

ĐÁNH GIÁ MỘT SỐ THUẬT TOÁN TÁI TẠO ẢNH TRONG KỸ THUẬT CHỤP ẢNH CẮT LỚP SỬ DỤNG CHÙM TIA HÌNH NÓN

TRẦN THÙY DƯƠNG, BÙI NGỌC HÀ, LÊ THÀNH ĐẠT

Đại học Bách khoa Hà Nội

Email: duong.tranthuy@hust.edu.vn

Tóm tắt: Kỹ thuật chụp ảnh cắt lớp sử dụng chùm tia hình nón có ứng dụng rất quan trọng trong việc chẩn đoán hình ảnh trong y tế và kiểm tra không phá hủy vật liệu, đặc biệt đối với các trường hợp yêu cầu thời gian trả kết quả nhanh và mức độ chính xác cao. Để đáp ứng được yêu cầu đó, giải thuật tái tạo hình ảnh đóng vai trò rất quan trọng. Trong báo cáo này, chúng tôi nghiên cứu và đưa ra đánh giá ưu nhược điểm của một số thuật toán tái tạo ảnh sử dụng trong kỹ thuật chụp ảnh cắt lớp sử dụng chùm tia hình nón. Phương pháp mô phỏng hệ chụp ảnh cắt lớp hình nón cũng được sử dụng để tạo ra dữ liệu hình chiếu phong phú hơn, giúp nghiên cứu đánh giá được nhiều khía cạnh của các thuật toán.

Từ khóa: *chụp ảnh cắt lớp, chùm tia hình nón, thuật toán tái tạo hình ảnh, FDK, SIRT*

1. MỞ ĐẦU

Kỹ thuật chụp ảnh cắt lớp vi tính (CT) đã trải qua sự phát triển nhanh chóng trong vòng 50 năm qua. Hiện nay, nó không chỉ cung cấp các hình ảnh mặt cắt ngang mà còn thêm nhiều thông tin hơn như hình ảnh vật thể ba chiều (3D) sử dụng cho chẩn đoán trong y tế và kiểm tra không phá hủy mẫu trong công nghiệp. Những ưu điểm chính trong việc sử dụng các chùm tia hình nón trong kỹ thuật chụp ảnh cắt lớp là: giảm thời gian thu thập dữ liệu, nâng cao độ phân giải, giảm tán xạ và giảm thời gian chiếu xạ. Với phương pháp này, toàn bộ thông tin ba chiều bên trong của đối tượng thu được và có thể được sử dụng để lấy bất kỳ hình ảnh hoặc hình ảnh cắt ngang nào từ một bộ phận nhỏ nào đó của vật. Gần đây, do sự phát triển của công nghệ đầu dò bản phẳng (FPD), CT sử dụng chùm tia hình nón (CBCT) đã được nghiên cứu và sử dụng một cách rộng rãi trong rất nhiều ứng dụng [1-3].

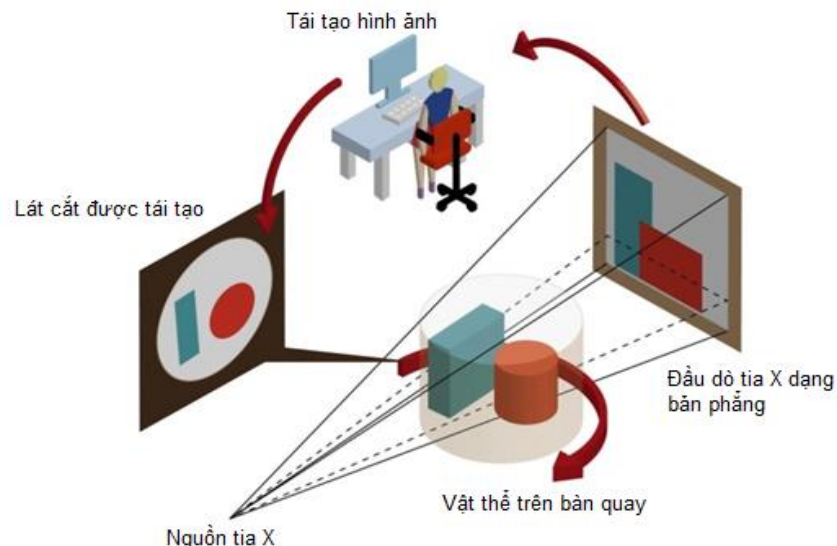
Ngoài kỹ thuật phần cứng, các nghiên cứu về phương pháp tái tạo hình ảnh của CBCT cũng được chú ý và phát triển. Các phương pháp có thể được đánh giá từ rất nhiều các khía cạnh khác nhau như độ chính xác, hiệu suất của việc tính toán, hình học quét và vùng được tái tạo... Kế thừa từ các thể hệ chụp ảnh cắt lớp trước, tái tạo ảnh trong CBCT cũng sử dụng hai phương pháp chính là giải tích và đại số. Các thuật toán đại số có độ chính xác cao, phổ biến nhất là thuật toán lặp (SIR), tuy nhiên yêu cầu cấu hình máy tính cao và tốn thời gian thực hiện. Các thuật toán giải tích tuy có độ chính xác kém hơn nhưng độ linh hoạt và thời gian xử lý nhanh hơn. Một trong số các thuật toán giải tích phổ biến nhất được sử dụng để tái tạo hình ảnh cắt lớp 3 chiều là Feldkamp (FDK) - thuật toán chiếu ngược có lọc với trọng số. Do thuật toán này yêu cầu quỹ đạo tròn nên chỉ có thể thu được hình ảnh tái tạo gần đúng. Tuy nhiên, đây là một trong những thuật toán quan trọng nhất đối với CBCT, thường được sử dụng trong các ứng dụng thực tế do tính đơn giản và khả năng tính toán song song, về chất lượng hình ảnh thỏa mãn trong trường hợp góc chiếu hình nón [1, 3-6].

