

## Short Term Mobility Program 2013

### Relazione sui Risultati dell'Attività Scientifica svolta presso il Max Planck Institute for Biological Cybernetics

Antonio PETITTI

Istituto Studi sui Sistemi Intelligenti per l'Automazione, Bari

November 18, 2013

Inizio Periodo: 02 Ottobre 2013  
Fine Periodo: 03 Novembre 2013  
Referente Estero: Dr. Antonio Franchi

## 1 Introduzione

Questa relazione mira a riassumere e descrivere l'attività di ricerca svolta dal fruitore dei fondi CNR per il programma di Short Term Mobility 2013 per il periodo di ricerca trascorso presso il Max Planck Institute for Biological Cybernetics di Tuebingen (Germania). Durante il soggiorno all'estero il fruitore si occupato di affrontare la problematica di calibrazione congiunta di parametri di odometria e sensori in relazione ad un robot mobile di tipo differential drive. L'ipotesi di base è che la piattaforma mobile sia equipaggiata con almeno un sensore esteroceettivo montato orizzontalmente (vale a dire che il sensore presenti angoli di beccheggio e rollio nulli) sul robot.

## 2 Modello

Si assuma di descrivere la configurazione di un robot mobile differential drive al tempo  $t$  rispetto ad un sistema di riferimento fisso attraverso la tripla  $q(t) = (q_x, q_y, q_\theta)$  appartenente al gruppo euclideo SE(2). Si assuma un sensore esteroceettivo montato orizzontalmente sul robot la cui posa rispetto ad un sistema di riferimento solidale al robot può essere rappresentata attraverso la tripla  $l(t) = (l_x, l_y, l_\theta) \in SE(2)$ . Le osservazioni esteroceettive, per loro natura, rappresentano un processo tempo discreto, in quanto le stesse risultano disponibili in istanti discreti  $t_1 < \dots < t_k < \dots < t_q$ , istanti non necessariamente temporalmente equipazati tra di loro. Partendo dall'assunzione che il sensore sia saldamente fissato al robot (solidale al robot), possiamo correlare il displacement del sensore,  $s^k$ , e il displacement del robot,  $r^k$ , nell'intervallo di tempo compreso tra  $t_k$  e  $t_{k+1}$ . Supponendo, quindi, di possedere una stima del displacement,  $\hat{s}^k$ , misurato dal sensore (per esempio, nel caso di un laser range finder, è possibile utilizzare un'algoritmo di scan matching), si presenta un algoritmo in grado di stimare il seguente vettore di parametri  $\phi = [r_L, r_R, b, l_x, l_y, l_\theta]$ , dove  $r_L$  e  $r_R$  rappresentano il raggio, rispettivamente, di ruota sinistra e ruota destra, mentre il parametro  $b$  indica la distanza tra le due ruote.

## 3 Studio di Osservabilità del Modello

Come formalizzato nella sezione precedente, il problema di stima è, per sua natura, tempo discreto. Per questo motivo, le tecniche di analisi di osservabilità non lineare classiche della teoria dei controlli, basate sulla teoria delle derivate di Lie, non sembrano essere lo strumento più adatto per tale analisi. Per questo motivo, si pone il modello del sistema in una forma del tipo  $\mathbf{y} = \mathbf{h}(\mathbf{x}, \mathbf{u})$ , dove  $\mathbf{y}$  è il vettore delle osservazioni,  $\mathbf{x}$  è il vettore delle incognite (parametri incogniti da stimare) e  $\mathbf{u}$  è il vettore degli ingressi. Oltretutto, è ragionevole ipotizzare la presenza di un rumore stocastico aggiuntivo  $\epsilon$ . Parallelamente, quindi, è utile condurre un'analisi basata sulla teoria della matrice di informazione di Fisher. Dallo studio di osservabilità si osserva la presenza di un possibile caso di ambiguità nella stima dei parametri, che può essere facilmente aggirato fissando

dei vincoli sul valore dei parametri (per esempio, imponendo che il valore del parametro  $b$  sia positivo, come è ragionevole pensare). Lo studio condotto, inoltre, porta a dimostrare come teoricamente bastino soltanto due traiettorie indipendenti tra loro, per poter stimare il valore dei sei parametri. Ovviamente, l'utilizzo di più dati permette di ottenere dei risultati statisticamente più corretti.

