

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 o 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 pi intelligenti e una localizzazione robusta in ambienti complessi. L'idea fondamentale era 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 unit misura inerziale a basso costo. Il principale problema 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 generalit  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.

Indice

Sommario	I
Abstract	III
Ringraziamenti	VII
1 Introduzione	1
2 Stato dell'arte	3
3 Impostazione del problema di ricerca	5
4 Progetto logico della soluzione del problema	7
5 Architettura del sistema	9
6 Realizzazioni sperimentali e valutazione	11
7 Direzioni future di ricerca e conclusioni	13
Bibliografia	15
A Documentazione del progetto logico	17
B Documentazione della programmazione	19
C Listato	21
D Il manuale utente	23
E Esempio di impiego	25
F Datasheet	27

Ringraziamenti

Ringrazio

Capitolo 1

Introduzione

“Qualunque cosa che accade, accade”

“Qualunque cosa che, accadendo, ne fa accadere un'altra, ne fa accadere un'altra.”

“Qualunque cosa che, accadendo, induce se stessa a riaccadere, riaccade.”

“Per tto che lo faccia in ordine cronologico.”

Douglas Adams, Mostly Harmless

Uno dei problemi chiave della robotica è la localizzazione di un robot in un ambiente sconosciuto. Questo problema è noto come “SLAM”, Simultaneous localization and Mapping, ed è attualmente una delle aree più importanti della ricerca riguardante i robot autonomi. In particolare, questo problema risulta ancora più difficile se applicato a robot dotati di sensori a basso costo, quali webcam e unità di misura inerziale economiche, restrizione fondamentale per la diffusione di applicazioni di robotica autonoma nel mondo reale.

Lo scopo della tesi è sviluppare un framework per risolvere il problema della localizzazione di robot autonomi dotati di sensori a basso costo, quali ad esempio i quadricotteri. L'idea è sviluppare una metodologia che non solo permetta al robot di localizzarsi nella mappa in maniera efficiente, ma anche di interagire con l'ambiente in maniera avanzata, di compiere ragionamenti, di adattarsi a eventuali cambiamenti ed agli eventi che possono occorrere, quali la presenza di persone o altri agenti.

Basandosi principalmente sulle informazioni provenienti da una videocamera monoculare, è stato sviluppato un sistema che è in grado di processare informazioni provenienti da un esperto, espresse in un linguaggio formale, di estrarre feature di basso livello e aggregarle, grazie alla base di conoscenza, per riconoscere e tracciare feature di alto livello, quali porte e armadi, e di basare conseguentemente su di essi il processo di localizzazione. Per permettere

all'esperto di trasmettere la sua conoscenza all'agente, ato sviluppato un linguaggio formale, basato sulla logica fuzzy, che permetta di esprimere sia regole fuzzy linguistiche, sia di definire un classificatore fuzzy ad albero in grado di definire una gerarchia di modelli e le relazioni tra di essi.

La tesi rutturata nel modo seguente:

Nel capitolo 2 si illustra lo stato dell'arte.

Nel capitolo 3 si illustrano le basi teoriche necessarie.

Nel capitolo 4 si descrive l'architettura generale del sistema.

Nel capitolo 5 si parla del reasoner e del linguaggio formale utilizzato.

Nel capitolo 6 si descrive l'estrazione delle feature di basso livello.

Nel capitolo 7 si mostra come gli oggetti riconosciuti sono tracciati.

Nel capitolo 8 si illustra la creazione della mappa e la localizzazione.

Nel capitolo 9 si analizzano i risultati sperimentali del sistema proposto.

Nel capitolo 10 si riassumono gli scopi, le valutazioni di questi e le prospettive future.

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

Il problema della localizzazione di un robot in un ambiente sconosciuto è stato affrontato fin dagli anni 90' a partire da [?], articolo nel quale per la prima volta si delineava un framework per localizzare un robot costruendo contemporaneamente la mappa dell'ambiente. Tramite l'utilizzo di sonar, venivano estratte feature geometriche con cui veniva costruita la mappa, nella quale il robot si localizzava. Il problema principale della localizzazione è il “problema della correlazione”: se la posizione della feature rispetto alla quale ci si localizza è affetta da incertezza, la conseguente stima della posizione effettuata rispetto a tale feature sarà affetta da un errore che dipende dall'errore della posizione della feature della generazione della mappa e l'errore della stima della posizione divergono nel tempo. Per risolvere questo problema, gli autori hanno utilizzato un filtro di Kalman esteso. Come è noto, il filtro di Kalman è uno stimatore Bayesiano ricorsivo, che, supposto noto il modello lineare che regola la generazione dei dati e la loro osservazione, supposto che l'errore di misura e di modello siano gaussiani, restituisce la densità di probabilità del sistema osservato. Il filtro di Kalman, se utilizzato secondo le ipotesi, è uno stimatore ottimo dello stato del sistema osservato, secondo i minimi quadrati. Tuttavia, nell'ambito della robotica, e in particolare nel problema della localizzazione, il modello di

Capitolo 3

Impostazione del problema di ricerca

“Bud: Apri!”

Cattivo: Perchltrimenti vi arrabbiate?

Bud e Terence: Siamo girabbiati!”

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 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, macchi 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.