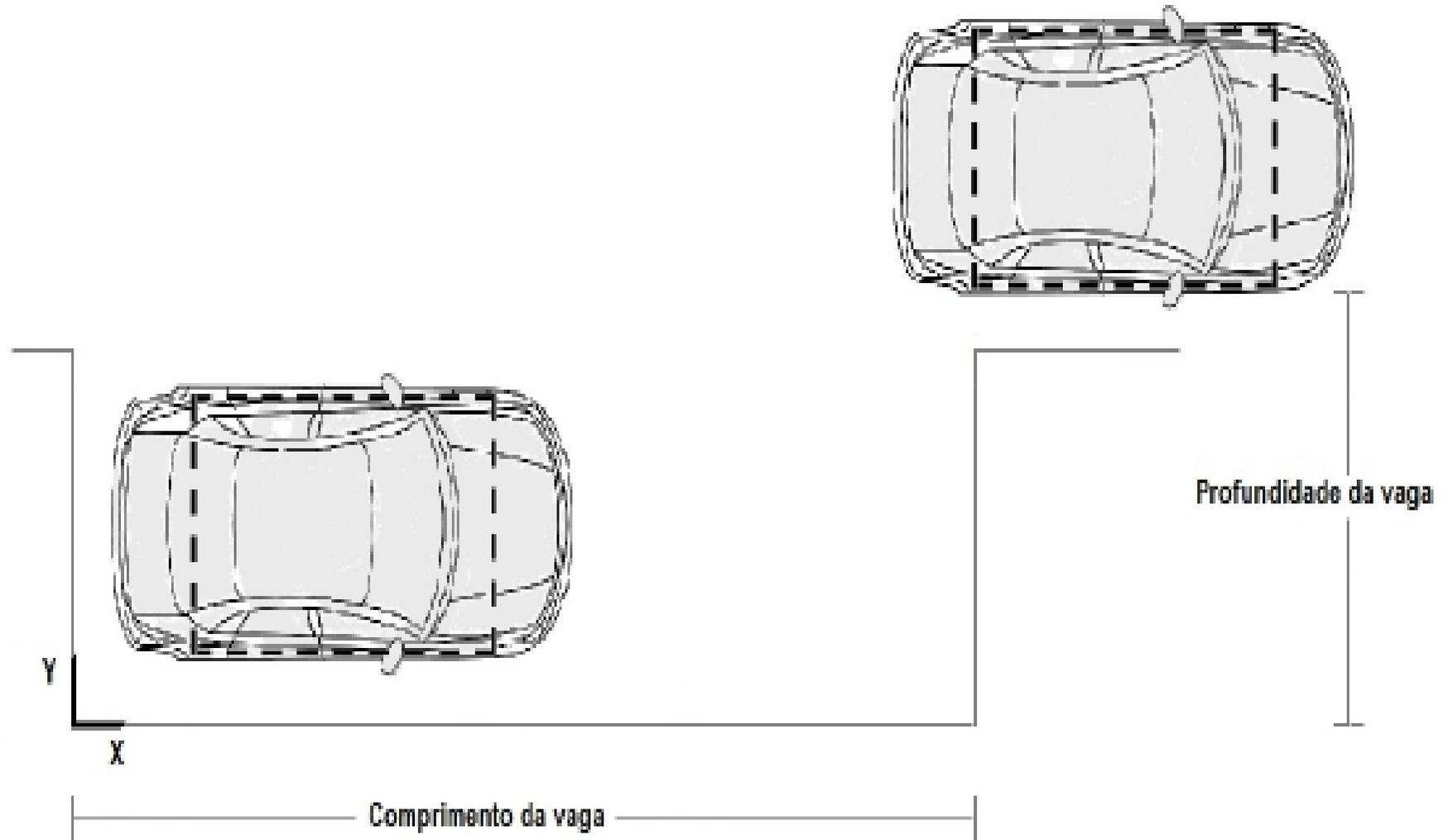
$$\dot{\psi}_T(t) = \frac{v(t)}{L} \cdot \text{sen}(\delta(t)).$$

