

THIẾT KẾ HỆ THỐNG QUANG HỌC HOẠT ĐỘNG TRONG HAI VÙNG PHỔ NHÌN THẤY VÀ HỒNG NGOẠI BƯỚC SÓNG DÀI

Nguyễn Quang Hiệp^{1,*}

¹Đại học Kỹ thuật Lê Quý Đôn

DOI: 10.56651/lqdtu.jst.v18.n01.580

Tóm tắt

Bài báo trình bày cách lựa chọn tổ hợp vật liệu thích hợp dựa trên yêu cầu về khả năng khử sắc sai đồng thời ở hai vùng phổ nhìn thấy và hồng ngoại bước sóng dài. Sau đó tiến hành thiết kế hệ thống quang học cho vật kính của camera quan sát hoạt động ở cả hai vùng phổ nói trên, trong đó sử dụng bề mặt phi cầu và nhiều xạ để nâng cao chất lượng tạo ảnh. Hệ quang được thiết kế nhỏ gọn, kết cấu đơn giản, chỉ gồm 3 thấu kính, chất lượng tạo ảnh tốt, hàm truyền điều biến (MTF) lớn hơn 0,28 tại tần số Nyquist ứng với các đầu thu bức xạ phổ biến tại hai vùng phổ làm việc. Nó có thể dùng trong camera quan sát trên các thiết bị bay không người lái.

Từ khóa: Hệ thống quang điện tử đa vùng phổ; hệ thống quang học; bề mặt nhiều xạ.

1. Mở đầu

Ngày nay, các loại hệ thống quang điện tử được ứng dụng ngày càng rộng rãi, đặc biệt trong lĩnh vực quân sự. Thông thường, chúng chỉ hoạt động trong một vùng phổ nhất định. Tuy nhiên, khi các yêu cầu sử dụng ngày càng đặc biệt và theo sự phát triển của công nghệ bán dẫn, công nghệ sản xuất đầu thu và công nghệ vật liệu quang học thì việc sử dụng các hệ thống quang điện tử đa vùng phổ (multi-band) có sử dụng công nghệ trộn ảnh số (fusion image) nhận được sự chú ý nhiều hơn, đặc biệt trong công nghệ viễn thám. Điều này là do việc tích hợp hai hoặc nhiều vùng phổ làm việc trong một hệ thống cho phép đồng thời nhận được nhiều thông tin hơn về đối tượng, mục tiêu quan sát trong các điều kiện chiếu sáng khác nhau, nâng cao độ tin cậy, nâng cao hiệu quả quan sát, phát hiện và định danh mục tiêu, điều này đặc biệt quan trọng trong các thiết bị hoạt động hoàn toàn tự động hoặc bán tự động. Hơn nữa, đối với các hệ thống quang điện tử chuyên dụng trên các thiết bị bay không người lái (UAV), các trạm quan sát trên không thì yêu cầu về kích thước, khối lượng, công suất tiêu thụ... là rất quan trọng, do đó việc tích hợp đa kênh, đa vùng phổ trên một hệ thống càng trở nên cấp thiết [1, 2].

Để tích hợp các hệ thống quang điện tử đa vùng phổ, có nhiều sơ đồ nguyên lý khác nhau: Sử dụng các kênh gồm các hệ quang và các đầu thu hoạt động trong từng vùng phổ riêng biệt; hoặc sử dụng một hệ thống quang học hoạt động ở nhiều vùng phổ và tâm chia

* Email: quanghiep.nguyen@lqdtu.edu.vn

chùm dichroic để tách chùm tia tạo ảnh trên từng đầu thu riêng biệt; hoặc sử dụng hệ thống quang học hoạt động ở nhiều vùng phổ và một đầu thu bức xạ hoạt động ở nhiều vùng phổ. Việc sử dụng các kênh riêng biệt sẽ tăng khối lượng, kích thước của hệ thống. Hơn nữa, việc trộn ảnh từ các kênh riêng biệt đó sẽ khó khăn do đường đáy tạo bởi giữa các kênh gây sai số. Công nghệ chế tạo đầu thu bức xạ hoạt động ở nhiều vùng phổ còn khá mới. Do đó, để đảm bảo khả năng trộn ảnh từ các đầu thu riêng biệt, lượng bức xạ bị tổn hao là ít nhất, mức độ gọn nhẹ và giá thành thì việc sử dụng hệ thống quang học hoạt động ở đa vùng phổ và tấm chia chùm dichroic để tách chùm tia tạo ảnh trên từng đầu thu riêng biệt là phù hợp hơn cả [3].

