

Lighting control with Distributed Wireless Sensing and Actuation for daylight and occupancy Adaptation

Corso di Laurea in Ingegneria dell'Automazione

Andrea Peruffo

6 Luglio 2015



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA



Sense and Simplicity

- innovazione nelle aree di *Healthcare*, *Consumer Lifestyle* e *Lighting*
- dipartimento *Lighting Control Systems*
- supervisione del Senior Scientist Ashish Pandharipande

High Tech Campus

- 125+ aziende e istituti
- circa 10.000 ricercatori
- 40% di brevetti olandesi





Setup

Si consideri un sistema in cui ogni luminaria possiede:

- Un sensore di presenza;
- Un sensore di illuminamento;
- Una luce LED con illuminazione regolabile;
- Un modulo di comunicazione wireless.

Obiettivo

- L'obiettivo di controllo è raggiungere un livello di illuminamento soddisfacente *al piano di lavoro* mentre si hanno informazioni solo *al soffitto*.

Precedenti Lavori

Risoluzione con algoritmo decentralizzato su rete in cui la comunicazione è assunta perfetta.

Obiettivo della Tesi

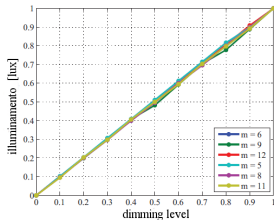
- Wireless
- Distribuito
- Comunicazioni locali
- Variazione di presenze nella stanza e luce solare

Contributo originale

- Passaggio da comunicazione perfetta ad imperfetta
- Metodi di stima per i messaggi persi e di diminuzione del traffico della rete

Modello del sistema

Sistema di controllo



Modello Analitico

- M luminarie, regolabili tramite *dimming level* $u_i(t) \in [0, 1]$
- N postazioni di lavoro
- $y_m(t)$ il valore di illuminamento dell' m -esimo sensore

A tempo continuo

$$\mathbf{y}(t) = \mathbf{G}\mathbf{u}(t) + \mathbf{d}(t)$$

A tempo discreto \rightarrow campionamento asincrono

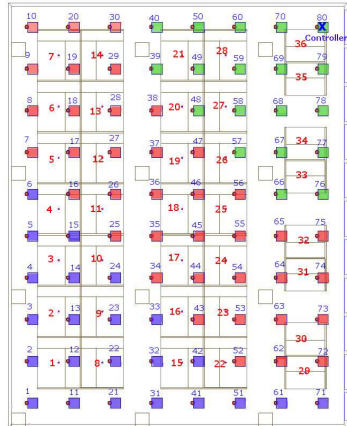
$$\hat{\mathbf{y}}(k) = (\hat{\mathbf{G}}_d + \hat{\mathbf{G}}_u)\mathbf{u}(k-1) + \hat{\mathbf{G}}_l\mathbf{u}(k) + \mathbf{d}(k)$$

Wireless

- 80 luminarie, 36 postazioni
- Controllore in angolo
- Rete Mesh (Multi Hop)
- ZigBee (IEEE 802.15.4)

Multi Hop

- 19 nodi in un hop
- 38 nodi in due hops
- 23 nodi in tre hops
- 13 nodi ponte totali



Controllo PI

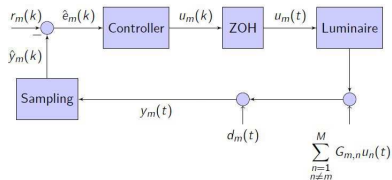
$u_m(k) = \alpha_m u_m(k-1) + \beta_m e(k) + \zeta_m$
con parametri dipendenti dalla luminaria

Prestazioni Insoddisfacenti

Dopo 20 secondi, solo nel 70% delle simulazioni le postazioni raggiungono l'illuminamento di riferimento

Problemi di Comunicazione

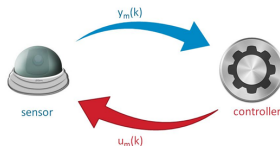
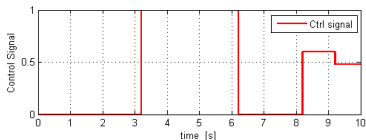
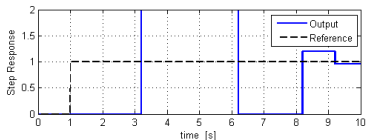
Il controllore di riferimento è creato per una rete dalla comunicazione perfetta, non tiene conto di possibili pacchetti persi!



