



Journal of Mining and Earth Sciences

Website: <http://jmes.humg.edu.vn>



Estimation of Modulation Transfer Function (MTF) of VNREDSat-1 satellite for image quality assessment by using the permanent test site



Ngoc Minh Nguyen^{1,2,*}, Anh Van Tran², Tuan Van Nghiem³, Huy Xuan Chu¹, Thao Phuong Thi Do²

¹ Vietnam Academy of Science and Technology, Hanoi, Vietnam

² Hanoi University of Mining and Geology, Hanoi, Vietnam

³ Department of National Remote Sensing, Hanoi, Vietnam

ARTICLE INFO

Article history:

Received 18th Sept. 2020

Revised 09th Jan. 2021

Accepted 02nd Feb. 2021

Keywords:

Image quality,
MTF,
Test site,
VNREDSat-1.

ABSTRACT

MTF is a factor in evaluating image quality with respect to the contrast and sharpness of the payload, thus directly related to spatial resolution. Therefore, ensuring image quality is an important task, especially for small satellites with high spatial resolution. This study uses the slanted-edge method for the artificial permanent test site and VNREDSat-1 image data with spatial resolution of panchromatic band as 2.5 m to make an MTF value estimate. The MTF value during 5 years of operation averages about 0.2 compared to the threshold as 0.08 (for the test site at Salon de Provence, France, the MTF value ranged from 0.16÷0.27 in across-track direction and 0.16÷0.25 in along-track direction; and at the Buon Ma Thuot test site, these values were 0.16÷0.23 and 0.20÷0.24, the reflectivity of these two test sites are similar), proving that image quality is guaranteed throughout the design life of the satellite; moreover, they are also the basis for Vietnam to finalize regulations on validation and calibration of optical satellite systems in the future when we have own test site.

Copyright © 2021 Hanoi University of Mining and Geology. All rights reserved.

*Corresponding author

E - mail: nmngoc@sti.vast.vn

DOI: 10.46326/JMES.2021.62(1).03



Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất

Trang điện tử: <http://tapchi.hung.edu.vn>



Xác định giá trị hàm truyền điều biến (MTF) phục vụ đánh giá chất lượng ảnh vệ tinh VNREDSat-1, sử dụng bãi thử cố định

Nguyễn Minh Ngọc^{1,2,*}, Trần Văn Anh², Nghiêm Văn Tuấn³, Chu Xuân Huy¹, Đỗ Thị Phương Thảo²

¹ Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam, Hà Nội, Việt Nam

² Trường đại học Mỏ - Địa chất, Hà Nội, Việt Nam

³ Cục Viễn thám quốc gia, Hà Nội, Việt Nam

THÔNG TIN BÀI BÁO

Quá trình:

Nhận bài 18/9/2020

Sửa xong 09/01/2021

Chấp nhận đăng 02/02/2021

Từ khóa:

Bãi thử,

Chất lượng ảnh,

MTF,

VNREDSat-1.

TÓM TẮT

MTF là yếu tố để đánh giá chất lượng ảnh liên quan đến độ tương phản và sắc nét của thiết bị chụp ảnh, do đó liên quan trực tiếp đến độ phân giải không gian. Do vậy, việc đảm bảo chất lượng ảnh là một công tác quan trọng, đặc biệt là đối với các vệ tinh nhỏ có độ phân giải không gian cao. Nghiên cứu này sử dụng phương pháp cạnh nghiêng đối với bãi thử nhân tạo cố định và dữ liệu ảnh VNREDSat-1 có độ phân giải không gian kênh toàn sắc là 2,5 m để thực hiện ước tính giá trị MTF. Giá trị MTF trong suốt 5 năm hoạt động trung bình khoảng 0,2 so với giá trị giới hạn là 0,08 (đối với bãi thử tại Salon de Provence, Pháp, giá trị MTF dao động từ 0,16÷0,27 theo hướng vuông góc với hướng bay của vệ tinh và 0,16÷0,25 theo dọc hướng bay; và tại bãi thử Buôn Ma Thuột lần lượt là 0,16÷0,23 và 0,20÷0,24; độ phân xạ của hai bãi thử này là tương đương nhau) đã chứng minh rằng chất lượng ảnh được đảm bảo trong suốt tuổi thọ thiết kế của vệ tinh; hơn thế nữa, chúng còn là cơ sở để Việt Nam hoàn thiện các quy định về kiểm định và hiệu chỉnh hệ thống vệ tinh quang học trong tương lai khi đã có riêng một bãi thử.