Như vậy, để thiết kế, chế tạo hệ thống quang điện tử đa vùng phổ, cần nghiên cứu, thiết kế hệ thống quang học có khả năng làm việc ở đa vùng phổ. Các hệ thống quang học làm việc ở một vùng phổ đã được nghiên cứu nhiều nhưng các hệ quang làm việc ở hai (hoặc nhiều) vùng phổ còn khá mới. Một số nghiên cứu tập trung vào vùng hồng ngoại bước sóng ngắn (từ 0,9 đến 1,7 μm) và hồng ngoại bước sóng dài (từ 8 đến 14 μm), hoặc vùng nhìn thấy (từ 0,38 đến 0,78 μm) và vùng hồng ngoại bước sóng trung (từ 3 đến 5 μm) [4-6]. Đã có các nghiên cứu về hệ quang hoạt động trong vùng nhìn thấy và vùng hồng ngoại bước sóng dài. Tuy nhiên, các hệ quang được thiết kế trong hai vùng này có dạng gương-thấu kính. Do sử dụng các gương phản xạ trong thành phần của mình nên chúng có những nhược điểm như: bán dạ chùm tia trung tâm nếu các gương đồng trục, còn nếu các gương không đồng trục thì xuất hiện thêm quang sai không đồng trục. Vì vậy, chúng thường có góc thị giới nhỏ [7-8]. Ngoài ra, việc sử dụng các gương sẽ gây khó khăn cho gá lắp, hiệu chỉnh. Nhằm mở rộng thị giới và loại bỏ các khó khăn khi gá lắp gương, trên cơ sở lựa chọn tổ hợp vật liệu thích hợp, bài báo tiến hành thiết kế hệ thống quang học chỉ bao gồm các thấu kính hoạt động đồng thời trong hai vùng phổ là vùng nhìn thấy (VIS) và vùng hồng ngoại bước sóng dài (LWIR). Hệ quang được thiết kế có thể ứng dụng cho vật kính của camera quan sát đặt trên các thiết bị bay không người lái.

2. Lựa chọn vật liệu

2.1. Yêu cầu khử sắc sai trong một vùng phổ

Lựa chọn vật liệu để thiết kế hệ thống quang học hoạt động trong dải phổ cho trước luôn là một trong những nhiệm vụ đầu tiên trong toàn bộ quá trình thiết kế. Vật liệu được lựa chọn cần phải đáp ứng được các yêu cầu về độ truyền qua, mức độ phổ biến, mức phù hợp với công nghệ gia công, giá thành... và đặc biệt là yêu cầu về khử sắc sai trong hệ thống quang học. Do trong các vùng phổ khác nhau, các vật liệu quang học sẽ thể hiện các tính chất quang học khác nhau, ví dụ như chiết suất, số Abbe, hệ số tán sắc riêng... Do đó, việc lựa chọn vật liệu phải dựa trên tính chất quang học của các vật liệu đó trong chính vùng phổ làm việc đã cho của khí tài quang điện tử. Đối với các khí tài làm việc ở

cả hai vùng phổ, ví dụ như vùng nhìn thấy và vùng hồng ngoại bước sóng dài, thì do vùng phổ làm việc là rất rộng nên việc lựa chọn được vật liệu phù hợp với các yêu cầu trên, đặc biệt là yêu cầu về khử sắc sai có những khó khăn nhất định.

