

MỞ ĐẦU

1. Tính cấp thiết

Hệ thống chụp ảnh trên vệ tinh nhỏ viễn thám được thiết kế đảm bảo kích thước vệ tinh nhỏ nhưng vẫn đáp ứng các yêu cầu sản phẩm ảnh về độ phân giải không gian, do vậy hệ thống quang học được thiết kế cũng phức tạp như hệ thống chụp ảnh trên các vệ tinh lớn. Tuy nhiên, đây cũng là một trong số những lý do khiến cho chất lượng thiết bị chụp ảnh dễ bị ảnh hưởng hơn so với các vệ tinh cỡ lớn.

Thiết bị chụp ảnh trên vệ tinh viễn thám thường được đánh giá qua ba giai đoạn: một là trong phòng thí nghiệm dưới mặt đất, hai là khi vệ tinh mới phóng lên quỹ đạo, ba là trong quá trình hoạt động. Trong giai đoạn vệ tinh mới phóng lên quỹ đạo và quá trình hoạt động, thường chỉ có các hệ thống thu ảnh trên vệ tinh lớn mới có thiết bị đặc trưng gắn trên vệ tinh để đánh giá trực tiếp. Còn các hệ thống thu ảnh quang học trên vệ tinh nhỏ thường sử dụng phương pháp gián tiếp qua dữ liệu ảnh thu được từ hệ thống để đánh giá chất lượng hiện tại của hệ thống chụp ảnh.

Sự suy giảm chất lượng thiết bị quang học sau thời gian hoạt động trên quỹ đạo dẫn đến chất lượng ảnh cũng thay đổi. Với yêu cầu về độ chính xác thông tin chiết xuất từ ảnh viễn thám ngày càng cao, suy giảm chất lượng ảnh ảnh hưởng đến khả năng ứng dụng nguồn dữ liệu này vào nhiều lĩnh vực và gây ra các hạn chế nhất định cho công tác khai thác dữ liệu ảnh. Do đó, việc đánh giá chất lượng hệ thống chụp ảnh quang học và phục hồi chất lượng ảnh về thời điểm khi vệ tinh mới phóng lên quỹ đạo là việc cần phải thực hiện. Vì vậy, đề tài luận án “*Nghiên cứu, phát triển thuật toán tối ưu điều khiển thiết bị chụp ảnh quang học của vệ tinh nhỏ viễn thám*” có tính cấp thiết, có ý nghĩa khoa học và thực tiễn.

2. Mục tiêu nghiên cứu

- Nghiên cứu các thông số đánh giá gián tiếp chất lượng thiết bị chụp ảnh trên vệ tinh nhỏ viễn thám quang học và đề xuất lựa chọn thông số phù hợp.
- Nghiên cứu phương pháp phục hồi chất lượng ảnh về thời điểm vệ tinh mới phóng lên quỹ đạo

3. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu

3.1. Đối tượng nghiên cứu:

- Thông số đánh giá chất lượng hệ thống chụp ảnh quang học thông qua dữ liệu ảnh;
- Chất lượng dữ liệu ảnh của hệ thống chụp ảnh quang học vệ tinh nhỏ.

3.2. Phạm vi nghiên cứu:

- Hệ thống chụp ảnh vệ tinh nhỏ của Việt Nam - VNREDSat-1.
- Dữ liệu ảnh chụp các bãi kiểm định ảnh tại Salon de Provence - Pháp và tại Buôn Ma Thuột, Đắk Lắk, Việt Nam.

4. Nội dung nghiên cứu

Để thực hiện được mục tiêu nghiên cứu, đề tài luận án thực hiện các nội dung nghiên cứu chính sau:

- Tổng quan các công trình nghiên cứu liên quan đến đề tài và đề xuất hướng nghiên cứu của đề tài luận án.
- Cơ sở khoa học đánh giá gián tiếp và phục hồi chất lượng ảnh của hệ thống chụp ảnh quang học vệ tinh nhỏ viễn thám.
- Đề xuất phương pháp đánh giá, phục hồi chất lượng ảnh quang học vệ tinh nhỏ viễn thám.
- Thực nghiệm: đánh giá và phục hồi chất lượng ảnh vệ tinh nhỏ viễn thám của Việt Nam VNREDSat-1.

5. Phương pháp nghiên cứu

- *Phương pháp thu thập dữ liệu thứ cấp*
- *Phương pháp phân tích, tổng hợp và kế thừa;*
- *Phương pháp viễn thám;*
- *Phương pháp mô hình hóa;*
- *Phương pháp chuyên gia;*
- *Phương pháp thực nghiệm.*

6. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của luận án

- Ý nghĩa khoa học: Đóng góp cơ sở khoa học trong việc đánh giá gián tiếp chất lượng hệ thống chụp ảnh quang học vệ tinh nhỏ viễn thám; ứng dụng thuật toán phục hồi chất lượng ảnh viễn thám quang học của vệ tinh nhỏ về thời điểm khi vệ tinh được đưa lên quỹ đạo.

- Ý nghĩa thực tiễn: Các kết quả nghiên cứu có thể được ứng dụng trong xử lý ảnh viễn thám quang học của Việt Nam.

7. Luận điểm bảo vệ

Luận điểm 1: Chất lượng của thiết bị chụp ảnh quang học trên vệ tinh nhỏ viễn thám được thể hiện bằng tham số MTF (chất lượng về không gian) và tỷ lệ tín hiệu trên nhiễu SNR (chất lượng bức xạ). Hai thông số này được tính toán qua dữ liệu ảnh hệ thống mốc chuẩn được thu trực tiếp từ hệ thống.

Luận điểm 2: Chất lượng ảnh được phục hồi về thời điểm vệ tinh mới phóng lên quỹ đạo theo phương pháp được đề xuất là hoàn toàn áp dụng được trong thực tế ở nước ta.

8. Tính mới của luận án

- Đề xuất phương pháp với việc lựa chọn hai thông số MTF, SNR để đánh giá gián tiếp chất lượng hệ thống chụp ảnh quang học vệ tinh nhỏ viễn thám.

- Đề xuất phương pháp phục hồi chất lượng ảnh dựa trên phân tích xu thế biến động phổ dữ liệu ảnh chụp bãi kiểm chuẩn.

- Các đề xuất này được ứng dụng trong kiểm định chất lượng hệ thống chụp

ảnh vệ tinh quang học và phục hồi chất lượng ảnh quang học vệ tinh nhỏ viễn thám của Việt Nam.

9. Cấu trúc luận án

Ngoài phần mở đầu, kết luận, tài liệu tham khảo và phần phụ lục, luận án có bố cục 4 chương:

Chương 1. Tổng quan về vấn đề nghiên cứu.

Chương 2. Cơ sở khoa học đánh giá gián tiếp và phục hồi chất lượng ảnh của hệ thống chụp ảnh quang học vệ tinh nhỏ viễn thám.

Chương 3: Phương pháp đánh giá, phục hồi chất lượng ảnh quang học vệ tinh nhỏ viễn thám.

Chương 4. Thử nghiệm và đánh giá hiệu quả trên vệ tinh VNREDSat-1.

CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN VỀ VẤN ĐỀ NGHIÊN CỨU

1.1. Khái niệm về đánh giá chất lượng ảnh viễn thám quang học

1.1.1. Sự cần thiết phải đánh giá chất lượng ảnh quang học

Trước khi phóng, hệ thống này được kiểm tra, đánh giá trong điều kiện tiêu chuẩn trong phòng thí nghiệm, do đó các thông số kỹ thuật đều đảm bảo theo đúng yêu cầu kỹ thuật. Tuy nhiên, trong quá trình hoạt động, dưới ảnh hưởng của nhiều yếu tố trong và ngoài quả vệ tinh dẫn đến chất lượng thiết bị chụp ảnh không như trong điều kiện trong phòng thí nghiệm. Điều này ảnh hưởng trực tiếp đến chất lượng ảnh viễn thám quang học. Tuy vậy, sau khi vệ tinh được đưa lên quỹ đạo, không thể trực tiếp đánh giá hệ thống này mà phải sử dụng phương pháp gián tiếp, thông qua sản phẩm của hệ thống là dữ liệu ảnh viễn thám quang học để đánh giá.

1.1.2. Chất lượng ảnh viễn thám quang học

Chất lượng ảnh viễn thám quang học là mức giá trị của bộ thông số dữ liệu ảnh viễn thám quang học đáp ứng yêu cầu thiết kế của thiết bị chụp ảnh.

Chất lượng dữ liệu ảnh viễn thám được đánh giá trên các mặt khác nhau như: kỹ thuật viễn thám, ứng dụng của viễn thám, tính kinh tế. Những khía cạnh đó đều dựa trên các thông số kỹ thuật của dữ liệu ảnh hay nói cách khác là chất lượng ảnh về mặt kỹ thuật viễn thám.

Người sử dụng đều đã quen thuộc với khái niệm về các độ phân giải để qua đó có thể đánh giá được chất lượng của dữ liệu ảnh, các khái niệm đó là: độ phân giải không gian, độ phân giải thời gian, độ phân giải phổ, độ phân giải bức xạ. Tất cả các thông số này đều được thiết kế cho hệ thống chụp ảnh quang học trên vệ tinh ngay từ đầu và đảm bảo thiết kế đến hết tuổi đời của hệ thống vệ tinh.

Trong nghiên cứu này, chất lượng ảnh được xét tới là chất lượng ảnh thô và chất lượng ảnh phục hồi, cụ thể như sau:

- Chất lượng ảnh thô thu được mà không cần qua một quá trình xử lý nào (kể cả bức xạ hay hình học) ngoài trừ ảnh hưởng khi vệ tinh chụp ảnh. Nó cũng liên quan đến sự khác nhau giữa yêu cầu và khi thực hiện.

