

Scuola Nazionale di Dottorato SIDRA

Vehicle Dynamics Control

Bertinoro, 8-13 Luglio, 2013

COORDINATORE

Luigi Glielmo (Università del Sannio)

DOCENTI

Paolo Falcone (Chalmers University of Technology)

Luigi Glielmo (Università del Sannio)

Sergio Savaresi (Politecnico di Milano)

Mara Tanelli (Politecnico di Milano)

OBBIETTIVI DEL CORSO

L'automobile è certo il simbolo dell'uomo moderno, o almeno lo è stato per molti decenni sino all'avvento del pc e del telefonino, e comunque mantiene un ruolo centrale nella nostra vita, nella nostra cultura e, per il grande numero di consumatori coinvolti, nel sistema economico. Solo di recente, con l'avvento di processori miniaturizzati e potenti, il controllo, così come lo intendiamo noi, è diventato cruciale nell'innovazione dei prodotti "automotive" e tutti i grandi produttori investono impiegando ricercatori controllisti nei dipartimenti R&D così che possiamo affermare che il settore è molto importante anche dal "nostro" punto di vista.

Le prime applicazioni dei controlli al settore automobilistico hanno riguardato il controllo motore ed erano spinte dalle strette regolamentari, avviate in California, contro le emissioni inquinanti che richiesero l'abbandono del carburatore per l'"iniezione elettronica", cioè il controllo elettronico della iniezione del carburante: fu il primo esempio di "controllo motore", che poi rientra nel più generale "controllo della propulsione". Un altro grande successo è stata l'invenzione dell'ABS, il controllo elettronico che agisce in frenata ad evitare che le ruote si blocchino e perdano aderenza, e qui siamo nel campo del "controllo della dinamica veicolo". Il presente minicorso si concentra su questo secondo grande tema la cui modellistica s'introduce con relativa facilità in base alle nozioni di "meccanica fredda" tipica degli studi di controlli; il controllo motore invece richiede un approfondimento preliminare del funzionamento del motore a combustione interna e alcune nozioni di base di termodinamica.

È immediato rendersi conto che il controllo della dinamica veicolo si ripartisce naturalmente nella *dinamica longitudinale*, che utilizza motore e freni come attuatori; nella *dinamiche laterale e d'imbarcata*, influenzate anche dallo sterzo; nella *dinamica verticale*, che può essere controllata ricorrendo ad attuatori come le sospensioni attive o semi-attive. D'altra parte, il veicolo viene visto come un attuatore in applicazioni di guida cooperativa e autonoma, dove ad ogni veicolo è richiesta l'esecuzione di manovre coordinate come, ad esempio, la guida in formazione (platooning). Chiaramente, l'esecuzione autonoma di tali manovre è basata sui sistemi di controllo di basso livello della dinamica del veicolo, oggetto di questo corso. Guida autonoma e guida cooperativa sono argomenti importanti e pongono interessanti sfide che richiederanno l'impegno di molti controllisti negli anni a venire.

Argomenti del corso

L. Glielmo/P. Falcone. Dinamiche laterale e di imbardata

La fama dell'ESP, Electronic Stability Program, crebbe improvvisamente quando venne installato in fretta e furia sulla Classe A della Mercedes che non aveva superato la prova dell'alce, un test di stabilità che consiste in un improvviso cambio di traiettoria e rientro per simulare la reazione di un guidatore di fronte alla comparsa inaspettata di un grande animale sulla propria corsia. L'ESP si basa sulla frenata differenziale, cioè nel momento imbardante—e possibilmente stabilizzante a fronte di un incipiente testa-coda—che è possibile ottenere attuando in maniera diversa tra loro i freni anteriori e posteriori, sul lato sinistro e su quello destro della vettura. L'effetto può essere migliorato utilizzando, oltre ai 4 freni comandati singolarmente, un ingresso differenziale di coppia motore e un ingresso differenziale di angolo di sterzo. Gran parte della difficoltà risiedono nella modellizzazione delle forze di contatto ruota-pavimentazione, tipicamente affidata alle non linearità e incertezze parametriche della giustamente famosa “formula di Pacejka”.

