

# PHÁT TRIỂN PHẦN MỀM TÁI TẠO HÌNH ẢNH CHỤP CẮT LỚP ĐIỆN TOÁN CHO CẤU HÌNH CT THỂ HỆ THỨ IV

NGUYỄN THANH CHÂU\*, TRẦN THANH MINH, NGUYỄN VĂN CHUẨN, ĐẶNG NGUYỄN THẾ DUY

*Trung tâm Ứng dụng kỹ thuật hạt nhân trong công nghiệp; 01, ĐT 723, Đà Lạt, Lâm Đồng.  
Email: chaunt@canti.vn; ntchau109@gmail.com.*

*Tóm tắt:* Nhằm đáp ứng nhu cầu kiểm tra bên trong các thiết bị công nghiệp kích thước lớn phục vụ công tác đảm bảo an toàn trong sản xuất, Trung tâm Ứng dụng kỹ thuật hạt nhân trong công nghiệp đã nghiên cứu phát triển thiết bị chụp cắt lớp điện toán (CT) thể hệ thứ tư phục vụ cho việc khảo sát các vật thể có đường kính  $< 2m$ . Cùng với việc nghiên cứu, thiết kế và chế tạo phần cứng làm việc phù hợp trên các thiết bị kích thước lớn, phần mềm dựng ảnh cho cấu hình này cũng được tập trung nghiên cứu, phát triển. Phần mềm xây dựng hình ảnh cho cấu hình CT thể hệ thứ tư có thể tái tạo hình ảnh trên 3 thuật toán bao gồm: Kỹ thuật tái tạo đại số, Chiếu ngược có lọc và Tối đa hóa kỳ vọng được phát triển trên ngôn ngữ lập trình C#.

*Từ khóa:* Chụp cắt lớp điện toán, CT, Cấu hình CT thể hệ thứ IV, Tái tạo hình ảnh, ART, FBP, EM.

## 1. MỞ ĐẦU

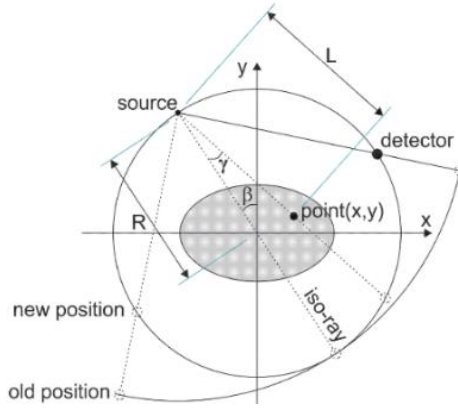
Thực tiễn hiện nay kỹ thuật chụp cắt lớp điện toán có rất nhiều cấu hình, ứng với mỗi hệ CT với cấu hình khác nhau, cần một phần mềm tương ứng để có thể tái tạo hình ảnh. Phần mềm xây dựng hình ảnh ảnh hưởng rất lớn đến chất lượng hình ảnh CT. Do đó, bài báo này sẽ đề cập đến 2 vấn đề chính trong quá trình tái tạo hình ảnh CT bao gồm tính toán hình học của cấu hình CT thể hệ thứ IV và các thuật toán xây dựng hình ảnh CT.

## 2. NỘI DUNG

### 2.1 Đối tượng và phương pháp.

#### a. Cấu hình hình học của CT thể hệ IV

Trong cấu hình CT thể hệ IV, bất kỳ tia chiếu nào đều có thể xác định được bởi 2 tham số  $\gamma$  và  $\beta$ , trong đó  $\gamma$  là góc được tạo bởi tia ảo với tia đi qua tâm (tia ảo nối với nguồn gamma và đi qua tâm của hệ đo), và  $\beta$  là góc tạo bởi tia ảo đi qua tâm nói trên và trục y như trong Hình 1.  $\gamma$  được gọi là góc dò và dùng để xác định vị trí của một tia trong quạt. [1]



**Hình 1.** Cấu hình CT thể hệ IV.

Một tia chiếu  $p(\gamma, \beta)$  trong chùm tia chiếu hình quạt là một tia chiếu  $p(u, \theta)$  trong chùm tia song song nếu các điều kiện sau được thỏa mãn:

$$\begin{aligned}\theta &= \beta + \gamma \\ u &= R \sin \gamma\end{aligned}\quad (1)$$

Với  $R$  là khoảng cách giữa nguồn phát và tia đi qua tâm hệ đo,  $L$  là khoảng cách giữa nguồn phát đến pixel  $(x,y)$ .

