

feup-logo.pdf

# **Sistema de Reconhecimento de Objectos para Demonstrador de Condução Robótica Autónoma**

**João Nuno Ferreira Batista**

Mestrado Integrado em Engenharia Informática e Computação

Orientador: Armando Jorge Sousa (Professor)

19 de Julho de 2011



# **Sistema de Reconhecimento de Objectos para Demonstrador de Condução Robótica Autónoma**

**João Nuno Ferreira Batista**

Mestrado Integrado em Engenharia Informática e Computação

Aprovado em provas públicas pelo júri:

Presidente: Nome do Presidente (Título)

Vogal Externo: Nome do Arguente (Título)

Orientador: Nome do Orientador (Título)

---

19 de Julho de 2011



# Capítulo 1

## Resumo

O aparecimento de dispositivos RGBD, ou seja, sensores que além de captarem imagens RGB, (como qualquer câmara) também captam informação de profundidade, disponíveis para o utilizador comum mudaram a pois tornou acessível um sensor que de outra forma seria demasiado caro para ser considerado a qualquer investigador. Desta forma, pode-se equipar um robô de demonstrações de robótica autónoma com um *Kinect* e usufruir de um sensor de profundidade.

Fazendo o robô reagir a objectos simples, tal como perseguir uma esfera ou fugir de um cilindro e mesmo a combinação de ambos os comportamentos, permite criar demonstrações interactivas e apelativas para sensibilizar a assistência ao mundo da robótica e do que através dela se pode criar. Para concretizar estes objectivos, tirando partido da disponibilidade deste tipo de sensor, torna-se necessário desenvolver software de reconhecimento em tempo real de objectos simples (esferas, cones e cilindros) para poderem ser utilizados nas demonstrações de robótica autónoma.

Todo este trabalho implica uma pesquisa científica cuidada dos métodos e técnicas que existem para o reconhecimento dos ditos objectos e também dos de diferentes tipos de demonstradores que existem que servem diferentes propósitos mas que demonstram um exemplo de robótica autónoma.

Encontra-se também neste documento um planeamento das tarefas que serão realizadas para a conclusão com sucesso desta dissertação.

## Resumo

# Conteúdo

## CONTEÚDO



# **Lista de Figuras**

## LISTA DE FIGURAS

# **Lista de Tabelas**

## LISTA DE TABELAS

# Abreviaturas e Símbolos

Sensor RGBD    Sensor que além de imagem (RGB) devolve informação de profundidade (D)

## ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

## Capítulo 2

# Introdução

### 2.1 Enquadramento

Esta dissertação de Mestrado surgiu de um acumular de factores importantes que lhe dão contexto e definem o âmbito da mesma.

Um dos factores que levaram a que esta dissertação fosse proposta foram o facto de ter sido desenvolvido, no âmbito de uma tese de Mestrado do curso de Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e Computadores, um demonstrador de robótica autónoma com vista a fazer demonstrações e também participar em competições de condução autónoma <sup>1</sup>.

Entretanto também foi disponibilizado no mercado, um sensor de RGBD da *Microsoft* chamado *Kinect* que foi desenvolvido para o sistemas de jogos *X-Box 360* de modo a se interagir com jogos e software totalmente sem comandos, respondendo, desta forma, ao movimentos e gestos dos jogadores. Pouco depois da sua saída para o mercado foram desenvolvidos controladores *opensource*, sendo que ficou aberta a possibilidade de se utilizar o *Kinect* como um sensor em qualquer robô com portas USB.

Estes dois factores, aliados ao desejo de se fazer demonstrações portáteis de robótica autónoma tornaram possível esta dissertação, em que se estuda a identificação de objectos 3D em tempo real recorrendo à informação de profundidade que o *Kinect* fornece.

Uma noção basilar é que o tipo de informação que será processada serão percepções, portanto será sempre a informação obtida pelo *Kinect* mas com contexto, sendo essa percepção considerada sempre em unidades SI. <sup>2</sup>

---

<sup>1</sup> valerá a pena elaborar sobre este ponto?

<sup>2</sup> corrigir...