Trong báo cáo này, chúng tôi nghiên cứu và đưa ra đánh giá ưu nhược điểm của thuật toán tái tạo ảnh chiếu ngược có lọc phiên bản Feldkamp-Davis-Kress (FDK) và thuật toán thống kê SIRT (Statistical image reconstruction) sử dụng trong CBCT, đánh giá ảnh hưởng của các hàm lọc tới chất lượng ảnh trong thuật toán FDK. Qua đó, cho thấy việc lựa chọn thuật toán FDK là phù hợp nhất trong các ứng dụng CBCT trong công nghiệp tại Việt Nam hiện nay.

2. NỘI DUNG

2.1. Đối tượng và Phương pháp

Trong khi kỹ thuật chụp cắt lớp CT thông thường sử dụng chùm tia X hình rỏ quạt và mảng đầu dò ghi nhận bức xạ hẹp, chùm tia X trong kỹ thuật chụp CBCT được phát ra dưới dạng hình nón và được ghi nhận bởi tấm phẳng ma trận đầu dò. Nhiều hình ảnh (thường là hàng trăm) từ các góc khác nhau được chụp qua một vòng quay của bộ phát tia X và tấm phẳng ma trận đầu dò xung quanh vật thể chụp. Thuật toán và phần mềm được sử dụng để tính toán dữ liệu thể tích (voxel) dựa trên nhiều góc chụp xung quanh điểm trung tâm cố định. Kỹ thuật chụp cắt lớp CBCT được thiết kế để tập trung vào một trường không gian nhỏ hơn, chi tiết hơn. Hiện nay, việc nghiên cứu về kỹ thuật CBCT tại Việt Nam còn rất mới mẻ, các hệ thiết bị này mới được sử dụng trong công nghiệp tại một số nhà máy lớn của Samsung hay LG.. chúng ta không thể tiếp cận để có các dữ liệu hình chiếu từ hệ thiết bị thực tế. Do đó, chúng tôi đã sử dụng phương pháp mô phỏng Monte Carlo để mô phỏng một hệ CBCT với cấu hình chiếu trong đó đầu dò và máy phát tia X đứng yên, vật mẫu sẽ được quay tròn xung quanh trục vuông góc với đường nối tâm máy phát và hệ đầu dò như mô tả trong hình 1. Trong báo cáo này chúng tôi không đề cập chi tiết tới việc mô phỏng hệ CBCT bằng MCNP6, mà chỉ coi đây là công cụ để tạo dữ liệu hình chiếu cho mục đích nghiên cứu các thuật toán tái tạo hình ảnh. Hệ CBCT mô phỏng có đặc điểm sau: Đầu dò bản phẳng có kích thước 43x43.9 cm, kích thước điểm ảnh $143\mu\text{m}\times 143\mu\text{m}$, vật liệu là CsI với bề dày của vùng tinh thể nhạy cỡ 0.3 mm; Máy phát tia X theo dạng hình nón với góc phát là 30° , có kích thước tiêu điểm $0.004\times 0.004\text{ mm}^2$, cao áp phát ra lớn nhất 240 kV; Hai vật mẫu (phantom) có dạng hình hộp chữ nhật và khối trụ, có kích thước lần lượt là $2.5\times 2.5\times 6.0\text{ cm}$ và $10\times 8\text{ cm}$, được làm bằng nhựa và nhôm. Chúng tôi sử dụng Tally F4 kết hợp với card Fmesh để lấy ra kết quả (thông lượng bức xạ trung bình trong một ô), điều này đáp ứng với yêu cầu đánh giá lượng bức xạ cần thiết để có thể đạt được chất lượng ảnh đủ tốt với sai số $<3\%$. Thông qua việc mô phỏng chúng tôi thu nhận được một ma trận thông lượng, tương đương với các mức xám của các điểm ảnh. Việc hiển thị ảnh được thực hiện thông qua ngôn ngữ Python.