Mối liên hệ trong tính toán hình học đối với cấu hình hình quạt được thể hiện ở công thức bên dưới [2]:

$$L = \sqrt{[R + x \cdot \sin \beta - y \cdot \cos \beta]^2 + [x \cdot \cos \beta + y \cdot \sin \beta]^2} \quad (2)$$

$$\gamma = \tan^{-1} \left[ \frac{x \cdot \cos \beta + y \cdot \sin \beta}{R + x \cdot \sin \beta - y \cdot \cos \beta} \right] \quad (3)$$

### b. Thuật toán tái tạo đại số

Hình ảnh CT được xây dựng lại từ dữ liệu chiếu bằng thuật toán tái tạo đại số (ART) bao gồm hai bước [3][4]:

- Dữ liệu ước đoán được ước tính từ lần lặp thứ  $l$ :

$$p^l(\theta, \xi) = \sum_{k=1}^{q_\xi} a_{\xi k} \mu_{xy}^0, \quad k = \overline{1, q_j} \quad (4)$$

Giả sử chúng ta có giá trị hình ảnh được ước tính ở lần lặp thứ  $(l)$  và với bộ số liệu hình chiếu thu được, chúng ta sẽ tính được dữ liệu hình ảnh tại lần lặp thứ  $l+1$  thông qua công thức sau:

$$\mu_{xy}^{l+1} = \mu_{xy}^l + \lambda \frac{p(\theta, \xi) - p^l(\theta, \xi)}{\sum_{k=1}^{q_\xi} a_{\xi k}} a_{\xi k} \quad (5)$$

Trong đó  $p^l(\theta, \xi)$  là tổng tia,  $a_{\xi k}$  là hệ số trọng số đại diện cho sự đóng góp của tia thứ  $k$  đến điểm ảnh,  $\mu_{xy}^0$  là giá trị ước đoán ban đầu. Trong hầu hết các trường hợp, giá trị ước đoán ban đầu được gán bằng 0,  $\lambda$  được gọi là tham số hội tụ. Trong phương pháp tái tạo hình ảnh này, tham số hội tụ được sử dụng là 0,9.

### c. Thuật toán chiếu ngược có lọc

Thuật toán chiếu ngược có lọc (FBP) đã được thực hiện thông qua các bước sau [6]:

Biến đổi Fourier  $p(\theta, \xi): p(\theta, \xi) \rightarrow F(q, \theta)$

$$F(q, \theta) = \int_{-\infty}^{\infty} p(\theta, \xi) e^{-2\pi i q \xi} \quad (6)$$

Biến đổi Fourier ngược  $F(q, \theta)$  và nhân với hàm lọc.

$$\Re\{F^{-1}(q, \theta)\} = H(\xi) * \Re\{F(q, \theta)\} \quad (7)$$

$$\Im\{F^{-1}(q, \theta)\} = H(\xi) * \Im\{F(q, \theta)\} \quad (8)$$

$$F^{-1}(q, \theta) = \Re\{F^{-1}(q, \theta)\} + i\Im\{F^{-1}(q, \theta)\} \quad (9)$$

$$F^{-1}(u, v) = F^{-1}(q, \theta) \quad (10)$$

Với  $\Re$  và  $\Im$  tương ứng các phần thực và ảo của biến đổi Fourier, và không gian tần số được thay đổi bởi:

$$\begin{aligned} u &= q \cos \theta \\ v &= q \sin \theta \end{aligned} \quad (11)$$

Trong các công thức (7) và (8),  $H(\xi)$  là các bộ lọc. Có các bộ lọc thường được sử dụng:

Bộ lọc Ram – Lak:

$$H(\xi) = |\xi| \text{rect}\left(\frac{\xi}{2\xi_{\max}}\right) \quad (12)$$

Bộ lọc Cosine:

$$H(\xi) = |\xi| \cos\left(\frac{\xi}{2\xi_{\max}}\right) \text{rect}\left(\frac{\xi}{2\xi_{\max}}\right) \quad (13)$$

Bộ lọc Shepp – Logan:

$$H(\xi) = |\xi| \sin\left(\frac{\xi}{2\xi_{\max}}\right) \text{rect}\left(\frac{\xi}{2\xi_{\max}}\right) \quad (14)$$

Thuật toán chiếu ngược được mô tả thông qua công thức sau:

$$\mu(x, y) = \int_0^{\pi} \left\{ \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} F^{-1}(u, v) du dv \right\} d\theta \quad (15)$$