© 2021 Trường Đại học Mỏ - Địa chất. Tất cả các quyền được bảo đảm.

1. Mở đầu

Chất lượng ảnh là một trong những yếu tố quan trọng đánh giá hiệu năng hoạt động của một hệ thống vệ tinh viễn thám quang học. Các thông số mà người dùng thường gặp là độ phân giải không gian, độ phân giải thời gian, độ phân giải

phổ, độ phân giải bức xạ. Tuy nhiên các thông số này chưa thể hiện được tính trạng hoạt động thật sự của thiết bị chụp ảnh trên vệ tinh.

Đối với các vệ tinh nhỏ như VNREDSat-1, do giới hạn về kích thước cũng như trọng lượng của vệ tinh nên hệ thống quang học được thiết kế với hệ gương phức tạp hơn, làm cho cấu trúc vật lý của thiết bị chịu ảnh hưởng khá nhiều trong quá trình phóng cũng như khi hoạt động trên quỹ đạo. Điều này dẫn đến việc, chất lượng ảnh bị ảnh hưởng theo thời gian hoạt động của vệ tinh.

*Tác giả liên hệ

E - mail: nmngoc@sti.vast.vn

DOI: 10.46326/JMES.2021.62(1).03

Vệ tinh VNREDSat-1 của Việt Nam đã được phóng lên quỹ đạo từ năm 2013 và tuổi thọ thiết kế là 5 năm. Tuy nhiên, theo các đánh giá kỹ thuật cũng như thực tế vận hành thì vệ tinh vẫn đang hoạt động tốt. Để chứng minh điều này, cần xét đến chất lượng ảnh đây là yếu tố quyết định của mỗi vệ tinh viễn thám.

Vệ tinh VNREDSat-1 được thiết kế dựa trên dòng vệ tinh AstroSat100 của Astrium, với thiết bị chụp ảnh quang học NAOMI-125, là thiết bị chụp ảnh đa phổ độ phân giải cao, lần lượt là 2,5 m cho kênh toàn sắc (PAN) và 10 m cho kênh đa phổ (MS). Trong thiết bị chụp ảnh NAOMI-125, hệ thống ống kính quang học là một trong những thành phần quan trọng nhất, được chế tạo dựa trên thiết kế Korsch Three-mirror Anastigmat để đảm bảo độ gọn nhẹ và cung cấp chất lượng quang học tốt với ba gương phi cầu (<https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/v-w-x-y-z/vnreds-1>).

Trong quá trình phóng và chuyển trạng thái hoạt động từ khí quyển ra không gian, cũng như trong quá trình hoạt động trên quỹ đạo có thể làm cho các cấu trúc quang học thay đổi, làm ảnh bị mờ đi, không còn sắc nét và tương phản tốt như ban đầu.

Hàm truyền điều biến (Modulation Transfer Function_MTF) là mức độ hồi đáp của hệ thống quang học theo đường hình sin với các tần số không gian khác nhau, hay cũng được định nghĩa là biến đổi Fourier của hàm lan truyền điểm (Point Spread Function_PSF)(Glen D. Boreman, 2001). MTF là thông số quan trọng và thường được sử dụng trong đánh giá chất lượng ảnh và thông qua đó đánh giá tình trạng hoạt động của thiết bị chụp ảnh trên vệ tinh.

