UFMG
UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

Introdução à Robótica
Sensores (tratamento do sinal)

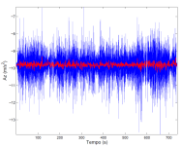
Prof. Douglas G. Macharet
douglas.macharet@dcc.ufmg.br

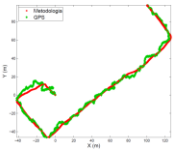
VERLab Visão e Robótica
DCC DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

Introdução

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

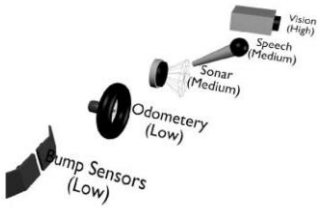
Introdução





Introdução

Diferentes níveis de processamento



Introdução

- Abordagens para o problema
  - Filtragem
  - Calibração

Filtragem

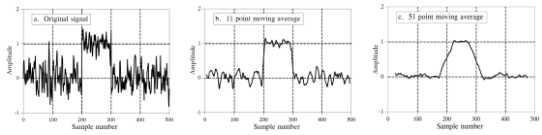
- Aplicações básicas de filtros
  - Separação de sinais combinados
  - Restauração de sinal distorcido
- Filtros
  - Analógicos
    - Circuitos (resistores, indutores e capacitores)
  - Digitais
    - Processador digital (cálculos numéricos)

Filtragem

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

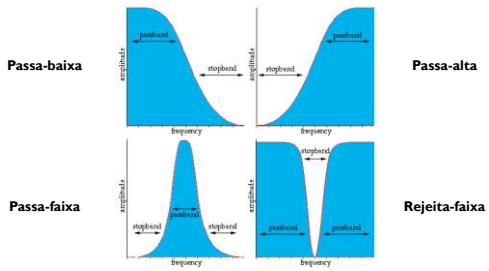
Filtragem

Média móvel



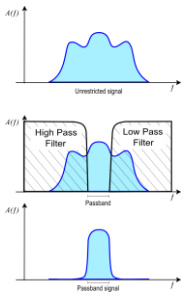
$$y[i] = \frac{1}{M}\sum_{j=0}^{M-1} x[i+j]$$

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();
```

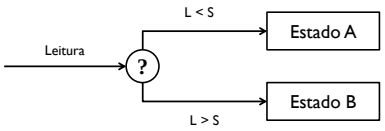
- Como saber se está sobre a linha (ou fora)?
  - Utilizar um valor de referência
  - O ruído irá influenciar esse valor?

Filtragem

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

Filtragem
Thresholding fixo

- Maneira mais simples de tratar os dados
- Leitura comparada com <u>um</u> *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 analog(0);
}
```

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)

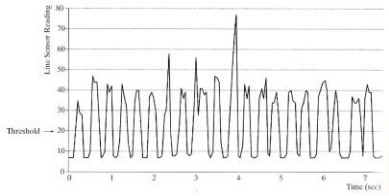
Filtragem
Thresholding fixo parametrizado (*line-following*)

```
#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*)



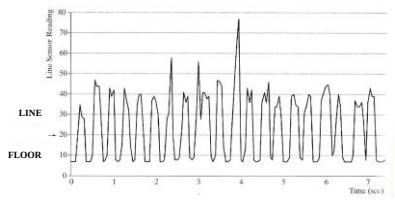
Filtragem
Thresholding com *Hysteresis*

- 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

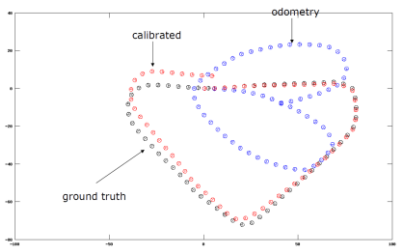
Filtragem
Adaptativo

- 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 (!start_button()) {
      new = line_sensor();
      printf("Line: old=%d new=%d\n", LINE_SETPOINT, new);
      msleep(50L);
   }
   LINE_SETPOINT= new; /* accept new value */
   beep(); while (start_button()); /* debounce button press */

   while (!start_button()) {
      new = line_sensor();
      printf("Floor: old=%d new=%d\n", FLOOR_SETPOINT, new);
      msleep(50L);
   }
   FLOOR_SETPOINT= new; /* accept new value */
   beep(); while (start_button()); /* debounce button press */
}
```


Calibração

- Calibração persistente
  - Evitar a necessidade de recalibrar ao ligar
  - Reduzir o trabalho envolvido na inicialização

```
persistent int setpoint;   /* persistente global , ? */
```

  - Não são inicializadas (valor inicial arbitrário)!

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 = analog(0);
   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

Calibração

Histórico do sensor (*sensor histories*)

- Histórico das leituras dos sensores (rotinas)
- Interactive C (senshist.lis)
  - senshist.icb
  - senshist.c
  - sensproc.icb