

Telephoto-穩健化設計

作者：李依霖 指導教授：陳昭先 老師
國立高雄應用科技大學機械與精密工程研究所
e-mail:jolin19841216@hotmail.com

摘要

本研究以 Telephoto 專利為參考的光學系統結構來探討鏡頭光學系統及機械組裝公差設計的影響。利用穩健化設計配合光學軟體，進行鏡頭成像品質變更公差的鬆緊度。利用田口直交表的技術，探索鏡頭結構因子，及因子間的交互作用，對系統成像品質的效應及重要性。經由調整公差，提升系統具有高性能及低公差靈敏度之穩健化設計。

關鍵詞：田口法、鏡頭公差、穩健設計

Abstract

In this paper, we investigate the influence to a patented telephoto lens caused by the tolerances of both the lens prescriptions and the mechanical assembly. The levels and tolerances of all control factors are fine tuned by using the Taguchi method. The interacting effects among factors are also analyzed that can not be performed by using the current optical software. Finally, we get a more robust design which has a higher signal-to-noise ratio and is less sensitive.

Keywords: Taguchi Methods, Tolerances, Robust Design

1. 前言

目前用於成像光學系統設計的光學軟體，以 Code V 為例，主要以 DLS(阻尼最小平方法：Damping Least Squared)方法優化系統結構參數並取得鄰近原結構之局部最佳化。DLS 亦有缺點，如只適合求局部解，不易判斷個別結構因子與因子間交互作用對成像品質之影響。因此藉由田口直交表的技術，探索鏡頭結構因子，及因子間的交互作用，對系統的重要性，來進一步提升系統具有高性能及低公差靈敏度之穩健設計。

2. 實際範例

本研究以 Telephoto 專利的光學結構系統如圖 1 所示。採用田口法中的望小特性，將目標值定義為 15lp/mm 三視場(0, 0.7, 1)未加公

差 MTF 減三視場(0, 0.7, 1)加公差 MTF 的值取絕對值取絕對值越小越好。

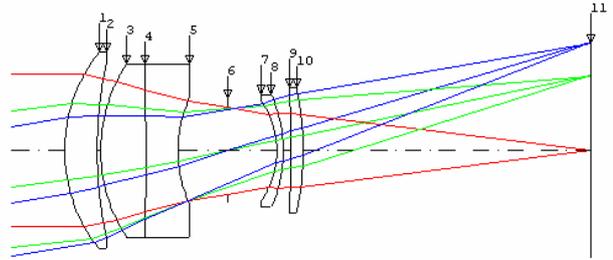


圖 1 Telephoto 示意圖

3. 田口分析(望小特性)

3.1 第一次田口分析

3.1.1. 經由 Code V 的公差分析找出 13 個公差因子對成像品質(MTF)影響較大的因子，並且定義鏡頭公差水準數為 3 水準[1]，如表 1 所示。先不考慮各公差因子間的交互作用[1][2]，因 13 個公差因子，總自由度為 26，故採用 L27 直交表分析。鏡頭公差因子在 L27 直交表配置如表 2 所示。

表 1 鏡頭公差及水準數

因子代號	因子	單位	水準1	水準2	水準3
A	DLF S2	fringes	-5	0	5
B	DLF S3	fringes	-5	0	5
C	DLF S8	fringes	-5	0	5
D	DLF S9	fringes	-5	0	5
E	DLT S1	mm	-0.04	0	0.04
F	DLT S2	mm	-0.02	0	0.02
G	DLT S7	mm	-0.04	0	0.04
H	DLN S1		-0.0005	0	0.0005
I	DLN S3		-0.0006	0	0.0006
J	DLN S4		-0.0005	0	0.0005
K	BTY S1.2	radians	-0.0003	0	0.0003
L	DSY S1.2	mm	-0.02	0	0.02
M	BTY S7.8	radians	-0.0003	0	0.0003