2. Dữ liệu và phương pháp

2.1. Dữ liệu

Dữ liệu được sử dụng trong nghiên cứu này là ảnh toàn sắc của vệ tinh VNREDSat-1, có độ phân giải không gian là 2,5 m và được chụp với góc nghiêng nhỏ ($<15^\circ$). Để đảm bảo sự thống nhất cũng như khách quan về bãi thử, tất cả các ảnh này đều chụp bãi thử Salon De Provence, Cộng hòa Pháp, đây là bãi thử được sử dụng để kiểm nghiệm thiết bị chụp ảnh trong giai đoạn vệ tinh VNREDSat-1 mới phóng lên quỹ đạo (IOT) và bãi thử của Việt Nam tại thành phố Buôn Ma Thuột,

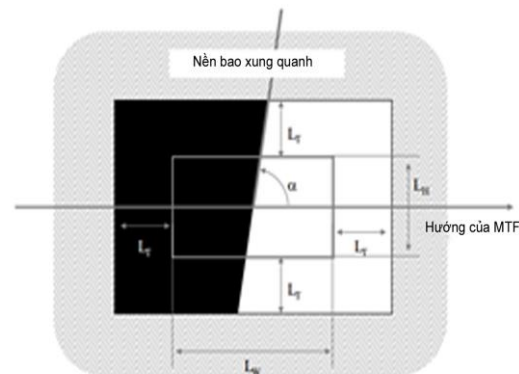
tỉnh Đắk Lắk. Trong đó, bãi thử Salon de Provence được dùng để đánh giá chất lượng ảnh trong thời gian từ khi mới phóng lên cho đến hiện tại; bãi thử Buôn Ma Thuột dùng để so sánh kết quả và kiểm tra chéo kết quả tính toán, đồng thời chứng minh tính khả thi và chất lượng của bãi thử khi đưa vào sử dụng. Các dữ liệu thu thập và sử dụng được thể hiện trong Bảng 1 dưới đây.

Bảng 1. Dữ liệu sử dụng.

TT	Thời gian chụp	
	Salon de Provence	Buôn Ma Thuột
1	10/7/2015	14/11/2017
2	25/4/2016	02/11/2018
3	7/8/2017	
4	20/4/2018	
5	25/7/2019	

2.2. Phương pháp

Phương pháp được sử dụng là phương pháp cạnh hay còn được gọi là phương pháp sống dao, phương pháp cạnh nghiêng. Đây là phương pháp được sử dụng rộng rãi để ước tính MTF và bãi thử của phương pháp này có các cạnh nghiêng được thiết kế có dạng như trong Hình 1 (Leger và nnk., 2004; Philippe Blanc và Lucien Wald, 2009; Francoise Viallefont-Robinet, Dominique Léger, 2010).



Hình 1. Sơ đồ bãi thử cạnh.

Trong đó: L_H - chiều cao của mẫu để tính toán MTF, L_W - chiều rộng của mẫu, L_T - là khoảng cách chuyển tiếp đảm bảo mẫu không bị ảnh hưởng từ bên ngoài; α là góc giữa hướng của MTF và cạnh nghiêng.

Nguyên lý của phương pháp sử dụng bãi thử cạnh nghiêng để đánh giá chất lượng ảnh thông qua giá trị MTF (Francoise Viallefont - Robinet,

Dominique Léger, 2010) được mô tả như sau:

Cảm biến là hệ thống tuyến tính với bức xạ thì mối quan hệ giữa bề mặt và ảnh được thể hiện một cách đơn giản như sau:

$$i(x, y) = l(x, y) \otimes h(x, y) \quad (1)$$

Trong đó: $i(x, y)$ - giá trị trên ảnh; $l(x, y)$ - giá trị tại bề mặt; $h(x, y)$ - hàm lan truyền điểm của cảm biến; \otimes - tích chập

Sử dụng biến đổi Fourier để giải tích chập, khi đó công thức (1) sẽ trở thành:

$$I(f_x, f_y) = L(f_x, f_y) \cdot H(f_x, f_y) \quad (2)$$

Trong đó: $I(f_x, f_y)$ - biến đổi Fourier của ảnh; $L(f_x, f_y)$ - biến đổi Fourier của bề mặt; $H(f_x, f_y)$ - hàm truyền của cảm biến.

Hoạt động của cảm biến được coi như một bộ lọc thông tần thấp không dịch pha, khi đó hàm truyền thường được giảm xuống thành hàm truyền điều biến được định nghĩa như là mô đun của hàm truyền.