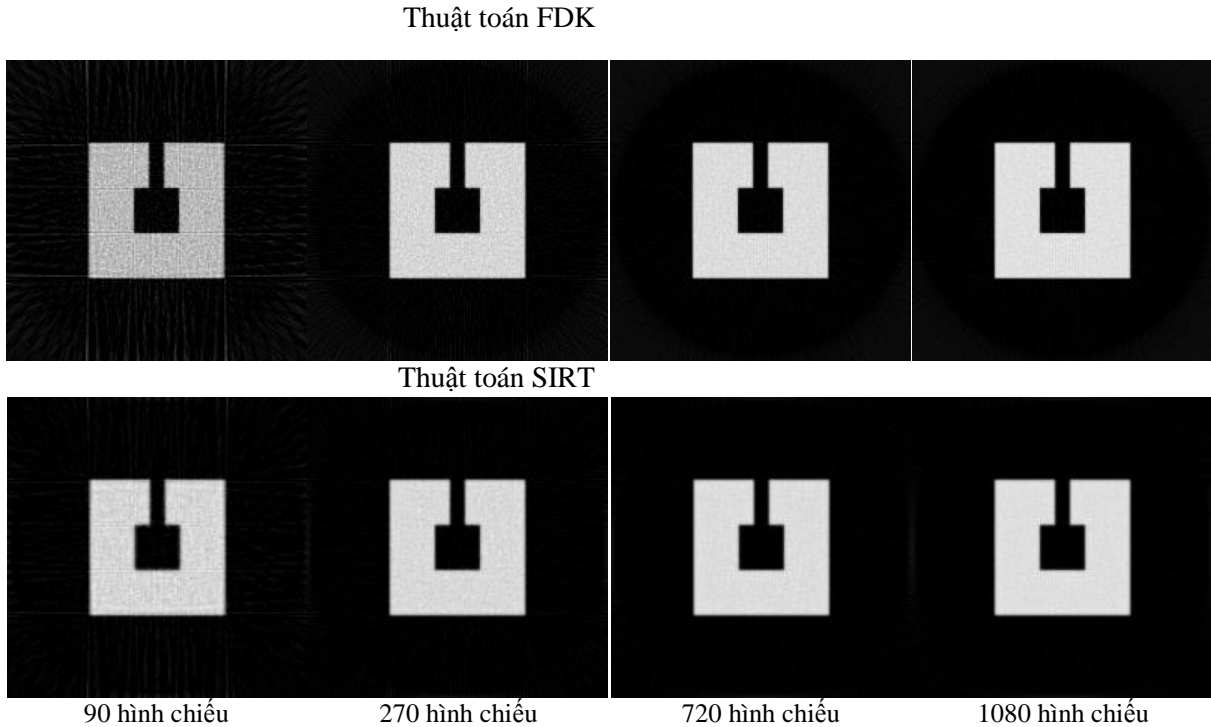
Hình 1. Mô hình hệ chụp cắt lớp sử dụng chùm tia hình nón

Bộ dữ liệu hình chiếu thu nhận được từ việc mô phỏng sẽ được sử dụng để tái tạo lại ảnh của vật thể thông qua hai thuật toán chiếu ngược có lọc FDK và thuật toán thống kê SIRT. Chúng tôi sử dụng ASTRA Tool Box – một công cụ mã nguồn mở, có thể tích hợp với Matlab hoặc Python để giúp các nhà nghiên cứu, phát triển các hệ thống chụp cắt lớp [7-9] và hỗ trợ việc tái

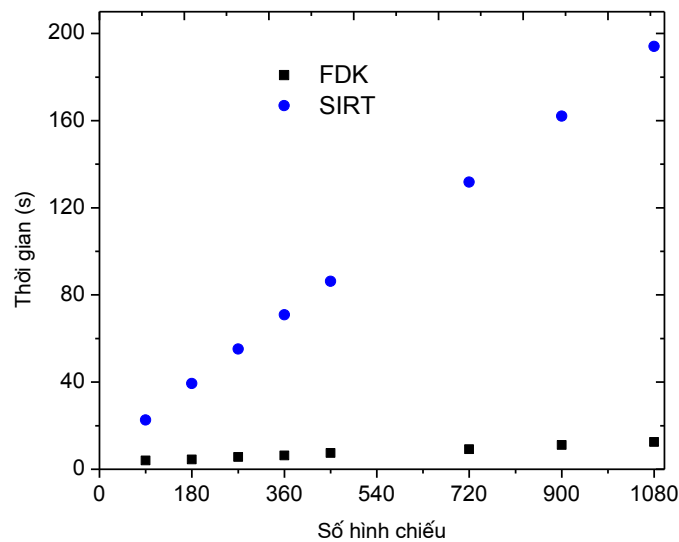
tạo ảnh. Ưu nhược điểm của hai thuật toán trên sẽ được phân tích cụ thể trong các kết quả dưới đây.

