

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PISA



Facoltà di Ingegneria

Corso di Laurea in Ingegneria Aeronautica

Tesi di laurea

VALIDAZIONE DI SISTEMI OTTICI PER IL CONTROLLO DIMENSIONALE DI COMPONENTI PER USO AERONAUTICO

Relatori:

Prof. Enrico Manfredi

Prof. Sandro Barone

Candidato:

Claudio Ribechini

Anno Accademico 2005-2006

Sommario

Lo scopo della presente tesi è di effettuare un controllo dimensionale di un segmento statorico, appartenente ad una turbina per impiego aeronautico. Tale controllo è stato eseguito attraverso tecniche di *Reverse Engineering*, utilizzando un sistema ottico di visione stereo. Prima di effettuare il controllo dimensionale è stato compiuto una ricerca, al fine di trovare una norma, riguardante la certificazione di sistemi ottici di visione stereo per il rilievo di forme tridimensionali. Questo lavoro si è reso necessario per determinare l'errore compiuto dal sistema utilizzato per il controllo stesso. L'unico documento rintracciato è stato il regolamento interno dell'ordine degli ingegneri tedeschi VDI/VDE 2634 Part. 2. Inoltre si è provveduto a suggerire una integrazione di tale "norma", per renderla più efficace nel descrivere le prestazioni del sistema da certificare.

Abstract

The scope of the thesis is to carry out a dimensional control of a segment of stator, belonging to a one turbine for aeronautical employment. Such control has been executed through Reverse Engineering techniques, using a stereo vision optical system. Also has been carried out a search, to the aim to find a norm, regarding the evaluation of the accuracy of optical systems of stereo vision. A research to find a normative regarding accuracy evaluation of optical system, has been carried. The suitable norm is the regulation of the order of German engineers VDI/VDE 2634 Part. 2. Moreover it has been provided to suggest an integration of such "norm", in order to make it more effective in describing the system performances.

INDICE

1	CAPITOLO 1	1
	Introduzione al Reverse Engineering	1
1.1	Le tecniche per il rilievo di forme tridimensionali	1
1.2	Classificazione delle tecniche di Reverse Engineering	2
1.3	Le tecniche di Reverse Engineering a luce strutturata	5
2	CAPITOLO 2	6
	Tecniche di Reverse Engineering a luce bianca	6
2.1	Classificazione delle tecniche di Reverse Engineering a luce bianca	6
2.2	Tecnica di Moirè e la tecnica del reticolo	8
2.3	Le tecniche di Reverse Engineering a luce codificata	9
2.4	Classificazione delle tecniche di Reverse Engineering a luce codificata	10
3	CAPITOLO 3	12
	I fondamenti della visione stereo	12
3.1	Il modello pin-hole di telecamera	13
3.2	I processi di proiezione prospettica	14
3.3	La stereovisione	15
3.4	La distorsione ottica di una telecamera	18
3.5	Il modello completo di telecamera e i parametri di calibrazione	21
4	CAPITOLO 4	25
	I sistemi stereovisivi sviluppati presso il DIMNP dell'Università di Pisa	25
4.1	I componenti dei sistemi stereovisivi sviluppati presso il DIMNP	25
4.2	La procedura di calibrazione della telecamera	27
4.3	La procedura di calibrazione del proiettore	32
4.4	Procedura di calibrazione stereo	34
4.5	Sistemi stereovisivi telecamera-proiettore	35
4.6	Sistemi stereovisivi telecamera-proiettore-telecamera	37
5	CAPITOLO 5	45
	Validazione di un sistema stereo	45
5.1	Validazione di un sistema di visione stereo per il rilievo di forme tridimensionali secondo la norma UNI CEI EN ISO/IEC 17025	45
5.2	Validazione di un sistema di visione stereo per il rilievo di forme tridimensionali secondo la norma VDI/VDE 2634 Part 2	47
5.3	Analisi comparativa tra la norma UNI CEI EN ISO/IEC 17025 e la norma VDI/VDE 2634 Part 2	58

6	CAPITOLO 6	60
	Studio preliminare di un'ipotesi di integrazione della norma VDI/VDE 2634 Part. 2	60
6.1	Fondamenti	60
6.2	Progettazione dei provini	61
6.3	Rilievi sperimentali	65
6.4	Risultati	73
6.5	Nuovi parametri R^* ed R_E^* sostitutivi dei R ed R_E contemplati dalla VDI/VDE 2634 Part 2	84
6.6	Conclusioni	89
7	CAPITOLO 7	90
	Controllo dimensionale con l'ausilio di un sistema ottico	90
7.1	Procedimento e risultati	90
8	CAPITOLO 8	100
	Conclusioni	100
	APPENDICE A	102
	BIBLIOGRAFIA	112