### e. Thuật toán tối đa hóa kỳ vọng (EM)

Thuật toán EM là một thuật toán lặp đi lặp lại bao gồm hai bước:

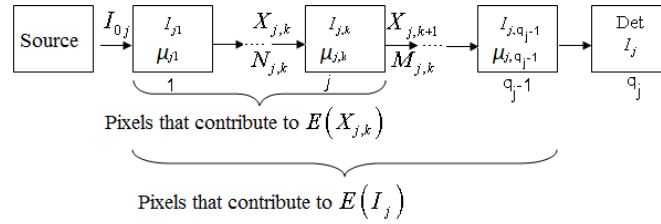
Tìm kỳ vọng (E) và tối đa hóa kỳ vọng (M) [6][7].

Bước E: Kỳ vọng của bộ dữ liệu hoàn chỉnh có điều kiện trên tập dữ liệu được đo lường (không đầy đủ) được ước tính bằng cách sử dụng các giá trị hiện tại của tập hợp các tham số. Theo cách này, các biểu thức sau được lấy và sử dụng trong bước E (xem Hình 3):

$$E(X_{j,k}) = \gamma_{j,k} = I_{0,j} \exp\left(-\sum_{i=1}^{k-1} I_{j,i} \mu_{j,i}\right) \quad (16)$$

$$E(I_j | X_{j,k}) = \gamma_{j,q_j} = \gamma_{j,k} \exp\left(-\sum_{t=k}^{q_j-1} I_{j,t} \mu_{j,t}\right) \quad (17)$$

$$E(X_{j,k} | I_j) = I_j + E(X_{j,k}) - E(I_j) \quad (18)$$



Hình 3: Sơ đồ tính toán thuật toán EM

Bước M: Trước khi đến bước tối đa hóa, kết quả của phương trình 18 được sử dụng để tính toán các tia đến và rời khỏi pixel  $j$ ,  $M_{x,y}$  và  $N_{x,y}$  tương ứng.

$$\begin{aligned} N_{x,y} &= E(X_{j,k} | I_j) \\ M_{x,y} &= E(X_{j,k+1} | I_j) \end{aligned} \quad (19)$$

Phương trình xấp xỉ hội tụ của dữ liệu hoàn chỉnh:

$$A\mu_{xy}^2 + B\mu_{xy} + C = 0$$

Với

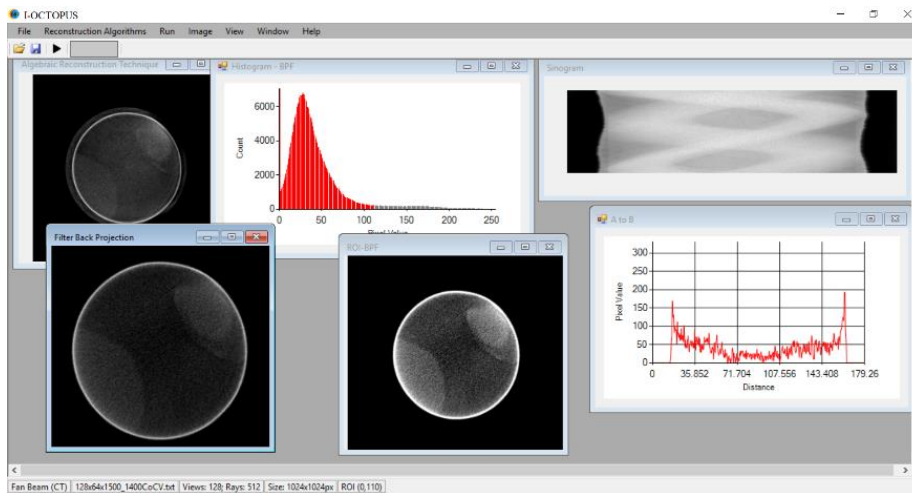
$$A = \sum_{j \in \text{view}} (N_{xy} - M_{xy}) \frac{I_{xy}^2}{12}, B = -\sum_{j \in \text{view}} (N_{xy} + M_{xy}) \frac{I_{xy}^2}{2}, C = \sum_{j \in \text{view}} (N_{xy} - M_{xy})$$

Và kết quả thu được của phương trình 20 là giá trị  $\mu_{x,y}^k$  cần tìm:

$$\mu_{x,y}^k = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A} \quad (21)$$

## 2.2. Kết quả và bàn luận.

Trên cơ sở lý thuyết về các thuật toán như đã trình bày, phần mềm tái tạo hình ảnh CT được xây dựng bằng ngôn ngữ lập trình C# có giao diện tại hình 4. Phần mềm tái tạo hình ảnh có khả năng xây dựng hình ảnh dựa trên cả 3 thuật toán và xử lý hình ảnh sau tái tạo để cho hình ảnh tốt nhất.