- Chất lượng ảnh phục hồi thu được bằng cách sử dụng các kiến thức về điều kiện thực tế khi chụp ảnh. Các kiến thức này khả dụng sau khi thu và quá trình xử lý có thể tiến hành sau thu.

1.1.3. Thông số chất lượng ảnh viễn thám quang học

Để đánh giá và phục hồi chất lượng dữ liệu viễn thám, cần phải xem xét một số khía cạnh của hoạt động khi vệ tinh đang hoạt động trên quỹ đạo. Những khía cạnh đó có thể được chia thành bốn loại: bức xạ, không gian, phổ và hình học. Vì các kỹ thuật gián tiếp không phổ biến cho phổ, nên chất lượng phổ sẽ không được xét đến trong nghiên cứu này. Chất lượng bức xạ, không gian và hình học cần được đánh giá và cải thiện định kỳ, vì môi trường không gian khắc nghiệt có thể làm

giảm hiệu suất của thiết bị.

Về mặt bức xạ, hoạt động bức xạ của một hệ thống vệ tinh, cần hiểu được đặc trưng của tập hợp các tham số chính sau đây: (1) tỷ lệ tín hiệu nhiễu; (2) hiệu chỉnh bức xạ tuyệt đối; (3) hiệu chỉnh bức xạ tương đối; (4) độ ổn định của bức xạ; (5) thành phần lạ; (6) hồi đáp tuyến tính; (7) độ nhạy phân cực. Trong đó, hồi đáp tuyến tính và độ nhạy phân cực được xác định rõ đặc điểm trước khi phóng; hoặc được đánh giá bằng các thiết bị hiệu chuẩn chuyên dụng trên vệ tinh, các phương pháp tiếp cận gián tiếp khó thực hiện.

Về mặt không gian, chất lượng không gian của hệ thống chụp ảnh được thể hiện dưới các yếu tố sau: khoảng cách lấy mẫu mặt đất (GSD), hàm truyền điều biến (MTF), răng cưa, loại bỏ ánh sáng và tán xạ bên trong, và bóng mờ.

Về mặt hình học, đây là khía cạnh đề cập đến độ chính xác hình học được đo bằng độ chính xác đăng ký và độ chính xác vị trí địa lý, còn được gọi là độ chính xác trắc địa và đăng ký bản đồ. Yếu tố này được loại trừ trong quá trình hiệu chỉnh hình học trước khi đưa dữ liệu vào ứng dụng. Do đó, khía cạnh này sẽ không được đề cập trong nghiên cứu.

1.2. Khái niệm về phục hồi chất lượng ảnh viễn thám quang học

1.2.1. Các yếu tố ảnh hưởng đến chất lượng ảnh

Nhiều yếu tố ảnh hưởng đến chất lượng của hình ảnh được chụp bởi hệ thống chụp ảnh trên vệ tinh. Một số trong số này phổ biến đối với tất cả các hệ thống chụp ảnh: thiết kế quang học, thông số kỹ thuật của cảm biến, khí quyển và đặc tính đo bức xạ của cảnh được chụp. Các yếu tố khác, như đường truyền xuống hoặc vận tốc và độ cao của vật mang, là duy nhất đối với các vật mang đó. Đối với một vệ tinh viễn thám quang học, các yếu tố ảnh hưởng đến chất lượng hình ảnh bao gồm các yếu tố sau: Kích thước vật lý, Thiết kế thiết bị chụp ảnh, Độ ổn định của quả vệ tinh, Đường truyền; Quỹ đạo, Khí quyển, Môi trường vũ trụ.

1.2.2. Khái niệm phục hồi chất lượng ảnh viễn thám quang học

Ảnh thu được từ vệ tinh bị suy giảm chất lượng do nhiều tác động như khí hậu, thời tiết và một số yếu tố khác làm ảnh bị mờ, nhiễu. Điều này có nghĩa mỗi hình ảnh vệ tinh được chụp là một phiên bản bị giảm chất lượng của dữ liệu ảnh tại thời điểm vệ tinh mới phóng lên quỹ đạo

Như vậy phục hồi chất lượng ảnh viễn thám được hiểu là sự loại bỏ những ảnh hưởng gây ra hiện tượng mờ, nhiễu nhằm mang lại thông tin tương tự nhất với thiết bị chụp ảnh thu được khi vệ tinh mới phóng lên quỹ đạo. Cần phân biệt rõ phục hồi chất lượng ảnh được đề cập đến ở đây khác với việc tăng cường chất lượng ảnh thường được thực hiện khi chiết tách thông tin từ ảnh viễn thám.

1.3. Tổng quan về đánh giá, phục hồi chất lượng ảnh viễn thám quang học

1.3.1. Nghiên cứu nước ngoài

Trên thế giới, việc đánh giá chất lượng ảnh thường được thực hiện ở một số

dạng như đánh giá và hiệu chỉnh bức xạ ảnh, đánh giá và hiệu chỉnh hình học ảnh,... Về phương pháp, hiện nay có nhiều phương pháp đánh giá như sử dụng vật chuẩn để đánh giá; sử dụng phương pháp đánh giá chéo. Tuy nhiên, phương pháp đánh giá chéo chỉ thích hợp với việc đánh giá phổ và đánh giá độ đồng nhất của ảnh. Để đánh giá độ tương phản và GSD cần phải sử dụng vật chuẩn để so sánh các giá trị này đo được trên ảnh và đo được trên vật chuẩn.

Các nghiên cứu về phục hồi chất lượng ảnh cũng đã được nhiều nhà khoa học công bố, bao gồm phục hồi độ nét và giá trị phổ (liên quan đến nhiễu). Tuy nhiên những nghiên cứu này vẫn độc lập với vấn đề đánh giá chất lượng ảnh.

1.3.2. Nghiên cứu trong nước

Hầu hết các nghiên cứu về chất lượng ảnh ở nước ta mới dừng ở mức xử lý, tăng cường chất lượng ảnh phục vụ cho công tác chiết tách thông tin từ dữ liệu ảnh viễn thám quang học, như: hiệu chỉnh, chuẩn hóa bức xạ phổ ảnh viễn thám quang học đa thời gian, kỹ thuật trộn ảnh nhằm nâng cao độ tin cậy và độ chính xác phân loại ảnh; mô hình hóa, hiệu chỉnh hình học, xử lý dàn màu phổ; hay gần đây là đánh giá chất lượng phổ từ dữ liệu mức 3A, 3B. Và bước đầu đã có những nghiên cứu đánh giá chất lượng ảnh viễn thám quang học sử dụng các bãi kiểm định trong và ngoài nước.

1.4. Tiểu kết chương 1

Có nhiều thông số khác nhau để đánh giá chất lượng ảnh và mỗi vệ tinh có những lựa chọn riêng, trong giới hạn nghiên cứu của luận án, nghiên cứu sinh sẽ sử dụng hai thông số SNR, MTF để đánh giá gián tiếp chất lượng hệ thống chụp ảnh quang học vệ tinh nhỏ viễn thám của Việt Nam, và đề xuất phương pháp phục hồi chất lượng ảnh trên cơ sở đánh giá MTF, SNR với thuật toán phù hợp. Đây là vấn đề chưa có nhiều công bố trước đây thực hiện.

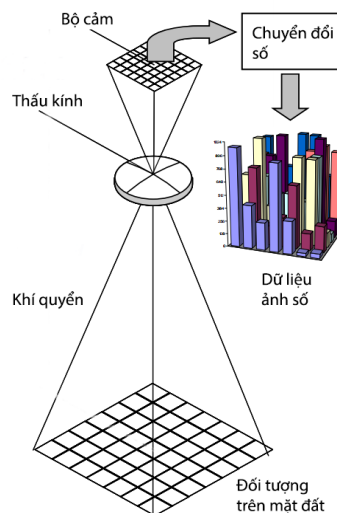
Để thực hiện nghiên cứu trong điều kiện Việt Nam, NCS sử dụng dữ liệu ảnh chụp bãi kiểm định nhân tạo tại thành phố Buôn Ma Thuột, tỉnh Đắk Lắk và bãi kiểm định tại Salon de Provence - Pháp.

CHƯƠNG 2: CƠ SỞ KHOA HỌC ĐÁNH GIÁ GIÁN TIẾP VÀ PHỤC HỒI CHẤT LƯỢNG ẢNH CỦA HỆ THỐNG QUANG HỌC VỆ TINH NHỎ VIỄN THÁM

2.1. Thiết bị chụp ảnh và chất lượng ảnh quang học

2.1.1. Nguyên lý hoạt động của viễn thám quang học

Nguyên lý hoạt động của viễn thám quang học có thể được hiểu đơn giản là dựa trên bức xạ điện từ lan truyền từ đối tượng tới cảm biến viễn thám. Theo nguyên lý thu nhận ảnh viễn thám quang học, các yếu tố chính liên quan đến chất lượng dữ liệu ảnh viễn thám quang học là tín hiệu đầu vào bộ cảm biến, đặc tính của bộ cảm và chất lượng hệ thống quang học. Bên cạnh đó là các yếu tố khác như khí quyển hay khả năng phản xạ của các đối tượng trên mặt đất (minh họa trong hình 2.1)



Hình 2.1. Nguyên lý thu nhận ảnh viễn thám

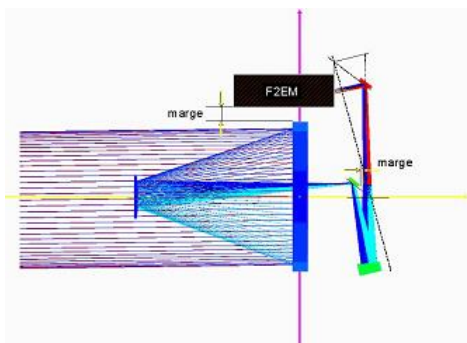
Một cảnh ảnh cần thể hiện trung thực thuộc tính hình học và bức xạ của bề mặt trong thực tế. Tính trung thực của dữ liệu ảnh thu được phụ thuộc rất nhiều vào khả năng của thiết bị chụp, để có thể xác định được sự khác biệt nhỏ về giá trị bức xạ/phản xạ của các đối tượng trên bề mặt Trái đất thông qua các kênh phổ. Cho đến nay vẫn chưa có một câu trả lời nào duy nhất cho việc xác định bộ thông số kỹ thuật tối ưu cho các cảm biến viễn thám, mà nó hoàn toàn phụ thuộc vào điều kiện của từng nghiên cứu.