## 2.2 Projecto

Além deste documento que expõe o conhecimento e as tecnologias utilizadas para resolver o problema, e analisa de forma crítica os resultados obtidos, existirá também um projecto desenvolvido que permite o reconhecimento de objectos 3D. Este projecto estará também já preparado para se integrar num sistema de um robô que já se encontra desenvolvido, que usa como sensor principal o *Kinect*. Este software permitirá configurar vários parâmetros, de uma forma intuitiva, para ser possível fazer o reconhecimento de objectos 3D e que seja claro para o utilizador final o que está a acontecer.

## 2.3 Motivação e Objectivos

A motivação principal desta dissertação é fazer o reconhecimento de objectos em tempo real através do sensor de profundidade (utilizando o *Kinect*), e após reconhecidos pelo sistema, serem utilizados para fazer demonstrações de robótica autónoma. As características mais importantes serão: o reconhecimento de objectos 3D em tempo real e a identificação das características dos mesmos.

Esta tese pode ser considerada um sucesso se for possível reconhecer vários objectos simples através do sensor de profundidade, tais como planos, cilindros e paralelepípedos e de objectos complexos que sejam compostos pelos objectos simples.

## 2.4 Estrutura da Dissertação

Para além da introdução, esta dissertação contém mais um capítulo. No capítulo ??, é descrito o estado da arte e são apresentados trabalhos relacionados.<sup>3</sup>

---

<sup>3</sup>complementar este capítulo



## Capítulo 3

# Revisão Bibliográfica

### 3.1 Introdução

Neste capítulo são analisadas todas as áreas científicas relevantes para que esta dissertação possa ser realizada com sucesso, tirando partido do conhecimento mais avançado do que está a ser feito a nível mundial e até equacionar novas abordagens para melhorar as soluções existentes para o problema do reconhecimento de objectos. Mais particularmente o que está feito em termos de reconhecimento de objectos 3D em termos científicos e das bibliotecas existentes nesse âmbito.

Faz-se também uma análise ao que existe em termos de demonstradores de robótica autónoma para enquadrar o trabalho a ser desenvolvido respeitante à utilização dos objectos, que sendo reconhecidos como marcadores influenciam o comportamento do robô.

### 3.2 Sistemas de Percepção para reconhecimento de Objetos

#### 3.2.1 Time of Flight Camera

Esta câmara tem receptores para obter o tempo de voo (i.e.: time-of-flight) de uma partícula de luz de modo a saber a que distância se encontram os obstáculos no campo de visão da câmara. Existem várias implementações desta tecnologia, mas a mais usual é ter um emissor de luz, por norma um laser, que envia pulsos de luz que são reflectidos nos obstáculos e são captados por um sensor que a cada “pixel” recebe a distância a que o objecto se encontra.

É um sensor que tem muitas aplicações, entre as quais a detecção de objectos nas imediações pois permite obter distâncias dos objectos que se encontram no seu campo de visão sem que isso implique um maior custo de cálculo através de algoritmos de visão por computador.

### 3.2.2 Light Detection and Ranging

Os sistemas LIDAR utilizam um feixe de luz rotativo para fazer mapeamento 3D do ambiente que o circunda. A vantagem destes sistemas é que, com feixes de luz muito estreitos conseguem obter uma resolução muito grande, sendo o ideal para aplicações críticas, tais como o alunar de sondas no caso da NASA [?].

Os LIDAR utilizam técnicas de *backscattering* para conseguir uma medição precisa de distância (além de algumas características do alvo), sendo necessário fazer algumas considerações prévias sobre o meio em que se vai propagar o laser para escolher o melhor comprimento de onda.

### 3.2.3 Kinect

O *Kinect* é um sensor 3D desenvolvido pela *Microsoft*, cujo objectivo principal era ser utilizado a par com o sistema X-Box 360, para a interacção com jogos sem recorrer a controladores, sendo que através deste sensor os movimentos do jogador controlam o jogo. Este foi o primeiro sensor 3D disponível para o utilizador comum e massificou o acesso da comunidade científica a este tipo de sensores, que de outra forma seriam demasiado dispendiosos.

