ETH zürich

ETH Library

Omnidirectional Vision

From Calibration to Root Motion Estimation

Doctoral Thesis

Author(s):
Scaramuzza, Davide

Publication date:
2007

Permanent link:
https://doi.org/https://doi.org/10.3929/ethz-a-005567197

Rights / license:
In Copyright - Non-Commercial Use Permitted

This page was generated automatically upon download from the ETH Zurich Research Collection.
For more information, please consult the Terms of use.

DISS. ETH NO. 17635

OMNIDIRECTIONAL VISION: FROM CALIBRATION TO ROBOT MOTION ESTIMATION

A dissertation submitted to

ETH ZURICH

for the degree of

Doctor of Science

presented by

DAVIDE SCARAMUZZA

M.S. Electronic Engineering, Università di Perugia, Italy

Date of birth: April 2, 1980

citizen of Terni, Italy

Accepted on the recommendation of

Prof. Roland Siegwart (ETH Zurich, thesis director)

Prof. Luc Van Gool (ETH Zurich, examiner)

Prof. Patrick Rives (INRIA Sophia Antipolis, examiner)

2008

Abstract

For mobile robots to be able to work with and for people and thus operate in our everyday environments, they need to be able to acquire knowledge through perception. In other words they need to collect sensor measurements from which they extract meaningful information. This thesis covers some of the essential components of a robot perception system combining omnidirectional vision, odometry, and 3D laser range finders, from modeling to extrinsic calibration, from feature extraction to ego-motion estimation. We covers all these topics from the "point of view" of an omnidirectional camera. The contributions of this work are several and are listed here.

The thesis starts with an overview of the geometry of central omnidirectional cameras and gives also an overview of previous calibration methods. The contributions of this section are three. The first two are a new generalized model for describing both dioptric and catadioptric cameras and a calibration method which takes advantage of planar grids shown around the cameras, like the method in use for standard perspective cameras. The third contribution is the implementation of a toolbox for Matlab (called OCamCalib and freely available on-line), which implements the proposed calibration procedure.

The second part of the thesis is dedicated to the extraction and matching of vertical features from omnidirectional images. Vertical features are usually very predominant in indoor and outdoor structured environments and can then be very useful for robot navigation. The contribution of this part is a new method for matching vertical lines. The proposed method takes advantage of a descriptor that is very distinctive for each feature. Furthermore, this descriptor is invariant to rotation and slight changes of illumination.

The third part of the thesis is devoted to the extrinsic calibration of an omnidirectional camera with the odometry (i.e. wheel encoders) of a mobile robot. The contribution of this part is a new method of automatic self-

calibration while the robot is moving. The method is based on an extended Kalman filter that combines the encoder readings with the bearing angle observations of one ore more vertical features in the environment. Furthermore, an example of robot motion estimation is shown using the so calibrated camera-odometry system.

The fourth part of the thesis is dedicated to the extrinsic calibration of an omnidirectional camera with a 3D laser range finder. The contribution of this method is that it uses no calibration object. Conversely, calibration is performed using laser-camera correspondences of natural points that are manually selected by the user. The novelty of the method resides in a new technique to visualize the usually ambiguous 3D information of range finders. We show that is possible to transform the range information into a new image where natural features of the environment are highlighted. Therefore, finding laser-camera correspondences becomes as easy as image pairing.

The last part of the thesis is devoted to visual odometry for outdoor ground vehicles. We show a new method to recover the trajectory of a calibrated omnidirectional camera over several hundred of meters by combining a feature based with an appearance based approach.

All the contributions of this thesis are validated through experimental results using both simulated and real data.

Abstract (Italiano)

Affinché un robot mobile sia capace di lavorare con e per le persone ed operare nella vita di tutti i giorni, questo deve esser in grado di acquisire conoscenza per mezzo della percezione. In altre parole, deve acquisire misure dai sensori, da cui poi estrarre informazioni significative. Questa tesi copre alcuni dei componenti essenziali del sistema di percezione di un robot, che combina visione omnidirezionale, odometria e laser 3D: dalla modellazione alla calibrazione estrinseca, dall'estrazione di features alla stima del moto. Questi aspetti sono trattati dal "punto di vista" di una telecamera omnidirezionale. I principali contributi di questa tesi sono listati qui di seguito.

La tesi inizia con una revisione generale della geometria di telecamere centrali omnidirezionali e riassume precedenti lavori sulla calibrazione. I contributi di questa sezione sono tre. I primi due sono la concezione di un modello unificato per telecamere diottriche e catadiottriche ed una procedura di calibrazione che utilizza griglie planari mostrate dall'utente intorno alla telecamera, simile ai metodi standard per telecamere prospettiche. Il terzo contributo è l'implementazione di un toolbox per Matlab (detto OCamCalib e disponibile on-line), che implementa la procedura di calibrazione proposta.

La seconda parte di questa tesi è dedicata all'estrazione e all'accoppiamento di linee verticali in immagini omnidirezionali. Linee verticali sono predominatin in ambienti strutturati sia interni che esterni e possono essere molto utili per la navigazione di robot. Il contributo di questa parte è un nuovo metodo per l'accoppiamento di verticali. Tale metodo fa uso di un descrittore che è distintivo per ogni verticale. Inoltre tale descrittore è invariante alla rotazione e a lievi cambiamenti di illuminazione.

La terza parte della tesi è dedicata alla calibrazione estrinseca di una telecamera omnidirezionale con l'odometria di un robot mobile. Il contributo di questa parte è un nuovo metodo di auto-calibrazione durante il moto del

robot. Il metodo è basato sull'uso di un filtro di Kalman esteso che integra le letture odometriche con gli angoli di osservazione di uno o più verticali nell'ambiente. Inoltre si mostra anche un esempio di stima del moto del robot che utilizza il sistema camera-odometria cosi' calibrato.

La quarta parte della tesi è dedicata alla calibrazione estrinseca di una telecamera omnidirezionale con un laser 3D. Il contributo di questo metodo risiede nel fatto che non fa uso di oggetti di calibrazione. Al contrario, la calibrazione viene fatta utilizzando corrispondenze tra punti naturali estratti manualmente dall'utente dagli output di telecamera e laser. La novita' risiede in una tecnica per visualizzare l'ambigua informazione 3D dei laser. Si mostra che è possibile trasformare l'informazione 3D in una nuova immagine 2D in cui i dettagli dell'ambiente risultano enfatizzati. In tal modo la ricerca di corrispondenze diventa facile come quella tra immagini.

L'ultima parte della tesi è dedicata all'odometria visuale per veicoli da strada. Si presenta un nuovo metodo per ricostruire la traiettoria di una telecamera omnidirezionale già calibrata su alcune centinaia di metri combinando un approccio basato sull'estrazione di features con uno basato sull'apparenza delle immagini.

Tutti i contributi di questa tesi sono validati tramite risultati sperimentali su dati simulati e reali.