Ritardi e Saturazione

Due tipi di messaggi persi:

- *Messaggi del sensore* che causano ritardo
- *Messaggi di controllo* che portano a saturare il segnale





Controllo PI

La medesima legge di controllo viene applicata con tre miglioramenti

Controllo PI

La medesima legge di controllo viene applicata con tre miglioramenti

1. Stima Messaggi del Sensore

Sotto hp $\hat{d}_m(k-1) \simeq \hat{d}_m(k)$

$$\check{y}_m(k) = \left[(\hat{G}_d + \hat{G}_u)\mathbf{u}(k-1) + (\hat{G}_l)\mathbf{u}(k) \right]_m + \hat{d}_m(k-1)$$

Controllo PI

La medesima legge di controllo viene applicata con tre miglioramenti

1. Stima Messaggi del Sensore

Sotto hp $\hat{d}_m(k-1) \simeq \hat{d}_m(k)$

$$\tilde{y}_m(k) = \left[(\hat{G}_d + \hat{G}_u)\mathbf{u}(k-1) + (\hat{G}_l)\mathbf{u}(k) \right]_m + \hat{d}_m(k-1)$$

2. Perdita Messaggi del Controllore

Se $|\hat{y}_m(k) - \tilde{y}_m(k)| < \delta \Rightarrow u_m(k-1)$ è stato ricevuto;
altrimenti $u_m(k-1) \leftarrow u_m(k-2)$

Controllo PI

La medesima legge di controllo viene applicata con tre miglioramenti

1. Stima Messaggi del Sensore

Sotto hp $\hat{d}_m(k-1) \simeq \hat{d}_m(k)$

$$\tilde{y}_m(k) = \left[(\hat{G}_d + \hat{G}_u)\mathbf{u}(k-1) + (\hat{G}_l)\mathbf{u}(k) \right]_m + \hat{d}_m(k-1)$$

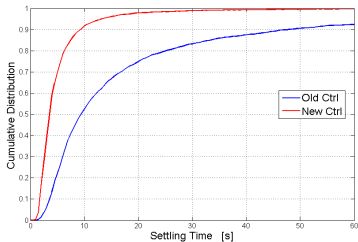
2. Perdita Messaggi del Controllore

Se $|\hat{y}_m(k) - \tilde{y}_m(k)| < \delta \Rightarrow u_m(k-1)$ è stato ricevuto;
altrimenti $u_m(k-1) \leftarrow u_m(k-2)$

3. Riduzione del Traffico

Se $|u_m(k) - u_m(k-1)| < \varepsilon \Rightarrow$ non inviare $u_m(k)$

Settling Time e Percentuale messaggi persi



	Rif.	Prop.
Zone Non assestate dopo 30 s [%]	17	< 1
Messaggi Sensore Non Ricevuti [%]	3	< 1
Varianza [%]	19	4

Conclusioni

- Controllore di Riferimento perde efficacia in comunicazioni wireless
- Riduzione del traffico e metodi di stima combattono una rete congestionata

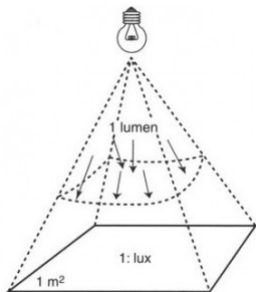
Sviluppi Futuri

- Controllore MIMO
- Identificazione di un modello per il daylight

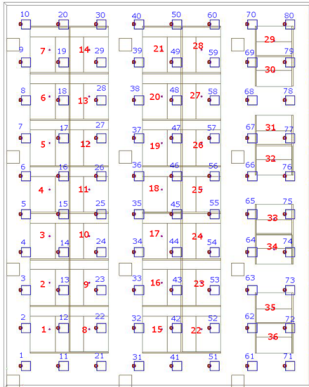
Reference

- 1 *Lighting control with distributed wireless sensing and actuation for daylight and occupancy adaptation*, A. Peruffo, A. Pandharipande, D. Caicedo, L. Schenato, *Energy and Buildings*, Vol.97, 15 June 2015, p. 13-20.

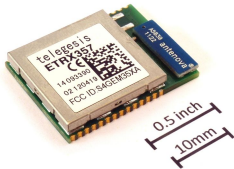
Grazie per l'attenzione!



- Illuminamento è grandezza fotometrica
$$E = \frac{\text{flusso lum } \Phi}{\text{area } A} \quad [lux] = \frac{[lumen]}{m^2}$$
- Riferita all'oggetto illuminato e non alla sorgente, max quando la superficie è perpendicolare
- 1 lux = 1 candela a 1 metro di distanza da superficie perpendicolare
- $I = \frac{\text{flusso lum } \Phi}{\text{ang solido } \Omega} \quad [cd] = \frac{[lumen]}{[sterad]}$
- Φ misura la potenza percepita della luce, dipendente dalla lunghezza d'onda
$$\Phi = \frac{en.lum.Q}{s}$$



- *Night-time calibration*
- Luminarie accese ad una ad una con $u_m = 1$
- Collezionati i valori rilevati ai sensori
- Costruita G



- Definita dallo standard IEEE 802.15.4
- A basso costo e potenza, nata per le reti PAN
- Opera in bande industriali, scientifiche e medicali a 2.4 GHz
- Chip integrati con microcontrollori