



Università di Pisa

Facoltà di Ingegneria

**Corso di Laurea Specialistica
in Ingegneria Elettronica**

Anno Accademico 2009 – 2010

Elaborato finale

**Progettazione di un sistema integrato di sensor
fusion per la stima ottima della posizione angolare
in sistemi di misura inerziali**

Candidato: Simone Sabatelli

Relatori: Prof. Ing. Luca Fanucci

Ing. Alessandro Rocchi

*Dedicato a tutti quelli che mi hanno
sostenuto e hanno creduto in me*

Sommario

Introduzione	6
Capitolo 1: MEMS e possibili applicazioni.....	9
1.1 Market trends	9
1.2 Principio di funzionamento di accelerometri e giroscopi	13
1.3 Applicazioni esistenti.....	16
Capitolo 2: Modellizzazione del sistema.....	20
1.4 Possibili algoritmi	20
2.1 Equazione di stato	23
2.2 Equazione di misura.....	24
4.3 Trasformazione in sistema tempo discreto.....	25
2.4 Modello Simulink	27
2.4.1 Il blocco <i>Read_data</i>	30
2.4.2 Il blocco <i>state equation</i>	33
2.4.3 Il blocco <i>Error covariance P</i>	34
2.4.4 Il blocco <i>H matrix</i>	37
2.4.5 Il blocco <i>Kalman gain K</i>	39
2.4.6 Il blocco <i>x_optimum</i>	40
2.4.7 Il blocco <i>Error covariance P</i>	41
2.4.8 Conversione del quaternione in angoli di Eulero	42
2.4.9 File di inizializzazione dei parametri	43
Capitolo 3: Ottimizzazione e verifica del modello.....	44
3.1 Programma LabVIEW per macchina di test	46
3.2 Eliminazione del drift.....	53
3.3 Correzione posizione iniziale.....	55
3.4 Test movimento sinusoidale.....	57
3.5 Test di riferimento.....	63
Capitolo 4: Modello bit true	66
4.1 Semplificazione dell'algoritmo	67
4.1.1 Semplificazione del calcolo di P^-	68
4.1.2 Possibile utilizzo di un K costante	69

4.1.3	Possibile utilizzo di un P costante	70
4.1.4	Eliminazione delle divisioni e di altre operazioni complesse	71
4.1.5	Parametri di tuning del sistema visibili all'utente	75
4.2	Quantizzazione del modello	76
4.2.1	Quantizzazione del quaternione	77
4.2.2	Quantizzazione della matrice A	79
4.2.3	Quantizzazione delle matrici P e K	81
4.2.5	Quantizzazione degli ingressi	82
4.3	Conversione del quaternione in angoli di Eulero	84
4.3.1	Approssimazione della funzione $atan2$	85
4.3.2	Approssimazione della funzione $arcsin$	89
	Conclusioni	96
	Appendice A: I quaternioni e le rotazioni	99
A.1	Le rotazioni in uno spazio bidimensionale	99
A.2	Le rotazioni nello spazio tridimensionale	100
A.3	I quaternioni	101
A.4	Applicazione delle proprietà dei quaternioni alle rotazioni	104
	Appendice B: Il filtro di Kalman	108
A.1	Descrizione teorica del filtro di Kalman	108
B.2	L'algoritmo del filtro di Kalman discreto	111
B.3	Il filtro di Kalman Esteso	113
	Riferimenti	118