Thông thường, trong vùng phổ làm việc của mình, cặp thấu kính ghép đôi được khử sắc sai luôn là thành phần cơ bản trong vật kính của bất kỳ hệ thống quang học nào. Việc lựa chọn vật liệu cho cặp thấu kính phải tuân theo các yêu cầu khử sắc sai như sau [9]:

$$\text{Yêu cầu về độ tụ chuẩn hóa: } \Phi_1 + \Phi_2 = 1 \quad (1)$$

$$\text{Yêu cầu về khử sắc sai bậc nhất: } \frac{\Phi_1}{v_1} + \frac{\Phi_2}{v_2} = 0 \quad (2)$$

$$\text{Yêu cầu về khử sắc sai bậc hai: } \frac{\Phi_1}{v_1} P_1 + \frac{\Phi_2}{v_2} P_2 = 0 \quad (3)$$

trong đó: Φ_1, Φ_2 lần lượt là độ tụ chuẩn hóa của thấu kính thứ nhất và thấu kính thứ hai; v_1, v_2 và P_1, P_2 lần lượt là hệ số Abbe và hệ số tán sắc riêng của vật liệu quang học trong thấu kính thứ nhất và thứ hai.

Từ yêu cầu trên, nhận thấy rằng để loại bỏ hoàn toàn sắc sai bậc nhất chỉ cần lựa chọn hai loại vật liệu có số Abbe khác nhau. Hơn nữa, để giảm quang sai đơn sắc, nên lựa chọn hai loại vật liệu có sự sai khác về số Abbe càng lớn càng tốt vì khi đó độ tụ của các thấu kính sẽ nhỏ (theo giá trị tuyệt đối). Tuy nhiên, khử sắc sai bậc nhất không có nghĩa là sắc sai bậc hai sẽ nhỏ. Để khử cả sắc sai bậc hai thì hai loại vật liệu được lựa chọn phải có cùng hệ số tán sắc riêng. Điều này là không thể, bởi không có cặp vật liệu quang học nào có cùng hệ số tán sắc riêng trong một vùng phổ nào đó [10].

Lượng sắc sai bậc hai được xác định theo công thức [9, 10]:

$$\Delta l = -\frac{P_1 - P_2}{v_1 - v_2} \frac{1}{\Phi} \quad (4)$$

Do đó, về nguyên tắc, trong một vùng phổ làm việc đã cho, cặp vật liệu được lựa chọn tốt nhất là cặp vật liệu có số Abbe sai khác càng nhiều và hệ số tán sắc riêng càng gần nhau càng tốt.

2.2. Lựa chọn vật liệu cho hệ thống quang học làm việc ở hai vùng phổ

Đối với hệ thống quang học làm việc đồng thời ở hai vùng phổ: nhìn thấy (ký hiệu là E) và hồng ngoại bước sóng dài (ký hiệu là T) thì trong từng vùng phổ, vật liệu được chọn cho cặp thấu kính phải đảm bảo yêu cầu về khử sắc sai, trước hết là sắc sai bậc nhất. Nghĩa là chúng phải thỏa mãn các yêu cầu sau:

$$\frac{\Phi_{1E}}{v_{1E}} + \frac{\Phi_{2E}}{v_{2E}} = 0 \quad (5)$$

$$\frac{\Phi_{1T}}{v_{1T}} + \frac{\Phi_{2T}}{v_{2T}} = 0 \quad (6)$$

Cho rằng các thấu kính có chiều dày không đáng kể. Gọi độ cong của các bề mặt thấu kính thứ nhất là C_1 và C_2 ; độ cong các bề mặt thấu kính thứ hai là C_3 và C_4 . Khi đó, từ các phương trình (5) và (6) nhận được:

$$\Delta n_{1E}(C_1 - C_2) + \Delta n_{2E}(C_3 - C_4) = 0 \quad (7)$$

$$\Delta n_{1T}(C_1 - C_2) + \Delta n_{2T}(C_3 - C_4) = 0 \quad (8)$$

trong đó: Δn_{1E} , Δn_{2E} - sự thay đổi chiết suất của vật liệu thứ nhất và thứ hai trong vùng phổ nhìn thấy; Δn_{1T} , Δn_{2T} - sự thay đổi chiết suất của chúng trong vùng phổ hồng ngoại bước sóng dài.