Cálculo da trajetória

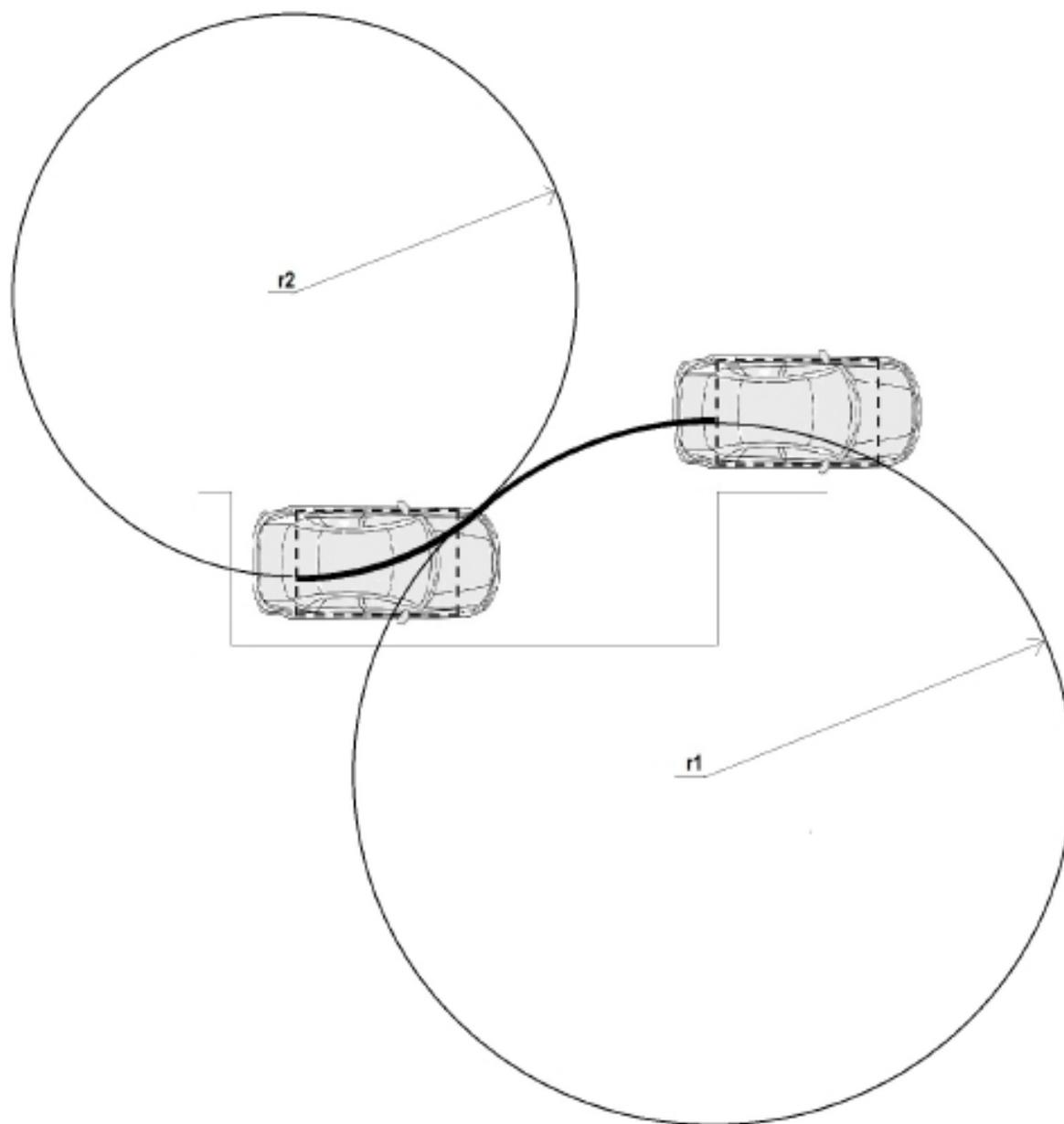
- Dados:
 - comprimento;
 - profundidade da vaga;
- Define-se a posição em que o carro estará estacionado ao final da manobra:
 - a roda traseira esquerda deverá estar a 1,5m do início da vaga e 0,5m da calçada
 - a orientação em relação à calçada será a mesma do instante em que a manobra foi iniciada
 - assume-se que o veículo encontra-se paralelo à calçada antes de iniciar a manobra

