



UNIVERSITA DI PISA

DIPARTIMENTO DI SISTEMI ELETTRICI ED AUTOMAZIONE

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA ELETTRICA (Vecchio Ordinamento)

Tesi di Laurea

CONTROLLO MOVIMENTO VEICOLI TRAMITE TELECAMERA

RELATORE

CANDIDATO

ING. ANTONIO BICCHI

ING. ENRICO MONTI

Premessa

Il presente lavoro di Tesi è la parte cartacea di quanto sviluppato dal candidato nell'ambito di uno studio individuale attuato a conclusione del Corso di Laurea in Ingegneria Elettrica da lui intrapreso. Il Corso è stato un diretto proseguimento di studi già intrapresi e che avevano condotto ad una precedente Laurea in Ingegneria Meccanica.

Con il presente Lavoro il Candidato ha messo in atto quanto appreso da entrambi i Corsi e da una programmazione didattica volta anche ad un approfondimento ed un arricchimento di contenuti spesso finalizzati a temi di suo particolare interesse o utilità.

Con il presente Lavoro il Candidato ha cercato di completare la propria preparazione tramite una parte che è stata al tempo stesso di ricerca di concetti appartenenti allo stato attuale dell'arte, ma anche di soluzioni nuove volte a produrre una valutazione analitica di fattibilità inerentemente le tematiche oggetto del titolo della presente Tesi.

Il presente Lavoro, quindi, comprende una vasta parte teorico-analitica che individua vari percorsi di interesse applicativo. Questa parte confluisce in un ampio Volume che risulta essere più un trattato di tematiche specifiche, che una Tesi vera e propria. In questo Volume, però, confluiscono tante osservazioni sviluppate dal Candidato durante il processo di apprendimento e ricerca. La ricerca, non si è limitata a rintracciare contenuti già sviluppati da altri, ma si è avventurata su terreni nuovi e, passando da ragionamenti con individuazione di soluzioni, ha anche testato varie tematiche scaturite e potenzialmente foriere di soluzioni applicative nell'ambito del controllo preso in considerazione.

Alcune soluzioni sono state solamente proposte, altre sono state verificate, o tramite esempi di calcolo, o tramite procedure simulative attuate col computer.

Fra le varie soluzioni, il Candidato, ha individuato un percorso giudicato dallo stesso di particolare interesse applicativo. Il percorso ha dato indicazioni per la realizzazione di un prototipo di robot che lo stesso Candidato ha realizzato personalmente e che ha messo in luce la fattibilità di quanto proposto.

Il prototipo è perfettamente funzionante e in una parte a lui dedicata, che può essere considerata come la vera Tesi, il Candidato mostra forma, funzionamento, e algoritmi di calcolo e controllo messi in atto.

Il candidato ha intenzione di registrare alcune parti del prototipo come Marchi di Utilità sperando, in tempi successivi, di poter giungere all'”Ingegnerizzazione” di un prodotto utilizzabile. A causa di questo nega temporaneamente la consultazione del presente lavoro da parte di personale esterno.

Introduzione

Il presente lavoro si sviluppa in quattro parti ed in un'appendice contenente i listati dei programmi realizzati assieme a semplici descrizioni e note di utilizzo.

Le parti, di cui sopra, sono state intitolate secondo quanto a seguire:

Parte A	Cinematica e controllo robot.
Parte B	Determinazione della posizione del robot utilizzando landmarker costituiti da punti.
Parte C	Determinazione della posizione del robot usando landmarker costituiti da punti e bordi.
Parte D	Dall'applicazione dei concetti teorici all'interno di procedure operative al robot realizzato.

Le parti dalla A alla C sono prettamente di ricerca teorica. In esse vengono esposti tutti i concetti utili ad inquadrare le tematiche e le branche di studio utili a individuare percorsi applicativi. Molte formule ivi presenti traggono spunto da situazioni simili riscontrate nelle biografie riportate alla fine di vari capitoli, ma sono rielaborate dal candidato in cerca di soluzioni nuove.

La rielaborazione, a volte è stata rigorosa, a volte si è avventurata verso soluzioni scaturenti da pseudoragionamenti, a volte ha prodotto risultati di possibile validità solamente in contesti specifici da testare nelle applicazioni concrete. Fra questi ultimi si fa menzione alle formule per la determinazione dell'orientazione della fotocamera tramite landmarker costituito da quattro punti situati ai vertici di una figura quadrata e ricavati da una rielaborazione del metodo dei minimi quadrati. Il metodo conduceva ad una formula particolarmente complicata da gestire. La formula, poi, anche dal punto di vista teorico scaturiva da un processo di linearizzazione accettabile unicamente sotto specifiche condizioni perché occorreva trascurare termini di ordine superiore. La rielaborazione, tuttavia, ha portato a dividere la formula in questione in due di estremamente più facile gestione. Una parte della presente tesi si è quindi occupata di queste formule e di come potessero venire adoperate. Purtroppo la loro applicabilità si è dimostrata piuttosto limitata, perché gli "errori" introdotti dalle ipotesi arbitrarie poste si sono fatti sentire in tantissime applicazioni. Tuttavia queste formule possono venire adoperate a integrazione di altre, arricchendo il patrimonio conoscitivo.