DLF：面型公差，徑向公差大小以原檢驗器範圍內產生干涉條紋決定[3][4]。

DLT：鏡片厚度公差，厚度公差定義兩個光學面間距誤差，此間距可以是單一零件厚度或者兩零件間距[3][4]。

DLN：折射率公差鏡片材質不均勻度的折射率公差[3][4]。

DSY：組裝上下偏移公差[3][4]。

BTY：組合傾斜公差，此公差是一起傾斜好幾個鏡面以了解組合的光學元件[3][4]。

表 2 因子 L27 的配置

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
行號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
因子	DLF S2	DLF S3	DLF S8	DLF S9	DLT S1	DLT S2	DLT S7	DLN S1	DLN S3	DLN S4	BTY SL2	DSY SL2	BTY S7.8

3.1.2. 各視場直交表，如表 3，表 4，表 5 所示。在表 3 軸上視場直交表上，最佳水準組合為 A2B3C1D2E2F3G1H1I2J3K3L1M2(實驗次數 17)；表 4 0.7 視場直交表上，最佳水準組合為 A1B1C1D1E2F2G2H2I2J2K2L2M2 與 A1B2C2D2E3F3G3H1I1J1K2L2M2(實驗次數 2 與 6)，若以製造與組裝公差考慮以 A1B2C2D2E3F3G3H1I1J1K2L2M2 的組合為佳；表 5 全(1)視場直交表上，最佳水準組合為 A1B1C1D1E2F2G2H2I2J2K2L2M2、A1B2C2D2E3F3G3H1I1J1K2L2M2、A2B3C1D2E2F3G1H1I2J3K3L1M2、A3B2C1D3E2F1G3H3I2J1K1L3M2(實驗次數 2、6、17、23)，若以製造與組裝公差考慮以 A3B2C1D3E2F1G3H3I2J1K1L3M2 較佳[1][2]。

表 3 軸上視場直交表

實驗次數	視場差值		
	0	MSD	η
1	0.082	0.00672	21.724
2	0.007	0.00005	43.098
3	0.071	0.00504	22.975
4	0.061	0.00372	24.293
5	0.021	0.00044	33.556
6	0.055	0.00303	25.193
7	0.042	0.00176	27.535
8	0.02	0.00040	33.979
9	0.055	0.00303	25.193
10	0.075	0.00563	22.499
11	0.046	0.00212	26.745
12	0.024	0.00058	32.396
13	0.009	0.00008	40.915
14	0.007	0.00005	43.098
15	0.023	0.00053	32.765
16	0.029	0.00084	30.752
17	0.005	0.00003	46.021
18	0.082	0.00672	21.724
19	0.041	0.00168	27.744
20	0.077	0.00593	22.270
21	0.048	0.00230	26.375
22	0.06	0.00360	24.437
23	0.023	0.00053	32.765
24	0.045	0.00203	26.936
25	0.006	0.00004	44.437
26	0.007	0.00005	43.098
27	0.008	0.00006	41.938

表 4 0.7 視場直交表

實驗次數	視場差值		
	0.7	MSD	η
1	0.019	0.000361	34.425
2	0.001	0.000001	60.000
3	0.032	0.001024	29.897
4	0.019	0.000361	34.425
5	0.004	0.000016	47.959
6	0.001	0.000001	60.000
7	0.005	0.000025	46.021
8	0.024	0.000576	32.396
9	0.002	0.000004	53.979
10	0.02	0.000400	33.979
11	0.046	0.002116	26.745
12	0.014	0.000196	37.077
13	0.014	0.000196	37.077
14	0.016	0.000256	35.918
15	0.016	0.000256	35.918
16	0.004	0.000016	47.959
17	0.002	0.000004	53.979
18	0.025	0.000625	32.041
19	0.014	0.000196	37.077
20	0.031	0.000961	30.173
21	0.033	0.001089	29.630
22	0.012	0.000144	38.416
23	0.012	0.000144	38.416
24	0.018	0.000324	34.855
25	0.006	0.000036	44.437
26	0.007	0.000049	43.098
27	0.024	0.000576	32.396