Như vậy, để đảm bảo khử đồng thời sắc sai bậc nhất tại hai vùng phổ, cần chọn hai vật liệu thỏa mãn yêu cầu:

$$\Delta n_{1E} / \Delta n_{1T} = \Delta n_{2E} / \Delta n_{2T} \quad (9)$$

Bảng 1. Chiết suất một số vật liệu quang học làm việc ở cả hai vùng phổ VIS và LWIR

Vật liệu	Chiết suất tại bước sóng λ , μm						
	12,0	10,0	8,0	3,0	0,6563	0,5461	0,4861
KCl	1,448196	1,456789	1,463473	1,473758	1,48727	1,49319	1,49841
KBr	1,521649	1,526375	1,53020	1,536592	1,555094	1,563927	1,57179
KI	1,616825	1,62013	1,622879	1,628293	1,65809	1,6731	1,68664
NaCl	1,48004	1,49482	1,50655	1,52434	1,540634	1,547371	1,553328
CsBr	1,65976	1,662508	1,66477	1,669006	1,691108	1,701922	1,71154
CsI	1,737463	1,739163	1,740592	1,743994	1,77773	1,794947	1,810559
AgCl	1,970262	1,980339	1,988466	2,002298	2,052596	2,078735	2,103115
ZnS	2,170114	2,200136	2,222782	2,257194	2,34327	2,38799	2,43091

Như đã biết, số lượng vật liệu quang học cho phép bức xạ có bước sóng trong cả hai vùng phổ nhìn thấy và hồng ngoại bước sóng dài truyền qua là không nhiều. Trong bảng 1 là các vật liệu điển hình và sự thay đổi chiết suất của chúng theo bước sóng [11]. Các vật liệu này có hệ số truyền qua rất cao trong hai vùng phổ đó [10]. Bảng 2 là số Abbe (v), hệ số tán sắc riêng (P) và sự thay đổi chiết suất (Δn) của chúng trong hai vùng phổ nhìn thấy và hồng ngoại bước sóng dài.

Từ bảng 2 nhận thấy rằng, không có cặp vật liệu nào hoàn toàn thỏa mãn yêu cầu khử đồng thời sắc sai bậc nhất tại hai vùng phổ. Do vậy, cặp vật liệu được chọn sẽ là cặp vật liệu có tỉ lệ về sự thay đổi chiết suất trong hai vùng nhìn thấy và hồng ngoại bước sóng dài gần nhau nhất có thể. Như vậy, theo tiêu chí này, cặp vật liệu là ZnS và KBr sẽ là một trong những lựa chọn tối ưu nhất. Hơn nữa, cả ZnS và KBr đều là vật liệu tinh thể có thể gia công trên máy tiện tiếp điểm kim cương (diamond turning) nên có thể gia công bề mặt phi cầu hoặc nhiều xạ để nâng cao khả năng khử quang sai của hệ quang được thiết kế. Do đó, để thiết kế hệ thống quang học làm việc ở hai vùng phổ là nhìn thấy và hồng ngoại bước sóng dài thì cặp vật liệu được lựa chọn là ZnS và KBr.

Bảng 2. Giá trị số Abbe (v), hệ số tán sắc riêng (P), sự thay đổi chiết suất (Δn) của vật liệu quang học làm việc ở cả hai vùng phổ VIS (E) và LWIR (T)

Vật liệu	v_E	P_E	v_T	P_T	$\Delta n_E / \Delta n_T$
KCl	44,27199	0,531418	29,90044	0,56248	0,729201
KBr	33,77617	0,529049	61,55713	0,552684	1,95252
KI	23,57618	0,525744	102,4331	0,54592	4,71589
NaCl	43,12045	0,530723	18,66541	0,557525	0,478838
CsBr	34,35405	0,529268	132,2371	0,548503	4,078244
CsI	24,21478	0,524445	236,2298	0,543305	10,49185
AgCl	21,35306	0,517409	53,85294	0,55356	2,775159
ZnS	15,8374	0,510269	22,78682	0,570024	1,664009

3. Thiết kế hệ thống quang học làm việc ở hai vùng phổ

Từ hai vật liệu được lựa chọn là ZnS và KBr, tiến hành thiết kế hệ thống quang học cho camera hoạt động ở hai vùng phổ được đặt trên các thiết bị bay không người lái. Quá trình thiết kế một hệ thống quang học gồm các bước: 1) Xác định các thông số bậc nhất cơ bản của hệ quang; 2) Lựa chọn vật liệu; 3) Xác định hệ quang xuất phát; 4) Tối ưu hóa hệ quang xuất phát để nhận được hệ quang đảm bảo chất lượng tạo ảnh theo yêu cầu [12].

