

Identificazione di modelli dinamici e posizionamento ottimo di reti di sensori wireless

Guido Albertin
Elena Toffoli
Giancarlo Baldan

21 maggio 2007

Introduzione

Il progetto prende in esame sistemi dinamici distribuiti in cui si hanno a disposizione molteplici misure (dirette o indirette) delle quantità di interesse. Il primo obiettivo è identificare il modello dinamico che governa l'intero processo tramite tecniche di identificazione. Successivamente il modello ottenuto sarà impiegato per ridurre il numero di sensori impiegati al fine di semplificare l'eventuale implementazione di algoritmi di controllo. Pertanto si tratterà di individuare quali sensori tra quelli inizialmente collocati forniscano maggiore quantità di informazione sul sistema. In altri termini la qualità della stima non deve peggiorare significativamente eliminando un considerevole numero di sensori opportunamente selezionati. Non si tratterà quindi di posizionamento ottimo a priori ma di un criterio di scelta a posteriori su un insieme di posizionamenti predeterminati.

Nel dettaglio il sistema preso in esame è il comportamento termico di un edificio isolato. Si vuole quindi ricavare il modello dinamico che regola la temperatura all'interno degli ambienti. Per tale scopo si hanno a disposizione sensori di temperatura, umidità e luminosità (sia nella banda del visibile che nell'infrarosso).

Il progetto comprende problematiche sia di tipo teorico che implementativo. Tra quelle teoriche vi è una prima fase che consiste nel ricavare un semplice modello dinamico adatto ai nostri scopi, una seconda in cui vengono individuate opportune tecniche di identificazione non parametrica multivariabile ed un'ultima fase nella quale si valuteranno diversi criteri per la scelta del sottoinsieme di sensori ottimale. La parte implementativa consiste nella raccolta dei dati tramite hardware *Tmote Sky*.

Aspetti teorici

Modellizzazione

In questa parte del progetto si studia come si propaga il calore all'interno di un oggetto. A partire dall'equazione ¹

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial T}{\partial z} \right) = c \frac{\partial T}{\partial t},$$

si ricava mediante la tecnica agli elementi finiti un modello dinamico lineare tempo invariante il cui spazio di stato è costituito dalle temperature in diversi punti dello spazio. L'ingresso di tale sistema è dato dalle condizioni al contorno ossia dalle caratteristiche dell'ambiente in cui l'oggetto in esame è immerso nonché dalle sue proprietà superficiali. Nel modello ottenuto, come è facile intuire, la temperatura in una data posizione è influenzata solamente dalle temperature nelle posizioni vicine. Chiaramente all'aumentare della precisione del modello lo spazio di stato cresce di dimensione.

Le problematiche finora riscontrate sono:

- la trattazione della discontinuità nel mezzo trasmissivo (sistema muro-aria);
- l'equazione del calore riportata non tiene conto di altri fenomeni di propagazione quali la convezione e l'irraggiamento;
- la possibilità che le costanti fisiche in gioco siano in realtà tempo varianti o dipendano esse stesse dalla temperatura (nel qual caso non sarebbe possibile ottenere un modello lineare).

Per questa parte si è usato come riferimento [1].

Identificazione

In virtù di quanto esposto nella sezione precedente, è opportuno utilizzare delle tecniche di identificazione per sistemi lineari di tipo black-box. Nel nostro caso il sistema, oltre ad avere numerosi stati, viene sollecitato da svariati ingressi (le condizioni al contorno variano da punto a punto e dipendono da grandezze diverse) ed è pertanto un sistema MIMO:

- gli ingressi sono i dati di luminosità, temperatura (e umidità) dei sensori posti all'esterno dell'edificio;
- gli stati sono le temperature in corrispondenza ai sensori posti all'interno dell'edificio;
- le uscite sono le misure delle suddette temperature.