Cálculo da trajetória

- Posições do veículo antes e após estacionar

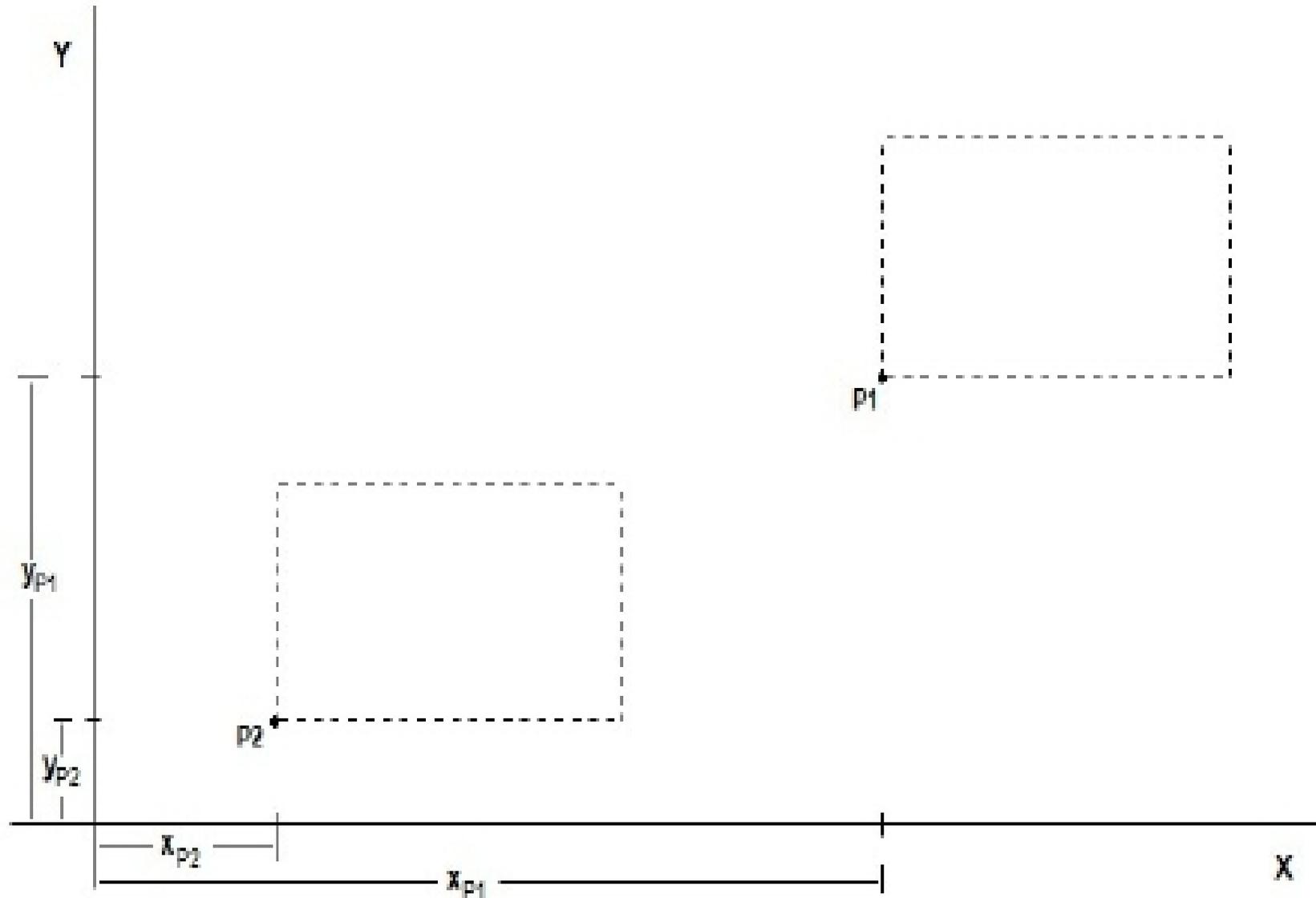