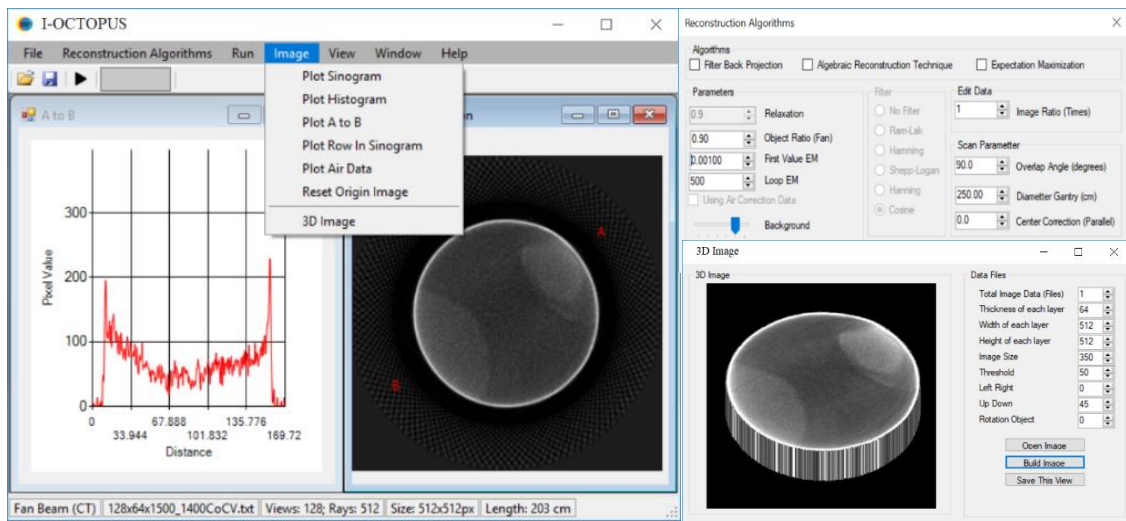


Hình 4. Giao diện phần mềm iOCTOPUS.

Để cho ra một hình ảnh hoàn thiện, phần mềm hoạt động theo các bước như sau.

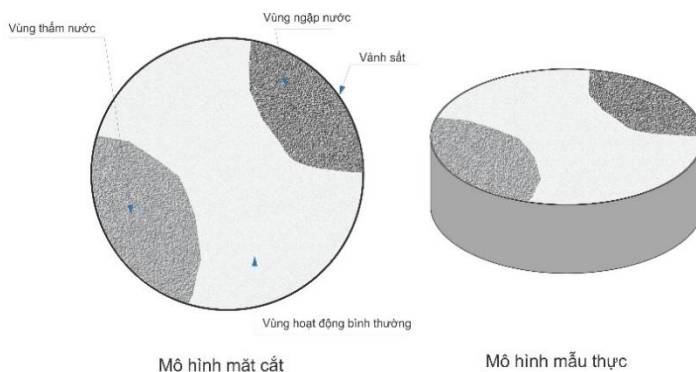
- + Số liệu được thu thập từ các đầu dò qua các góc chiếu, tia chiếu sẽ được tổng hợp lại và xử lý ban đầu.
- + Nhập số liệu vào phần mềm thông qua các thuật toán nhập số liệu.
- + Tái tạo hình ảnh.
- + Xử lý hình ảnh và cho ra hình ảnh hoàn thiện.

Chất lượng hình ảnh thu được phụ thuộc vào thuật toán và phương pháp hiệu chỉnh hình ảnh sau tái tạo. Hình ảnh tốt nhất là hình ảnh mịn, phân biệt các vùng mật độ khác nhau. Việc tái tạo hình ảnh 3D thông qua các lát cắt giúp người sử dụng dễ dàng nhận biết các khuyết tật, đồng được có thể hình dung được kết cấu của vật thể được chụp cắt lớp điện toán. Giao diện các thuật toán tái tạo hình ảnh, các phương pháp xử lý ảnh trên phần mềm được mô tả tại hình 5.