¹in questa sede molto semplicistica perché tiene conto solo degli scambi per conduzione

Le problematiche riscontrate affrontando questo approccio sono

- i sistemi MIMO presentano numerose rappresentazioni algebricamente equivalenti;
- come suggerito in [3] e [2], potrebbe essere necessario utilizzare metodi geometrici per l'identificazione (basati sui sotto-spazi) che permettono di identificare non solo la relazione I/O ma l'intero modello in forma di stato;
- se l'applicazione fosse il controllo del comfort degli ambienti sarebbe possibile assegnare alcune misure di temperatura (nello specifico quelle prossime a sorgenti di calore controllabili) come variabili di ingresso; questo implica che la distinzione tra ingressi e stati è legata allo scopo a cui è destinato il modello;
- è necessario (sia per metodi PEM che per metodi subspace) che gli ingressi siano sufficientemente eccitanti: in letteratura spesso vengono impiegate sollecitazioni di tipo PRBS all'impianto di riscaldamento che non è possibile impiegare nel caso in esame (gli ingressi sono prevalentemente dovuti alle condizioni climatiche)
- la complessità computazionale che la soluzione del problema comporta è notevole a causa della mole di dati che è necessario raccogliere.

Altre considerazioni sono state analizzate in [4].

Scelta sottoinsieme ottimale dei sensori

Lo scopo della sezione è, partendo da un modello lineare stocastico, di selezionare un sottoinsieme di righe della matrice C di mappatura tra stati ed uscite (nella modellizzazione della sezione precedente si tratta di una matrice identità) tale da garantire un errore di stima limitato. In questa fase non abbiamo ancora individuato una precisa strategia né abbiamo riferimenti precisi, ma da quanto suggerito dal professor Chiuso possiamo basarci su informazioni derivanti dall'analisi delle matrici di osservabilità della realizzazione in forma bilanciata.

Aspetti implementativi

La misura delle variabili fisiche in esame è basata sui sensori a disposizione sui moduli Tmote Sky. Essi permettono la misura di temperatura, umidità e luminosità (nel visibile e nell'infrarosso) ed hanno a disposizione una memoria flash destinata alla memorizzazione permanente dei dati. Lo scopo prefisso è raccogliere i dati necessari immagazzinando le misure dei sensori con un tempo di campionamento proporzionale alle dinamiche stimate della temperatura (nell'ordine della decina di minuti) per un tempo di almeno quattro giorni. Nonostante siano dispositivi votati all'impiego in reti mesh wireless la parte di trasmissione radio sarà impiegata solo in maniera molto limitata: la raccolta dati avverrà in modalità off-line sia per motivi di affidabilità della trasmissione che soprattutto per problemi di consumo eccessivo.

Il firmware che governerà l'acquisizione dei dati sarà caratterizzato da tre possibili stati di funzionamento

- comunicazione con il PC: cancellazione e lettura della memoria flash tramite programma appositamente sviluppato
- sincronizzazione tra i mote: tutti i mote devono sincronizzare la partenza del timer per il campionamento
- raccolta dati: disabilitazione parte radio, misura dai sensori e scrittura su flash tramite funzioni di log.

Le problematiche riscontrate sono:

- taratura ed affidabilità dei sensori (sensibilità delle misure ai fattori ambientali e alla tensione di alimentazione in caso di pile esauste)
- sincronizzazione del campionamento tra i mote
- durata della batteria (modalità risparmio energetico per i mote)
- posizionamento fisico dei dispositivi, mantenimento della loro integrità fisica e misura delle relative coordinate

Tabella di marcia

2 settimane	fine simulazioni prove tmote e taratura approccio all'identificazione subspace
4 settimane	raccolta dati, identificazione
6 settimane	selezione sottoinsieme ottimale

Riferimenti bibliografici

- [1] *Fundamentals of the Finite Element Method for Heat and Fluid Flow*, Roland W. Lewis, Perumal Nithiarasu, Kankanhalli N. Seetharamu, Wiley 2004
- [2] *Subspace identification for linear systems*, P. Van Overschee, B. De Moor, Kluwer academic publishers
- [3] *The role of vector autoregressive modeling in predictor-based subspace identification*, A. Chiuso, Automatica 43, Elsevier 2007
- [4] *System identification applied to building performance data*, J. J. Bloem, Institute for system engineering and informatics, Joint research center european commission 1994