Cálculo da trajetória



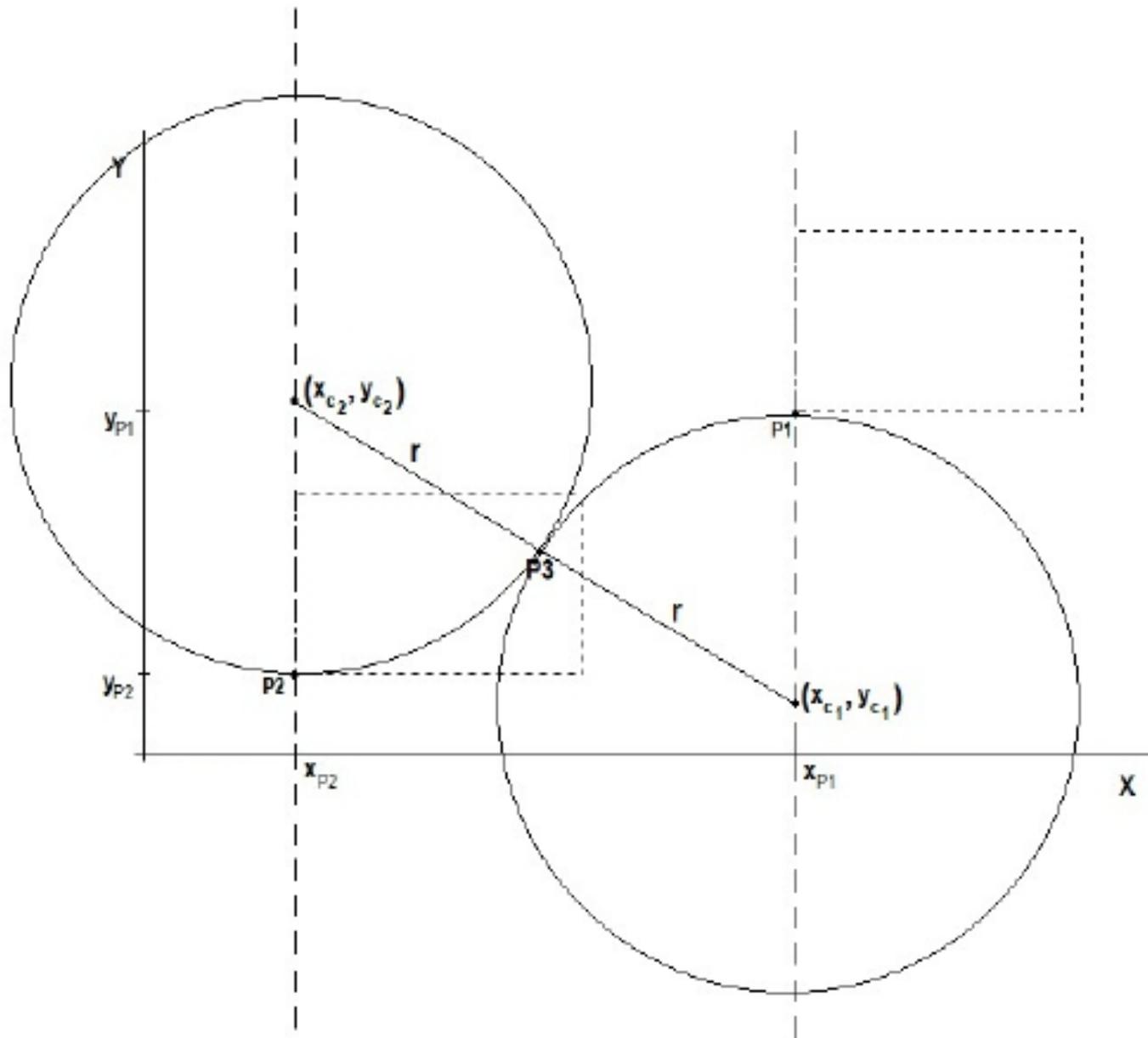
Cálculo da trajetória