2.1.2. Đặc điểm của hệ thống quang học trên vệ tinh nhỏ

Hệ thống quang học trên vệ tinh vệ tinh nhỏ thường 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. Ba loại quang sai cơ bản là quang sai cầu, quang sai vệt và quang sai mặt phẳng nét được loại trừ.

Thiết kế quang học này tạo ra một ảnh thật của trường ảnh tại tiêu diện của hệ quang học Cassegrain và một đồng tử ra thật đặt giữa gương phụ Tertiary và

gương phẳng thứ hai. Tại vị trí đồng tử ra này, một ô giới hạn trường ảnh, tạo thành từ các thanh chắn được sử dụng để tăng cường tính khử các tia sáng lạ lọt vào trường ảnh (ví dụ hình 2.2)



Hình 2.2: Thiết kế quang học trên VNREDSat-1

Với thiết kế hệ thống quang học phức tạp như vậy, chất lượng sản phẩm ảnh chịu ảnh hưởng mạnh mẽ của quá trình tạo ảnh trong trường hợp hệ thống gương, thấu kính bị thay đổi vị trí so với thiết kế ban đầu, và sự lão hóa của các hệ này làm dữ liệu ảnh bị mờ theo thời gian.

2.1.3. Chất lượng ảnh về mặt không gian

Đặc điểm về mặt không gian khi thiết kế thiết bị chụp ảnh là độ rộng của cảnh ảnh và độ phân giải không gian. Mặc dù rất phổ thông nhưng khái niệm độ phân giải không gian để hiểu chính xác đòi hỏi khá nhiều công phu và có thể được hiểu theo nhiều cách.

Sau khi đi qua hệ thống quang học, hình ảnh thu được sẽ bị giảm độ tương phản, và đại lượng đặc trưng cho sự suy giảm độ tương phản với tần số không gian là hàm truyền điều biến (MTF).

MTF cũng là số đo thể hiện độ chính xác bức xạ thực tế đo được của một điểm ảnh, vì MTF thấp chỉ ra sự đóng góp của các điểm ảnh khác đến điểm ảnh quan sát (và ngược lại). Điều này có thể dẫn đến vấn đề trong phân loại đa phổ, bức xạ của một điểm ảnh đo được phụ thuộc vào nguồn gốc của các điểm ảnh liền kề xung quanh nó. Vì vậy, cùng một đối tượng với các đối tượng xung quanh khác nhau vẫn sẽ có phản xạ phổ khác nhau.

2.1.4. Chất lượng ảnh về mặt bức xạ

Chất lượng bức xạ của một ảnh phụ thuộc chủ yếu vào độ phân giải bức xạ, độ chính xác hiệu chỉnh, và MTF. Độ phân giải nói chung là sự khác biệt nhỏ nhất giữa hai giá trị rời rạc có thể phân biệt được nhờ thiết bị đo. Tuy nhiên, độ phân giải cao không nhất thiết mang tới độ chính xác cao. Độ chính xác là thước đo sự tiệm cận giữa giá trị đo và giá trị thực tế. Độ chính xác bức xạ có thể có hai loại:

- Độ chính xác tuyệt đối
- Độ chính xác tương đối

2.2. Mô hình suy giảm chất lượng ảnh

2.2.1. Mô hình ảnh

Khi xây dựng mô hình toán học của ảnh, giả định rằng tất cả dữ liệu được xác

định trên ánh xạ tọa độ các điểm ảnh thành các giá trị mật độ trên một mảng hai chiều hình vuông 2D rời rạc bao gồm một mạng $N \times N$ cách đều nhau, tức là với N^2 phần tử ảnh khác nhau hoặc các điểm ảnh. Phương trình mô hình là:

$$s(m, n) = \sum_{(k,l) \in \Gamma} c_{k,l} s(m-k, n-l) + w(m, n)$$

2.2.2. Mô hình suy giảm chất lượng ảnh

Thành phần xác định của sự suy giảm, hiện tượng mờ, được mô hình hóa bằng ánh xạ $f(m, n; s(o, p))$ của cảnh $s(o, p)$ với tọa độ mặt phẳng ảnh (m, n) . Ở dạng tổng quát nhất của nó, ánh xạ này là phi tuyến tính và biến thể không gian. Dữ liệu ảnh cũng có thể bị suy giảm thống kê, thường được gọi là nhiễu, cho các mục đích thực tế có thể được mô hình hóa dưới dạng màu trắng cộng, trường ngẫu nhiên Gaussian, $v(m, n)$, với trung bình bằng 0 và phương sai σ_v^2

$$b(m, n) = \sum_{(o,p) \in \Psi} h(m, n; o, p) s(o, p)$$

2.3. Các chỉ tiêu chất lượng cơ bản của ảnh viễn thám quang học

2.3.1. Hàm truyền điều biến MTF

MTF là thước đo khả năng bảo tồn độ tương phản của hệ thống chụp ảnh đối với các đối tượng sau khi chụp, hay chính là độ mờ.

Giả thiết rằng thiết bị chụp ảnh được lấy mẫu liên tục, và có thể đo phân bố bức xạ của ảnh đến độ chính xác không gian cần thiết. Nếu coi đối tượng thực sự là một nguồn điểm, thì phân bố hai chiều trên ảnh bằng với đáp ứng xung hay còn gọi là hàm lan truyền điểm. MTF là giá trị tuyệt đối của biến đổi Fourier của hàm lan truyền điểm PSF. Được biểu diễn bằng công thức sau:

$$\begin{aligned} MTF(f_x, f_y) &= |FT[PSF](f_x, f_y)| \\ &= \left| \iint PSF(x, y) e^{-2i\pi(f_x x + f_y y)} dx dy \right| \end{aligned}$$

2.3.2. Tỷ lệ tín hiệu trên nhiễu SNR

Tỷ lệ tín hiệu nhiễu SNR là một trong các yếu tố ảnh hưởng đến chất lượng ảnh. Đây là thông số đặc trưng cho nhiễu bức xạ. Nhiễu ảnh định lượng bức xạ khác nhau tại một mức độ bức xạ cho trước nào đó đối với một khu vực đồng nhất.

Tỷ lệ tín hiệu nhiễu SNR được định nghĩa theo công thức sau:

$$SNR = \frac{m}{\sigma}$$

Trong đó m là giá trị trung bình của các giá trị bức xạ đối với một khu vực đồng nhất, σ là độ lệch chuẩn của các giá trị đó.

2.4. Tiểu kết chương 2

Quá trình phân tích mối liên hệ giữa thiết bị chụp ảnh và chất lượng ảnh đã làm rõ tính khoa học và tiêu biểu của MTF và SNR trong việc thể hiện chất lượng ảnh của vệ tinh viễn thám quang học về độ phân giải không gian, độ sắc nét, cung cấp thông tin chuyên đề giá trị. Thông qua hai thông số này đánh giá được hoạt động của thiết bị chụp ảnh trên vệ tinh trong điều kiện không thể tiếp xúc trực tiếp, hay không có các mô hình mô phỏng hoạt động của thiết bị.

Đây không chỉ là cơ sở để đánh giá chất lượng thiết bị chụp ảnh qua dữ liệu ảnh mà còn là cơ sở để phát triển các thuật toán phục hồi chất lượng ảnh được nghiên cứu sau đây.

CHƯƠNG 3: PHƯƠNG PHÁP ĐÁNH GIÁ VÀ PHỤC HỒI CHẤT LƯỢNG ẢNH QUANG HỌC VỆ TINH NHỎ VIỄN THÁM

3.1. Phương pháp đánh giá chất lượng ảnh

3.1.1. Phương pháp đánh giá MTF

Hầu hết các phương pháp đo đặc MTF trên vệ tinh chính xác đối với các hệ thống chụp ảnh quang học đều dựa trên việc phân tích các ảnh chụp các mục tiêu đã biết nào đó. Các mục tiêu này có thể là các khu vực nhân tạo như các bề mặt được sơn có chủ đích, các tấm vải dầu đặc biệt, các đơn hay đa điểm sáng hay thậm chí là các mảng gương lồi đều. Đối với các ảnh có độ phân giải thấp và trung bình, các mục tiêu này cũng có thể là các đối tượng nhân tạo sẵn có như các cây cầu, các tòa nhà các đường băng được sơn.

Các mục tiêu này có thể được chia làm 4 kiểu bãi thử sau:

- Bãi thử dạng cạnh
- Bãi thử dạng xung
- Bãi thử dạng xung lợc
- Bãi thử dạng chu kỳ

3.1.2. Phương pháp đánh giá SNR

- Phương pháp độ lệch chuẩn cục bộ

Phương pháp này tính toán giá trị trung bình và độ lệch chuẩn của các ô đồng nhất, sau đó giá trị SNR được tính bằng tỉ số giữa hai giá trị đó.