## 4 Algoritmo

L'algoritmo è formato da quattro diverse fasi. Nella prima fase è possibile stimare, attraverso i minimi quadrati, il valore dei parametri  $-r_L/b$  e  $r_R/b$ . In quanto, se consideriamo soltanto la stima della rotazione, che è possibile ricavare da  $\hat{s}_k$ , si osserva una dipendenza lineare di  $\hat{s}_k$  da questi due parametri. Nella seconda fase, si procede con la stima di MLE (*Maximum Likelihood Estimation*) dei restanti tre parametri approssimando il funzionale da massimizzare in modo da arrivare ad un problema più facilmente risolvibile integrando il modello cinematico nei vari intervalli di tempo  $[t_k, t_{k+1}]$ . A questo punto è possibile ricavarsi il valore di  $r_L$ ,  $r_R$  e  $b$ . La terza fase prevede la rimozione di eventuali outliers presenti nei dati raccolti. Infine, si procede ad una valutazione dell'affidabilità delle stime calcolate sulla base dell'indicatore di Cramér-Rao che è possibile calcolarsi a partire dalla matrice di informazione di Fisher.

## 5 Implementazione Algoritmo

Questa sezione è volta a descrivere i file eseguibili componenti l'implementazione dell'algoritmo descritto nella sezione precedente. L'implementazione prevede principalmente due moduli, *synchronizer* e *solver*. Il modulo synchronizer si occupa di sincronizzare le acquisizioni laser e di odometria in modo da preparare i dati in input per l'algoritmo di stima. Il modulo solver, dati in ingresso i file contenenti le tuple preparate dal synchronizer, procede alla stima dei parametri di calibrazione. I dati intermedi e finali sono riportati in formato JSON. Per esempio, l'uscita del synchronizer è data da oggetti definiti in questo modo:

```
{
    "timestamp": [ time ],
    "readings": [ ... ],
    "theta": [ ... ],
    "right": 0,
    "left": 0,
    "leftTimestamp": [ stampL ],
    "rightTimestamp": [ stampR ]
}
```

dove:

- "readings" è il vettore delle letture range-finder;

- “theta” è il vettore contenente le direzioni di ogni lettura;
- “left” e “right” indicano le letture degli encoder, in ticks.
- “timestamp” è il timestamp UNIX di ogni lettura laser;
- “leftTimestamp”, “rightTimestamp” sono i timestamps delle letture dell’encoder.

## 6 Estensioni

Lo studio del problema della calibrazione di odometria e sensing di un robot mobile può essere esteso alla calibrazione e stima di parametri di un modello dinamico generico:

$$\begin{aligned}\dot{\mathbf{x}} &= \mathbf{f}(\mathbf{x}, \mathbf{u}, \phi) \\ \mathbf{y} &= \mathbf{h}(\mathbf{x}, \mathbf{u}, \phi)\end{aligned}\tag{1}$$

dove:  $\mathbf{x} \in \mathbb{R}^n$  rappresenta lo stato del sistema dinamico,  $\mathbf{u} \in \mathbb{R}^m$  è il vettore d’ingressi al modello,  $\phi \in \mathbb{R}^s$  è il vettore dei parametri che definiscono il modello e  $\mathbf{y} \in \mathbb{R}^p$  rappresenta il vettore delle osservazioni. Tale formulazione permette di utilizzare gli strumenti classici della teoria dell’osservabilità non lineare così come concetti correlati alla teoria dell’informazione di Fisher. La scelta riguardante il modo in cui studiare l’osservabilità del sistema è strettamente legata al particolare modello dinamico. Tale formulazione, inoltre, permette naturalmente di poter passare ad algoritmi di calibrazione e stima distribuita. Si ipotizzi, per esempio, di disporre di un certo numero di agenti robotici ognuno dei quali è in grado di fornire un input al sistema e di misurare un determinato output del sistema. In quest’ottica, è facile capire come il generico vettore  $\mathbf{u}$  possa essere costituito dall’insieme degli ingressi forniti dagli agenti. Lo stesso è possibile assumere per il vettore  $\mathbf{y}$ . Questa formulazione, se applicata in contesti di robotica cooperativa, presenta notevoli potenzialità applicative.

## 7 Conclusioni

In conclusione, si può dire che il periodo di mobilità breve, trascorso al Max Planck Institute for Biological Cybernetics, presso il gruppo di Autonomous Robotics and Human Machine Systems diretto dal Dr. Antonio Franchi, ha portato a:

- studiare ed utilizzare un algoritmo di calibrazione simultanea di odometria e sensing per robot mobili di tipo differential drive;
- presentare possibili interessanti estensioni del lavoro di interesse per la comunità scientifica;
- incoraggiare possibili collaborazioni presenti e future con il gruppo di lavoro diretto dal Dr. Franchi.