

Relazione Progetto di Sistemi Operativi – Applicazione SLAM con Orazio e AprilTag

Lorenzo Nicoletti – 1797464

Abstract

Questo progetto è un pratico esempio di applicazione SLAM (Simultaneous Localization And Mapping), sviluppata all'interno dello stub di Orazio, che fa uso della libreria di AprilTag per effettuare il rilevamento di landmarks nell'ambiente in cui si trova. Lo scopo, con l'utilizzo del framework g2o, è quello di costruire un grafo che ricrei il più fedelmente possibile il contesto d'azione.

Introduzione

Il progetto ha integrato le nozioni fornite durante il corso di Sistemi Operativi per quanto riguarda l'utilizzo dei devices e in particolare della camera, attraverso la quale si acquisisce e si mostra uno stream in tempo reale della webcam tramite un'integrazione con le librerie grafiche di OpenCV. Tale flusso viene dato in input a un detector implementato da AprilTag che rileva eventuali tag ripresi, ricavandone l'identificativo e stimandone una posizione rispetto al sistema di riferimento del device utilizzato (*Figura 1*).

Questa applicazione è incorporata in un client di Orazio in modo tale che, durante il movimento in un determinato ambiente, vengano registrati in un file di log le informazioni riguardanti l'odometria del robot e la posizione dei landmarks inquadrati dalla camera nel corso del tempo.

In seguito, tale file viene analizzato in modo da ricavare i componenti necessari per la costruzione di un grafo g_2o , i cui vertici rappresentano la posizione del robot e dei tag rilevati durante l'esplorazione dell'ambiente e i cui archi collegano tali vertici precedentemente calcolati.

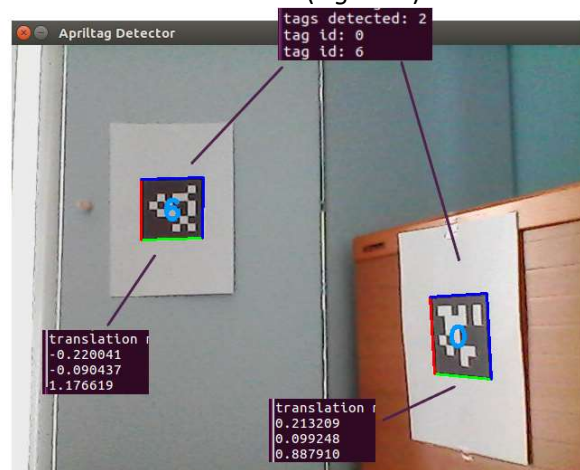


Figura 1: esempio di AprilTag Detector con landmarks rilevati e relativa posizione nello spazio espressa nel sistema di riferimento della camera.

Tutti questi elementi, infine, sono ottimizzati direttamente da g2o che si occupa di ridurre l'errore presente nelle varie misurazioni effettuate durante lo spostamento al fine di costruire un'accurata mappatura dello spazio.

Metodo

L'applicazione si divide principalmente in due parti: la prima si occupa dell'acquisizione del dataset con le informazioni propedeutiche allo svolgimento della successiva che consiste invece nel calcolo delle trasformazioni geometriche presenti tra i vari sistemi di riferimento coinvolti, con contestuale stesura del corrispondente file g2o. La raccolta dei dati è effettuata dal client di Orazio, il quale crea e annota su un comune file di testo registrazioni di tipo:

1. **“odometria”**, che riporta le misure globali delle coordinate x e y e dell’angolo θ del robot con relativo timestamp;
2. **“tag”**, eventuali rilevamenti di tag nello stesso istante di tempo dell’odometria corrente, con identificativo del tag e coordinate nello spazio espresse nel sistema di riferimento della camera utilizzata.