- Phương pháp tương quan phổ và không gian

Phương pháp này ước tính nhiễu kênh khai thác các mối tương quan phổ cao giữa dữ liệu trong một kênh và dữ liệu trong hai kênh lân cận của nó cũng như mối tương quan không gian trong kênh đó. Phương pháp này gồm ba bước chính: ước tính phương sai nhiễu, lựa chọn phương sai nhiễu đồng nhất, ước tính tốt nhất về phương sai nhiễu từ một tập các phương sai đồng nhất

- Phương pháp địa thống kê

Đây là phương pháp dựa trên lý thuyết biến khu vực, coi các thuộc tính không gian như các hàm ngẫu nhiên theo cách ngẫu nhiên thay vì xác định. Mô hình không gian làm cơ sở cho lý thuyết là sự biến đổi trong một thuộc tính có thể được xác định bởi một thành phần ngẫu nhiên và một hằng số.

3.2. Phương pháp phục hồi chất lượng ảnh viễn thám quang học

3.2.1. Ước tính hệ số mô hình tạo ảnh

Đây là phương pháp mô hình hóa các quy trình hồi quy tự động hai chiều với các vùng hỗ trợ khác nhau. Quy trình ngắn gọn ước lượng các hệ số của mô hình ảnh để phục hồi chất lượng ảnh được thực hiện theo hai phương pháp sau đây.

- Phương pháp bình phương nhỏ nhất

- Theo công thức Yule-Walker

3.2.2. Phương pháp tiếp cận di truyền cho giải chấp Wiener

Đây là phương pháp cần phải thực hiện mô hình hóa các sự suy giảm hình ảnh chụp. Quá trình suy giảm của một hình ảnh vệ tinh chịu sự mờ bất biến trong không gian và nhiễu cộng thêm được mô hình hóa. Áp dụng giải chấp Wiener cho phép ước tính nghiệm thành một lần lặp duy nhất được thực hiện trong miền tần số. Điều này giúp làm giảm thiểu sai số trung phương giữa ảnh gốc và ảnh ước tính. Từ đó thực hiện phục hồi chất lượng ảnh.

3.2.3. Phương pháp bù MTF

Đây là một kỹ thuật khôi phục tìm kiếm các bộ lọc áp dụng các quy trình nghịch đảo để khôi phục hình ảnh ban đầu của nó. Tuy nhiên, với việc ước lượng PSF hoặc OTF và khái niệm chính quy hóa, vấn đề không đúng này lại trở thành một vấn đề cần giải quyết. Giải pháp ổn định mà các nhà khoa học thường quan tâm hơn là tính duy nhất của giải pháp cho vấn đề không tốt này có thể đạt được. Để làm được điều này cần chiết tách được cạnh tại ô mẫu ở bãi thử và giá trị MTF sẽ được tính toán theo phương pháp cạnh nghiêng.

3.3. Đề xuất phương pháp đánh giá, phục hồi chất lượng ảnh cho vệ tinh nhỏ viễn thám

3.3.1. Đề xuất phương pháp đánh giá chất lượng ảnh cho vệ tinh nhỏ

a. Phương pháp đánh giá SNR

Phương pháp đề xuất để đánh giá SNR là phương pháp độ lệch chuẩn cục bộ, được hầu hết các học giả biết và thừa nhận, để đánh giá SNR của các khu vực đồng nhất. Kết quả của phương pháp phản ánh trực tiếp tình trạng SNR của các đối tượng đồng nhất, và đáp ứng độ chính xác của việc đánh giá

Phương pháp này được sử dụng để đánh giá sự thay đổi của bộ cảm biến khi có dữ liệu ảnh chụp cùng các khu vực có giá trị bức xạ giống nhau tại những thời điểm khác nhau. Tức là có thể so sánh mức độ nhiễu của các ảnh khác nhau và không bị giới hạn về mặt thời gian. Tuy nhiên, khi đó cần xem xét đến ảnh hưởng của khí quyển.

b. Phương pháp đánh giá MTF

Phương pháp được đề xuất để đánh giá MTF là phương pháp cạnh nghiêng sử dụng bãi kiểm định dạng cạnh. Đây là phương pháp này thực hiện dễ dàng và được hỗ trợ bởi các thử nghiệm trên hình ảnh thực và dữ liệu độc lập từ các đơn vị sở hữu và quản lý vệ tinh.

Phương pháp này cần xác định cạnh phù hợp trong ảnh, và có được hàm lan truyền cạnh (ESF). Sau đó, ESF được vi phân để thu được hàm lan truyền đường (LSF). Cuối cùng LSF được biến đổi Fourier và chuẩn hóa để có được MTF tương ứng.

3.3.2. Đề xuất phương pháp phục hồi chất lượng ảnh cho vệ tinh nhỏ

a. Phục hồi chất lượng ảnh do mờ

Bản chất của quá trình tạo ảnh hình học qua các hệ thống quang học là tích chập hàm lan truyền điểm ảnh, và giá trị MTF là giá trị tuyệt đối của biến đổi Fourier của hàm lan truyền điểm PSF, nên để phục hồi chất lượng ảnh có thể sử dụng phương pháp nhân chập ngược.

Đối với một cảnh ảnh vệ tinh, mỗi hàng ảnh có thể chứa đến hàng ngàn điểm ảnh, một cảnh ảnh có thể chứa đến hàng chục ngàn hàng ảnh, số lượng phép tính phải tính là rất lớn.

b. Phục hồi chất lượng ảnh do nhiễu

Với thiết kế bộ cảm biến dạng CCD cho các hệ thống chụp ảnh trên vệ tinh nhỏ, nghiên cứu sinh dựa vào việc tính chuyển số đếm sang giá trị bức xạ được tính theo công thức tuyến tính, để thực hiện hồi quy tuyến tính nhằm tính toán các hệ số phù hợp với thông số kỹ thuật của dữ liệu ảnh VNREDSat-1 với phản xạ phổ của ảnh tại thời điểm vệ tinh mới phóng lên để làm gốc. Hệ số của hàm hồi quy tuyến tính được điều chỉnh để phù hợp với tiêu chuẩn bức xạ của dữ liệu ảnh đa phổ. Đây là phương pháp được sử dụng rộng rãi với nhiều loại ảnh vệ tinh. Hàm hồi quy tuyến tính giả định rằng sau thời gian hoạt động trên quỹ đạo, sự già hóa của thiết bị là tuyến tính theo thời gian, dẫn đến việc giá trị phản xạ phổ cũng suy giảm theo.

3.4. Tiểu kết chương 3

Phương pháp được đề xuất để tính toán SNR là phương pháp độ lệch chuẩn cục bộ. Mặc dù các thuật toán tính ngày càng được phát triển và áp dụng thêm nhiều phương pháp mới nhưng việc tính toán nhiều có thể dẫn đến các sai số hệ thống hay ngẫu nhiên, làm suy giảm độ chính xác của phép tính, vì vậy phương pháp độ lệch chuẩn cục bộ vẫn là phương pháp được lựa chọn áp dụng phổ biến.

Phương pháp tính toán MTF được đề xuất là phương pháp sử dụng bãi kiểm định dạng cạnh trên cơ sở thực tế bãi kiểm định tại thành phố Buon Ma Thuật, Đắk Lắk, và bãi kiểm định tại Salon de Provence được sử dụng từ khi vệ tinh mới phóng lên quỹ đạo đến thời điểm đánh giá.

Phương pháp phục hồi chất lượng ảnh do bị mờ được dựa trên cơ sở quá trình tạo ảnh của hệ thống quang học, có bản chất là tích chập của hàm lan truyền điểm. Đối với hiện tượng nhiễu, phương pháp thích hợp là hồi quy tuyến tính với bộ dữ liệu chụp liên tục bãi kiểm định tại Salon de Provence. Các dữ liệu được phục hồi về gần nhất với thời điểm vệ tinh mới được phóng lên quỹ đạo, hệ thống chụp ảnh chưa bị ảnh hưởng nhiều do hoạt động vận hành.

