

POLITECNICO DI MILANO  
DIPARTIMENTO DI ELETTRONICA, INFORMAZIONE E BIOINGEGNERIA  
CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA INFORMATICA



## Cognitive SLAM: knowledge-based self-localization and mapping

AI & R Lab  
Laboratorio di Intelligenza Artificiale  
e Robotica del Politecnico di Milano

Relatore:  
Prof. Andrea Bonarini

Tesi di Laurea di:  
**Davide Tateo**      Matricola n. 799311

ANNO ACCADEMICO 2013-2014



*A qualcuno...*



# Sommario

Lo SLAM è uno dei principali problemi nello sviluppo di robot autonomi. Gli approcci correnti sono afflitti da un pesante costo computazionale e si comportano male in ambienti dinamici e disordinati; le performance di questi sistemi diventano ancora peggiori se si utilizzano sensori a basso costo, necessari per le applicazioni commerciali. Questa tesi affronta il problema da un punto di vista nuovo e originale, usando feature ad alto livello come punti chiave e sfruttando la conoscenza di un esperto e un linguaggio fuzzy per riconoscerli, per tenere traccia di punti chiave forti e stabili e permettere mappe più intelligenti e una localizzazione robusta in ambienti complessi. L'idea fondamentale è quella di mantenere il tasso di errore della localizzazione limitato e ridurre il costo necessario a far navigare con successo un robot autonomo in un ambiente interno, usando solo i dati provenienti da una webcam e una unità di misura inerziale a basso costo. Il principale problema è il riconoscimento di feature ad alto livello, come porte e scaffali, affrontato tramite un classificatore fuzzy ad albero, definito da un esperto, in modo da evitare fasi di allenamento e migliorare la generalità del riconoscimento.



# Abstract

SLAM is one of the key issues in autonomous robots development. Current approaches are affected by heavy computational load and misbehave in cluttered and dynamic environment; their performance get even worse with low cost sensors, needed for market applications. This thesis faces the problem in a new and original way, working with high level features as key points and using expert knowledge and a fuzzy language to detect them, in order to track strong and stable key points and allow smarter maps and robust localization in complex environments. The key idea is to keep the error rate of the localization process limited, and to reduce the cost of an autonomous robot to successfully navigate into an indoor environment using only the data from a webcam and a low cost Inertial measurement unit. The main issue is the high level feature recognition, like doors and shelves, done by an expert-defined fuzzy tree classifier, in order to avoid training and improve generalization of recognition.





# Ringraziamenti

Ringrazio .....



# Capitolo 1

## Introduzione

*“Terence: Rotta a nord con circospezione*

*Bud: Ehi, gli ordini li do io qui!*

*Terence: Ok, comante*

*Bud: Rotta a nord*

*Terence: Soltanto?*

*Bud: Con circospezione!”*

Chi Trova un Amico Trova un Tesoro

L'introduzione deve essere atomica, quindi non deve contenere nè sottosezioni nè paragrafi nè altro. Il titolo, il sommario e l'introduzione devono sembrare delle scatole cinesi, nel senso che lette in quest'ordine devono progressivamente svelare informazioni sul contenuto per incatenare l'attenzione del lettore e indurlo a leggere l'opera fino in fondo. L'introduzione deve essere tripartita, non graficamente ma logicamente:

### 1.1 Inquadramento generale

La prima parte contiene una frase che spiega l'area generale dove si svolge il lavoro; una che spiega la sottoarea più specifica dove si svolge il lavoro e la terza, che dovrebbe cominciare con le seguenti parole “lo scopo della tesi è ...”, illustra l'obiettivo del lavoro. Poi vi devono essere una o due frasi che contengano una breve spiegazione di cosa e come è stato fatto, delle attività sperimentali, dei risultati ottenuti con una valutazione e degli sviluppi futuri. La prima parte deve essere circa una facciata e mezza o due

## 1.2 Breve descrizione del lavoro

La seconda parte deve essere una esplosione della prima e deve quindi mostrare in maniera più esplicita l'area dove si svolge il lavoro, le fonti bibliografiche più importanti su cui si fonda il lavoro in maniera sintetica (una pagina) evidenziando i lavori in letteratura che presentano attinenza con il lavoro affrontato in modo da mostrare da dove e perché è sorta la tematica di studio. Poi si mostrano esplicitamente le realizzazioni, le direttive future di ricerca, quali sono i problemi aperti e quali quelli affrontati e si ripete lo scopo della tesi. Questa parte deve essere piena (ma non grondante come la sezione due) di citazioni bibliografiche e deve essere lunga circa 4 facciate.

## 1.3 Struttura della tesi

La terza parte contiene la descrizione della struttura della tesi ed è organizzata nel modo seguente. “La tesi è strutturata nel modo seguente.

Nella sezione due si mostra ...

Nella sez. tre si illustra ...

Nella sez. quattro si descrive ...

Nelle conclusioni si riassumono gli scopi, le valutazioni di questi e le prospettive future ...

Nell'appendice A si riporta ... (Dopo ogni sezione o appendice ci vuole un punto).”

I titoli delle sezioni da 2 a M-1 sono indicativi, ma bisogna cercare di mantenere un significato equipollente nel caso si vogliano cambiare. Queste sezioni possono contenere eventuali sottosezioni.