As aplicações deste sensor fora do âmbito original para que foi desenvolvido são inúmeras, e rapidamente foi desenvolvido um controlador *opensource* para se desenvolver aplicações em qualquer sistema operativo.

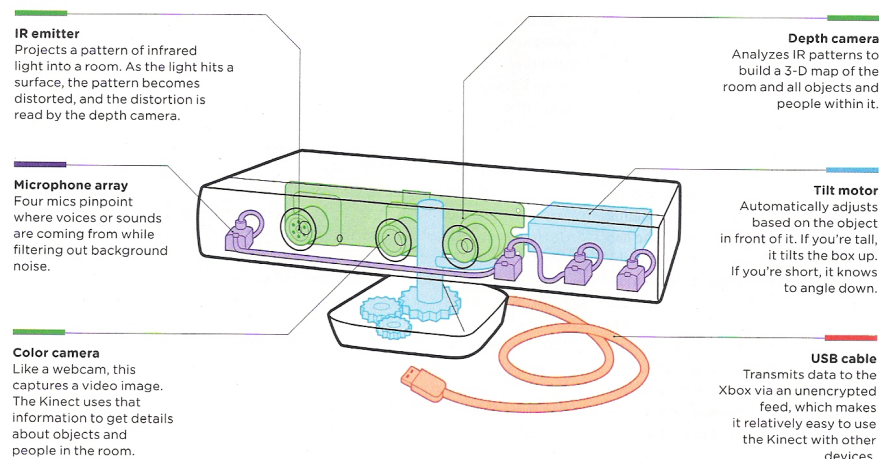


Figura 3.1: Composição do Kinect

O *Kinect* tem, como se pode ver na figura ??, uma câmara normal RGB contudo os sensores que extraem a percepção de profundidade é a câmara de infra-vermelhos à direita que capta os infra-vermelhos enviados pelo emissor situado à esquerda.

Entretanto foi lançado no *Windows SDK* um controlador e uma framework oficiais para se desenvolver aplicações fazendo uso do *Kinect* na plataforma *Windows*.

### 3.3 Técnicas de Reconhecimento de Objectos

Nesta secção do documento apresenta-se e explora-se as técnicas mais promissoras de detecção e reconhecimento de objectos em imagens 2D e em estruturas de representação em 3D que assumem a maior importância no âmbito do ramo científico da visão por computador.

#### 3.3.1 Scale Invariant Feature Transform

Scale-Invariant Feature Transform (SIFT) [?] é uma técnica para o reconhecimento de objectos bastante popular em computação visual. Para fazer o reconhecimento de objectos, esta técnica necessita de um treino prévio, onde são extraídas características que não variam com a escala, rotações nem com projecções em 3D, sendo também parcialmente resistente a diferenças em iluminação.

A qualidade desta técnica está dependente da qualidade das características que extrai, e do facto de estas serem invariantes apesar das transformações que se possa aplicar à imagem.

A extracção de características é feita em vários passos. O primeiro é a aplicação da função gaussiana na direcção horizontal a todas as linhas de pixeis e de seguida na vertical em todas as colunas. É utilizada também uma pirâmide de imagens onde se fez uma progressiva interpolação bilinear para suavizar a imagem, sendo que a função gaussiana é aplicada a todas as camadas de modo a que cada uma seja comparada às suas adjacentes para determinar os máximos e os mínimos.

$$g(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-x^2/2\sigma^2}$$

O resultado desta análise é um conjunto de vectores que representam as características do objecto.



Figura 3.2: Exemplo de Detecção utilizando SIFT

### 3.3.2 Speeded Up Robust Feature

Speeded Up Robust Feature (SURF) é uma técnica bastante próxima de SIFT, contudo tem a vantagem de ser mais robusta às transformações que se pode fazer às imagens conseguindo também, ao mesmo tempo, aumentar a performance e a repetibilidade da detecção nas imagens [?].