2.2. Kết quả

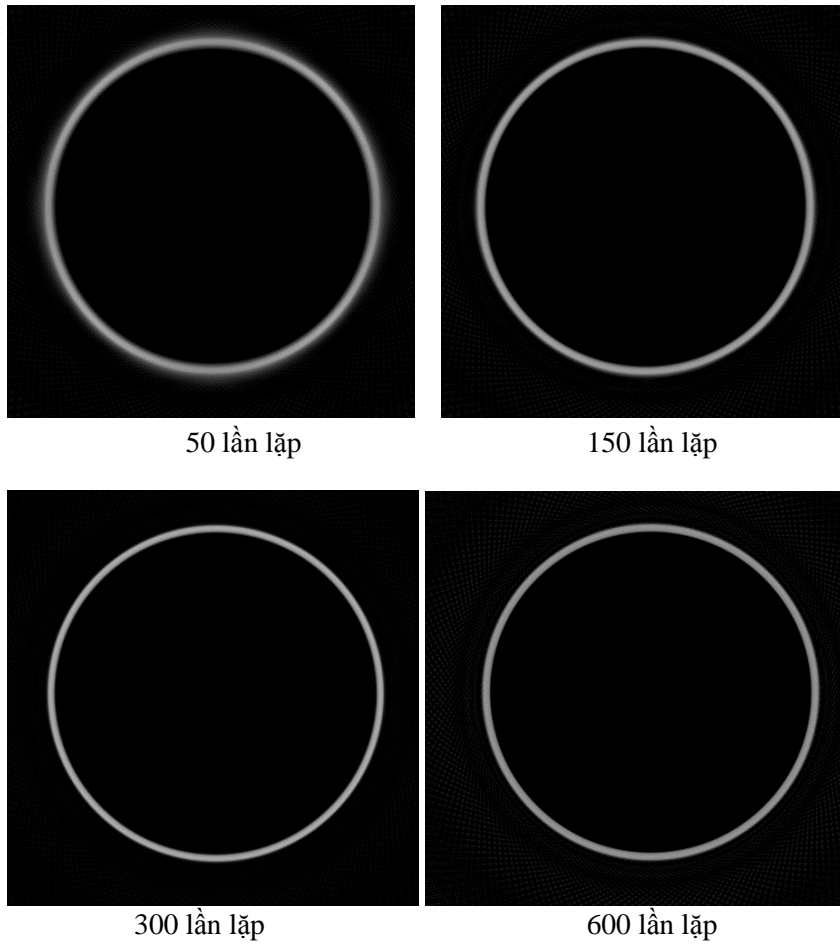
Trước tiên, chúng tôi thực hiện khảo sát chất lượng của ảnh tái tạo bằng hai thuật toán FDK và SIRT khi thay đổi số hình chiếu. Hình 2 biểu diễn ảnh mặt cắt tại tâm (kích thước 200x200 pixel) của vật thể sau khi được tái tạo với các bộ hình chiếu khác nhau. Thực hiện việc tái tạo được tiến hành trên máy Work station với cấu hình: Intel(R) Xeon(R) CPU E5-2630 v4 @ 2.20GHz. Đối với thuật toán SIRT chúng tôi thực hiện với cùng số phép lặp là 150 lần. Thời gian thực hiện việc tái tạo ảnh bởi hai thuật toán nói trên đối với cùng một bộ dữ liệu được ghi lại và được biểu diễn trong hình 3.



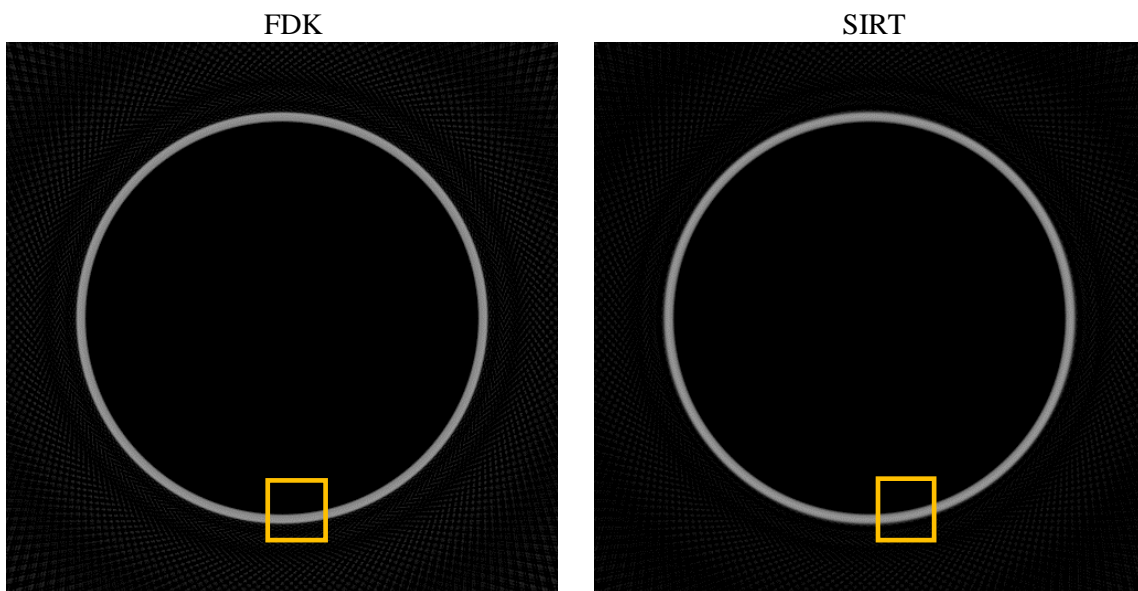
Hình 2. Ảnh tái tạo sử dụng hai thuật toán FDK và SIRT thay đổi theo số hình chiếu