CHƯƠNG 4: THỬ NGHIỆM VÀ ĐÁNH GIÁ HIỆU QUẢ TRÊN VỆ TINH VNREDSAT-1

4.1. Đánh giá chất lượng ảnh VNREDSat-1

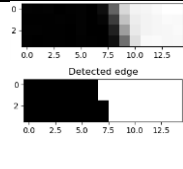
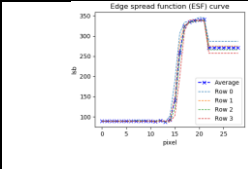
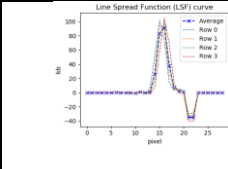
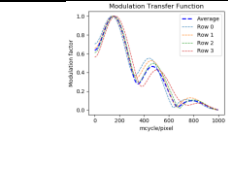
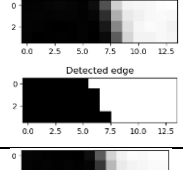
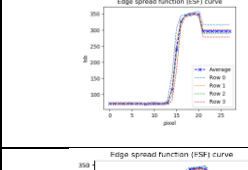
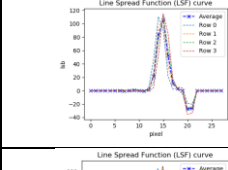
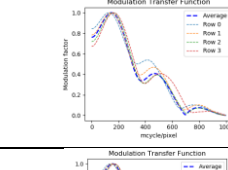
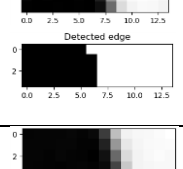
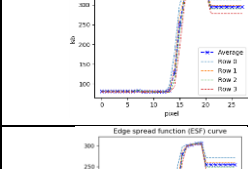
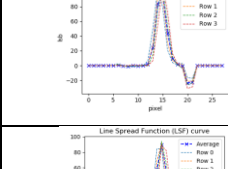
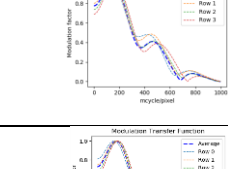
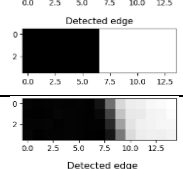
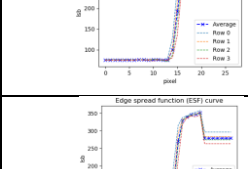
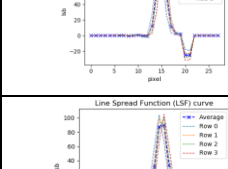
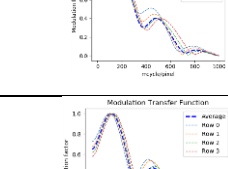
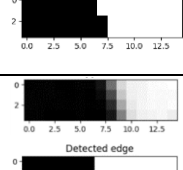
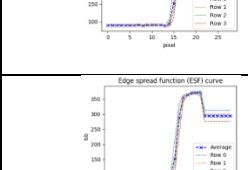
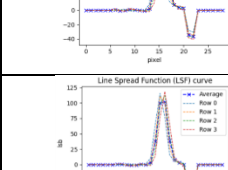
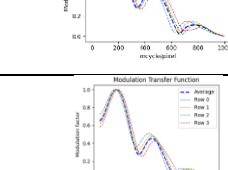
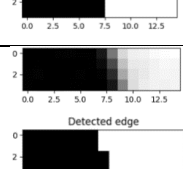
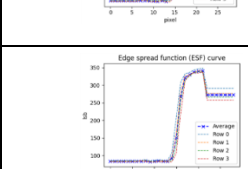
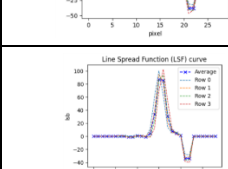
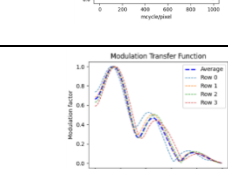
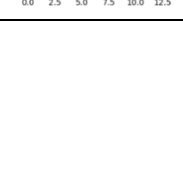
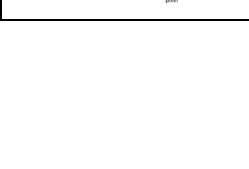
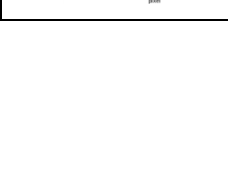

4.1.1. Đánh giá chất lượng ảnh thông qua MTF

a. Dữ liệu sử dụng

Dữ liệu thu thập được là ảnh VNREDSat-1 mức 1A được chụp tại khu vực bãi thử SalondeProvence, công hòa Pháp. Trong đó dữ liệu ảnh toàn sắc được dùng để tính toán MTF, dữ liệu ảnh đa phổ được dùng để tính toán giá trị phản xạ của từng kênh phổ.

b. Kết quả tính toán

- Chuyển đổi từ ô đen sang ô trắng

Năm	Chuyển từ ô đen sang ô trắng			
	Lấy mẫu	ESF	LSF	MTF
2015				
2016				
2017				
2018				
2019				
2020				
2021				

o Chuyển đổi từ ô trắng sang ô đen

Năm	Chuyển từ ô trắng sang ô đen			
	Lấy mẫu	ESF	LSF	MTF
2015				
2016				
2017				
2018				
2019				
2020				
2021				

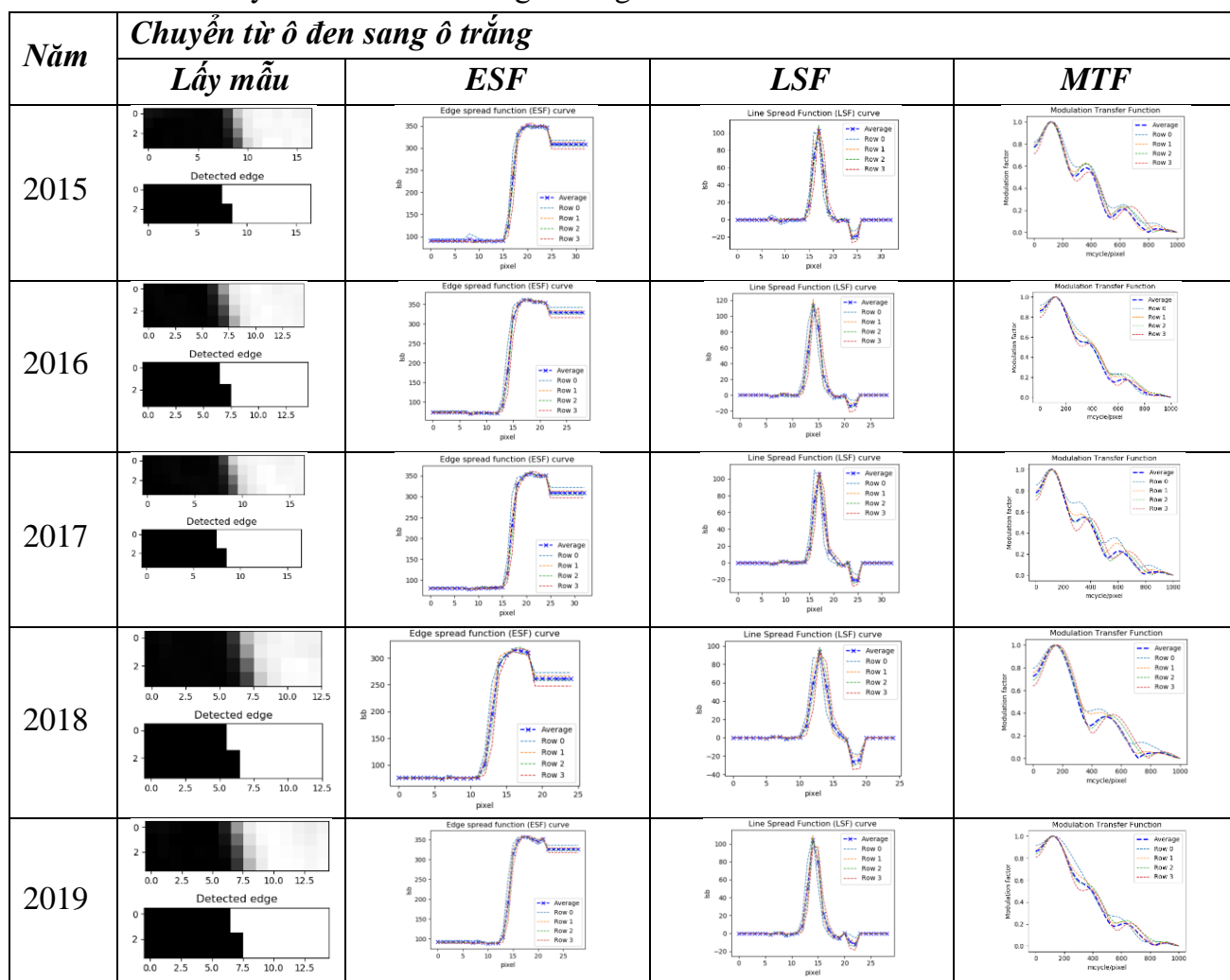
Kết quả tổng hợp các giá trị MTF theo chiều dọc hướng bay được tổng hợp trong bảng dưới đây. Có thể thấy trong thời gian tuổi thọ của vệ tinh là 5 năm (2013-

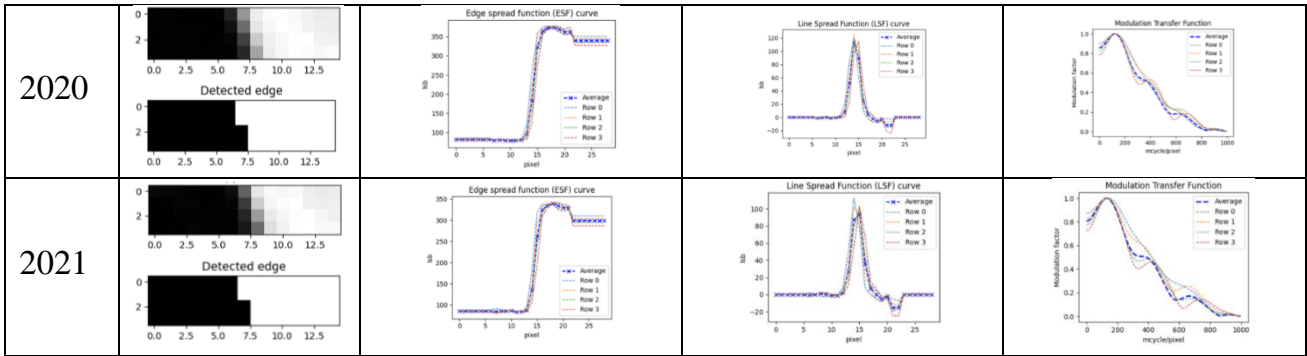
2018) thì giá trị MTF của vệ tinh VNREDSat-1 là khá tốt, tuy nhiên đến năm 2020, giá trị MTF theo chiều dọc hướng bay đã có chiều hướng suy giảm. Tuy vậy các giá trị tính toán được vẫn đảm bảo cao hơn giá trị ngưỡng thiết kế ban đầu là 0,08.