Các thông số bậc nhất của hệ thống quang học như tiêu cự, thị giới và số F/# đối với cả hai vùng phổ được xác định trên cơ sở đảm bảo cự ly phát hiện đối với mục tiêu xe quân sự ($2,3 \text{ m} \times 2,3 \text{ m}$) trong vùng hồng ngoại bước sóng dài là 1800 m và cự ly phát hiện mục tiêu người ($1,8 \text{ m} \times 0,5 \text{ m}$) trong vùng nhìn thấy là 2200 m. Giá trị của chúng được thể hiện trong bảng 3.

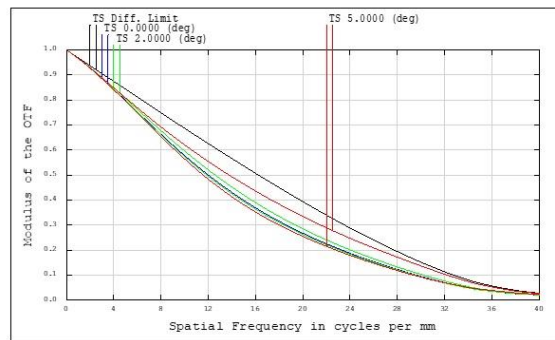
Bảng 3. Một số thông số bậc nhất của hệ thống quang học

Thông số	Vùng phổ nhìn thấy	Vùng hồng ngoại bước sóng dài
Tiêu cự	50 mm	50 mm
Số F/#	2,5	2,5
Thị giới	10°	10°

Để đảm bảo tiêu cự đỉnh sau đủ lớn để có thể đặt tấm chia chùm dichroic thì dạng vật kính được lựa chọn là vật kính triplet, gồm 3 thấu kính được làm từ ZnS và KBr. Các thông số kết cấu của hệ quang xuất phát được tính toán hoặc lựa chọn từ các hệ quang có sẵn để đảm bảo các thông số bậc nhất của nó [12].

Hệ thống quang học xuất phát được tối ưu trong điều kiện đa cấu hình ứng với hai vùng phổ làm việc của nó bằng cách sử dụng phần mềm Zemax [13]. Nguyên lý tối ưu hệ quang là từ hệ quang ban đầu, thiết lập hàm mục tiêu. Hàm mục tiêu sẽ có mối liên hệ với tiêu chí đánh giá chất lượng tạo ảnh của hệ quang. Sau đó lựa chọn và cho phép các thông số kết cấu của nó thay đổi để hàm mục tiêu đạt giá trị nhỏ nhất có thể. Chất lượng tạo ảnh của hệ thống quang học sau tối ưu sẽ được đánh giá qua giá trị hàm MTF của nó [12].

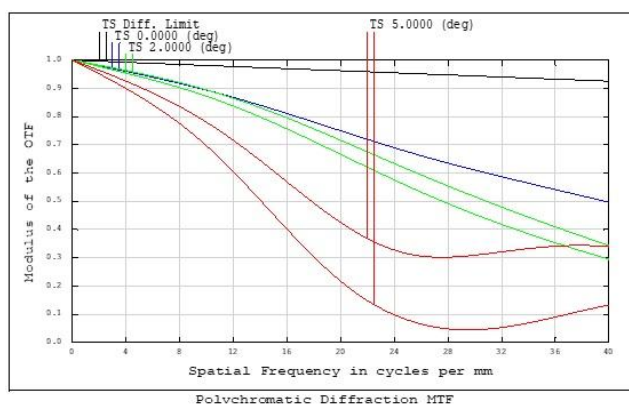
Nhận thấy rằng, nếu chỉ sử dụng các bề mặt cầu thì hệ quang sau khi tối ưu có chất lượng tạo ảnh khá thấp do các bề mặt cầu không đủ khả năng để hiệu chỉnh các loại quang sai đơn sắc và sắc sai bậc hai còn dư. Điều này được thể hiện qua giá trị hàm MTF của nó. Do đó, cần sử dụng các bề mặt phi cầu để giảm quang sai, nâng cao chất lượng tạo ảnh của hệ quang.