- Definindo os pontos P1 e P2

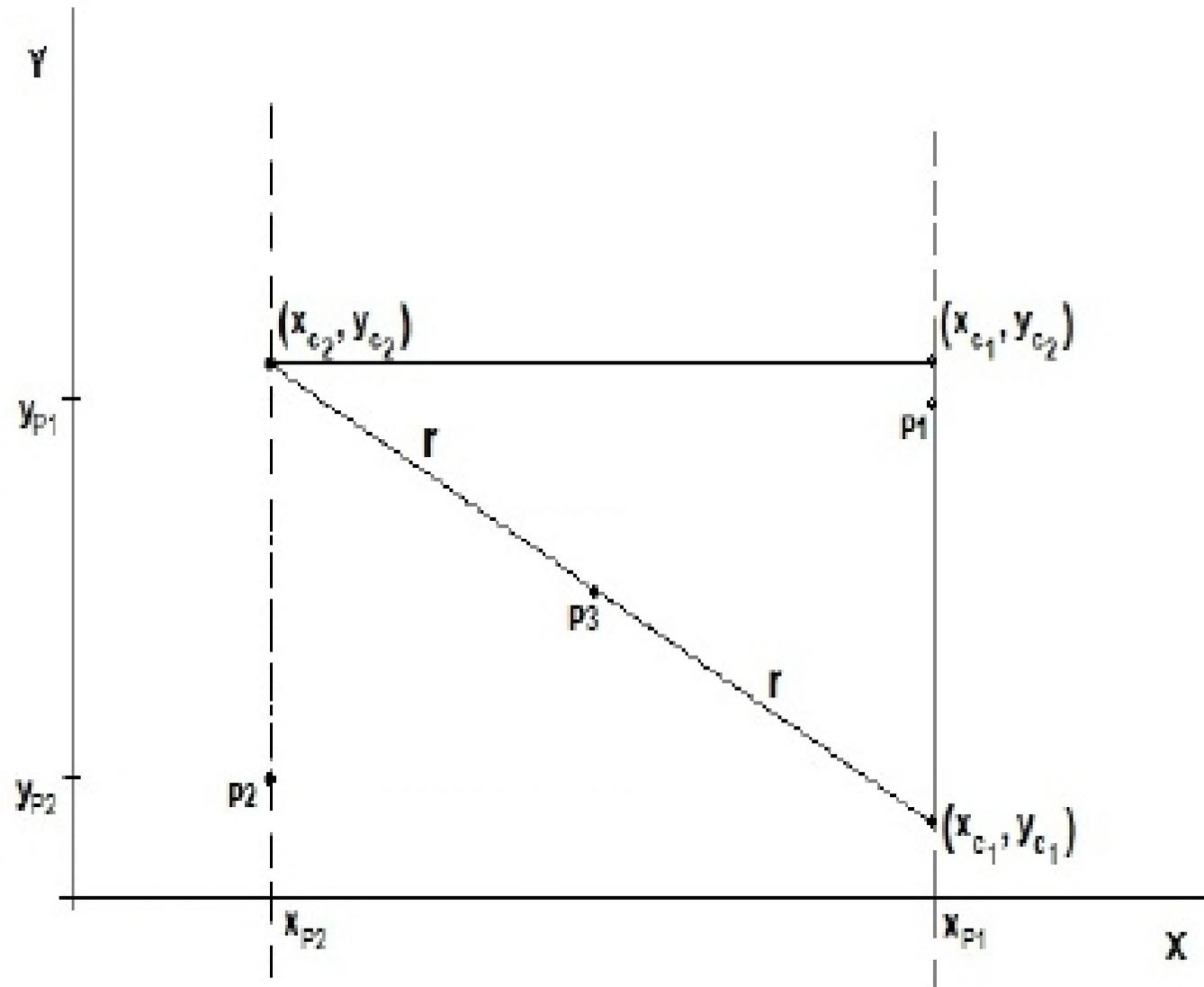


Cálculo da trajetória