## Capitolo 2

# Stato dell'arte

*“Terence: Tu lo reggi il whisky?”*

*Bud: Beh, i primi due galloni sì, al terzo divento nostalgico e ci può scappare la lite... E tu lo reggi?*

*Terence: Eh, che domande, io sono stato allattato a whisky!”*

I due superpiedi quasi piatti

Nella seconda sezione si riporta lo stato dell'arte del settore, un inquadramento dell'area di ricerca orientato a portare il lettore all'interno della problematica affrontata. Bisogna dimostrare di conoscere le cose fatte fino ad ora in questo campo e il perché si sia reso necessario lo svolgimento di questo lavoro. Questa sezione deve essere grondante di citazioni bibliografiche [?].



## Capitolo 3

# Impostazione del problema di ricerca

*“Bud: Apri!”*

*Cattivo: Perché, altrimenti vi arrabbiate?*

*Bud e Terence: Siamo già arrabbiati!”*

Altrimenti ci arrabbiamo

In questa sezione si deve descrivere l’obiettivo della ricerca, le problematiche affrontate ed eventuali definizioni preliminari nel caso la tesi sia di carattere teorico.





## Capitolo 4

# Progetto logico della soluzione del problema

*“Bud: No, calma, calma, stiamo calmi, noi siamo su un’isola deserta, e per il momento non t’ammazzo perché mi potresti servire come cibo ...”*

Chi trova un amico trova un tesoro

In questa sezione si spiega come è stato affrontato il problema concettualmente, la soluzione logica che ne è seguita senza la documentazione.



## Capitolo 5

# Architettura del sistema

*“Terence: Ma scusa di che ti preoccupi, i piedipiatti hanno altro a cui pensare, in questo momento stanno cercando due cadaveri scomparsi  
Bud: Se non spegni quella sirena uno di quei due cadaveri scomparsi lo trovano di sicuro!”*

Nati con la camicia

Si mostra il progetto dell'architettura del sistema con i vari moduli.



## Capitolo 6

# Realizzazioni sperimentali e valutazione

*“Bambino: Questo è l’ultimo avviso per voi e i vostri rubagalline  
Il pistolero si alza: Che avete detto?  
Bambino: RUBAGALLINE  
Il pistolero si risiede: Aaah.”*

Lo chiamavano Trinità ...

Si mostra il progetto dal punto di vista sperimentale, le cose materialmente realizzate. In questa sezione si mostrano le attività sperimentali svolte, si illustra il funzionamento del sistema (a grandi linee) e si spiegano i risultati ottenuti con la loro valutazione critica. Bisogna introdurre dati sulla complessità degli algoritmi e valutare l’efficienza del sistema.



## Capitolo 7

# Direzioni future di ricerca e conclusioni

*“Terence: Mi fai un gelato anche a me? Lo vorrei di pistacchio.*

*Bud: Non ce l’ho il pistacchio. C’ho la vaniglia, cioccolato, fragola, limone e caffè.*

*Terence: Ah bene. Allora fammi un cono di vaniglia e di pistacchio.*

*Bud: No, non ce l’ho il pistacchio. C’ho la vaniglia, cioccolato, fragola, limone e caffè.*

*Terence: Ah, va bene. Allora vediamo un po’, fammelo al cioccolato, tutto coperto di pistacchio.*

*Bud: Ehi, macché sei sordo? Ti ho detto che il pistacchio non ce l’ho!*

*Terence: Ok ok, non c’è bisogno che t’arrabbi, no? Insomma, di che ce l’hai?*

*Bud: Ce l’ho di vaniglia, cioccolato, fragola, limone e caffè!*

*Terence: Ah, ho capito. Allora fammene uno misto: mettimi la fragola, il cioccolato, la vaniglia, il limone e il caffè. Charlie, mi raccomando il pistacchio, eh.”*

Pari e dispari

Si mostrano le prospettive future di ricerca nell’area dove si è svolto il lavoro. Talvolta questa sezione può essere l’ultima sottosezione della precedente. Nelle conclusioni si deve richiamare l’area, lo scopo della tesi, cosa è stato fatto, come si valuta quello che si è fatto e si enfatizzano le prospettive future per mostrare come andare avanti nell’area di studio.





# Bibliografia



## Appendice A

# Documentazione del progetto logico

Documentazione del progetto logico dove si documenta il progetto logico del sistema e se è il caso si mostra la progettazione in grande del SW e dell'HW. Quest'appendice mostra l'architettura logica implementativa (nella Sezione 4 c'era la descrizione, qui ci vanno gli schemi a blocchi e i diagrammi).



## Appendice B

# Documentazione della programmazione

Documentazione della programmazione in piccolo dove si mostra la struttura ed eventualmente l'albero di Jackson.



## Appendice C

### Listato

Il listato (o solo parti rilevanti di questo, se risulta particolarmente esteso)  
con l'autodocumentazione relativa.





## Appendice D

# Il manuale utente

Manuale utente per l'utilizzo del sistema



## Appendice E

# Esempio di impiego

Un esempio di impiego del sistema realizzato.



## Appendice F

# Datasheet

Eventuali Datasheet di riferimento.