Đối với mỗi $l(x, y)$ đã biết, $L(f_x, f_y)$ khác 0 thì công thức (2) sẽ được viết thành:

$$\frac{I(f_x, f_y)}{L(f_x, f_y)} = H(f_x, f_y) \quad (3)$$

Trong trường hợp phương pháp cạnh, việc chuyển trạng thái từ trắng sang đen hoặc từ đen sang trắng làm cho $l(x, y)$ gần với hàm bước Heaviside theo một chiều nào đó là $hea(x)$ hoặc $hea(y)$, tức là:

$$l(x, y) = a \cdot hea(x) + b \quad (4)$$

Đồng thời hàm Heaviside cũng có thể được định nghĩa là tích phân của hàm delta Dirac δ , nên trong miền Fourier, công thức (4) sẽ trở thành:

$$(f_x, f_y) = a \cdot Hea(f_x) + b\delta(f_x) \quad (5)$$

Trong thực tế khi chụp ảnh, nhiễu là điều không thể tránh khỏi nên công thức (1) sẽ là:

$$i(x, y) = l(x, y) \otimes h(x, y) + n(x, y) \quad (6)$$

Với $n(x, y)$ là giá trị nhiễu của ảnh.

Sử dụng biến đổi Fourier để giải chập thì, công thức (6) sẽ là:

$$I(f_x, f_y) = L(f_x, f_y) \cdot H(f_x, f_y) + N(f_x, f_y) \quad (7)$$

Trong đó: $N(f_x, f_y)$ - biến đổi Fourier của nhiễu.

Dẫn đến công thức (3) chuyển thành:

$$\frac{I(f_x, f_y)}{L(f_x, f_y)} = H(f_x, f_y) + \frac{N(f_x, f_y)}{L(f_x, f_y)} \quad (8)$$

Trong hầu hết các trường hợp, kể cả trường hợp cạnh, $L(f_x, f_y)$ là hàm giảm của tần số, do đó, nhiễu sẽ tăng cùng với tần số. Do vậy, cần phải tính đến việc lấy mẫu và sử dụng các cửa sổ. Khi nhiễu được loại bỏ thì công thức (1) hoàn thành sẽ là:

$$i(x, y) = [l(x, y) \otimes h(x, y)] \cdot w(x, y) \cdot comb(x, y) \quad (9)$$

Trong đó: $w(x, y)$ - cửa sổ tương ứng với khoảng hữu hạn và $comb(x, y)$ - răng lược Dirac tương ứng với việc lấy mẫu.

Trong miền Fourier, công thức (9) sẽ thành:

$$I(f_x, f_y) = L(f_x, f_y) \cdot H(f_x, f_y) \otimes W(f_x, f_y) \otimes comb(f_x, f_y) \quad (10)$$

Trong đó: $W(f_x, f_y)$ - biến đổi Fourier của cửa sổ lấy mẫu.

Với việc các cửa sổ được lựa chọn sao cho $L(f_x, f_y) \otimes W(f_x, f_y) \neq 0$ đối với tất cả các tần số và không xa $L(f_x, f_y)$, kết hợp công thức (5) thì công thức (10) có thể viết thành:

$$H(f_x) \approx \frac{I(f_x)}{a \cdot Hea(f_x) + b \cdot \delta(f_x)} \otimes W(f_x) \quad (11)$$

Tương tự như vậy đối với f_y .

Việc sử dụng cạnh nghiêng theo hướng của hàng hay cột dẫn đến việc xen kẽ các hàng hay cột liên tiếp để có được các mẫu tương ứng với hàm Heaviside và sau đó có thể tính toán giá trị MTF một chiều theo công thức (11).

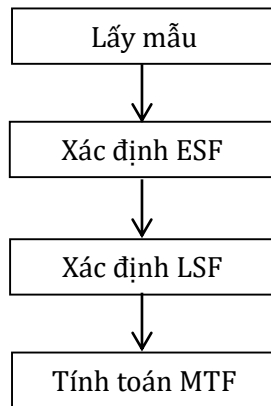
Quy trình tính toán MTF có thể được mô tả như trong Hình 2.

Lấy mẫu: căn cứ vào góc hướng α (Hình 1) để chọn kích thước mẫu cần thiết theo công thức $N=1/(\tan\alpha)$ với N là số lượng pixel trong vùng mẫu.