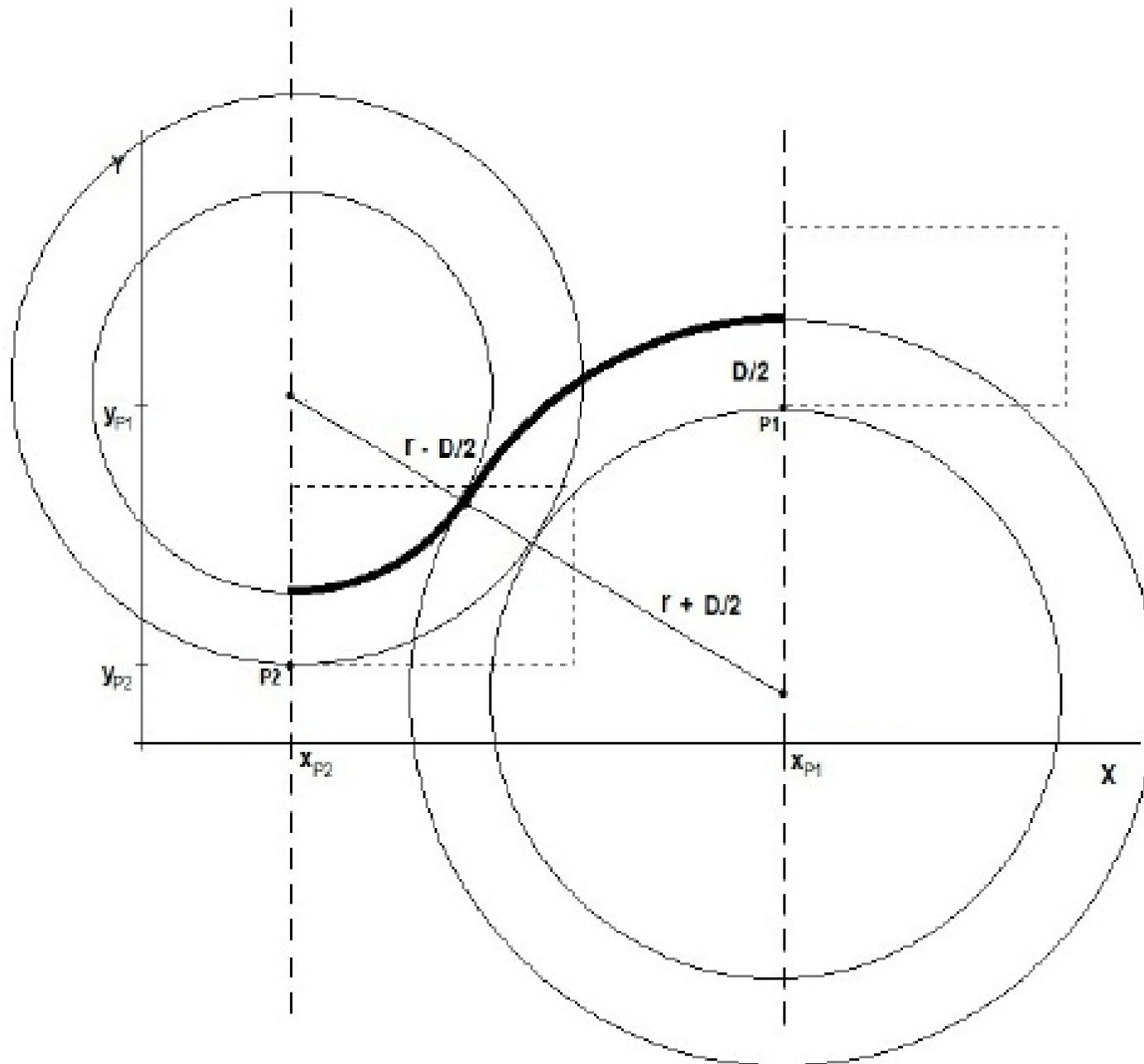
- Parte-se de dois círculos de mesmo raio:



Cálculo da trajetória



Cálculo da trajetória



Cálculo da trajetória

- A orientação α que o carro terá (em relação à orientação inicial) quando tiver que parar para mudar o ângulo das rodas dianteiras é dada pela expressão:

$$\alpha = \text{arc sen} \frac{x_{P1} - x_{P2}}{2r}$$

Transformando uma trajetória em sinais de comando

- O comando para o sistema de controle de direção (ângulo Θ) para que o ponto central do eixo traseiro do veículo descreva uma trajetória circular de raio R é calculado por:

$$\Theta = \text{arc tg} \frac{L}{R}$$

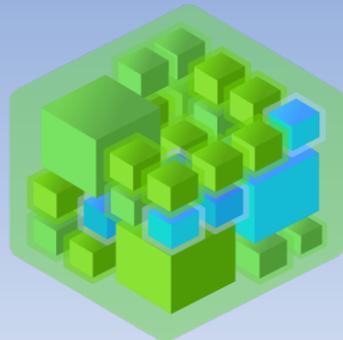
Transformando uma trajetória em sinais de comando

- A partir do raio do primeiro círculo é calculado o comando de posição angular que será enviado ao sistema de controle da direção;
- Após este comando, os sistemas de troca de marchas e aceleração serão acionados, para que o carro entre em movimento;
- O freio poderá ser acionado para manter a velocidade baixa;
- Após descrever este arco o freio é acionado para que o carro pare.

Evitando obstáculos

- Enquanto o carro descreve a trajetória, os sensores de 2 a 8 realizam medições;
- Caso algum deles detecte um obstáculo a uma distância menor que 50cm a manobra será abortada;
- Fatos desta natureza poderão ocorrer devido ao mapeamento ter sido feito em velocidades superiores a 10Km/h.

