

Introdução à Robótica Sensores (tratamento do sinal)

Prof. Douglas G. Macharet
douglas.macharet@dcc.ufmg.br

Introdução

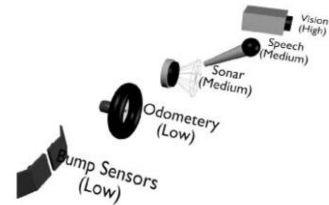
- Grande problema dos sensores é o ruído
 - Dificulta a interpretação dos dados
- Sensores com diferentes características
- Como separar a informação útil?

Introdução



Introdução

Diferentes níveis de processamento



Introdução

- Abordagens para o problema
 - Filtragem
 - Calibração

Filtragem

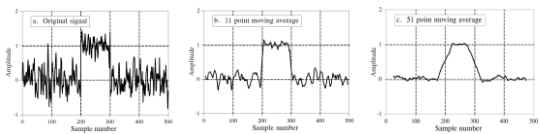
- Aplicações básicas de filtros
 - Separação de sinais combinados
 - Restauração de sinal distorcido
- Filtros
 - Analógicos
 - Circuitos (resistores, indutores e capacitores)
 - Digitais
 - Processador digital (cálculos numéricos)

Filtragem

- Média móvel
- Passa-banda
 - Alta
 - Baixa
- Faixa
 - Passa / Rejeita

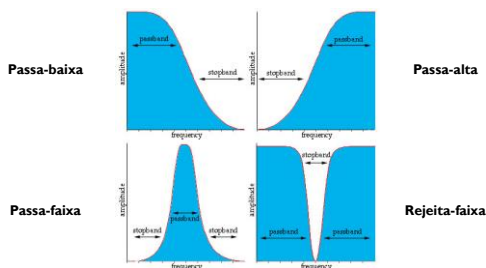
Filtragem

Média móvel



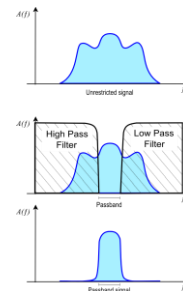
$$y[i] = \frac{1}{M} \sum_{j=0}^{M-1} x[i+j]$$

Filtragem



Filtragem

Passa-faixa



Filtragem

- Problema na interpretação dos dados
 - Dificuldade de se tomar uma decisão
 - Comportamento diferente do desejado
- Tarefa de exemplo
 - Seguir uma faixa de outra cor na superfície
 - Utilização de um sensor óptico
 - Ruído, influência do meio, ...

Filtragem

Tarefa exemplo (line-following)

- Um sensor OR apontado para superfície
- Movimentação
 - Seguir para frente (giro)
 - Ao cruzar a linha inverter a direção



Filtragem

Tarefa exemplo (line-following)

```
void line_follow() {
  while (1) {
    waddle_left();
    waituntil_on_the_line();
    waituntil_off_the_line();
    waddle_right();
    waituntil_on_the_line();
    waituntil_off_the_line();
  }
}
```

```
void waddle_left() {
  fd(RIGHT_MOTOR);
  off(LEFT_MOTOR);
}

void waddle_right() {
  fd(LEFT_MOTOR);
  off(RIGHT_MOTOR);
}
```

Filtragem

Tarefa exemplo (line-following)

- Como implementar as seguintes funções?

```
waituntil_on_the_line();
waituntil_off_the_line();
```

- Como saber se está sobre a linha (ou fora)?
 - Utilizar um valor de referência
 - O ruído irá influenciar esse valor?

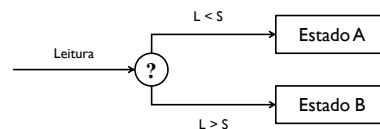
Filtragem

- Limiar (thresholding)
 - Fixo
 - Parametrizado
 - Hysteresis
 - Adaptativo

Filtragem

Thresholding fixo

- Maneira mais simples de tratar os dados
- Leitura comparada com um setpoint fixo



Filtragem

Thresholding fixo

- Ideia semelhante a um quantizador
 - Converter um valor contínuo da leitura do sensor para um estado digital (binário)
- Tarefa exemplo
 - Leitura na superfície ≈ 10
 - Leitura na linha preta ≈ 50
 - Qual valor utilizar como *setpoint*?

Filtragem

Thresholding fixo (line-following)

```
void waituntil_on_the_line() {
  while (line_sensor() < 30);
}

void waituntil_off_the_line() {
  while (line_sensor() > 30);
}

int line_sensor() {
  return analogRead(pinNumber);
}
```

Filtragem

Thresholding fixo

- Leituras sofrem influência do meio
 - E se esse valor mudar com as condições atuais?
 - Procurar todos os locais do código e alterar?
 - Como resolver?
- *Thresholding* fixo parametrizado
 - Centralização na definição do valor (constante)
 - Pode ser informado pelo usuário (calibração)

