

Procedure di ottimizzazione per metodi di riconoscimento proiettivi

Optimization procedures for projective classifications

Candidato: Walter Nocentini (e-mail: walter.nocentini@stud.unifi.it)

Relatore: Prof. Duccio Fanelli (e-mail: duccio.fanelli@unifi.it)

Il processo di riconoscimento (o classificazione) è una procedura che consiste nell'assegnazione da parte di un algoritmo di una categoria di appartenenza ad un certo oggetto come, ad esempio, stabilire cosa un'immagine rappresenti. Questo campo è, ad oggi, dominato dai modelli di machine learning (o intelligenza artificiale), che sono in grado di imparare automaticamente ad eseguire determinati compiti sulla base dell'esperienza raccolta da un insieme ricco di dati sul fenomeno d'interesse. Una particolare architettura di intelligenza artificiale utilizzata per operare classificazioni, sono le reti neurali. Queste, una volta allenate ad eseguire il compito assegnatoli, conservano l'informazione sulla loro capacità di eseguire i riconoscimenti in un insieme di numeri detti i pesi della rete. Tuttavia, non è ancora chiara la connessione tra le distribuzioni di questi insiemi di numeri e la capacità della rete di eseguire il compito assegnatole.

Questo lavoro di tesi nasce, quindi, con l'intento di cercare di fare luce sui meccanismi che fanno sì che una rete neurale allenata sia in grado di operare classificazioni. Dopo una prima parte introduttiva che tratta gli elementi essenziali degli algoritmi di machine learning, la tesi propone la costruzione di una rete neurale a tre layers con l'obiettivo di allenarla a riconoscere immagini di cifre scritte a mano (dataset MNIST). In questo modo, è stato possibile rivisitare ed utilizzare alcune delle più diffuse tecniche classiche di machine learning. A valle di questa applicazione è stata estratta la matrice di adiacenza del grafo che definisce la rete neurale allenata.

Siccome la capacità della rete di operare classificazioni risiede nella sua struttura topologica, ci siamo interrogati sulle caratteristiche strutturali che sottendono alla capacità di operare il riconoscimento. Osservando che gli input della rete neurale sono vettori di uno spazio N dimensionale, è stato possibile studiare la distribuzione dei coefficienti degli sviluppi di questi sulla base degli autovettori (sinistri) della matrice laplaciana ottenuta a partire dalla matrice di adiacenza della rete neurale. Da questo se ne è dedotto che l'informazione sulla capacità di distinguere le classi di cifre, ereditata dalla matrice di adiacenza, fosse contenuta anche nella base. A seguire, è stato ideato un metodo di classificazione di tipo proiettivo che sfruttasse il calcolo delle similarità coseno tra vettori di coefficienti dello sviluppo dell'input e quelli dei coefficienti medi per ciascuna delle classi. Il metodo si è dimostrato valido nell'operare il riconoscimento dei campioni in ingresso, con performance che variavano significativamente usando la base suddetta o una sua versione ortonormalizzata.

Alla luce dei risultati e degli aspetti emersi da questa prima analisi, il lavoro di tesi si è concentrato sulla ricerca di una base ottimale (in termini di performance nel riconoscimento) sulla quale operare i riconoscimenti delle immagini MNIST usando il metodo proiettivo. Ciò consiste nel ricercare tramite una procedura di learning basata sulla minimizzazione di una funzione di costo la rotazione migliore da applicare ad una base iniziale arbitraria (nello specifico di questo lavoro la base canonica). Non potendo definire una rotazione globale nello spazio N dimensionale usando tutti i parametri indipendenti (per limitazioni dovute alla potenza di calcolo), sono state ideate e provate 3 strategie diverse per generare rotazioni globali usando un sottoinsieme di tutti i possibili parametri. Queste sono state utilizzate in fase di ottimizzazione (learning), e per ognuno dei casi studiati sono state messe in evidenza criticità e potenzialità. Da questa procedura si ottiene una base ottimizzata che restituisce una precisione in fase di test di circa il 76%. Si tratta di un risultato certamente non ottimale in termini di performance di un algoritmo di riconoscimento, soprattutto se comparato alle precisioni che raggiungono le reti neurali. Tuttavia, quanto ottenuto dimostra che l'approccio proposto è in linea di principio valido e, in futuro, potrebbe essere migliorato (lavorando, ad esempio, sul numero di parametri delle rotazioni o sulle strategie di ottimizzazione) per restituire *accuracy* migliori.

In termini di prospettive, questa tesi si configura come un primo tentativo di comprendere su base rigorosa gli elementi fondanti che sono alla base dell'apprendimento delle reti neurali. A partire da questa prima analisi, in un lavoro successivo a questo è stato sviluppato un approccio innovativo al learning supervisionato che muove da una rappresentazione del processo nello spazio reciproco.