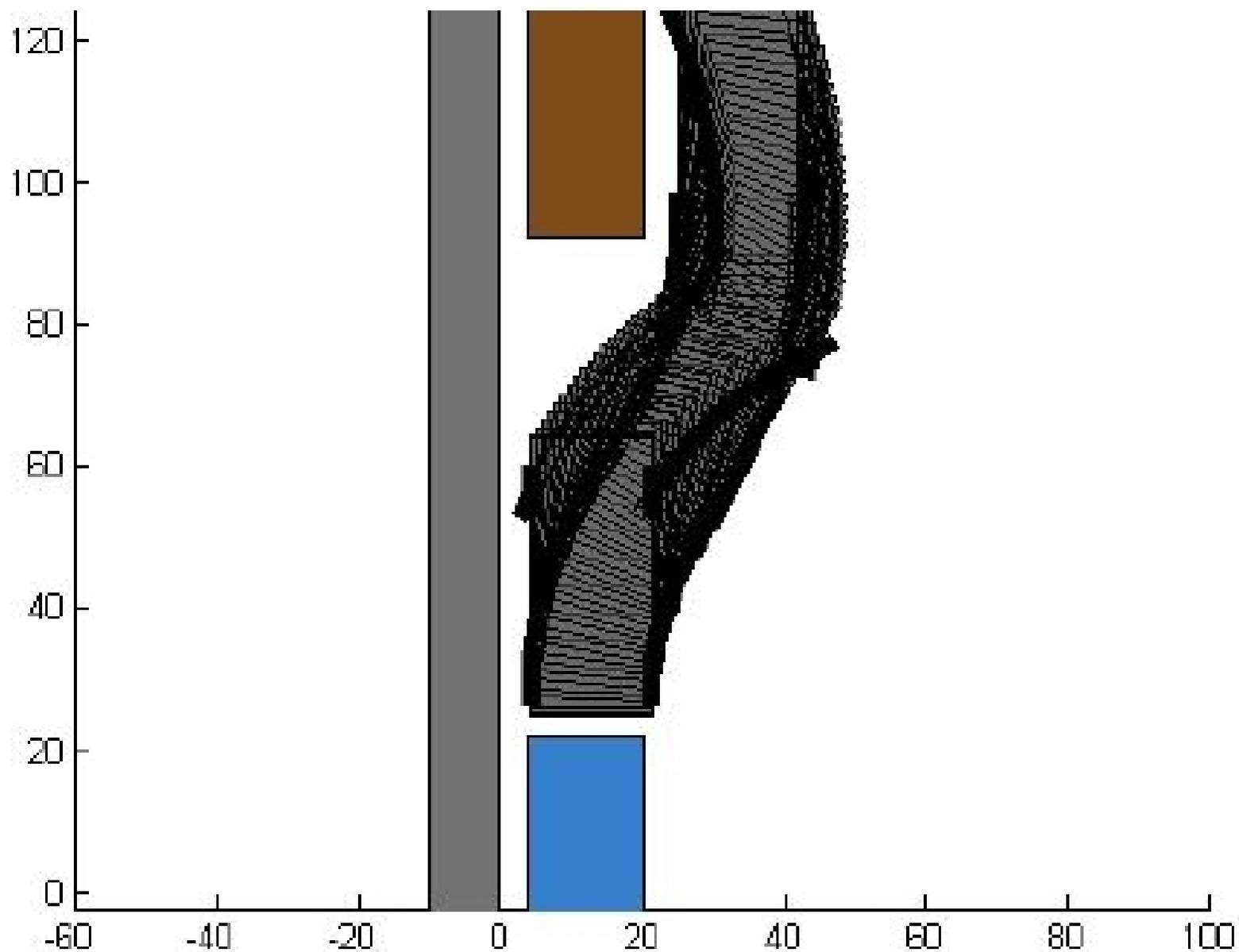
Resultados experimentais



lcad

LABORATÓRIO DE COMPUTAÇÃO
DE ALTO DESEMPENHO

Resultados no simulador



Resultados



Resultados



Resultados



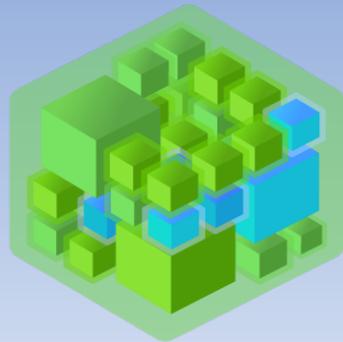
Resultados



Resultados



Bibliografia



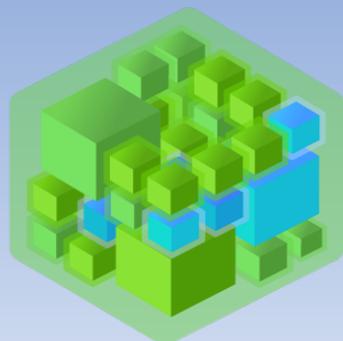
lcad

LABORATÓRIO DE COMPUTAÇÃO
DE ALTO DESEMPENHO

Bibliografia

- [ABAD e KAKINAMI 2007] ABAD, F.; KAKINAMI, T. Parking space detection. In: Congress on Intelligent Transport Systems. Beijing (China): [s.n.], 2007.
- [CARULLO e PARVIS 2001] CARULLO, A.; PARVIS, M. An ultrasonic sensor for distance measurement in automotive applications. IEEE Sensors Journal, v. 1, n. 2, p. 143147, ago 2001.
- [Choset et al. 2005] CHOSET, H. et al. Principles of robot motion. The MIT Press, 2005.
- [MAJCHRZAK, MICHALSKI e WICZYNSKI 2009] MAJCHRZAK, J.; MICHALSKI, M.; WICZYNSKI, G. Distance estimation with a long-range ultrasonic sensor system. IEEE Sensors Journal, v. 9, n. 7, p. 767773, jul 2009.
- [OETIKER, BAKER e GUZZELLA 2009] OETIKER, M. B.; BAKER, P.; GUZZELLA, L. A navigation-aid-based semi-autonomous nonholonomic vehicle-parking assistant. IEEE Transactions on Vehicular Technology, v. 58, n. 3, p. 11061118, mar 2009.

Dúvidas?



lcad

LABORATÓRIO DE COMPUTAÇÃO
DE ALTO DESEMPENHO

Vídeos

- Sensor de Estacionamento Ultrassom x Eletromagnético
 - <http://www.youtube.com/watch?v=p6EnX0Sx84k>
- Autonomous Parking - MIT AgeLab (com câmera)
 - <http://www.youtube.com/watch?v=68JxuP-EbPk>
- Autonomous Parallel Parking Robot (carrinho)
 - <http://www.youtube.com/watch?v=rUhkmvhkEpl&feature>
- Autonomous Sliding Parking
 - <http://www.youtube.com/watch?v=gzI54rm9m1Q>