Filtragem

Thresholding fixo parametrizado (line-following)

```
#define LINE_SETPOINT = 30;

void waituntil_on_the_line() {
    while (line_sensor() < LINE_SETPOINT);
}

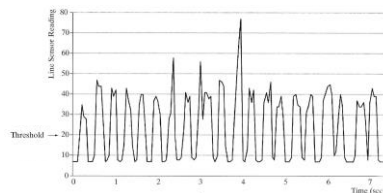
void waituntil_off_the_line() {
    while (line_sensor() > LINE_SETPOINT);
}
```

Filtragem

- Qual o problema com *thresholding* fixo?
 - As leituras não são muito confiáveis
 - Ruído, influência do meio (*glitches*), ...
 - É difícil escolher o melhor (único) *setpoint*

Filtragem

Tarefa exemplo (line-following)



Filtragem

Thresholding com Hysteresis

- Utilizar dois *setpoints* para reduzir os erros
- *Hysteresis*
 - O estado anterior do sistema (sobre/fora) afeta a decisão do sistema de ir para um novo estado
- Tarefa exemplo
 - Esperar até uma leitura mais forte da superfície
 - Esperar até uma leitura mais forte da linha

Filtragem

Thresholding com Hysteresis (line-following)

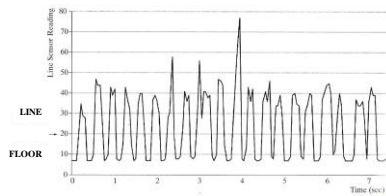
```
int LINE_SETPOINT = 35;
int FLOOR_SETPOINT = 10;

void waituntil_on_the_line() {
    while (line_sensor() < LINE_SETPOINT);
}

void waituntil_off_the_line() {
    while (line_sensor() > FLOOR_SETPOINT);
}
```

Filtragem

Tarefa exemplo (*line-following*)



Filtragem

Thresholding com Hysteresis

- Evita tomar decisões precipitadas
 - Ponto mais escuro na superfície
 - Ponto mais claro sobre a linha preta
- *Hysteresis*
 - Robustez
 - Ajuda na interpretação dos dados

Filtragem

Adaptativo

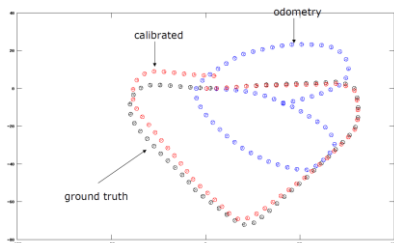
- O *setpoint* é modificado durante a execução
 - Adaptação de acordo com a variação do sinal
 - Requer um entendimento do fenômeno
 - Possíveis valores e características do sensor
 - Ex: Utilizar o valor médio das leituras

Calibração

- Identificar características do sinal
 - Comparação entre medidas
 - Adaptar o programa a diferentes situações
 - Ex: Diferentes condições de iluminação
- Maneira básica de modelar o sensor
- Geralmente realizada antes da tarefa

Calibração

Exemplo – Odometria



Calibração

- Calibração por demonstração
 - Ex: Alterar os *setpoints* sem recompilar o código
- Considerar o contexto atual do sistema
 - Melhor adaptação a diferentes condições
 - Não é necessário um conhecimento prévio
- Como fazer na tarefa exemplo?
 - Posicionar o robô sobre a superfície/linha

Calibração

Tarefa exemplo (*line-following*)

```
int LINE_SETPOINT= 100;
int FLOOR_SETPOINT= 100;

void main() {
  calibrate();
  line_follow();
}
```

Calibração

Tarefa exemplo (*line-following*)

```
void calibrate() {
  int new;

  while (buttonPressed()) {
    new = line_sensor();
    Serial.printf("Line: old=%d new=%d\n", LINE_SETPOINT, new);
    delay(100);
  }
  LINE_SETPOINT= new; /* accept new value */
  while (!buttonPressed());

  while (buttonPressed()) {
    new = line_sensor();
    Serial.printf("Floor: old=%d new=%d\n", FLOOR_SETPOINT, new);
    delay(100);
  }
  FLOOR_SETPOINT= new; /* accept new value */
}
```

Calibração

- Calibração persistente
 - Evita a necessidade de recalibrar ao ligar
 - Reduzir o trabalho envolvido na inicialização
- EEPROM
 - 4 KB
 - Read / Write

Calibração

Histórico do sensor (*sensor histories*)

- Evitar a necessidade de calibração manual
 - Determinar automaticamente os *thresholds*
 - Ajustar dinamicamente a diferentes condições
 - Robustez
- Como fazer isso?
 - Ex: Manter um histórico dos valores mínimo e máximo, calcular o *threshold* durante a execução

Calibração

Histórico do sensor (*line-following*)

```
int line, LINE_THRESHOLD;
int max = 0;
int min = 255;

int line_sensor() {
  line = analogRead(pinNumber);
  if (line > max) max = line;
  if (line < min) min = line;
  LINE_THRESHOLD = (max + min) / 2;
  return line;
}
```

Calibração

Histórico do sensor (*sensor histories*)

- Problema
 - Utilizar apenas o máximo/mínimo não produzirá bons resultados dependendo da situação
 - Ex: O *threshold* pode ficar acima do real (ruído)
- Solução
 - Considerar todo o histórico de leituras
 - Calcular o valor da leitura média