Xác định hàm lan truyền cạnh (Edge Spread Function, ESF): bao gồm hai bước là xác định cạnh và tính toán ESF dựa trên tính toán khoảng cách từ các điểm ảnh trong vùng mẫu đến cạnh đã xác định.

Xác định hàm lan truyền đường (Line Spread Function, LSF): được thực hiện bằng cách lấy vi phân của ESF thu được từ bước trên.

Tính toán MTF: Sử dụng phép biến đổi Fourier để thu được giá trị MTF.



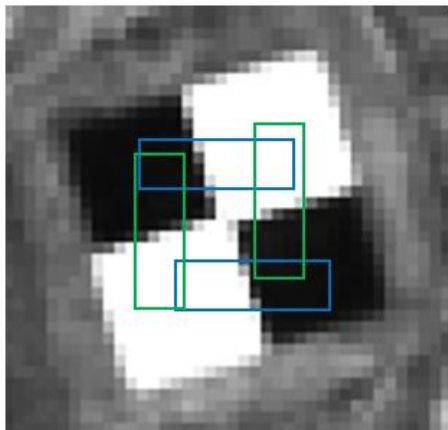
Hình 2. Quy trình tính toán MTF.

3. Kết quả và thảo luận

Trong mỗi cảnh ảnh chụp bãi thử SalondeProven cũng như bãi thử Buôn Ma Thuật, có góc hướng $\alpha \approx 15^\circ$ và thực hiện lấy mẫu khoảng $4 \div 5$ hàng hay cột theo hướng của MTF, vị trí lấy mẫu sẽ có khoảng $25 \div 30$ pixel, sao cho vùng mẫu chịu ảnh hưởng ít nhất từ các đối tượng xung quanh bãi thử. Bên cạnh đó, các vùng mẫu cũng sẽ được lấy từ các phần chuyển từ trắng sang đen và từ đen sang trắng (Hình 3); và được lấy theo hai hướng là dọc theo hướng bay và vuông góc với hướng bay của vệ tinh.

3.1. Kết quả tính toán dọc theo hướng bay

Đối với ảnh chụp bãi thử của mỗi thời điểm, nhóm nghiên cứu đã tiến hành lấy mẫu theo cả hai chiều chuyển trạng thái của bãi thử là từ đen sang trắng và từ trắng sang đen. Các kết quả thu được là bộ kết quả ước tính MTF theo hướng dọc hướng bay của vệ tinh với cả hai hướng chuyển từ trắng sang đen và đen sang trắng như trong Bảng 2.



Hình 3. Lấy mẫu để tính toán MTF.

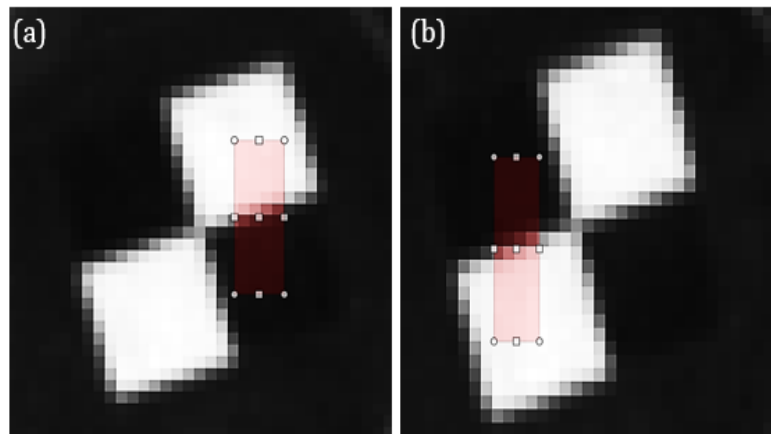
Bảng 2. Giá trị MTF dọc theo hướng bay.

Thời điểm	MTF		
	Đen sang trắng	Trắng sang đen	Trung bình
10/7/2015	0,22	0,24	0,23
25/4/2016	0,23	0,16	0,19
7/8/2017	0,20	0,24	0,22
20/4/2018	0,25	0,21	0,23
25/7/2019	0,20	0,21	0,21

Giá trị MTF thấp nhất dọc theo hướng bay là 0,16, khi có sự chuyển đổi từ trắng sang đen vào năm 2016, đây là do ô mẫu màu đen chưa thật sự tối để đảm bảo tương phản cao với ô trắng (Hình 4a) và giá trị cao nhất là 0,25 khi chuyển từ đen sang trắng tại thời điểm 2018 (Hình 4b).