Bảng 4.2: Giá trị MTF theo chiều dọc hướng bay

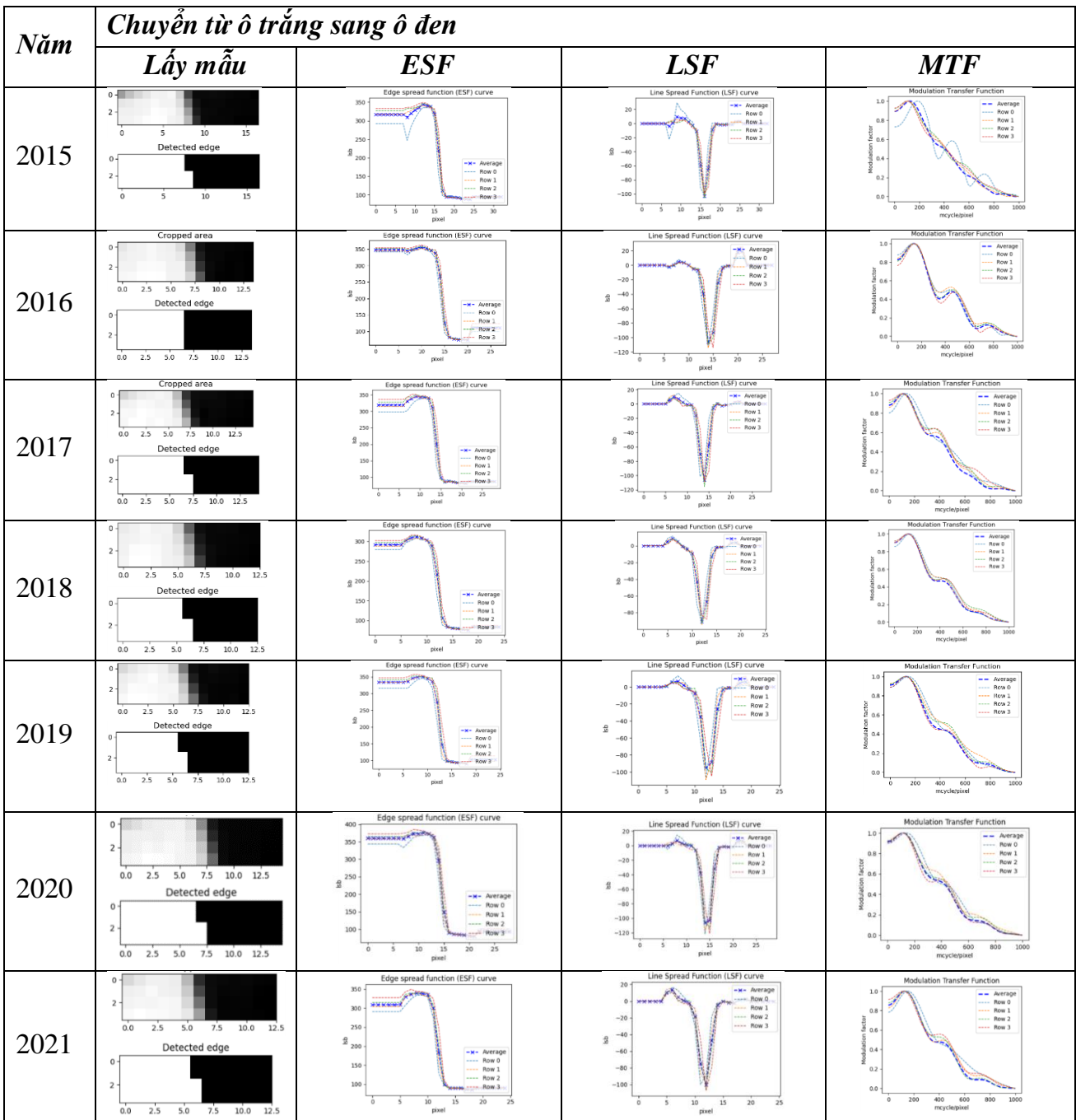
Ngày chụp	MTF		
	Chuyển từ ô đen sang ô trắng	Chuyển từ ô trắng sang ô đen	Giá trị trung bình
10/7/2015	0.21	0.23	0.22
25/4/2016	0.23	0.16	0.19
7/8/2017	0.20	0.24	0.22
20/4/2018	0.23	0.21	0.22
25/7/2019	0.20	0.21	0.21
24/6/2020	0.19	0.15	0.17
15/6/2021	0.19	0.14	0.17

- Theo chiều ngang hướng bay
- o Chuyển đổi từ ô đen sang ô trắng





○ Chuyển đổi từ ô trắng sang ô đen

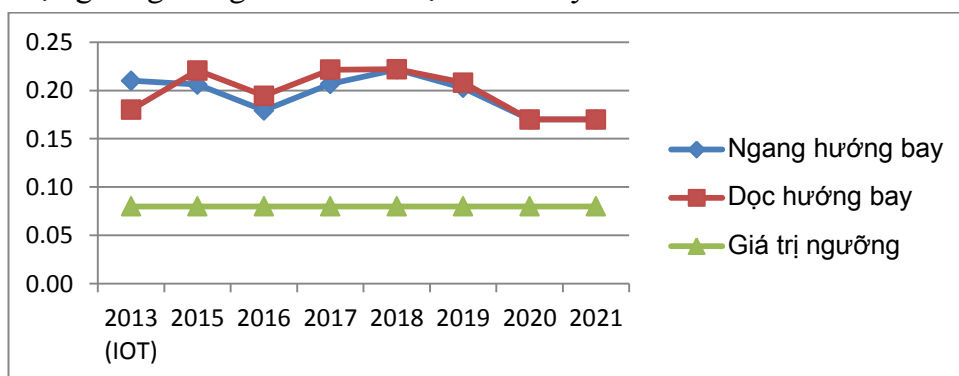


Kết quả tổng hợp các giá trị MTF theo chiều ngang hướng bay với việc lấy mẫu khi chuyển trạng thái từ đen sang trắng và ngược lại được thể hiện trong bảng dưới đây.

Bảng 4.3: Giá trị MTF theo chiều ngang hướng bay

Ngày chụp	MTF		
	Chuyển từ ô đen sang ô trắng	Chuyển từ ô trắng sang ô đen	Giá trị 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	0.25	0.19	0.22
25/7/2019	0.19	0.21	0.20
24/6/2020	0.18	0.16	0.17
15/6/2021	0.17	0.17	0.17

Trong suốt quá trình hoạt động từ khi được phóng lên quỹ đạo cho đến nay, giá trị MTF của hệ thống vệ tinh VNREDSat-1 vẫn luôn đảm bảo cao hơn ngưỡng cho phép. Mặc dù từ năm 2020 đến nay, giá trị này có xu hướng suy giảm nhưng luôn cao hơn giá trị ngưỡng mà nhà sản xuất khuyến cáo. Các giá trị MTF tính toán đa thời gian từ khi vệ tinh phóng lên quỹ đạo cho đến nay được thể hiện và so sánh với giá trị ngưỡng trong hình minh họa dưới đây



Hình 4.1: Giá trị MTF trong quá trình hoạt động từ khi được phóng

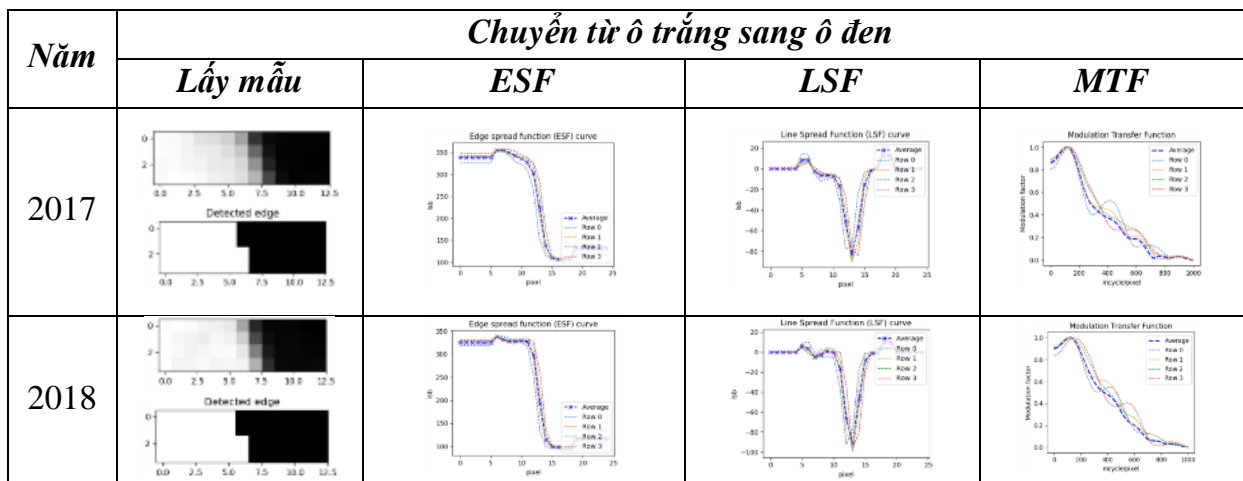
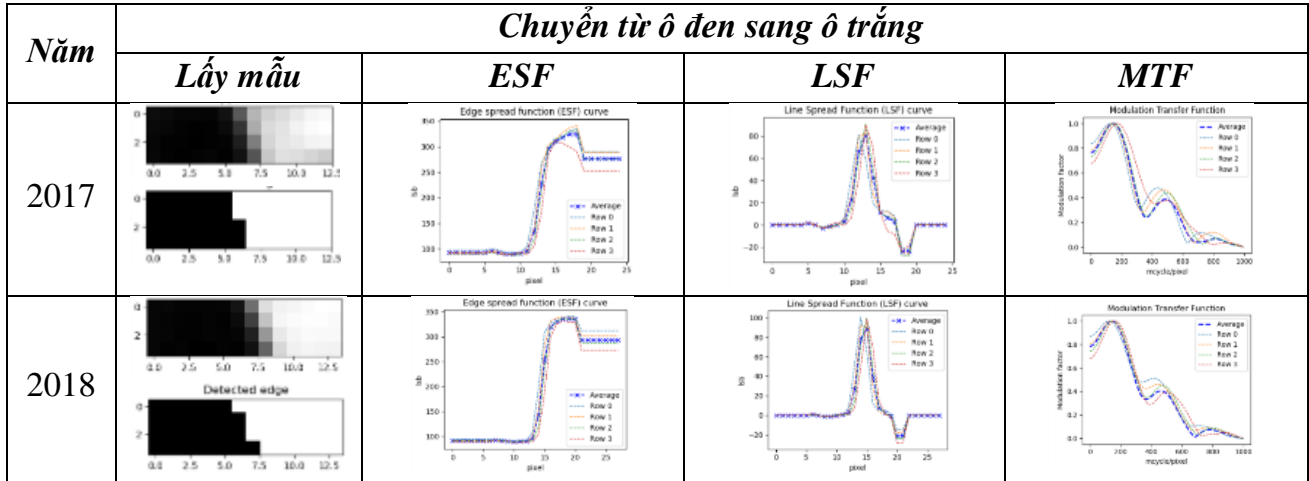
Bên cạnh đó, nghiên cứu sinh cũng đã tiến hành tính toán MTF thông qua sử dụng bãi kiểm định là Buôn Ma Thuột của Việt Nam. Dữ liệu ảnh thu thập để tính toán giá trị MTF được chụp vào đầu mùa khô năm 2017 và 2018, và được liệt kê trong bảng 4.4 (xem hình 4.2, 4.3).