Hình 1. Hàm MTF của hệ quang trong vùng LWIR khi sử dụng một bề mặt phi cầu.

Lần lượt thay thế từng bề mặt cầu trong hệ quang bằng bề mặt phi cầu bậc 2 và tối ưu các thông số của chúng, nhận thấy rằng, chất lượng hệ quang thay đổi một cách đáng kể nhất khi bề mặt đầu tiên của hệ quang có dạng phi cầu. Khi đó, trong vùng phổ hồng ngoại bước sóng dài, chất lượng tạo ảnh của hệ quang đã cơ bản đạt yêu cầu. Tại tần số không gian 20 cặp vạch/mm (tương ứng với tần số Nyquist khi pixel của đầu thu trong

vùng phổ này có kích thước là 25 μm), hàm MTF của nó có giá trị lớn hơn 0,25 (Hình 1). Tuy nhiên, trong vùng nhìn thấy, chất lượng của hệ quang vẫn cần phải cải thiện thêm, đặc biệt đối với các điểm mép thị giới vì hàm MTF của nó giảm rất nhanh, đạt giá trị 0,2 tại tần số không gian chỉ là 20 cặp vạch/mm (Hình 2). Trong khi đó, tại vùng phổ nhìn thấy, với các đầu thu CCD hoặc CMOS có kích thước pixel là 6,9 μm (ví dụ như IMX287) thì tần số Nyquist phải là 72 cặp vạch/mm.



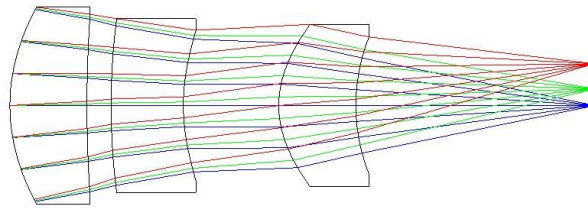
Hình 2. Hàm MTF của hệ quang trong vùng VIS khi sử dụng một bề mặt phi cầu.

Tiếp tục sử dụng dạng bề mặt phi cầu bậc 2 cho các bề mặt còn lại của hệ quang, nhận thấy rằng, giá trị hàm MTF của hệ quang không tăng lên đáng kể, như vậy chất lượng tạo ảnh của hệ quang không được cải thiện quá nhiều. Do đó, để nâng cao hơn nữa chất lượng tạo ảnh của hệ thống quang học, đặc biệt là trong vùng nhìn thấy, bề mặt đầu tiên của hệ quang được phát triển thành bề mặt nhiễu xạ.

Bề mặt nhiễu xạ có cấu trúc giống như các cách tử, nó sẽ làm thay đổi pha của bức xạ khi đi qua nó, từ đó thay đổi hướng truyền của chùm tia. Trong phần mềm Zemax thì sự thay đổi pha theo bán kính của bề mặt đó được biểu diễn theo phương trình có dạng đa thức sau đây [13]:

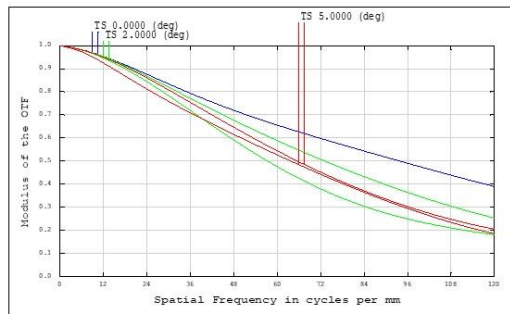
$$\Phi(\rho) = M \sum_{i=1}^N A_i \rho^{2i} \quad (10)$$

trong đó: M - bậc nhiễu xạ; N - hệ số của đa thức; A_i - hệ số tương ứng của biểu thức bậc $2i$ của ρ ; ρ - bán kính chuẩn hóa của bề mặt đó. Khi N càng lớn thì cấu trúc bề mặt càng phức tạp. Để đơn giản, với bề mặt được thiết kế chọn $M = 1$ và $N = 4$. Sau khi tối ưu, các hệ số A_i nhận được có giá trị như sau: $A_1 = -4,363$; $A_2 = 9,321$; $A_3 = -14,594$; $A_4 = 6,419$. Hệ quang sau khi tối ưu được biểu diễn trên hình 3. Hình 4 và hình 5 là đồ thị hàm MTF và giản đồ vết của nó trong hai vùng phổ làm việc.