表 5 全(1)視場直交表

實驗數據	視場差值		
	1	MSD	η
1	0.016	0.0002560	35.918
2	0.002	0.0000040	53.979
3	0.044	0.0019360	27.131
4	0.023	0.0005290	32.765
5	0.006	0.0000360	44.437
6	0.002	0.0000040	53.979
7	0.008	0.0000640	41.938
8	0.026	0.0006760	31.701
9	0.005	0.0000250	46.021
10	0.033	0.0010890	29.630
11	0.069	0.0047610	23.223
12	0.019	0.0003610	34.425
13	0.023	0.0005290	32.765
14	0.019	0.0003610	34.425
15	0.013	0.0001690	37.721
16	0.021	0.0004410	33.556
17	0.002	0.0000040	53.979
18	0.029	0.0008410	30.752
19	0.014	0.0001960	37.077
20	0.045	0.0020250	26.936
21	0.046	0.0021160	26.745
22	0.021	0.0004410	33.556
23	0.002	0.0000040	53.979
24	0.024	0.0005760	32.396
25	0.012	0.0001440	38.416
26	0.019	0.0003610	34.425
27	0.025	0.0006250	32.041

3.1.3. 各視場回應表，如表 6，表 7，表 8 所示。在表 6 軸上視場回應表上，最佳水準組合為 A2B3C2D1E2F2G2H3I2J2K3L1M2；表 7 0.7 視場回應表上，最佳水準組合為 A1B3C1D1E2F3G3H1I2J2K2L1M2；表 8 全(1)視場回應表上，最佳水準組合 A1B2C1D2E2F3G2H1I2J2K1L1M2[2]。

表 6 軸上視場回應表

回應表	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	
1	28.616	27.314	30.048	32.116	29.371	28.730	31.639	31.107	30.643	30.459	30.027	32.602	29.405
2	32.291	31.351	32.684	28.629	36.070	33.362	32.682	30.068	33.030	32.256	31.081	27.725	35.282
3	32.222	34.964	31.097	28.054	28.388	31.760	29.518	32.654	30.995	30.444	32.721	30.440	29.135
Max-Min	4.374	7.650	2.636	9.063	7.682	3.632	3.164	2.586	2.407	2.538	2.694	4.881	6.155

表 7.0.7 視場回應表

回應	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	44.345	35.445	41.114	39.241	39.313	36.844	36.493	41.641	38.751	37.241	38.466	41.556	39.792
2	37.855	40.336	40.013	41.471	40.963	41.986	40.591	38.361	42.751	42.714	42.805	37.009	44.671
3	36.304	42.942	37.577	37.992	38.426	42.272	41.630	39.702	38.424	38.749	37.333	35.025	34.240
Max-Min	7.840	7.478	3.538	3.480	2.599	5.428	2.127	2.279	4.327	5.473	5.573	6.530	10.431

表 8 全(1)視場回應表

回應	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	40.874	32.785	39.472	36.313	35.069	36.540	34.826	38.536	35.171	36.386	38.253	38.266	35.067
2	34.497	39.558	35.927	37.803	39.626	36.841	38.007	34.671	41.471	37.624	38.016	33.055	42.796
3	35.063	38.092	35.037	36.319	35.690	38.545	37.602	37.228	34.272	36.374	34.166	34.555	31.572
Max-Min	6.377	6.773	4.435	1.489	4.007	2.105	3.182	3.865	7.199	3.300	4.088	5.311	12.223

3.1.4. 第一次各視場變異數分析，如表 9、表 10、表 11 所示。在表 9 變異數分析上，以 B、D、E、M 公差因子的貢獻度遠比其他因子大；表 10 變異數分析上，以 A、B、L、M 公差因子的貢獻度遠比其他因子大；表 11 變異數分析上，以 A、B、L、M 公差因子的貢獻度遠比其他因子大。經由表 9、表 10、表 11 的變異數分析，可以將貢獻度較大的公差因子，公差可開較緊的公差，使成成品質更好[2]。