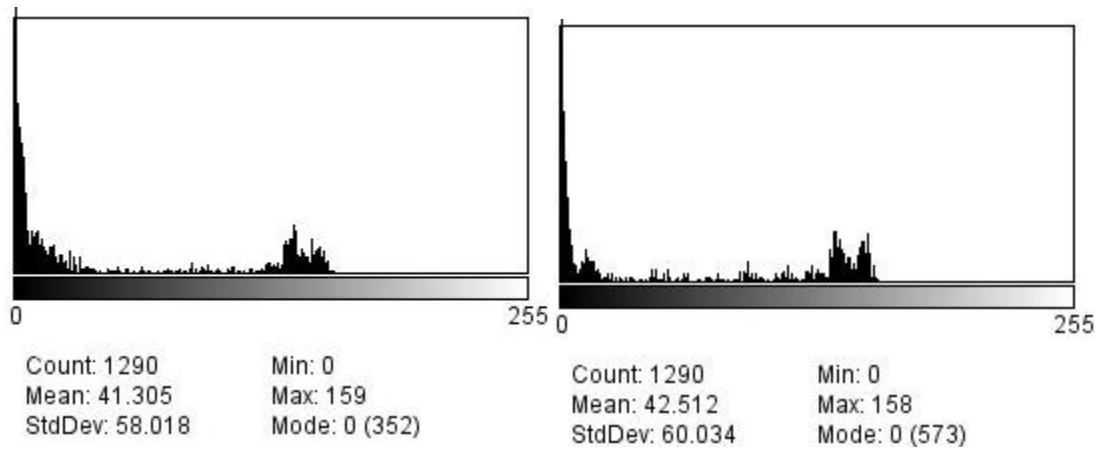
Hình 3. Sự thay đổi thời gian tái tạo ảnh theo số lượng hình chiếu đối với hai thuật toán FDK và SIRT



