UNIVERSITÀ DI PISA

Dipartimento di Informatica

Corso di Laurea Triennale in Informatica

Localizzazione Indoor Basata su Beacon Bluetooth a Bassa Potenza Attraverso Tecniche di Deep Learning

un progetto realizzato per Consorzio Metis e ASL Toscana

Relatori:

Prof. Gianluigi Ferrari

Presentata da:

Marco Pampaloni

Anno Accademico 2019/2020

Sommario

Il problema della Localizzazione Indoor si è rivelato di particolare interesse pratico negli ultimi anni. Questa tesi mostra come moderne tecniche di Deep Learning possano risultare determinanti nella corretta risoluzione di tale problema.

L'approccio analizzato sfrutta una rete neurale convoluzionale (CNN) profonda: l'input del modello è caratterizzato da una serie temporale di segnali broadcast *Bluetooth Low Energy* (BLE) emessi da un insieme di Beacon disposti all'interno dell'edificio adibito alla Localizzazione Indoor, mentre l'output è una coppia di coordinate relative alla posizione all'interno dell'edificio stesso. Sono state inoltre utilizzate varie tecniche di *data augmentation* per produrre un dataset di grandi dimensioni sulla base dei campionamenti dei segnali effettuati in loco.

A seguito dell'addestramento, il modello utilizzato ha mostrato un errore medio assoluto (MAE) sul dataset di test pari a *30cm*, esibendo una discreta affidabilità anche rispetto a variazioni significative dei segnali dovute al rumore ambientale. Un ensemble di modelli, ognuno addestrato con diversi iperparametri, ha permesso di ridurre l'errore medio fino a circa *26cm*.

Il modello prodotto risulta eseguibile in tempo reale su dispositivi mobile con ridotte capacità computazionali, rendendolo particolarmente adatto alla così detta navigazione *"blue-dot"* all'interno di contesti Indoor. Tuttavia si evidenzia come la variazione dell'output del modello possa risultare in una navigazione poco fluida. Per arginare questo problema viene applicato un filtro di Kalman al modello e viene sfruttato il sensore inerziale dello smartphone per produrre un'euristica utile a individuare i movimenti dell'utente.

Indice

Capitolo 1

Introduzione

Capitolo 2

Localizzazione Indoor

2.1 Introduzione al problema

2.2 Possibili soluzioni

2.3 Beacon BLE

2.4 RSSI e propagazione del segnale

2.5 Variabilità e rumore di fondo: requisiti di usabilità

2.6 Installazione dei Beacon e Acquisizione dei Dati

Capitolo 3

Deep Learning

3.1 Neurone Artificiale: Perceptron

3.2 Multi Layer Perceptron

3.3 Attivazione: ReLU e Funzioni Sigmoidee

3.4 Apprendimento: Metodo del Gradiente e BackPropagation

3.5 Reti Neurali Convoluzionali

3.6 Regolarizzazione

3.6.1 Overfitting e Underfitting

3.6.2 Regolarizzazione L2

3.6.3 Dropout

3.7 Dataset Augmentation e Preprocessing

3.7.1 Jittering

3.7.2 Ridimensionamento (Scaling)

Capitolo 4

Architettura Software

4.1 TensorFlow

4.2 Keras

4.3 Google Colab

4.4 Weights & Biases

4.5 Modello di Apprendimento

4.5.1 Input del Modello

4.5.2 Blocco Convoluzionale

4.5.3 Uso della Bussola e Output Ausiliario

4.5.4 Coefficiente di Memoria Residua e Input Ausiliario

4.5.5 Output del Modello

4.6 Addestramento del Modello

4.7 Ensembling

Capitolo 5

Applicazione Mobile

5.1 Flutter

5.2 Planimetrie e Poligoni

5.3 Backend TensorFlow

5.3.1 TensorFlow Lite

5.3.2 Implementazione del Bridge di Comunicazione

5.4 Stabilizzazione del Modello

5.4.1 Utilizzo di Sensori Inerziali

5.4.2 Filtro di Kalman

Capitolo 6

Conclusioni

6.1 Risultati Sperimentali

6.1.1 Metriche di Errore: MSE, MAE, MaxAE

6.2 Lavori futuri

6.2.1 Input a Lunghezza Variabile

6.2.2 Reti Neurali Residuali

6.2.3 Variational Autoencoder: Generazione di nuovi dati

6.2.4 Transfer Learning

6.2.5 Input Masking e Ricostruzione dei Segnali

6.2.6 Transformers per Problemi di Regressione

6.2.7 Simulatore BLE

6.2.8 Posizionamento Magnetico