表 9 軸上(0)變異數分析

因子	因子名稱	變動	自由度	變異	純變動	貢獻度%
A	DLF S2	98.19	2	49.09	98.19	5.76
B	DLF S3	264.38	2	132.19	264.38	15.52
C	DLF S8	31.70	2	15.85	31.70	1.86
D	DLF S9	462.09	2	231.04	462.09	27.12
E	DLT S1	314.56	2	157.28	314.56	18.46
F	DLT S2	98.74	2	49.37	98.74	5.80
G	DLT S7	46.73	2	23.37	46.73	2.74
H	DLN S1	30.49	2	15.24	30.49	1.79
I	DLN S3	43.60	2	21.80	43.60	2.56
J	DLN S4	38.11	2	19.05	38.11	2.24
K	BTY SL.2	33.18	2	16.59	33.18	1.95
L	DSY SL.2	24.38	2	12.19	24.38	1.43
M	BTY S7.8	217.75	2	108.87	217.75	12.78
e(誤差)		0.00	0			
e(誤差總和)		0.00	0			
T(總和)		1703.89	26		1703.89	

表 10 (0.7)視場變異數分析

因子	因子名稱	變動	自由度	變異	純變動	貢獻度%
A	DLF S2	316.25	2	158.12	316.25	14.20
B	DLF S3	259.61	2	129.81	259.61	11.66
C	DLF S8	58.99	2	29.50	58.99	2.65
D	DLF S9	55.94	2	27.97	55.94	2.51
E	DLT S1	29.89	2	14.94	29.89	1.34
F	DLT S2	132.60	2	66.30	132.60	5.95
G	DLT S7	132.43	2	66.22	132.43	5.95
H	DLN S1	23.62	2	11.81	23.62	1.06
I	DLN S3	147.63	2	73.82	147.63	6.63
J	DLN S4	143.87	2	71.94	143.87	6.46
K	BTY S1.2	156.14	2	78.07	156.14	7.01
L	DSY S1.2	280.00	2	140.00	280.00	12.57
M	BTY S7.8	490.34	2	245.17	490.34	22.01
e(誤差)		0.00	0			
e(誤差總和)		0.00	0			
T(總和)		2227.32	26		2227.32	

表 11 全(1)視場變異數分析

因子	因子名稱	變動	自由度	變異	純變動	貢獻度%
A	DLF S2	224.26	2	112.13	224.26	10.90
B	DLF S3	228.58	2	114.29	228.58	11.11
C	DLF S8	99.09	2	49.55	99.09	4.82
D	DLF S9	13.26	2	6.63	13.26	0.64
E	DLT S1	112.49	2	56.25	112.49	5.47
F	DLT S2	52.87	2	26.44	52.87	2.57
G	DLT S7	53.99	2	27.00	53.99	2.62
H	DLN S1	69.57	2	34.79	69.57	3.38
I	DLN S3	301.55	2	150.77	301.55	14.66
J	DLN S4	10.05	2	5.02	10.05	0.49
K	BTY S1.2	94.77	2	47.38	94.77	4.61
L	DSY S1.2	83.40	2	41.70	83.40	4.05
M	BTY S7.8	713.44	2	356.72	713.44	34.68
e(誤差)		0.00	0			
e(誤差總和)		0.00	0			
T(總和)		2057.32	26		2057.32	

3.2 第二次田口分析

3.2.1 經由 3.1.4 的第一次各視場變異數分析，發現 A、B、L、M 因子對 0.7 視場及全視場的貢獻度比其他的因子大，和軸上視場 E 因子的貢獻度比其他因子大，故以 A、B、E、L、M 因子再加上 I 因子判斷交互作用[1][2]。