As melhorias enunciadas são conseguidas através da escolha cuidadosa dos pontos característicos de um objecto. Esta escolha é feita utilizando o conceito de imagens integrais [?] cujo conceito básico é que cada pixel  $x$  na imagem inicial é a soma dos valores dos pixels no rectângulo formado pela origem da imagem e as coordenadas do pixel actual:

$$I_{\Sigma}(x) = \sum_{i \leq x} \sum_{j \leq y}^{i=0, j=0} I(i, j)$$

A vantagem destas imagens integrais é que são necessárias apenas adições para calcular a soma das intensidades em qualquer área rectangular vertical.

Os pontos característicos são encontrados onde o determinante de uma matriz hessiana é máxima.

### 3.3.3 Geometric Hashing

O geometric hashing, tal como os métodos acima representados é uma técnica baseada em modelos pré-existentes que visa reconhecer objectos onde são aplicadas rotações, translações e escala [?]

Esta técnica tem por base também pontos característicos que são obtidos por conjuntos de três pontos não colineares segundo os quais os outros são achados. Desta forma os seus pontos característicos não variam de acordo com as transformações que possam ser aplicadas aos objectos.

### 3.3.4 RANSAC

RANSAC[?], um acrónimo de *RANdom SAmple Consensus*, é um algoritmo que permite extrair, através de um conjunto de dados, os parâmetros do modelo matemático que compõe as características aproximadas do objecto. Este algoritmo funciona de forma iterativa, sendo que a cada iteração melhora a qualidade dos parâmetros extraídos.

Este método representa uma evolução significativa dos métodos mínimos quadrados <sup>1</sup> visto ser permeável a desvio dos dados sem que estes afectem a qualidade da modelação matemática. Como se pode ver na figura ?? o método *RANSAC* será um método melhor para uma situação real onde os dados têm muito ruído.



Figura 3.3: Comparação com o método de mínimos quadrados

---

<sup>1</sup>devo referir o método dos mínimos quadrados antes?

PROBLEM: Given the set of seven (x,y) pairs shown in the plot, find a best fit line, assuming that no valid datum deviates from this line by more than 0.8 units.

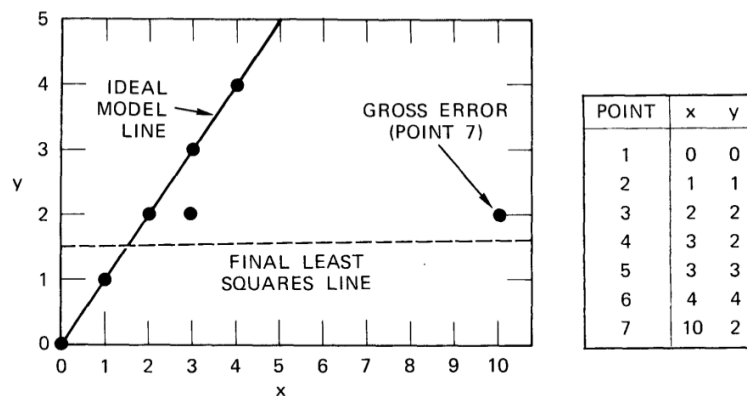


Figura 3.4: Exemplo de fraqueza do método de mínimos quadrados

### 3.3.5 Point Cloud Library

*Point Cloud Library* (PCL) é um projecto *opensource* desenvolvido em C++ cujo objectivo é disponibilizar uma ferramenta altamente otimizada para processar nuvens de pontos. Nuvens de pontos são a informação 3D que sensores como o *Kinect* devolvem, que não é mais do que a nuvem dos pontos captados no espaço, com a origem no ponto onde o sensor se encontra, também com a informação O projecto Point Cloud Library (PCL) [?] permite que através da nuvem de pontos se extraia a informação desejada, sendo que já tem implementado um conjunto de filtros, técnicas de reconstrução de superfícies, métodos de extracção de características 3D (por exemplo normais às superfícies), que a tornam uma ferramenta de muito interessante para usar a par do *Kinect*.

Um exemplo de uma captura de imagem através do PCL encontra-se na imagem...

## 3.4 Demonstradores de Robótica Autónoma

Esta secção refere-se a demonstradores de robótica autónoma, onde são referidos os exemplos que traduzem o que se está a fazer no âmbito de demonstradores de robótica autónoma e que representam o estado da arte nesta área.