time-stamp

$x, y, e \text{ e } \theta$ in un certo istante t

<1593091716.30501> ODOM 0.707276 0.426696 1.230559
<1593091716.30501> TAG 1 -0.091154 -0.003077 1.675843
<1593091716.30501> TAG 6 -1.086601 0.101119 4.163209

id $x, y \text{ e } z$ in camera frame nello stesso istante t

Dopo aver concluso l'esplorazione nell'ambiente, i dati raccolti sono analizzati da un parser, che calcola, nel piano e nello spazio, le trasformazioni geometriche per ogni informazione. Queste ultime sono calcolate utilizzando la formula per il cambiamento di base e la sua inversa:

$$p' = R \times p + t \quad (1)$$

$$p = R^T \times p' - R^T \times t \quad (2)$$

dove p e p' rappresentano la posizione di uno stesso punto in due sistemi di riferimento (o *frame*) differenti e R e t sono rispettivamente la matrice di rotazione e il vettore di traslazione tra questi ultimi.

In particolare, l'equazione (1) viene utilizzata nel calcolo della posizione del tag rilevato rispetto al frame del robot: a partire dalle coordinate stimate dal detector di AprilTag, espresse nel sistema di riferimento della camera, è possibile risalire a quelle nel sistema di riferimento del robot, applicando proprio la suddetta trasformazione.

In *figura 2*, è mostrato come, disponendo della posizione p del tag, sia possibile risalire alla posizione p' semplicemente effettuando il prodotto matriciale $B \times p$, con B matrice di trasformazione che racchiude al suo interno i valori della matrice di rotazione e del vettore di traslazione.

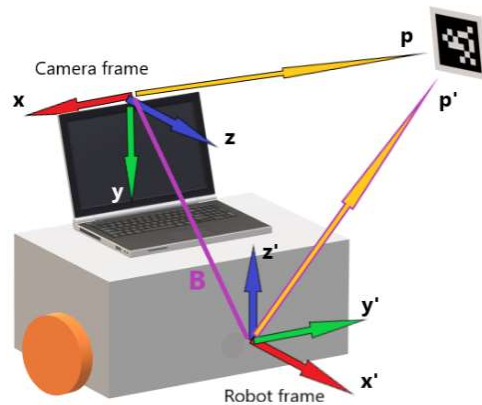


Figura 2: ricostruzione modellistica della piattaforma utilizzata con rappresentazione dei sistemi di riferimento della camera e del robot, evidenziando tra i due la trasformazione B .

Un discorso analogo è ripreso nel calcolo della posizione globale del tag, ovvero dal punto di vista del frame del mondo circostante, necessaria ogni qualvolta venga rilevato un nuovo tag, prima sconosciuto. Conoscendo la posizione del robot, presente nel file di log registrato dal client di Orazio, e la posizione del tag, calcolata come precedentemente descritto, è possibile stimare la nuova posizione del tag stesso nel sistema di riferimento del mondo applicando ancora la formula (1).

L'equazione (2) è invece utilizzata nel calcolo della trasformata tra due frame del robot nel tempo.

Come illustrato in *figura 3*, tale calcolo risulta utile per poter stimare la posizione dell'origine del frame corrente, espressa nel sistema di riferimento del frame precedente, necessaria alla costruzione di un grafo g2o. Entrambe le posizioni registrate nel tempo sono state memorizzate nel file di log; da queste posizioni diventa poi estremamente semplice rilevare la rotazione, tramite la differenza tra i due angoli θ' e θ'' , e la traslazione, tramite le coordinate x ed y dei due frame considerati.

Il calcolo delle trasformate avviene in contemporanea alla stesura del file g2o, dal quale verrà in seguito costruito il grafo corrispondente.