3.2.2. 軸上(0)視場的交互作用，如圖 2，圖 3，圖 4 所示[1][2]。

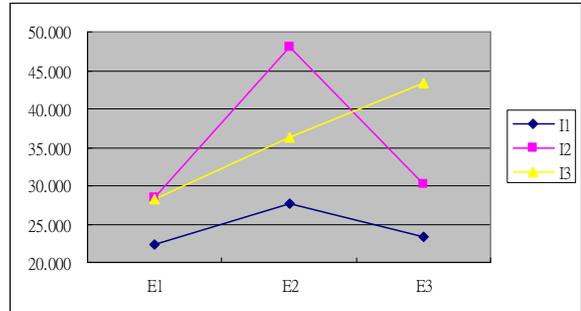


圖 2 ExI 交互作用

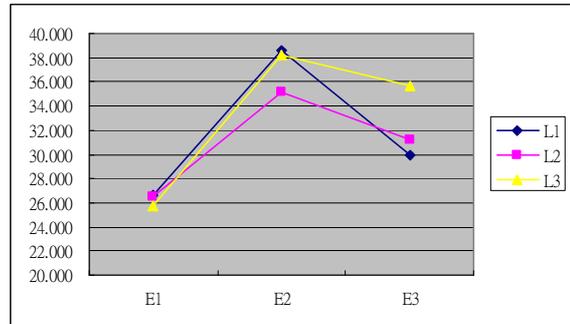


圖 3 ExL 交互作用

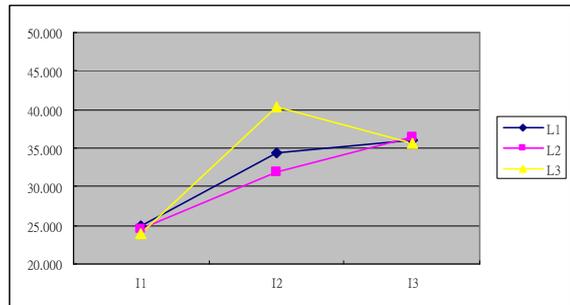


圖 4 IxL 交互作用

3.2.3. 0.7 視場的交互作用，如圖 5，圖 6，圖 7 所示。

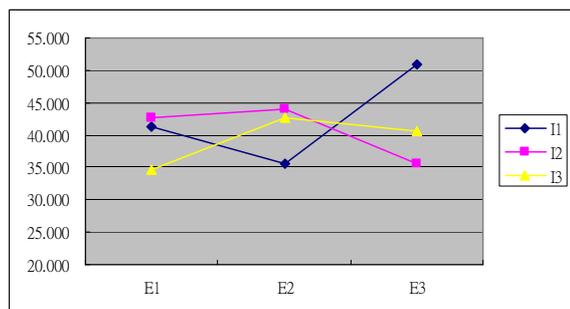


圖 5 ExI 交互作用

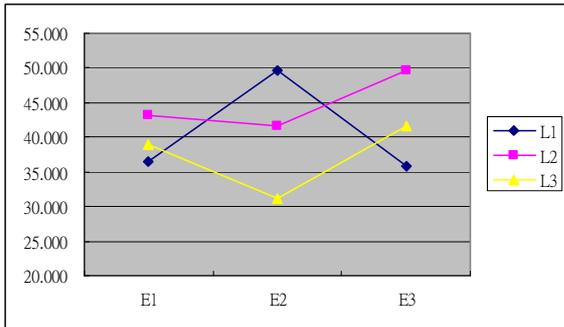


圖 6 ExL 交互作用

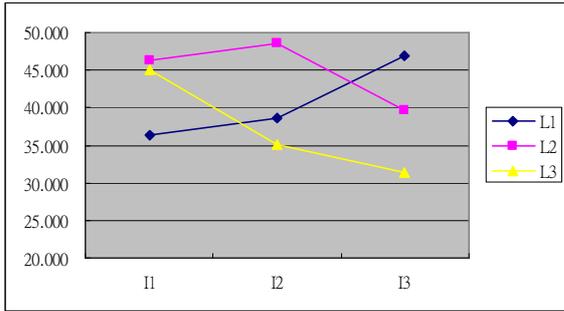


圖 7 IxL 交互作用

3.2.4. 全(1)視場的交互作用，如圖 8，圖 9，圖 10 所示。

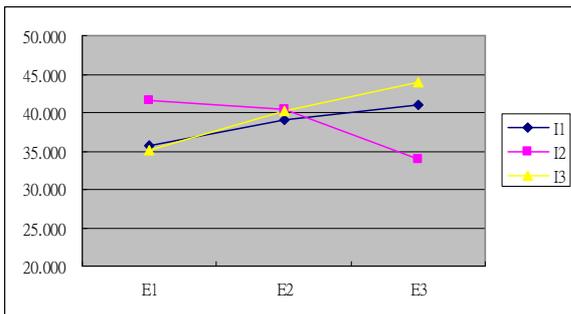


圖 8 ExI 交互作用

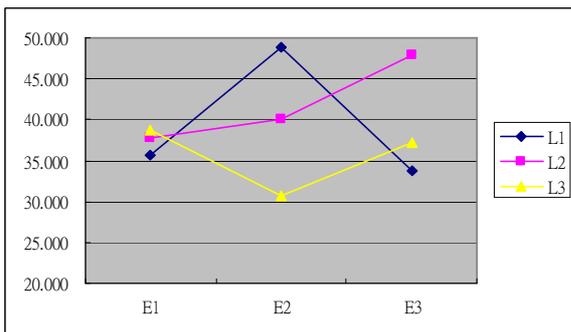


圖 9 ExL 交互作用

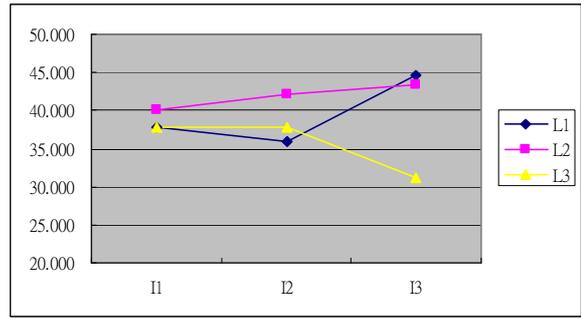


圖 10 IxL 交互作用

3.3 第三次田口分析