### 3.4.1 DARPA: Grand challenge

A agência norte americana DARPA (*Defense Advanced Research Agency*), cujos projectos de investigação se destinam principalmente a aplicações militares, realizou três grandes eventos onde foram postos à prova as técnicas de condução autónoma de veículos comerciais devidamente equipados e modificados para se poderem mover de uma forma completamente autónoma.

Sigla	Tipo de Equipamento	Modelo
APLX	GPS	Applanix POS-LV 220/420 GPS/IMU
LMS	LIDAR	SICK LMS 291-S05/S14 LIDAR
HDL	LIDAR	Velodyne HDL-64 LIDAR
ISF	LIDAR	Continental ISF 172 LIDAR
XT	LIDAR	IBEO Alasca XT LIDAR
ARS	RADAR	Continental ARS 300 Radar
PGF	Câmara HDR	Point Grey Firefly

Tabela 3.1: Listagem dos sensores do *Boss*

Existiram duas edições do *Grand Challenge* realizadas em 2004 e 2005 que consistia numa prova de condução autónoma em que os carros percorriam uma estrada de cerca de 242km no deserto do *Mojave*. Em 2004 nenhum dos concorrentes chegou ao final da prova, sendo que o o robô que mais distância percorreu ficou pelos 18km, contudo em 2005

Em 2007 foi realizado um *Urban Challenge* onde se aproximou as provas às condições encontradas num ambiente urbano, ou seja, estradas com carros a circular em ambas as vias, cruzamentos, sinalização vertical e semáforos.

Na edição de 2007 os veículos autónomos estão equipados com um conjunto de sensores entre os quais se destacam LIDAR, Radares, sonares e infravermelhos. O projecto vencedor desenvolvido pela Universidade de *Carnegie Mellon* e apelidado de *Boss* [?] tem 18 sensores dispostos como apresentado no diagrama abaixo:

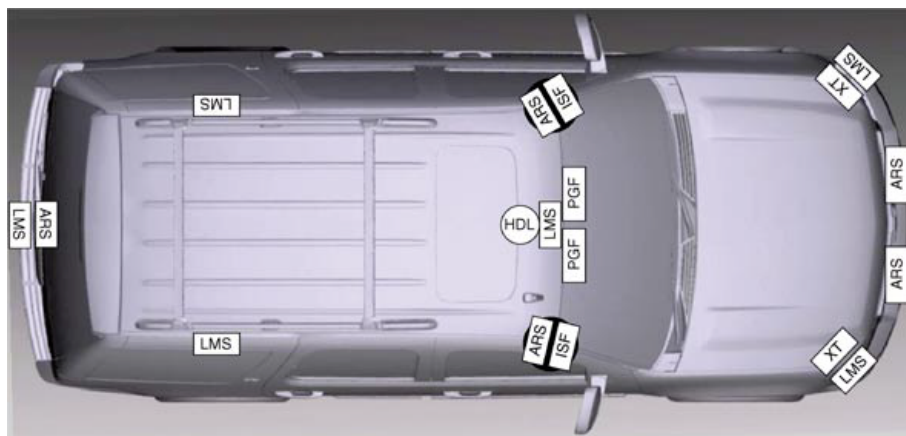


Figura 3.5: Sensores no Boss [?].

Sendo que os códigos dos sensores correspondem ao indicado na tabela ?? pode-se concluir, que os sensores LIDAR são um excelente sensor para ajudar no reconhecimento de objectos no mundo, tal como para mapear o ambiente do robô para se poder orientar de uma eficaz.

### 3.4.2 Festival Nacional de Robótica

O festival nacional de robótica é um evento organizado anualmente pela sociedade portuguesa de robótica em cidades diferentes onde, além de um encontro de científico onde investigadores de robótica de todo o mundo discutem e apresentam os trabalhos que estão a desenvolver, são realizadas várias competições e demonstrações de robótica.