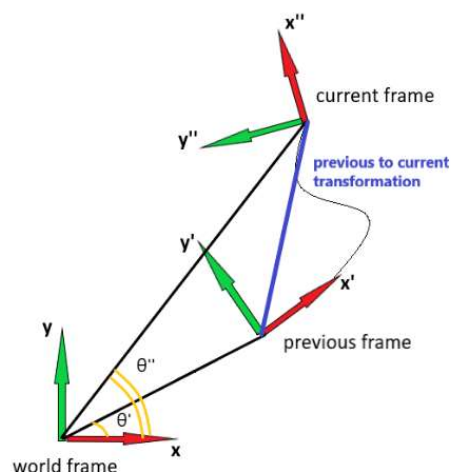


Figura 3: modello 2D che rappresenta lo spostamento del robot rispetto al world frame in due istanti di tempo consecutivi e loro relativa trasformazione

Esperimento

La teoria del progetto è stata messa in pratica testando il sistema complessivo in un contesto reale.

L'acquisizione del dataset (e dunque la stesura del file di log) è avvenuta esplorando un corridoio del Dipartimento di Ingegneria Informatica, Automatica e Gestionale "Antonio Ruberti" di Via Ariosto.

Sono stati utilizzati quindici tag, disposti più o meno uniformemente lungo le pareti, gli armadi e la panchina dello stesso, in modo tale da avere una diversa profondità dello spazio circostante.

Sopra la base mobile della macchina utilizzata è stato posizionato un computer portatile connesso a webcam che ha fornito uno stream video in tempo reale. Sono stati effettuati quattro giri nello spazio seguendo un movimento di natura circolare non sempre regolare, in modo da acquisire molteplici rilevazioni di tag contemporaneamente. L'esperimento ha avuto una durata complessiva di circa otto minuti.

Risultati

I risultati ottenuti in seguito all'analisi effettuata dal parser sui dati raccolti hanno permesso di tracciare in modo estremamente realistico la mappa dell'ambiente. In *figura 4*, viene mostrato come la differenza di profondità tra i vari tag, dovuta a una loro differente locazione nello spazio, è stata osservata ed evidenziata. In generale, l'output finale, dopo l'ottimizzazione fornita dal visualizzatore grafico di g2o, risulta essere accettabile ed in linea con quello che è stato il contesto d'azione. Gli inevitabili errori di stima delle posizioni, accentuati anche dalla durata dell'esperimento e da un movimento nello spazio non sempre uniforme, sono stati minimizzati e resi quasi del tutto trascurabili.

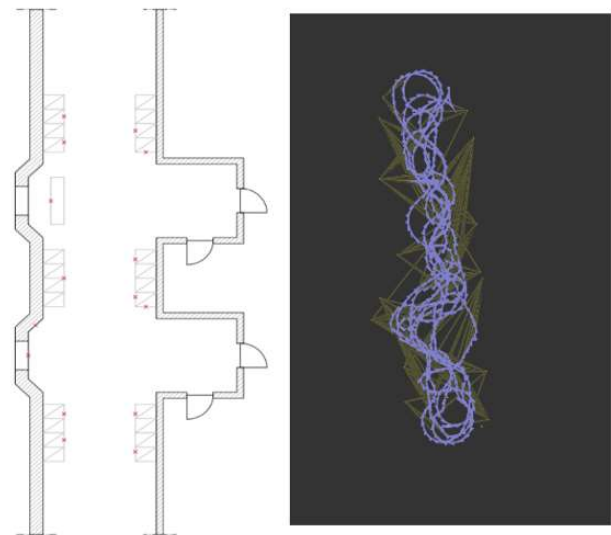


Figura 4: a sinistra una piantina approssimativa dell'ambiente dell'esperimento con segnatura dei landmarks, a destra relativo grafo g2o ottimizzato

Conclusione

Il progetto, delineandosi inizialmente come semplice applicazione SLAM, è riuscito a integrare in un unico ambiente diversi stub e librerie di programmazione come Orazio, AprilTag ed OpenCV, ricavando dei risultati soddisfacenti e riuscendo dunque nel suo principale obiettivo, quello di generare la mappatura di un ambiente reale a partire da misurazioni in esso effettuate.