3.2. Kết quả tính toán theo hướng vuông góc với hướng bay

Tương tự như đối với hướng dọc theo hướng bay, các kết quả tính toán theo hướng vuông góc hướng bay sẽ được thể hiện như trong Bảng 3. Các giá trị MTF thu được theo hướng vuông góc với hướng bay khá đồng đều và không có biến thiên lớn, tuy nhiên giá trị thấp nhất vẫn rơi vào thời điểm năm 2016, tương tự như khi tính toán dọc theo hướng bay. Điều này được lý giải là vào thời điểm 2016, bãi thử không có được độ tương phản tốt giữa các ô đen và trắng, vì điều kiện khí tượng tại thời điểm chụp ảnh hưởng đến độ phản xạ



Hình 4. Bãi thử Salon de Provence thời điểm 2016 (a) và 2018 (b).

Bảng 3. Giá trị MTF theo hướng vuông góc với hướng bay.

Thời điểm	MTF		
	Đen sang trắng	Trắng sang đen	Trung bình
10/7/2015	0,19	0,22	0,21
25/4/2016	0,16	0,20	0,18
7/8/2017	0,22	0,19	0,21
20/4/2018	0,27	0,19	0,23
25/7/2019	0,19	0,21	0,20

của bãi thử (Nghiem Van Tuan, 2017) và công tác hiệu chỉnh khí quyển cho thời điểm này chưa loại bỏ được ảnh hưởng của sol khí nên kết quả thu được sau hiệu chỉnh chưa như mong muốn.

Trong Hình 5 có thể thấy, trong suốt quá trình vận hành theo tuổi thọ thiết kế (5 năm, từ 2013÷2018) cũng như khi vệ tinh tiếp tục hoạt động, giá trị MTF khá ổn định (khoảng 0,2), luôn ở trên mức yêu cầu đặt ra ($>0,08$) (Nghiem Van Tuan, 2017). Điều này có nghĩa độ tương phản và sắc nét của dữ liệu ảnh được đảm bảo hay nói cách khác là chất lượng ảnh trong suốt thời gian vừa qua của hệ thống vệ tinh VNREDSat-1 luôn tốt.

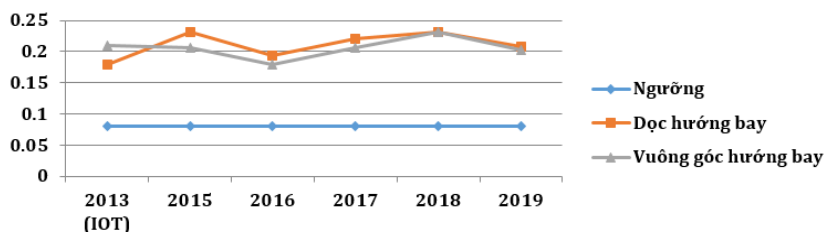
Bên cạnh đó cũng có thể thấy, việc lấy mẫu và số lượng mẫu sẽ ảnh hưởng không nhỏ đến kết quả thu được. Giá trị MTF sẽ càng cao khi cửa sổ lấy mẫu nhỏ, số lượng điểm ảnh ít và độ tương phản trắng đen giữa các ô sẽ cao. Xét trong Bảng 3 cùng theo hướng vuông góc với hướng bay, cùng chuyển vùng từ đen sang trắng nhưng tại thời điểm 2015 giá trị MTF là 0,19 với 30 điểm ảnh trong vùng mẫu, nhưng thời điểm 2018 chỉ có 25 điểm ảnh trong vùng mẫu thì giá trị của MTF là

0,27. Tại cùng thời điểm 2018, hướng vuông góc với hướng bay, khi chuyển từ vùng trắng sang đen, nhóm cũng chỉ thực hiện lấy 25 điểm ảnh trong vùng mẫu và giá trị MTF tính được là 0,19, chênh lệch khá nhiều so với giá trị MTF là 0,27 với 30 điểm ảnh trong vùng mẫu, khi chuyển vùng từ đen sang trắng.