As competições que se realizam são as seguintes:

- Busca e Salvamento Júnior RoboCup
- Dança Júnior RoboCup
- Futebol Robótico Júnior RoboCup
- Condução Autónoma
- Liga INFAIMON Futebol Robótico Médio RoboCup
- FreeBots
- Robot@Factory
- Equipas
- Qualificações para o RoboCup

Destas competições, a mais relevante para o trabalho a ser desenvolvido no âmbito desta dissertação é a de Competição Autónoma, onde um robô totalmente autónomo tem de navegar numa pista em oito que tem as características apresentadas:

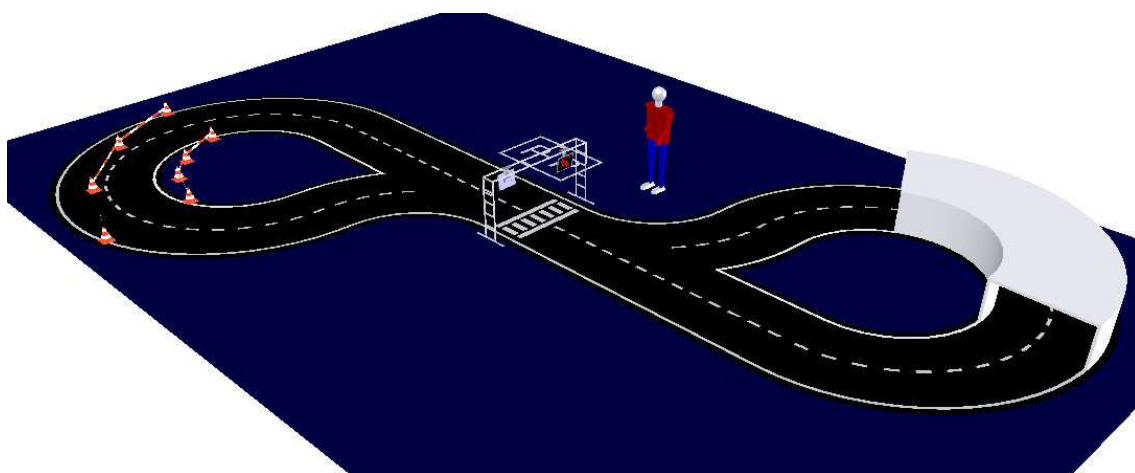


Figura 3.6: Pista de Condução Autónoma no Festival Nacional de Robótica

O objectivo é o robô percorrer a pista circulando pela faixa da direita, seguindo as indicações nos sinais verticais que se situam à beira da pista e os semáforos, e evitar os obstáculos que sinalizam obras no percurso.



### 3.4.3 MINERVA

O minerva é um robô autónomo desenvolvido na universidade Carnegie Mellon, para fazer de robô guia no museu smithsonian para a exposição de história natural que esteve em exibição no periodo de 25 de Agosto a 5 de Setembro de 1998.



Figura 3.7: MINERVA - Robô guia do museu Smithsonian

Este robô era totalmente autónomo a partir do momento em que fazia uma volta de aprendizagem, em que era guiado pelo percurso que lhe estava destinado. Estando a aprendizagem concluída, o robô orientava-se pelo resultado da sua aprendizagem, e por alguns sensores, nomeadamente para se desviar dos visitantes e de obstáculos, uma câmara para detectar marcadores no tecto do museu para se conseguir localizar. Além de guiar os visitantes pelo percurso este robô também interagia com os mesmos, respondendo a perguntas e apresentando a exposição.

### 3.4.4 CleanRob

O CleanRob é um projecto que começou a ser desenvolvido na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto em 2004, no no contexto do Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores. Este robô foi desenvolvido por alunos de modo a envolver alunos no desenvolvimento de projectos académicos com maior aplicação prática tirando partido de técnicas que representam o estado da arte na robótica.

Este robô utiliza um conjunto de câmaras e sonares PSD para fazer a sua localização, de modo a limpar corredores do departamento de Engenharia Electrotécnica.



Figura 3.8: CleanRob

### 3.5 Planeamento

O desenrolar desta dissertação será de Setembro a meados de Fevereiro de 2012, sendo que diferentes tarefas estão agendadas para diferentes fases. As tarefas para a realização desta dissertação com sucesso são as seguintes:

- Estado da Arte;
- Arquitectura de Sistema;
- Reconhecimento de Objectos:
  - Cilindros;
  - Esferas;
  - Paralelepípedos.
  - Mesas;
- Testes ao Sistema;
- Refinamentos;
- Escrita da Dissertação.