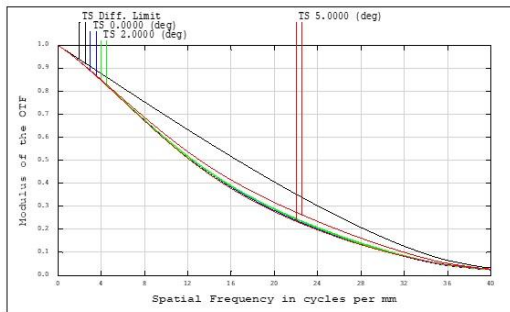


Hình 3. Hệ thống quang học sau tối ưu.

So sánh các đồ thị hàm MTF trên hình 1, hình 2 với các đồ thị trên hình 4 và hình 5 nhận thấy rằng, sau khi sử dụng cấu trúc nhiễu xạ tại bề mặt thứ nhất của hệ quang, chất lượng tạo ảnh của hệ quang được cải thiện rất nhiều, đặc biệt là trong vùng phổ nhìn thấy. Trong vùng phổ này, với giá trị hàm MTF tại tần số 72 cặp vạch/mm là 0,38, do vậy hệ quang được thiết kế có thể làm việc với các đầu thu phổ biến có kích thước pixel là 6,9 μm (Hình 4). Tương tự như vậy, trong vùng phổ hồng ngoại bước sóng dài, chất lượng tạo ảnh của hệ quang cũng được nâng lên bởi giá trị hàm MTF tại tần số 20 cặp vạch/mm đạt 0,28 (lớn hơn 0,25 so với chỉ sử dụng bề mặt phi cầu), hệ quang được thiết kế sẽ có chất lượng tạo ảnh tốt khi làm việc với các đầu thu phổ biến có kích thước pixel là 25 μm (Hình 5). Ngoài ra, với tiêu cự đỉnh sau có giá trị là 19,55 mm, điều này cho phép đặt sau thấu kính cuối cùng của hệ quang tám chia chùm để phân tách chùm tia tới từng đầu thu riêng biệt trong các vùng phổ hoạt động của nó.



Hình 4. Hàm MTF của hệ quang trong vùng nhìn thấy sau tối ưu.



Hình 5. Hàm MTF của hệ quang trong vùng LWIR sau tối ưu.

Như vậy, với các đầu thu bức xạ phổ biến trong cả hai vùng phổ nhìn thấy và hồng ngoại bước sóng dài thì hệ quang sau tối ưu có giá trị hàm MTF tại tần số Nyquist ứng với mỗi đầu thu đều không nhỏ hơn 0,28 ở tất cả các điểm trong thị giới. Điều này đảm bảo chất lượng tạo ảnh của hệ quang trong cả hai vùng phổ làm việc của mình là khá tốt. Bên cạnh đó, với kết cấu đơn giản, chỉ bao gồm 3 thấu kính, trong đó có sử dụng một bề mặt phi cầu/nhiều xạ, và nhỏ gọn (kích thước không lớn hơn 25 mm × 60 mm), hệ quang này có thể được sử dụng trong vật kính của camera quan sát đặt trên các thiết bị bay không người lái.

4. Kết luận

Trên cơ sở cặp vật liệu được lựa chọn là ZnS và KBr, đã thiết kế được hệ thống quang học làm việc trong cả hai vùng phổ nhìn thấy và hồng ngoại bước sóng dài với chất lượng tạo ảnh khá tốt, phù hợp với các đầu thu bức xạ thông thường trong các vùng phổ đã cho. Hàm MTF của hệ quang trong cả hai vùng phổ đều lớn hơn 0,28 tại tần số Nyquist tương ứng với các đầu thu phổ biến trong các vùng phổ làm việc tương ứng của nó. Bên cạnh đó, hệ quang có kích thước nhỏ gọn và kết cấu đơn giản, chỉ gồm có 3 thấu kính, trong đó bề mặt đầu tiên có dạng phi cầu bậc 2 và nhiều xạ. Hệ quang được thiết kế có thể được sử dụng trong vật kính của camera quan sát đặt trên các thiết bị bay không người lái. Để nâng cao hơn nữa chất lượng tạo ảnh của hệ quang, cần tăng thêm số lượng thấu kính hoặc tăng thêm số bề mặt có kết cấu phi cầu/nhiều xạ.