**Hình 5:** Hình ảnh đang được tái tạo và xử lý.

Một số kết quả của hình ảnh CT đã được xây dựng lại bởi phần mềm iOCTOPUS. Mô hình vật mẫu được kiểm tra là mẫu tại Hình 6. Vật liệu làm mẫu bao gồm vành sắt dày 1.5 cm bên ngoài, bên trong được bố trí mẫu với mật độ tương tự các vùng hoạt động bình thường và bất thường của lớp đệm trong tháp công nghiệp. Đường kính của mẫu là 1,5m. Dữ liệu hình chiếu dùng để dựng hình bao gồm 256 góc chiếu và 512 tia chiếu.



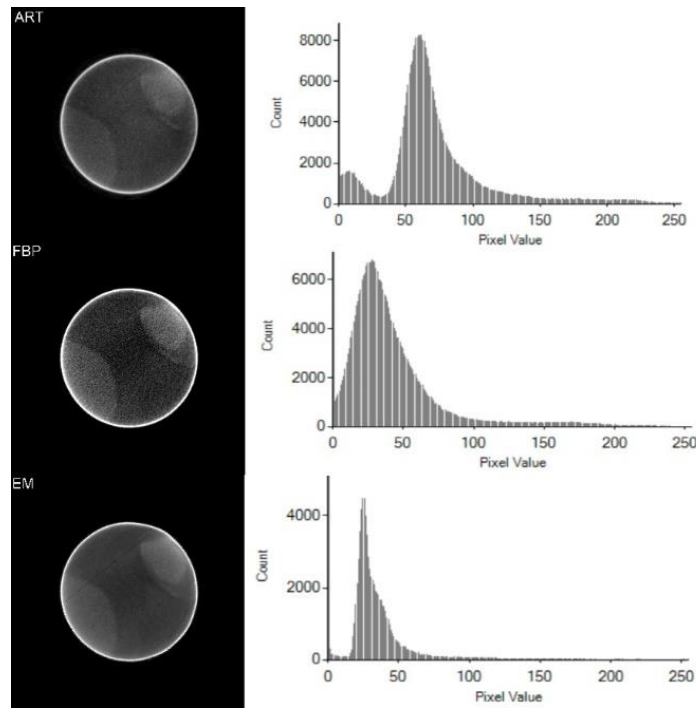
**Hình 6.** Mô hình mẫu kiểm tra



**Hình 7.** Hình ảnh mẫu thực tế

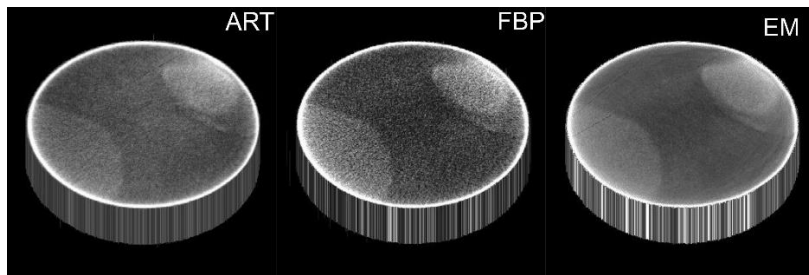
Phần mềm được xây dựng cho cấu hình CT này có khả năng xây dựng hình ảnh dựa trên cả 3 thuật toán kể trên. Trong các thuật toán đó, chiếu ngược có lọc là thuật toán tái tạo hình ảnh

sử dụng nhiều trong y tế. Nó nhanh hơn, đơn giản hơn nhưng dữ liệu đầu vào có dạng  $2^n$  tia chiếu, có nghĩa là ảnh được tái tạo sẽ có dạng  $64 \times 64$ ,  $64 \times 128$  hoặc  $128 \times 128$ , vv.