Estas tarefas terão um tempo atribuído para serem cumpridas, que seguirá o que está estipulado no diagrama ??.

## Revisão Bibliográfica

Ano	2011					2012	
Mês	7	9	10	11	12	1	2
Estado da Arte							
Arquitectura do Sistema							
Reconhecimento de Objectos							
Testes ao Sistema							
Refinamentos							
Escrita da Dissertação							

Figura 3.9: Planeamento de Tarefas

### 3.6 Resumo

No que diz respeito a detecção de objectos, existem vários algoritmos bastante robustos e eficazes na detecção de objectos, contudo são muito voltados para reconhecimento em imagens RGB e não tanto baseados em conjuntos de dados 3D e além disso exigem uma fase de aprendizagem.

Os demonstradores autónomos que existem no momento já são bastante completos, considere-se como exemplo o *Boss* que navega em ambiente bastante próximo do urbano com proeza, estando cada vez mais próximo de um cenário onde condução autónoma nas cidades poderia ser uma realidade e até mesmo uma mais-valia em termos de segurança. É de assinalar também os esforços nas competições de robôs em escalas menores pois com menos recursos e menor escala consegue-se testar técnicas inovadoras com soluções menos dispendiosas obtendo-se resultados igualmente impressionantes.

## Revisão Bibliográfica

## Capítulo 4

# Reconhecimento de objectos

Este capítulo deve começar por fazer uma apresentação detalhada do problema a resolver<sup>1</sup> podendo mesmo, caso se justifique, constituir-se um capítulo com essa finalidade.

Deve depois dedicar-se à apresentação da solução sem detalhes de implementação. Dependendo do trabalho, pode ser uma descrição mais teórica, mais 'arquitectural', etc.

### 4.1 Reconhecimento de Objectos

O objectivo desta tese é o reconhecimento de objectos através das percepções de um robô, tirando o máximo partido dos sensores 3D que recentemente apareceram no mercado para o utilizador comum. Utilizando tecnologia já desenvolvida, como os sensores 3D e bibliotecas informáticas<sup>2</sup>, será desenvolvida uma aplicação onde se faça o reconhecimento de estruturas<sup>3</sup> simples, nomeadamente planos, paralelepípedos e cilindros, para se utilizar no reconhecimento de objectos mais complexos dos quais estes fazem parte.

Visto que o objectivo último é a integração no software de um demonstrador de robótica autónoma, um objectivo secundário é que o reconhecimento seja feito num curto espaço de tempo para maximizar a performance do demonstrador.

O trabalho desenvolvido também poderá ser utilizado, no demonstrador autónomo, para resolver o problema de localização, isto é: como é que um robô autónomo sabe a sua localização no espaço. Havendo reconhecimento de objectos permitirá que o robô utilize a posição dos objectos reconhecidos para mais facilmente se localizar no espaço.

---

<sup>1</sup>Na introdução a apresentação do problema foi breve.

<sup>2</sup>???

<sup>3</sup>ou objectos

## 4.2 Solução do Problema

Para resolver o problema do reconhecimento de objectos em 3D decidiu-se seguir uma estratégia *bottom-up* tratando primeiro do reconhecimento de objectos simples, nomeadamente planos no espaço, cilindros e paralelepípedos, e de seguida reconhecer mesas em cuja constituição se encontram esses objectos.

O sensor utilizado para a captura de informação 3D foi o *Kinect* da *Microsoft* que é o mais comum no mercado e também foi o que a comunidade *opensource* mais rapidamente adoptou, desenvolvendo controladores e bibliotecas que permitem que o desenvolvimento seja multiplataforma

### 4.2.1 Reconhecimento de Objectos Simples

No que diz respeito a objectos simples optou-se pelos seguintes que são os constituintes mais comuns do principal caso de estudo dos objectos complexos:

- Cilindros;
- Paralelepípedos;
- Planos;

O reconhecimento destes objectos mais simples terá associado um valor de confiança para se poder avaliar a qualidade do método.<sup>4</sup>

### 4.2.2 Reconhecimento de Objectos Complexos

Para focar os esforços de desenvolvimento definiu-se as *mesas* como caso de estudo dos objectos complexos. Esta escolha apoia-se no facto destes objectos relativamente simples terem propriedades interessantes para o campo da robótica autónoma.