M. Tanelli. Controllo della dinamica longitudinale tramite sistemi frenanti tradizionali ed elettromeccanici.

Il controllo della dinamica longitudinale, costituito dal controllo della trazione e dalla frenata, è una delle principali aree di ricerca nell'ambito del controllo della dinamica dei veicoli stradali. Per ciò che concerne il controllo attivo della frenata, i sistemi anti-bloccaggio elettronici - il cui acronimo è ABS (Anti-lock Braking Systems) - sono recentemente (dal luglio 2004) diventati uno standard per tutte le autovetture in commercio. Dal punto di vista tecnologico, il progetto di sistemi di controllo attivo della frenata dipende fortemente dalle caratteristiche del sistema frenante e dalle sue prestazioni. Infatti, i sistemi ABS per veicoli equipaggiati con attuatori idraulici hanno vincoli di progetto molto stringenti, poiché tali attuatori consentono una modulazione della variabile di controllo discreta, ovvero esclusivamente di tipo on/off. D'altra parte, è stata recentemente sviluppata una nuova tecnologia elettro-meccanica per i sistemi frenanti, che offre la possibilità di modulare la coppia frenante con continuità e che ha consentito lo sviluppo di nuove tecniche di controllo attivo della frenata, denominate Brake-by-Wire. In questa parte del corso, pertanto, si definirà il problema di controllo della frenata e si introdurrà il modello di veicolo denominato “single-corner” su cui si basa il progetto del sistema di controllo. Si discuteranno poi i modelli dinamici degli attuatori considerati e si definiranno quindi i problemi di controllo trattati. Per quanto riguarda i sistemi frenanti di tipo elettro-meccanico, si mostrerà come sia possibile risolvere il problema di controllo di frenata a partire dalla dinamica del veicolo espressa sia in forma linearizzata sia nella forma non lineare di partenza. Per ciò che concerne gli attuatori idraulici, invece, si discuterà come sia possibile risolvere il problema di progetto di un sistema ABS tenendo conto dei vincoli posti dalla dinamica on-off degli attuatori. Infine, si accennerà brevemente al problema duale del controllo di trazione ed al caso particolare di controllo della dinamica longitudinale nei veicoli a due ruote.

P. Falcone. Controllo della dinamica longitudinale in applicazioni di Adaptive Cruise Control (ACC) e platooning

Nel 1986, presso la University of California, Berkeley, venne istituito il California Partners for Advanced Transportation Technology (PATH). L'obiettivo del programma PATH era proporre soluzioni ai problemi di trasporto su strada dello stato della California. Nell'ambito del programma PATH sono stati ottenuti, tra gli altri, importanti risultati nello sviluppo di strategie di controllo della dinamica longitudinale del veicolo per applicazioni di platooning (convogli). Il controllo di un convoglio è un semplice esempio di guida cooperativa dove, oltre ad assicurare la stabilità delle dinamiche longitudinali di ogni singolo veicolo, è fondamentale garantire anche la stabilità dell'intero convoglio (*string stability*). In particolare, il comportamento di ogni singolo veicolo deve essere tale da impedire che l'effetto di

disturbi, introdotti alla testa del convoglio (ad esempio accelerazioni, stop-and-go), venga amplificato lungo il convoglio stesso.

In questa parte del corso, studieremo interessanti problematiche introdotte da applicazioni di guida cooperativa nel controllo del veicolo. A partire da semplici esempi di progetto di ACC (il sistema che regola distanza e velocità relativa rispetto al veicolo che precede), dimostreremo come la sua estensione ad un sistema di platooning possa introdurre fenomeni di instabilità del convoglio. Dopo aver introdotto i più importanti risultati disponibili in letteratura, questa parte del corso sarà chiusa da una panoramica di problemi di controllo ancora aperti nell'ambito del controllo di convogli.

S. Savaresi. Controllo della dinamica verticale tramite sospensioni elettronicamente controllate

Le sospensioni governano primariamente la dinamica verticale di un veicolo; la combinazione dinamica dei movimenti dei (2 o 4) "corner" del veicolo è responsabile delle rotazioni di rollio e beccheggio. Queste dinamiche sono caratterizzate da compromessi ineliminabili con sistemi di sospensioni tradizionali; in particolare, l'obiettivo di comfort (attenuazione dei disturbi alle medie e alte frequenze) e quello di smorzamento delle risonanze principali di chassis sono in competizione e richiedono un compromesso. Le sospensioni a controllo elettronico consentono di eliminare (o di attenuare notevolmente) questi trade-off. In questa parte del corso verrà proposta una modellistica semplificata del corner; si discuteranno poi le diverse tecnologie di sospensioni elettroniche, approfondendo alcuni algoritmi di controllo.

Strumenti didattici

Lavagna, gesso e presentazioni ppt.

Prerequisiti

Ragionevoli.

Programma

Giovedì 11

8.30-10.30 Introduzione al corso. Dinamiche laterale e di imbardata (L. Glielmo)

10.30-11.00 Pausa

11.00-13.00 Dinamiche laterale e di imbardata (L. Glielmo)

15.00-16.30 Dinamiche laterale e di imbardata (L. Glielmo)

16.30-17.00 Pausa

17.00-18.30 Dinamiche laterale e di imbardata (P. Falcone)

Venerdì 12

8.30-10.30 Dinamica longitudinale (M. Tanelli)

10.30-11.00 Pausa

11.00-13.00 Dinamica longitudinale (M. Tanelli)

15.00-16.30 Cruise control (P. Falcone)

16.30-17.00 Pausa

17.00-18.30 Platooning (P. Falcone)

Sabato 13

8.30-10.30 Dinamica verticale (S. Savaresi)

10.30-11.00 Pausa

11.00-13.00 Dinamica verticale (S. Savaresi)