Bảng 4.4. Dữ liệu ảnh VNREDSat-1 chụp bãi thử tại Buôn Ma Thuột

STT	Ngày chụp	Góc chụp	
		Nghiêng ngang	Nghiêng dọc
1	14/11/2017	8,8286°	17,4998°
2	02/11/2018	-11,9015°	0,8071°

Các tính toán tại bãi kiểm định Buôn Ma Thuột cũng sẽ được tiến hành theo chiều dọc và ngang hướng bay, và các trạng thái chuyển đổi đen sang trắng và trắng sang đen.

- Theo chiều dọc hướng bay, kết quả tính toán thể hiện trong bảng sau đây.



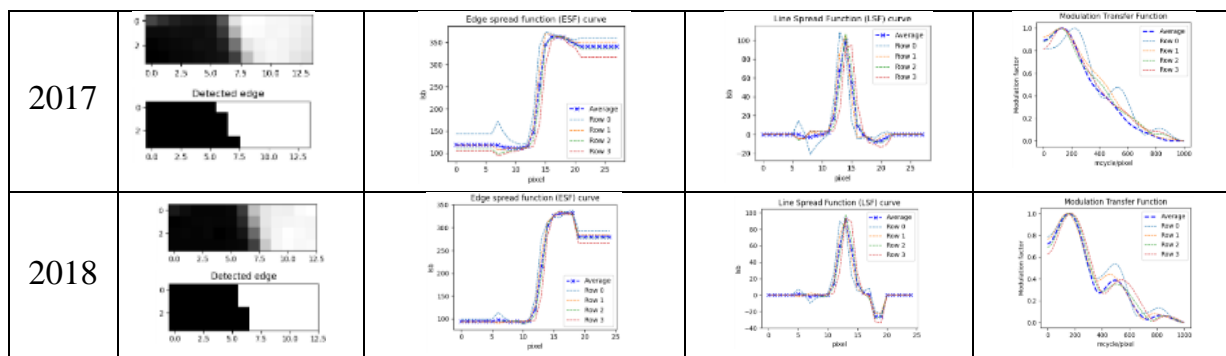
Kết quả tổng hợp các giá trị MTF theo chiều dọc hướng bay được tổng hợp trong bảng 4.5 dưới đây. Các giá trị thu được khá tốt và cao hơn giá trị ngưỡng thiết kế ban đầu là 0,08.

Bảng 4.5. Kết quả tính toán MTF theo chiều dọc hướng bay

Ngày chụp	<i>MTF</i>		
	<i>Chuyển từ ô đen sang ô trắng</i>	<i>Chuyển từ ô trắng sang ô đen</i>	<i>Giá trị trung bình</i>
14/11/2017	0.21	0.20	0.21
02/11/2018	0.19	0.20	0.20

- Theo chiều ngang hướng bay, kết quả tính toán thể hiện sau đây

Năm	<i>Chuyển từ ô đen sang ô trắng</i>			
	<i>Lấy mẫu</i>	<i>ESF</i>	<i>LSF</i>	<i>MTF</i>



Năm	Chuyển từ ô trắng sang ô đen			
	Lấy mẫu	ESF	LSF	MTF
2017				
2018				

Kết quả tổng hợp các giá trị MTF theo chiều dọc hướng bay được tổng hợp trong bảng 4.6 dưới đây. Các giá trị thu được khá tốt và cao hơn giá trị ngưỡng thiết kế ban đầu là 0,08.

Bảng 4.6. Kết quả tính toán MTF theo chiều ngang hướng bay

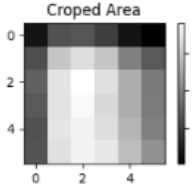
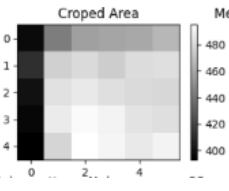
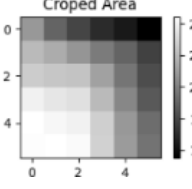
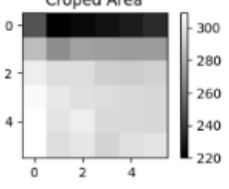
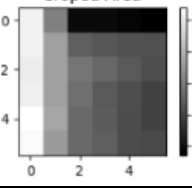
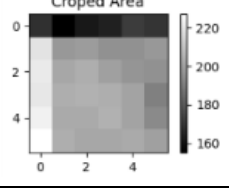
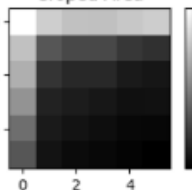
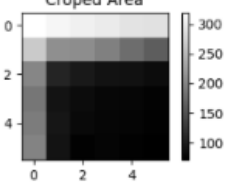
Ngày chụp	MTF		
	Chuyển từ ô đen sang ô trắng	Chuyển từ ô trắng sang ô đen	Giá trị trung bình
14/11/2017	0.18	0.19	0.19
02/11/2018	0.24	0.20	0.22

Qua các bảng kết quả có thể thấy, cho đến thời điểm 2018, tức là sau 05 năm hoạt động theo tuổi thọ thiết kế, hệ thống vệ tinh VNREDSat-1 vẫn đảm bảo được chất lượng ảnh. Do các thời điểm sau 2018, bãi kiểm định tại Buôn Ma Thuột chưa đáp ứng được điều kiện về phản xạ tại các ô mẫu nên chưa có những đánh giá chất lượng ảnh sử dụng bãi kiểm định này.

4.1.2. Đánh giá chất lượng ảnh thông qua SNR

Trong nghiên cứu, do những ô mẫu để đánh giá SNR trên bãi kiểm định tại Buôn Ma Thuột có kích thước là 20m x20m, và độ phân giải các kênh đa phổ của dữ liệu ảnh VNREDSat-1 là 10m nên trong nghiên cứu chỉ đánh giá giá trị SNR của kênh toàn sắc. Các kết quả thu được thể hiện trong bảng 4.7 sau đây.

Bảng 4.7. Kết quả tính toán SNR sử dụng bãi kiểm định tại Buôn Ma Thuột

Vùng lấy mẫu	2017	2018
Ô 1		
	SNR =148	SNR = 147
Ô 2		
	SNR =156	SNR = 111
Ô 3		
	SNR =170	SNR = 139
Ô 4		
	SNR =372	SNR = 402

Các kết quả thu được cho thấy, điều kiện của bãi thử tại Buôn Ma Thuột hoàn toàn đáp ứng được yêu cầu và giá trị SNR khá tương đồng với thời điểm IOT (xem bảng 4.8).

Bảng 4.8. So sánh kết quả SNR thực nghiệm và thiết kế

Kênh	IOT	Thực nghiệm		Yêu cầu
		2017	2018	
Pan	142	148	147	>100

Như vậy đến thời điểm kết thúc 5 năm hoạt động theo thiết kế, vệ tinh VNREDSat-1 vẫn đảm bảo chất lượng về mặt bức xạ, nhiều sản phẩm ảnh đầu ra của hệ thống chụp ảnh vẫn chưa xuống quá ngưỡng giới hạn.

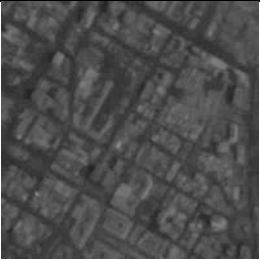











4.2. Phục hồi chất lượng ảnh VNREDSat-1


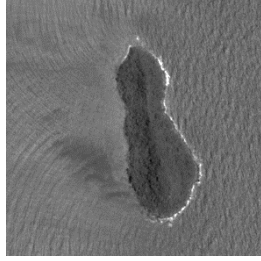
4.2.1. Phục hồi chất lượng ảnh bị mờ

Giá trị MTF thể hiện độ tương phản và sắc nét của dữ liệu ảnh đồng thời cũng xác định độ phân giải không gian trong miền tần số ở dạng nghịch đảo của sự phân biệt hai đối tượng rời rạc.

Bảng dưới đây minh họa ví dụ các đối tượng được phục hồi chất lượng ảnh

trong trường hợp ảnh bị mờ.