3.3.1 經由第一次田口分析，發現 A、B、E、L、M 的貢獻度遠比其他因子大及第二次田口分析，發現 EXI、EXL、IXL 具有交互作用。所以第三次田口分析以 A、B、E、L、M 及 EXI、EXL、IXL 交互作用再加 I 公差因子分析。

3.3.2 定義鏡頭公差因子水準數，如表 12 所示。且考慮各因子間的交互作用，總自由度為 24，故採用 L27 直交表分析。公差因子的配置如表 13 所示[1][2]。

表 12 鏡頭結構公差及水準數

因子代號	因子	單位	水準1	水準2	水準3
A	DLF S2	fringes	-5	0	5
B	DLF S3	fringes	-5	0	5
E	DLT S1	mm	-0.04	0	0.04
I	DLN S3		-0.0006	0	0.0006
L	DSY S1..2	mm	-0.02	0	0.02
M	BTY S7..8	radians	-0.0003	0	0.0003

表 13 L27 因子配置

	E	I	EXI	EXI	L	EXL	EXL	IXL		M	IXL	A	B
行數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
因子	DLT S1	DLN S3			DSY S1..2					BTY S7..8		DLF S2	DLF S3

3.3.3. 各視場直交表，如表 14，表 15，表 16 所示。表 14 軸上視場直交表，最佳水準組合為 A1B2E2I2L1M1(實驗次數 13)；表 15 0.7 視場直交表，最佳水準組合為 A3B3E1I1L3M3(實驗次數 3)；表 16 全(1)視場直交表，最佳水準組合為 A2B3E2I2L2M2(實驗次數 14)[1][2]。