Elenco figure

1.1	classificazione delle tecniche di Reverse Engineering	2
1.2	esempio di palpatores meccanico	2
1.3	esempio di funzionamento delle tecniche acustiche	3
1.4	esempio di risonanza magnetica	4
2.1	esempi di pattern luminosi	6
2.2	schema di funzionamento del metodo di Moiré	7
2.3	frange di Moiré	8
2.4	reticolo proiettato su una superficie da rilevare	8
3.1	modello pin-hole di telecamera	12
3.2	triangolazione di punti coniugati	16
3.3	distorsione radiale e tangenziale introdotta dalle lenti	19
3.4	effetto della variazione della distorsione radiale con la lunghezza focale f	19
4.1	attrezzatura da supporto di laboratorio	26
4.2	treppiedi e testa orientabile	27
4.3	diverse tipologie di pannelli di calibrazione	28
4.4	provino di calibrazione e il relativo sistema di riferimento globale (WCS)	29
4.5	Schema di estrazione semi-automatica degli spigoli della scacchiera di calibrazione, le frecce indicano gli spigoli in prossimità dei quali l'operatore deve cliccare	30
4.6	schema di funzionamento di un proiettore	32
4.7	esempio di proiezione della scacchiera di calibrazione del proiettore sul provino di calibrazione della telecamera	33
4.8	estrazione dei punti sulla scacchiera proiettata	34
4.9	sistemi di riferimento locali relativi al sistema (a) telecamera–proiettore – telecamera e (b) al sistema telecamera – proiettore	35
4.10	schema di calcolo dei parametri estrinseci del sistema stereo (R, T) a partire dai parametri estrinseci dei singoli dispositivi ottici (R_{sx}, T_{sx}) e (R_{dx}, T_{dx})	35
4.11	esempio dove vengono proiettati un pattern positivo e un pattern negativo	36
4.12	schema della proiezione e acquisizione di una serie di linee codificate	38

4.13	sequenza di immagini codificate	39
4.10	triangolazione di 2 punti coniugati	41
4.11	traslazione del pattern	43
5.1	manubrio con sfere in materiale di ceramica	48
5.2	posizioni di acquisizione del manubrio	49
5.3	posizioni di acquisizione del manubrio	53
5.4	posizioni di acquisizione del provino a forma di parallelepipedo	54
6.1	provino 1 impiegato nello studio preliminare	66
6.2	provino 2 impiegato nello studio preliminare	66
6.3	Sistema di riferimento del digitalizzatore utilizzato nello studio preliminare	67
6.4	aree del Provino 1 in cui sono state eseguite le misure con la CMM	71
6.5	aree del Provino 2 in cui sono state eseguite le misure con la CMM	71
6.6	posizioni in cui sono stati acquisiti il Provino 1 e il Provino 2 (Figura 5.5) e dimensioni del volume di misura del digitalizzatore di Figura 6.3	74
6.7	nuvola di punti ottenuta dall'acquisizione del Provino 1 polvere	77
6.8	nuvola di punti relativa alla superficie A del Provino 1 polvere : a) area intera, b) aree ritagliate	77
6.9	istogramma a 64 colonne relativo al Provino 1 polvere	79
6.10	istogrammi classici relativi ai 4 gradini del Provino 1 polvere	80
6.11	istogramma differenza relativo al Gradino 1 del Provino 1 polvere	82
6.12	istogramma differenza relativo al Gradino 5 del Provino 2 polvere	83
6.13	provino 3 impiegato nello studio preliminare	84
6.14	istogramma differenza relativo al Provino 3 polvere	85
6.15	istogramma classico relativo al Provino 3 polvere	86
6.16	istogrammi a 25 colonne relativi: a)Provino 1 lido, b) Provino 2 polvere	90
6.17	istogramma a 18 colonne relativo al Provino 3 polvere	92
7.1	segmento storico	91
7.2	posizione del disco storico all'interno della turbina	91
7.3	tavola rotante	92
7.4	analisi degli scostamenti della nuvola dei punti, dal modello CAD	93

7.5	sezione radiale del segmento statorico con tolleranze dimensionali e di posizione	95
7.6	risultati dei controlli relativi ai codoli superiori	96
7.7	risultato del controllo del bordo interno del codolo superiore	97
7.8	risultato del controllo del codolo inferiore	97
7.9	risultato del confronto 2D tra la nuvola dei punti e il modello CAD	98
7.10	verifica delle quote in 2D-Dimensions	99

Elenco tabelle

2.1	classificazione dei metodi SLD	10
6.1	misure ottenute con la CMM sita presso l'ITM	63
6.2	procedimento di calcolo dell'alzata dei gradini	67
7.1	tabella riassuntiva delle deviazioni della nuvola di punti rispetto al modello CAD	94
7.2	tabella riassuntiva delle deviazioni standard della nuvola di punti rispetto al modello CAD	94
7.3	deviazioni percentuali dei punti acquisiti rispetto al modello di riferimento	98