Hình 4. Ảnh tái tạo bởi thuật toán SIRT khi tăng số phép lặp

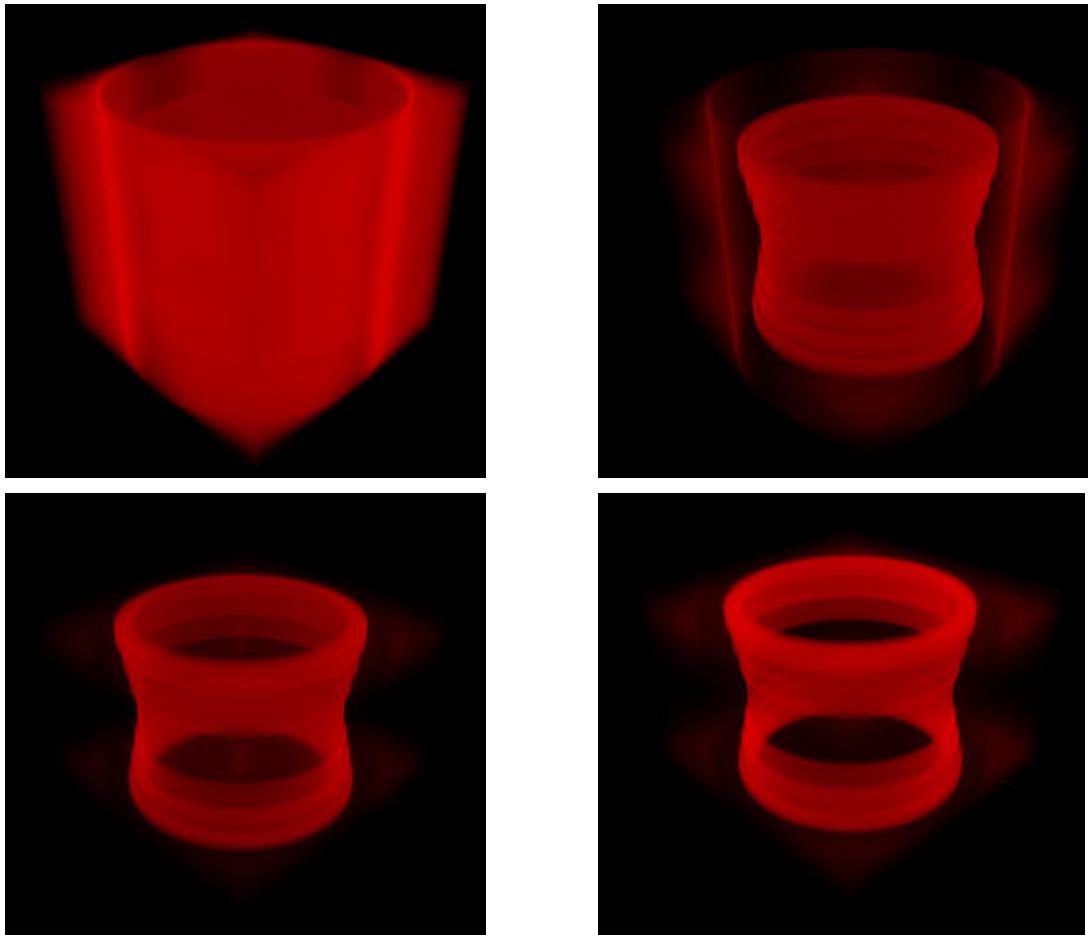


Hình 5a. Ảnh tái tạo từ 180 hình chiếu bởi thuật toán FDK và SIRT (với số phép lặp là 400 lần)



Hình 5b. Biểu đồ Histogram của một góc ảnh sau khi tái tạo bằng hai thuật toán FDK (bên trái) và SIRT (bên phải)

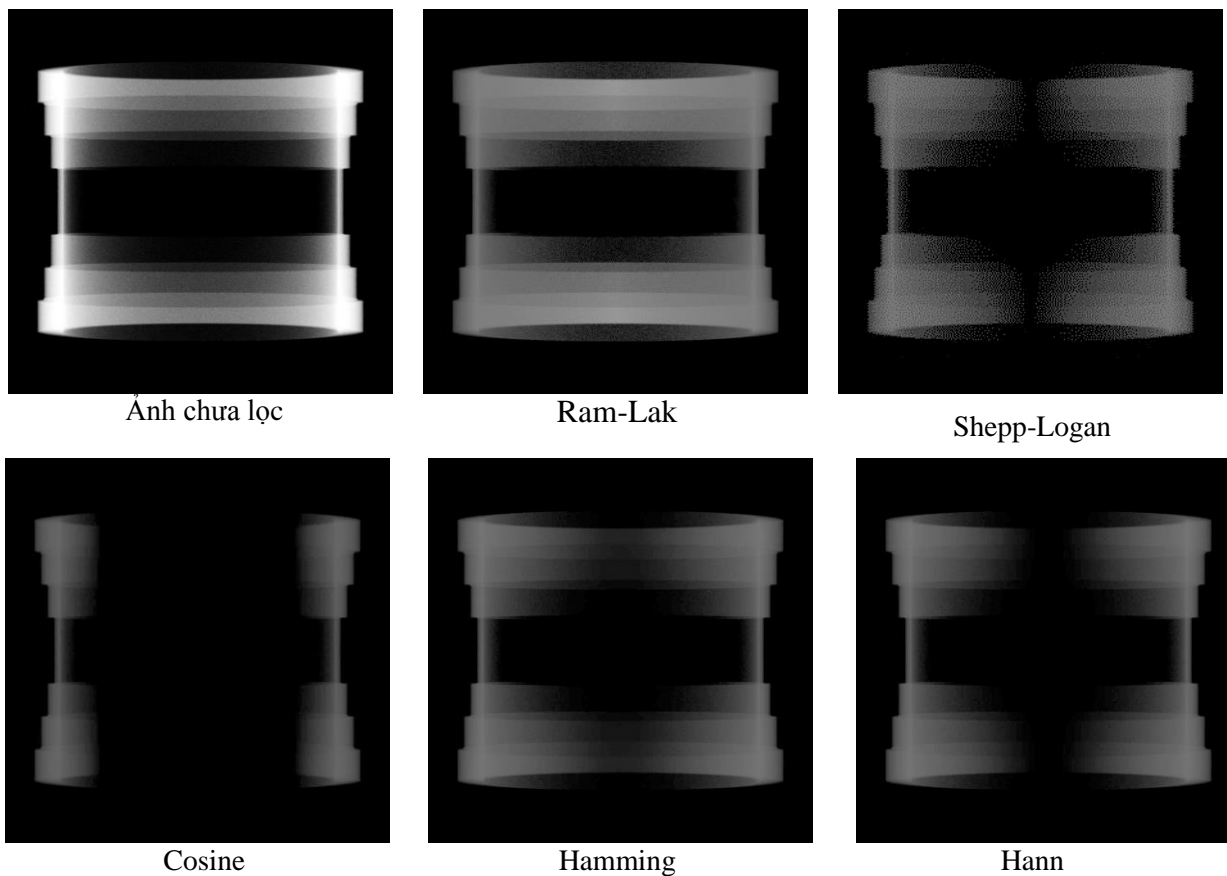
Chúng tôi sử dụng phantom lớn hơn với kích thước ảnh 2 chiều là 500x500 pixel. Chúng tôi khảo sát chất lượng ảnh tái tạo bởi thuật toán SIRT khi tăng số phép lặp (xem hình 4). Hình 5a hiển thị ảnh tái tạo từ 180 hình chiếu bởi thuật toán FDK và SIRT (với số phép lặp là 400 lần). Để so sánh về định lượng, chúng tôi phân tích bằng biểu đồ histogram của một góc cắt của ảnh tái tạo được từ hai thuật toán trên (hình 5b). Lúc này, thời gian thực hiện tái tạo bởi thuật toán FDK là 43.18 giây, còn đối với thuật toán SIRT (lặp 400 lần) là 1439.111 giây (23.9 phút).