Điểm hạn chế của việc sử dụng bãi thử Salon de Provence đã được thể hiện ra trong kết quả ước tính MTF ở trên, đó là việc không có được thông tin cụ thể về phản xạ bề mặt của bãi thử trước khi chụp ảnh để đánh giá chất lượng ảnh. Vì vậy, cuối năm 2017 Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam đã hoàn thiện và đưa vào sử dụng bãi thử tại thành phố Buôn Ma Thuột, tỉnh Đắk Lắk.

Nhóm nghiên cứu đã tiến hành thu thập dữ liệu ảnh tại hai thời điểm cuối năm 2017 và 2018 để tiến hành so sánh với các kết quả của bãi thử tại Salon de Provence và thời điểm chụp ảnh là sau khi đã tiến hành đo đạc, kiểm tra, đánh giá phản xạ tại bề mặt bãi thử, độ phản xạ được đảm bảo theo thiết kế, cụ thể như sau: phần trăm phản xạ tại các ô màu đen tại các năm 2017, 2018 lần lượt là 0,06 và 0,065 so với thiết kế là 0,05; và các ô màu trắng là 0,57 và 0,56 so với thiết kế là 0,6 (Nghiem Van Tuan, 2017). Các kết quả tính toán MTF tại đây được so sánh với bãi thử Salon de Provence, trong cùng năm (Bảng 4).

Sự chênh lệch lớn giữa hai bãi thử, nhất là theo hướng vuông góc với hướng bay được lý giải là do ảnh hưởng của chất lượng phản xạ bề mặt của bãi thử, đồng thời là ảnh hưởng của phong nền của bãi thử là khác nhau: tại Buôn Ma Thuột phong nền được sơn màu sáng và tiến dần đến giá trị của ô trắng theo thời gian do ảnh hưởng của thời tiết;



Hình 5. So sánh kết quả MTF thực tế và ngưỡng cho phép.

Bảng 4. So sánh giá trị MTF sử dụng bãi thử Salon de Provence và Buôn Ma Thuột.

Thời điểm	Dọc theo hướng bay		Vuông góc hướng bay	
	Salon de Provence	Buôn Ma Thuột	Salon de Provence	Buôn Ma Thuột
2017	0,22	0,24	0,21	0,18
2018	0,23	0,20	0,23	0,16

trong khi tại Salon de Provence phong nền là cỏ nên tối hơn và ít ảnh hưởng đến các ô mẫu.

Các kết quả cho thấy, giá trị MTF vẫn ở trên ngưỡng cho phép (0,08) khi sử dụng bãi thử Buôn Ma Thuột để ước tính. Mặc dù các giá trị theo hướng vuông góc với hướng bay tại bãi thử của Việt Nam có thấp hơn so với bãi thử tại Pháp nhưng kết quả trung bình của cả hai hướng khá tương đương nhau (năm 2017 đều là 0,21, năm 2018 là 0,23 so với 0,18.). Điều này chứng tỏ rằng bãi thử tại Buôn Ma Thuột hoàn toàn đáp ứng được yêu cầu phục vụ công tác kiểm tra chất lượng ảnh vệ tinh, không chỉ của Việt Nam mà còn cả các nước khác.

4. Kết luận

Giá trị trung bình của MTF trong suốt 5 năm hoạt động đều khoảng 0,2 đã chứng minh rằng chất lượng ảnh của vệ tinh VNREDSat-1 được đảm bảo cho đến thời điểm tính toán. Việc xác định của số lấy mẫu cần phải sử dụng tối đa số lượng điểm ảnh có thể, nhằm thể hiện toàn bộ tình trạng hoạt động của thiết bị chụp ảnh thông qua MTF; đồng thời, các điểm ảnh nên có giá trị đồng nhất nhiều nhất có thể. Tuy nhiên, việc chưa thu thập được thông tin về tỉ lệ phản xạ của bãi thử trước khi chụp ảnh cũng sẽ ảnh hưởng phần nào đến tính khách quan của kết quả.