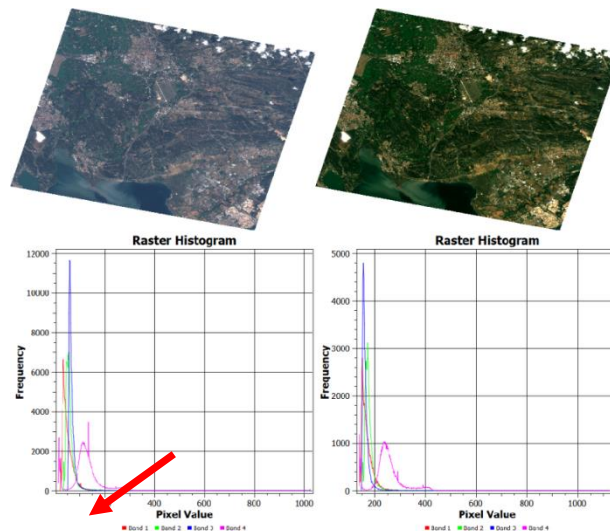
STT	Khu vực	Ảnh mờ	Ảnh phục hồi
1	Tp. Hồ Chí Minh		
2	Tp. Hòa Bình		
3	Giá Rai, Bạc Liêu		
4	Tiền Hải, Thái Bình		
5	Thủy điện Hòa Bình		
6	Sân bay Tân Sơn Nhất		

7	Hòn Xanh, quần đảo Thổ Chu, Kiên Giang		
---	---	---	---

4.2.2. Phục hồi chất lượng ảnh bị suy giảm về bức xạ

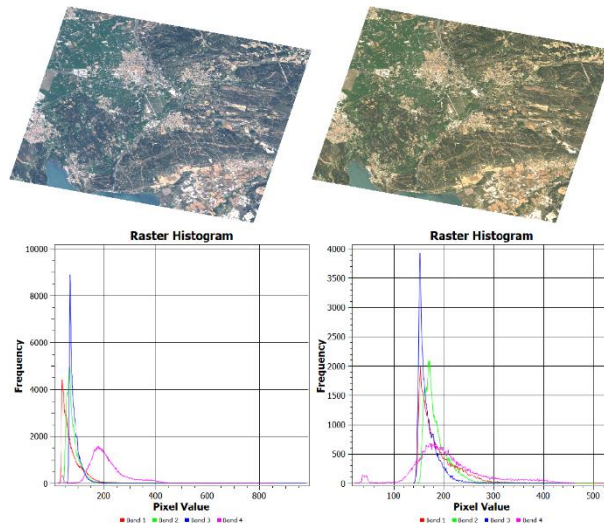
Dữ liệu được sử dụng để thực hiện hồi quy tuyến tính nhằm phục hồi chất lượng ảnh, nghiên cứu sinh sử dụng bộ dữ liệu đa thời gian chụp khu vực bãi kiểm định tại Salon de Provence. Đây là khu vực được chụp thường xuyên, và có ô mẫu đảm bảo tính thống nhất về mặt phản xạ trong suốt thời gian hoạt động. Danh sách dữ liệu được sử dụng liệt kê như trong bảng 4.1 sau đây.

Sau khi phục hồi, dữ liệu ảnh đã loại bỏ được các tín hiệu bị nhiễu, các giá trị độ xám được đưa về gần với thời điểm vệ tinh mới phóng lên quỹ đạo.



Hình 4.2. Ảnh phục hồi đã loại bỏ nhiễu (Dữ liệu VNREDSat-1, chụp ngày 15/10/2019, ảnh trái: ảnh gốc, ảnh phải: ảnh đã bổ sung giá trị bù)

Trong hình 4.2 có thể thấy, giá trị nhiễu trên kênh NIR của dữ liệu ảnh chụp ngày 15/10/2019 sau khi phục hồi đã được loại bỏ.



Hình 4.3. Ảnh phục hồi cung cấp nhiều thông tin hơn (Dữ liệu VNREDSat-1, chụp ngày 25/4/2016, ảnh trái: ảnh gốc, ảnh phải: ảnh đã bổ sung giá trị bù)

Trên hình 4.3, giá trị phản xạ của các kênh phổ trước khi hiệu chỉnh có xu hướng lệch về bên trái của biểu đồ phân bố giá trị độ xám, dẫn đến việc mất thông tin của các đối tượng có mức độ phản xạ thấp. Sau khi phục hồi, đồ thị đã dịch chuyển sang phải của biểu đồ phân bố, lượng thông tin của các đối tượng phản xạ thấp được cải thiện rõ rệt, đồng thời hình dạng đồ thị của từng kênh ảnh vẫn được giữ gần như ảnh gốc.

Các kết quả phục hồi ảnh khác được thể hiện chi tiết trong phụ lục 2.

4.3. Tiểu kết chương 4

Kết quả thực nghiệm đã chứng minh hệ thống chụp ảnh trên vệ tinh VNREDSat-1, vẫn đảm bảo được chất lượng ảnh so với yêu cầu đặt ra ($MTF \approx 0.2$ cao hơn ngưỡng 0,08 được nhà sản xuất vệ tinh đưa ra và $SNR \approx 145$, cao hơn ngưỡng 100).

Các dữ liệu ảnh sau khi phục hồi không những giữ được giá trị phản xạ tốt như ảnh gốc mà còn có thể cung cấp thêm thông tin đối với những đối tượng có mức phản xạ thấp, và hạn chế được giá trị nhiễu gây ra sai lệch thông tin tại các kênh phổ.

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Kết luận

Luận án “*Nghiên cứu, phát triển thuật toán tối ưu điều khiển thiết bị chụp ảnh quang học trên vệ tinh nhỏ viễn thám*” đã hoàn thành theo mục tiêu và nội dung nghiên cứu. Với các kết quả nghiên cứu của đề tài luận án, và các đề xuất phương pháp đánh giá gián tiếp chất lượng hệ thống chụp ảnh quang học vệ tinh nhỏ viễn thám và phương pháp phục hồi chất lượng ảnh qua hệ thống VNREDSat-1 của Việt Nam, nghiên cứu sinh có một số kết luận như sau:

- Chất lượng ảnh viễn thám quang học được đánh giá dựa trên hai thông số là hàm truyền điều biến MTF và tỉ lệ tín hiệu trên nhiễu SNR. Đây là hai thông số đại diện cho yếu tố không gian và bức xạ; chúng có thể được hiệu chỉnh nhằm tăng cường chất lượng dữ liệu ảnh trước khi đưa vào sử dụng. Cần phải thu thập một bộ dữ liệu thường xuyên, thích hợp để đánh giá một cách đầy đủ nhất về tình trạng của thiết bị thu nhận ảnh trong suốt quá trình hoạt động của hệ thống vệ tinh.

- Sau khi đánh giá, dữ liệu ảnh viễn thám của hệ thống vệ tinh nhỏ có thể được phục hồi lại gần với thời điểm vệ tinh mới phóng lên quỹ đạo về cả giá trị bức xạ thu được cũng như độ sắc nét của hình ảnh.

- Phương pháp đánh giá chất lượng ảnh đối với thông số MTF là phương pháp cạnh nghiêng. Đối với thông số SNR là phương pháp sử dụng cảnh đơn, với giả thiết SNR là tỉ số giữa giá trị trung bình của tín hiệu và độ lệch trung bình của tín hiệu.

- Phương pháp phục hồi chất lượng ảnh đối với độ sắc nét là phương pháp tích chập dựa trên hàm lan truyền điểm; đối với nhiễu, suy giảm giá trị bức xạ là phương pháp hồi quy tuyến tính. Các phương trình, ma trận của hai phương pháp này có thể tải trực tiếp lên vệ tinh để áp dụng cho hệ thống chụp ảnh.

- Các kết quả thu được đã chứng minh tính tin cậy của quy trình và phương pháp được đề xuất. Đối với hệ thống vệ tinh VNREDSat-1 của Việt Nam, chất lượng ảnh được đảm bảo cho đến thời điểm được đánh giá.

Kiến nghị

Phương pháp đánh giá, phục hồi chất lượng ảnh được đề xuất không chỉ áp dụng cho hệ thống vệ tinh VNREDSat-1 đang có mà còn có thể áp dụng cho những hệ thống vệ tinh viễn thám quang học khác hiện đang được sử dụng ở nước. Luận án “*Nghiên cứu, phát triển thuật toán tối ưu điều khiển thiết bị chụp ảnh quang học trên vệ tinh nhỏ viễn thám*” đã hoàn thành theo mục tiêu và nội dung nghiên cứu. .

**DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH KHOA HỌC CỦA TÁC GIẢ
ĐÃ CÔNG BỐ CÓ LIÊN QUAN TỚI LUẬN ÁN**

1. Ngo Duy Tan, Bui Trong Tuyen, Pham Minh Tuan, Thai Thi Bich Hong, et.al (2019) “Radiometric calibration for earth observation satellite optical instrument”, *Communications in Physics* (VAST), Special Issue Volume 29, October 2019, pp 423-432 ISSN 0868-3166;
2. Thai Thi Bich Hong, Bui Trong Tuyen, Pham Minh Tuan and N.D.Tan (2019), “Image quality estimation for satellite optical instrument using calibration site in Vietnam”, *International Journal of Advanced Research* (IJAR), pp722-727, ISSN 2320-5407, DOI URL: <http://dx.doi.org/10.21474/IJAR01/9884>
3. Thai Thi Bich Hong, Bui Trong Tuyen, Pham Minh Tuan, Ngo Duy Tan, (2020) “Image quality computation and its application for earth observation optical satellite”, *International Journal of Advanced Research in Engineering and Technology* (IJARET), pp 2470-2479, ISSN Online: 0976-6499.
4. Tan D.Ngo, Tuyen T.Bui, Tuan M.Pham, Hong T.B.Thai, Giang L.Nguyen, Tu N.Nguyen, (2021), “Image deconvolution for optical small satellite with deep learning and real-time GPU acceleration, *Journal of Real time image processing* (SCIE); pp 1697-1710, 2021, DOI: <https://doi.org/10.1007/s11554-021-01113-y>
5. Đặng Trường Giang, Vũ Thị Tương, Vũ Thị Phương Thảo, Thái Thị Bích Hồng, Bùi Trọng Tuyên, Phạm Minh Tuấn, Ngô Duy Tân (2021), “Nghiên cứu đề xuất Phương pháp đánh giá chất lượng phổ sản phẩm ảnh vệ tinh quang học độ phân giải cao”, *Tạp chí Khoa học Tài nguyên và Môi trường*, , tr 110-117, số 35-năm 2021;