Il candidato, quindi, ha deciso di lasciare anche questa trattazione e costituisce una grossa porzione della parte B. Nella parte D queste formule, assieme ad altre, vengono inserite all'interno di una procedura operativa per determinare direttamente i parametri di stato (vedere all'interno della Tesi quali siano e come siano connessi ad altri parametri).

Lo scopo della presente tesi è eseguire un controllo su un veicolo semovente, il candidato ha quindi "ripreso" la trattazione insita nella cinematica dei robot di tipo rover, ma anche in questo contesto ha elaborato formule e formulazioni di concetti utili a gestire le tipologie di movimenti richiesti. In modo particolare, come è presente all'interno della Tesi, occorre procedere con movimenti su traiettorie imposte, intervallati da aggiornamenti, ripianificazioni delle traiettorie e successivi ulteriori spostamenti. Il candidato, quindi, ha elaborato un tipo di cinematica che può essere facilmente gestibile per gli scopi ivi presenti. La trattazione dei presupposti teorici inerenti questo tipo di cinematica viene affrontata all'interno della Parte A.

Per poter effettuare gli aggiornamenti sulla cinematica da imporre, tuttavia, occorre conoscere i parametri di stato. Inizialmente il candidato ha cercato di ricavarli direttamente

dai parametri di ripresa delle immagini dei landmarker. Inizialmente, inoltre, ha considerato solamente il contenuto informativo fornito da singoli punti delle riprese landmarkiche.

Ben presto è emerso, tuttavia, che una trattazione inerente solamente punti landmarkici aveva una valenza unicamente teorica. E' emerso, inoltre, che la stessa trattazione non risultava sufficiente, da sola, nemmeno ad affrontare in via prettamente teorica le valutazioni di posizione ed orientamento robotico necessarie al suo controllo.

Nella Parte C il candidato ha quindi aggiunto ai concetti inerenti lo studio di punti landmarkici anche lo studio di bordi di figure geometriche landmarkiche riprese tramite macchina fotografica. In questa parte sono confluiti moltissimi concetti di geometria e di geometria proiettiva.

Il candidato ha poi analizzato la possibilità di applicare i concetti teorici inerenti i punti ed i bordi a strutture landmarkiche costituite da dischi illuminati. In questo modo andavano a decadere le limitazioni pratiche inerenti la trattazione dei punti landmarkici. Il centro di ciascun disco illuminato diveniva un punto e poteva essere così elaborato con i metodi teorici relativi. Nasceva però, anche la consapevolezza che la determinazione esatta della posizione di un punto landmarkico centro di un disco illuminato non era fisicamente possibile da essere determinata. Si poteva procedere solamente in termini statistici. I dischi illuminati ripresi, inoltre, presentavano posizioni relative ben definite che permettevano di individuare incertezze e posizioni di bordi teorici di rette passanti per essi. Da queste considerazioni è scaturita nella Parte D una prima elaborazione dei dati ripresi da foto di landmarker costituiti da dischi illuminati.

La procedura è operativa ed il candidato ha pure realizzato un programma che riesce a determinare i parametri di posizione e orientamento robotico a partire dai dati ricavabili da riprese di dischi illuminati. Il listato è riportato nell'appendice.

La procedura, tuttavia, è risultata gravosa in termini di mole di calcoli da far effettuare al computer in tempo reale mentre il robot si sposta. Il determinare direttamente il valore dei parametri di stato avrebbe "snellito" la procedura di controllo, ma il tempo di elaborazione giudicato eccessivo ha fatto optare per un'altra soluzione.

La soluzione alternativa all'utilizzare la procedura di cui sopra è stata quella di adottare le strategie messe in essere nella gestione del robot realizzato. Il controllo viene effettuato avvalendosi di osservatori applicati però a gestire in modo indipendente i valori di specifici parametri di stato. La fotocamera non è più collegata rigidamente all'end effector, ma può, al contrario, orientarsi su angoli di pitch e di yaw tali da poter inquadrare sempre la struttura landmarkica. Un processo di integrazione tiene conto delle varie variazioni angolari e quindi risale all'orientazione della fotocamera di controllo. Conoscendo, poi, la posizione relativa, in termini sia angolari che di spostamento, fra fotocamera ed end effector si può facilmente risalire a quella di quest'ultimo.

Anche la struttura landmarkica è posta in rotazione, in modo tale da effettuare le riprese sempre nella posizione di migliore elaborazione e valutazione dei parametri.

Il tutto viene affrontato tramite anelli di controllo a struttura tipo quella dell'osservatore di Kalman unscented ma che gestiscono un numero di parametri di controllo limitato (per i due angoli di orientazione fotocamera di controllo il parametro è uno solo). L'orientabilità della struttura landmarkica rende possibile trattare gli angoli come essere fra loro indipendenti, e questo agevola enormemente il controllo ed i calcoli da effettuare. I valori di stato determinati tramite gli anelli di controllo di cui sopra vengono utilizzati per gestire gli analoghi volti al controllo ed al rilevamento del movimento robotico.