Mặc dù các giá trị tính toán có biên độ biến động khá lớn đối với cả hai bãi thử (từ 0,16 đến 0,27) nhưng giá trị thấp nhất vẫn cao hơn nhiều so với giá trị ngưỡng. Do vậy, sự biến động này không ảnh hưởng đến chất lượng ảnh. Biến động giá trị do hai nguyên chính gây ra đó là ảnh hưởng của khí quyển và bản thân bãi thử. Trong đó ảnh hưởng của khí quyển có thể được hiệu chỉnh và nâng cao độ chính xác bằng việc lựa chọn các mô hình thích hợp; bản thân bãi thử chính là độ phản xạ của bề mặt bãi thử, thông số này phụ thuộc vào công tác duy trì, bảo dưỡng của đơn vị quản lý quản lý bãi thử.

Phương pháp bãi thử cạnh được sử dụng là phương pháp được ứng dụng rộng rãi tại nhiều nơi và cho nhiều loại vệ tinh khác nhau. Mặc dù có nhiều phương pháp để ước tính MTF nhưng đối với vệ tinh có độ phân giải không gian cao thì đây vẫn là phương pháp tối ưu nhất, đặc biệt là đối với Việt Nam, khi chúng ta đã xây dựng bãi thử dạng cạnh tại thành phố Buôn Ma Thuột.

Các kết quả thu được đã góp phần hoàn thiện thêm quy trình hoạt động của một hệ thống vệ tinh quan sát Trái đất đầy đủ; đồng thời cũng là cơ sở để mở ra hướng nghiên cứu mới là mô phỏng các dữ liệu ảnh vệ tinh trong tương lai với các thông số được thiết kế theo yêu cầu của người sử dụng.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này nhận được sự hỗ trợ từ Viện Công nghệ vũ trụ, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam; Đài Viễn thám Trung ương, Cục Viễn thám quốc gia, Bộ Tài nguyên và Môi trường.

Đóng góp của các tác giả

Nguyễn Minh Ngọc - nghiên cứu phương pháp; thu thập, phân tích và xử lý dữ liệu; soạn thảo bài báo; viết bản thảo cuối cùng; Trần Văn Anh - nghiên cứu phương pháp; phân tích và xử lý dữ liệu; kiểm tra, biên tập bài báo; viết bản thảo cuối cùng; Nghiêm Văn Tuấn - nghiên cứu phương pháp, phân tích và xử lý dữ liệu; soạn thảo và kiểm tra bài báo; Chu Xuân Huy - nghiên cứu phương pháp; phân tích và xử lý dữ liệu; thu thập và quản lý dữ liệu; Đỗ Thị Phương Thảo - xử lý số liệu; soạn thảo và biên tập bài báo.

Tài liệu tham khảo

- Francoise Viallefont-Robinet, Dominique Léger, (2010). Improvement of the edge method for on-orbit MTF measurement. *Optics Express*, 18(4), 3531-3545.
- Glen D. B. (2001). Modulation Transfer Function in Optical and Electro-Optical Systems. *Published by SPIE-The International Society for Optical Engineering*. USA, 123 p
- <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/v-w-x-y-z/vnredsatsat-1>.
- Léger, D., Viallefont, F., Déliot, P., Valorge, C. (2004). On-orbit MTF assessment of satellite cameras, In Stanley A.Morain & Amelia M. Budge (Editors) ISPRS Book Series-Volume 2. *Proceedings of the International Workshop on Radiometric and Geometric Calibration*. Post-launch Calibration of Satellite Sensors, 2-5 December 2003, Gulfport, Mississippi, USA, 67-77.

Nghiêm Văn Tuấn. (2017). *Nghiên cứu phương pháp kiểm định và hiệu chỉnh chất lượng ảnh viễn thám quang học của Việt Nam*. Đề tài cấp bộ Tài nguyên và Môi trường, thuộc chương trình Khoa học và Công nghệ cấp Bộ, mã số TNMT2016.08.02.

Philippe Blanc, Lucien Wald. (2009). A review of earth-viewing methods for in-flight assesement of modulation transfer function and noise of optical spaceborne sensors. *Working paper. HAL archives-ouvertes*.