Um desses factores é o facto de ser um objecto bastante comum que pode ser encontrado em qualquer ambiente.

Outro factor é que, sendo as mesas objectos relativamente simples, a sua morfologia pode ser muito diferente de caso para caso. Podemos ter mesas com um só apoio central, outras poderão ter três ou quatro apoios, e estes apoios podem ter a forma de cilindros, paralelepípedos ou mesmo até formas menos regulares. Os tampos da mesa podem também ter formas bastante diferentes: desde tampos rectangulares, circulares, ovais ou mesmo de formas menos regulares à semelhança dos seus apoios.

Existirá também um dicionário de mesas conhecidas, sobre as quais será produzido um factor de confiança de as ter detectado que é calculado a partir do factor de confiança de se ter encontrado os seus constituintes.

---

<sup>4</sup>pôr palha

### **4.3 Resumo e Conclusões**

Esta dissertação fará então o reconhecimento de mesas, através do reconhecimento dos seus constituintes mais simples, i.e.: planos horizontais com várias formas e cilindros e paralelepípedos e indicará a certeza que tem de que é realmente uma mesa.

## Reconhecimento de objectos



## Capítulo 5

# Implementação

O programa desenvolvido foi escrito em *C++* recorrendo a algumas bibliotecas informáticas, nomeadamente a *Point Cloud Library* para a captura e manipulação de nuvens de pontos, *Boost*, *Qt* para o desenvolvimento da interface gráfica. De seguida são analisados com mais detalhe

### 5.1 Captura de Imagens 3D para análise

A captura de imagens em 3D foi feita utilizando o *Kinect* e a biblioteca *Point Cloud Library*.

### 5.2 Análise selecção e Separação de amostra de controlo

Seleccionou-se e separou-se algumas imagens com mesas para testar a qualidade de detecção após o desenvolvimento da tese.

### 5.3 Implementação da Detecção

Primeiro é feito um pré processamento para remover o chão da imagem e um corte a X metros de modo a eliminar algum ruído persistente na imagem e eliminar a zona de onde o *Kinect* perde precisão.

Depois é feita uma clusterização <sup>1</sup> usando o algoritmo KdTree para separar a imagem em objectos coerentes e separáveis para não acontecer o caso de estarmos a reconhecer o que parece uma perna de uma mesa a dois metros de distância do que é reconhecido como um tampo.

---

<sup>1</sup> isot vai ser passado a grupo de pontos

De seguida cada um dos objectos separáveis passa por um processo onde se tenta detectar constituintes das mesas, como pernas e tampos. Caso sejam encontrados verifica-se se correspondem a alguma das mesas conhecidas que estão guardadas na base de dados das mesas conhecidas<sup>2</sup>. Com base no que foi detectado, utilizando uma metodologia fuzzy, foram combinados os factores de confiança na detecção dos objectos simples para dar um factor de confiança de ser alguma das mesas já conhecidas.

### 5.4 Resultados Obtidos

TBD

### 5.5 Resumo

---

<sup>2</sup>explicar como isto funciona

## **Capítulo 6**

# **Conclusões e Trabalho Futuro**

Deve ser apresentado um resumo do trabalho realizado e apreciada a satisfação dos objectivos do trabalho, uma lista de contribuições principais do trabalho e as direcções para trabalho futuro.

A escrita deste capítulo deve ser orientada para a total compreensão do trabalho, tendo em atenção que, depois de ler o Resumo e a Introdução, a maioria dos leitores passará à leitura deste capítulo de conclusões e recomendações para trabalho futuro.

### **6.1 Satisfação dos Objectivos**

### **6.2 Trabalho Futuro**

## Conclusões e Trabalho Futuro