Hình 6. Ảnh tái tạo ba chiều thực hiện bởi thuật toán FDK khi tăng cường độ chùm tia

Với các phép chụp yêu cầu số lượng điểm ảnh lớn hơn thì thời gian tái tạo ảnh của thuật toán SIRT là rất lớn. Như vậy, thuật toán này chưa phù hợp với các ứng dụng yêu cầu tốc độ xử lý nhanh (dưới 10 phút). Do đó chúng tôi đề xuất lựa chọn thuật toán FDK cho việc tái tạo ảnh trong các thiết bị sử dụng chùm tia hình nón. Chúng tôi thực hiện tái tạo hình ảnh 3 chiều bằng thuật toán FDK khi tăng liều chiếu lên phantom. Kết quả được hiển thị trên hình 6. Ở đây, bộ dữ liệu gồm 720 hình chiếu, với cường độ chiếu tương đối tăng dần từ trái sáng phải, từ trên xuống dưới theo tỷ lệ 1:4:8:10.

Cuối cùng chúng tôi tiến hành việc lọc ảnh tái tạo của một bộ dữ liệu với các hàm lọc khác nhau: Ram-Lak, Shepp-Logan, Cosine, Hamming, Hann. Hình ảnh trước và sau khi sử dụng hàm lọc của ảnh tái tạo được hiển thị trong hình 7.



Hình 7. Hình ảnh trước và sau khi sử dụng hàm lọc của ảnh tái tạo

2.3. Bàn luận

Từ các kết quả thu được, có thể thấy, đối với cả hai thuật toán, chất lượng của ảnh tái tạo tăng lên, nhiễu ít đi khi tăng số lượng hình chiếu. Tuy nhiên, cùng với một số lượng hình chiếu, thuật toán SIRT cho ảnh tốt hơn, với số lượng hình chiếu ít vẫn có thể tái tạo ảnh đạt được chất lượng cần thiết. Khi tăng số lượng hình chiếu, thời gian tái tạo của cả 2 thuật toán đều tăng gần như tuyến tính theo số hình chiếu nhưng thời gian thực hiện của thuật toán SIRT tăng mạnh hơn thuật toán FDK.

Khi tăng số lần lặp của thuật toán SIRT có thể thấy ảnh của vật thể rõ nét hơn, tuy nhiên khi số lần lặp lớn, nhiễu ở phía ngoài rõ ràng hơn. Ảnh tái tạo của thuật toán SIRT với 3-400 bước lặp gần tương đương với ảnh của thuật toán FDK, tuy nhiên nhiễu bên ngoài của thuật toán FDK cao hơn. Tuy vậy, thời gian tái tạo lên tới 23.9 phút đối với bộ dữ liệu gồm 180 hình chiếu,

kích thước ảnh 500x500 pixel là rất lớn trong khi thuật toán FDK chỉ mất có 43.18 giây). Như vậy, nhược điểm lớn nhất của thuật toán SIRT chính là thời gian thực hiện lớn, yêu cầu cấu hình máy tính cao đã được khẳng định trong các tài liệu [1, 3-6]. Với việc ứng dụng CBCT trong công nghiệp cần sự linh hoạt cao và chất lượng hình ảnh tái tạo không cần quá tốt như trong các ứng dụng trong y tế thì sử dụng thuật toán FDK phù hợp hơn.