Tài liệu tham khảo

- [1] Longbotham N., Pacifici F., Malitz S., Baugh W., Camps-Valls G., “Measuring the spatial and spectral performance of WorldView-3,” in *Proceedings of the Hyperspectral Imaging and Sounding of the Environment*, Lake Arrowhead, CA, USA, 1-4 March 2015, DOI: 10.1364/HISE.2015.HW3B.2
- [2] Xian, G.; Shi, H.; Dewitz, J.; Wu, Z., “Performances of WorldView 3, Sentinel 2, and Landsat 8 data in mapping impervious surface,” *Remote Sens., Appl. Soc. Environ.*, 2019, 15, 100246. DOI: 10.1016/j.rsase.2019.100246
- [3] Evan Zhang, Jame S Zhang, Vivian W Song, “Pixel by pixel VIS/NIR and LWIR sensor fusion system,” *SPIE*, Vol. 4820, 2003, DOI: 10.1117/12.450540
- [4] Jia Bing, Zhao Yuchen, Yuan Xie, “Design of dual band common aperture continuous zoom optical system,” *Journal of Physics: Conference Series*, Vol. 1601, 2020, DOI: 10.1088/1742-6596/1601/6/062028
- [5] Reginald P. Jonas and D. Paul Jones., “Dual Waveband Optics for the Visible and Mid Waveband Infrared,” *SPIE*, Vol. 3061, 2016, DOI: 10.1117/12.280358

- [6] Yang Chen, Ming Gao and Xiao Song, “Method to design the common aperture multi-band optical system based on the PSO algorithm,” *Optics Express*, Vol. 29, No. 12, 7 June 2021, DOI: 10.1364/OE.424903
- [7] Zhanpeng Ma, Hu Wang, Yang Shen, Fang Wang, Yaoke Xue, “Design of visible light/LWIR dual-band common aperture imaging optical system,” *Proc. SPIE 11341, AOPC 2019: Space Optics, Telescopes, and Instrumentation*, 113410I (18 December 2019), DOI: 10.1117/12.2541742
- [8] Ruichang Li, Gangyi Zou, Liangjie Feng and Xuewu Fan, “Design of a Dual-Band Compact Integrated Remote Sensing System for Visible Light and Long-Wave Infrared,” *Appl. Sci.* 2021, 11, 9370, DOI: 10.3390/app11209370
- [9] R.I. Mercado, “The design of apochromatic optical systems,” *SPIE*, Vol. 554, 1985, DOI: 10.1117/12.949232
- [10] Marvin J. Weber, *Handbook of Optical Materials*, CRC Press, 2002.
- [11] M. Herzberger and C.D. Salzberg, “Refractive indices of infrared optical material and color correction of infrared lenses,” *J. Opt. Soc. Am.*, 52, 420, 1962, DOI: 10.1364/JOSA.52.000420
- [12] Malacara D., Malacara Z., *Handbook of Optical Design*, Marcel Dekker, 2004.
- [13] Optical Design Program User’s Manual, 19/8/2014, Zemax.

DESIGN OF AN OPTICAL SYSTEM OPERATING IN BOTH VISIBLE AND LONG-WAVE INFRARED SPECTRAL BANDS

Abstract: *This article demonstrates how to select an appropriate combination of materials based on the requirement of simultaneously chromatic aberration reduction in two spectral bands: visible and long-wave infrared. Then proceed to design the optical system for the objective of the camera operating in both of the above mentioned spectral regions by using an aspherical/diffractive surface to improve the imaging performance of optical system. The designed optical system has a simple structure, consisting of only 3 elements, and high image quality, modulation transfer function (MTF) at Nyquist frequency is higher than 0.28. It is suitable for imaging system in unmanned aerial vehicle.*

Keywords: Multiband opto-electronic system; optical system; diffractive surface.

Nhận bài: 19/10/2022; Hoàn thiện sau phản biện: 20/12/2022; Chấp nhận đăng: 22/03/2023