表 14 軸上視場直交表

實驗次數	視場差值		η
	0	MSD	
1	0.067	0.00449	23.479
2	0.07	0.00490	23.098
3	0.065	0.00423	23.742
4	0.044	0.00194	27.131
5	0.046	0.00212	26.745
6	0.045	0.00203	26.936
7	0.021	0.00044	33.556
8	0.02	0.00040	33.979
9	0.022	0.00048	33.152
10	0.019	0.00036	34.425
11	0.04	0.00160	27.959
12	0.019	0.00036	34.425
13	0.003	0.00001	50.458
14	0.008	0.00006	41.938
15	0.017	0.00029	35.391
16	0.007	0.00005	43.098
17	0.033	0.00109	29.630
18	0.03	0.00090	30.458
19	0.009	0.00008	40.915
20	0.035	0.00123	29.119
21	0.01	0.00010	40.000
22	0.033	0.00109	29.630
23	0.039	0.00152	28.179
24	0.05	0.00250	26.021
25	0.066	0.00436	23.609
26	0.063	0.00397	24.013
27	0.05	0.00250	26.021

表 15 0.7 視場直交表

實驗次數	視場差值		η
	0.7	MSD	
1	0.022	0.000484	33.152
2	0.008	0.000064	41.938
3	0.001	0.000001	60.000
4	0.02	0.000400	33.979
5	0.004	0.000016	47.959
6	0.008	0.000064	41.938
7	0.01	0.000100	40.000
8	0.002	0.000004	53.979
9	0.019	0.000361	34.425
10	0.011	0.000121	39.172
11	0.004	0.000016	47.959
12	0.018	0.000324	34.895
13	0.005	0.000025	46.021
14	0.004	0.000016	47.959
15	0.02	0.000400	33.979
16	0.003	0.000009	50.458
17	0.019	0.000361	34.425
18	0.027	0.000729	31.373
19	0.004	0.000016	47.959
20	0.017	0.000289	35.391
21	0.024	0.000576	32.396
22	0.006	0.000036	44.437
23	0.015	0.000225	36.478
24	0.034	0.001156	29.370
25	0.013	0.000169	37.721
26	0.008	0.000064	41.938
27	0.036	0.001296	28.874

表 16 全(1)視場直交表

實驗次數	視場差值		η
	1	MSD	
1	0.025	0.000625	32.041
2	0.016	0.000256	35.918
3	0.008	0.000064	41.938
4	0.026	0.000676	31.701
5	0.004	0.000016	47.959
6	0.004	0.000016	47.959
7	0.014	0.000196	37.077
8	0.007	0.000049	43.098
9	0.02	0.000400	33.979
10	0.018	0.000324	34.895
11	0.009	0.000081	40.915
12	0.015	0.000225	36.478
13	0.008	0.000064	41.938
14	0.001	0.000001	60.000
15	0.018	0.000324	34.895
16	0.006	0.000036	44.437
17	0.019	0.000361	34.425
18	0.029	0.000841	30.752
19	0.01	0.000100	40.000
20	0.014	0.000196	37.077
21	0.025	0.000625	32.041
22	0.004	0.000016	47.959
23	0.013	0.000169	37.721
24	0.042	0.001764	27.535
25	0.014	0.000196	37.077
26	0.024	0.000576	32.396
27	0.047	0.002209	26.558

3.3.4. 各視場回應表，如表 17，表 18，表 19 所示。在表 17 軸上視場回應表上，最佳水準組合為 A3B2E2I2L1M2；表 18 0.7 視場回應表上，最佳水準組合為 A3B3E1I1L2M3；表 19 全(1)視場回應表上，最佳水準組合為 A3B1E2I2L2M1[2]。

表 17 軸上(0)視場回應表

回應表	E	I	L	M	A	B
1	27.980	30.796	<u>34.033</u>	31.673	30.738	31.496
2	<u>36.420</u>	<u>32.492</u>	29.407	<u>32.643</u>	27.833	<u>32.580</u>
3	29.723	30.835	30.683	29.807	<u>31.824</u>	30.047
Max-Min	8.440	1.696	4.627	2.837	3.991	2.533