Hình 6 cho thấy, khi tăng cường độ chiếu đến một giá trị thích hợp thì ảnh 3 chiều tái tạo bằng thuật toán FDK rõ nét hơn. Như vậy, chất lượng ảnh tái tạo không chỉ phụ thuộc vào dữ liệu hình chiếu mà còn phụ thuộc vào rất nhiều yếu tố trong quá trình chụp (cao áp, hình học chiếu, cường độ chiếu). Hình 7 cho thấy sự khác nhau của các hàm lọc trong việc lọc ảnh. Do mỗi hàm lọc có các đáp ứng trong miền tần số khác nhau nên ảnh hưởng tới các vùng của ảnh khác nhau. Đối với ảnh này, hàm lọc Ram-Lak cải thiện ảnh tốt nhất. Tùy vào từng ảnh, chúng ta có thể chọn hàm lọc phù hợp để ảnh tái tạo là tốt nhất.

3. KẾT LUẬN

Chúng tôi đã khảo sát một số tính chất của thuật toán tái tạo ảnh FDK và SIRT dùng cho hệ chụp ảnh cắt lớp sử dụng chùm tia hình nón. Các kết quả cho thấy chất lượng ảnh tái tạo của thuật toán SIRT tốt hơn so với thuật toán FDK. Tuy nhiên, khi số lượng điểm ảnh tăng lên, để đạt được chất lượng ảnh tương đương nhau thì thuật toán SIRT thực hiện lâu hơn rất nhiều so với thuật toán FDK. Do đó, chúng tôi đề xuất sử dụng thuật toán FDK để tái tạo ảnh trong các hệ CBCT sử dụng trong công nghiệp với yêu cầu thời gian chụp nhanh. Bên cạnh đó, chúng tôi cũng khảo sát chất lượng ảnh tái tạo 3 chiều của thuật toán FDK khi tăng liều chiếu và khi sử dụng thêm các hàm lọc ảnh. Các kết quả phù hợp với các nghiên cứu khác trên thế giới.

LỜI CẢM ƠN: Báo cáo này được hỗ trợ nghiên cứu từ đề tài KC0.5/16-20 của Bộ Khoa học và Công nghệ; sự hỗ trợ từ Tập đoàn Mitsubishi – Nhật Bản.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Wang, G., Lin, T. H., Cheng, P. C., & Shinozaki, D. M. (1993). A general cone-beam reconstruction algorithm. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 12(3), 486-496.
- [2] Xing, Y., & Zhang, L. (2007). A free-geometry cone beam CT and its FDK-type reconstruction. *Journal of X-Ray Science and Technology*, 15(3), 157-167.
- [3] Jia, X., Dong, B., Lou, Y., & Jiang, S. B. (2011). GPU-based iterative cone-beam CT reconstruction using tight frame regularization. *Physics in Medicine & Biology*, 56(13), 3787.
- [4] Hsieh, J., Nett, B., Yu, Z., Sauer, K., Thibault, J. B., & Bouman, C. A. (2013). Recent advances in CT image reconstruction. *Current Radiology Reports*, 1(1), 39-51.
- [5] Pack, J. D., Noo, F., & Clackdoyle, R. (2005). Cone-beam reconstruction using the backprojection of locally filtered projections. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 24(1), 70-85.
- [6] Scherl, H., Koerner, M., Hofmann, H., Eckert, W., Kowarschik, M., & Hornegger, J. (2007, March). Implementation of the FDK algorithm for cone-beam CT on the cell broadband engine architecture. In *Medical Imaging 2007: Physics of Medical Imaging* (Vol. 6510, p. 651058). International Society for Optics and Photonics.
- [7] Scherl, H., Koerner, M., Hofmann, H., Eckert, W., Kowarschik, M., & Hornegger, J. (2007, March). Implementation of the FDK algorithm for cone-beam CT on the cell broadband engine architecture. In *Medical Imaging 2007: Physics of Medical Imaging* (Vol. 6510, p. 651058). International Society for Optics and Photonics.

[8] Van Aarle, W., Palenstijn, W. J., Cant, J., Janssens, E., Bleichrodt, F., Dabrovolski, A., ... & Sijbers, J. (2016). Fast and flexible X-ray tomography using the ASTRA toolbox. *Optics express*, 24(22), 25129-25147.

[9] Palenstijn, W. J., Batenburg, K. J., & Sijbers, J. (2013, June). The ASTRA tomography toolbox. In *13th International Conference on Computational and Mathematical Methods in Science and Engineering, CMMSE* (Vol. 2013, pp. 1139-1145).

EVALUATE IMAGE RECONSTRUCTION ALGORITHMS IN CONE-BEAM COMPUTED TOMOGRAPHY TECHNIQUE

Abstract Cone-beam computed tomography (CBCT) technique is largely used in the medical diagnostic imaging and nondestructive materials testing, especially in cases which require fast response times and high accuracy level. To meet this requirement, image reconstruction methods play a very important role. In this report, we research and evaluate the pros and cons of some image reconstruction algorithms used in CBCT technique. The method of simulating CBCT systems is also used to provide richer projection data, which helps the research to evaluate many aspects of algorithms.

Keyword: *CT, cone beam, reconstruction algorithm, FDK, SIRT*