表 18 0.7 視場回應表

回應表	E	I	L	M	A	B
1	<u>43.041</u>	<u>41.429</u>	41.433	40.113	37.040	40.745
2	40.693	40.236	<u>43.114</u>	40.325	35.683	39.170
3	37.174	39.244	36.361	<u>40.471</u>	<u>43.741</u>	<u>40.994</u>
Max-Min	5.867	2.185	6.753	0.212	8.057	80.164

表 19 全(1)視場回應表

回應表	E	I	L	M	A	B
1	39.074	36.811	38.569	<u>38.171</u>	36.501	<u>38.514</u>
2	<u>39.859</u>	<u>41.963</u>	<u>41.057</u>	38.049	35.769	37.564
3	35.374	35.533	34.682	38.087	<u>37.918</u>	38.230
Max-Min	4.486	6.430	6.375	0.122	2.149	0.950

3.3.5. 各視場變異數分析，如表 20，表 21，表 22 所示。在表 20 軸上視場變異數分析，發現到 EXI 的交互作用的貢獻度明顯比主因子的貢獻度大；表 21 0.7 視場變異數分析，發現 EXL 的交互作用的貢獻度明顯比主因子的貢獻度大；表 22 全(1)視場變異數分析，發現 EXL 的貢獻度明顯比主因子大[1][2]。

國 94 年。

表 20 軸上視場變異數分析

因子	變動	自由度	變異	純變動	變異比	貢獻度%
E	357.40	2	178.70	348.87	41.89	27.21
I	16.87	2	8.44	8.34	1.98	0.65
L	102.79	2	51.39	94.26	12.05	7.35
M	37.42	2	18.71	28.89	4.39	2.25
A	5.78	2				
B	29.07	2	14.54	20.54	3.41	1.60
ExI	555.08	4	138.77	538.02	32.53	41.97
ExL	104.18	4	26.04	87.11	6.11	6.80
IxL	62.15	4	15.54	45.09	3.64	3.52
e(誤差)	11.28	2				
et(誤差調和)	17.06	4	4.27	110.90		
T(總和)	1282.01	26		1282.01		

表 21 (0.7)視場變異數分析

因子	變動	自由度	變異	純變動	變異比	貢獻度%
E	156.98	2	78.49	91.60	2.40	5.59
I	21.55	2				
L	222.46	2	111.23	157.08	3.40	9.58
M	0.58	2				
A	202.46	2	101.23	137.08	3.10	8.36
B	17.61	2				
ExI	31.93	4				
ExL	534.17	4	133.54	403.42	4.09	24.61
IxL	182.31	4				
e(誤差)	269.03	2				
et(誤差調和)	523.01	16	32.69	849.89		51.85
T(總和)	1639.08	26		1639.08		

表 22 全(1)視場變異數分析

因子	變動	自由度	變異	純變動	變異比	貢獻度%
E	103.30	2				
I	208.54	2	104.27	141.66	3.12	10.23
L	185.82	2	92.91	118.93	2.78	8.59
M	0.07	2				
A	52.10	2				
B	4.28	2				
ExI	52.27	4				
ExL	388.44	4	97.11	254.66	2.90	18.39
IxL	168.81	4				
e(誤差)	221.16	2				
et(誤差調和)	601.98	18	33.44	869.53		62.79
T(總和)	1384.79	26		1384.79		

4. 結論

經由第三次田口法的變異數分析在軸上，0.7，全(1)視場中可以看出因子間交互作用的貢獻度影響遠大於主要因子之影響，本研究成功找出現有的光學軟體所無法得到因子間的交互作用。

參考文獻

- [1] 鷺尾俊原著、盧淵源校正、蔡明三編譯，”實驗計畫法(修訂版)”，華泰。
- [2] 陳信宏教授、周志宏教授，”品質工程講義”。
- [3] 鄭均安，”雙高斯鏡頭穩健化設計”，國立高雄應用科技大學，機械與精密工程研究所，碩士論文，民國 96 年。
- [4] 林裕勛，”手機相機模組之容差分析”，國立台北科技大學，機械工程系，碩士論文，民