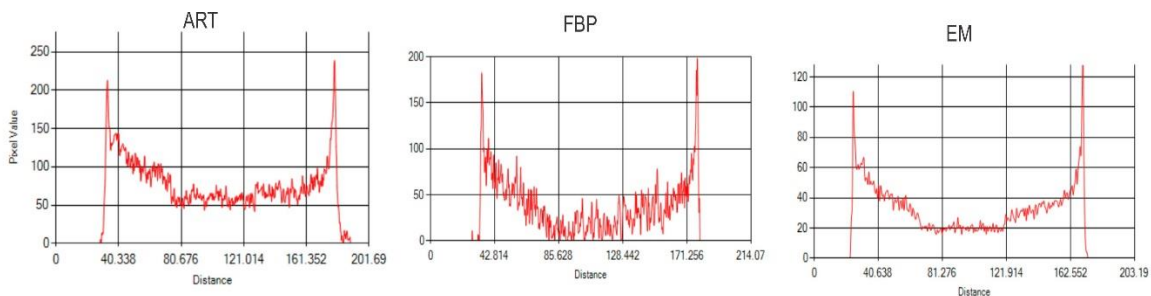


**Hình 8.** Hình ảnh tái tạo của mẫu đo bằng các thuật toán và biểu đồ mức xám tương ứng.

Thuật toán EM cho hình ảnh CT được xây dựng lại tốt nhưng thời gian tính toán chậm hơn thuật toán FBP. Thuật toán ART có thời gian tái tạo khá nhanh và dữ liệu đầu vào linh hoạt nhưng hình ảnh được tái tạo bị ảnh hưởng nhiều khi số liệu đầu vào không tốt. Hình ảnh 3D được tái tạo bằng cả 3 thuật toán được mô tả ở hình 9.



**Hình 9:** Hình ảnh 3D của mẫu.



**Hình 10.** Đường cắt đi qua tâm của mẫu.

Phân tích biểu đồ mức xám (hình 8), hình ảnh 3D (hình 9) và đường cắt qua tâm mẫu (hình 10) cho cả 2 thuật toán EM và FBP ta thấy hình ảnh khi xây dựng bằng thuật toán FBP

cho nhiều hơn nhưng nhìn chung với hình ảnh được tái tạo bằng thuật toán này ta vẫn phân biệt được 3 vùng với 3 mật độ khác nhau. Thuật toán EM cho tốc độ xây dựng hình ảnh chậm hơn tuy nhiên hình ảnh xây dựng được tốt hơn và mịn hơn. Thuật toán ART cho hình ảnh rất tốt tuy nhiên như đã đề cập, chất lượng hình ảnh xây dựng bởi thuật toán này phụ thuộc nhiều vào chất lượng của số liệu đầu vào. Nhìn chung hình ảnh xây dựng được cho kết quả tốt đáp ứng yêu cầu khảo sát một số hệ thống như bê tông cách nhiệt, hệ thống khử hơi sương hoặc vùng đệm của tháp lọc dầu trong công nghiệp.

### **3. KẾT LUẬN**

Kỹ thuật chụp cắt lớp điện toán sử dụng cấu hình CT thế hệ IV do Trung Tâm Ứng Dụng Kỹ Thuật Hạt Nhân Trong Công Nghiệp phát triển hiện nay đang được ứng dụng để khảo sát sự hư hại bên trong các tháp lọc dầu tại nhà máy lọc dầu. Trong phương pháp này, phần mềm tái tạo hình ảnh rất quan trọng. Nó là yếu tố cốt lõi cho việc đánh giá tình trạng hoạt động của tháp. Phần mềm tái tạo hình ảnh được xây dựng đã tái tạo được hình ảnh dựa trên 3 thuật toán bao gồm Kỹ thuật tái tạo đại số, Chiếu ngược có lọc và tối đa hóa kỳ vọng được phát triển bằng ngôn ngữ lập trình C# cho chất lượng hình ảnh tốt đáp ứng được yêu cầu kể trên. Thuật toán EM được coi là cho ra hình ảnh tốt nhất. Sự ổn định, chính xác của phần cứng thiết bị, chất lượng hình ảnh của phần mềm là cơ sở để đánh giá hoạt động bên trong tháp tại các nhà máy, phục vụ cho việc nâng cao hiệu suất của các tháp lọc dầu, bên cạnh đó an toàn tại các nhà máy và khu vực xung quanh cũng được đảm bảo.

### **TÀI LIỆU THAM KHẢO**

- [1] Robert Cierniak, “X-Ray Computed Tomography in Biomedical Engineering”, Springer London, 2011.
- [2] Jiang Hsieh. “Computed Tomography principles, design, artifacts, and recent advances”. 2nd Ed, 2009.
- [3] A.C. Kak and M. Slaney. “Principles of computerized tomographic imaging”, 1991.
- [4] Gabor T. Herman, Fellow, IEEE, and Lorraine B. Meyer, “Algebraic reconstruction techniques can be made computationally efficient”, IEEE TRANSACTIONS ON MEDICAL IMAGING, VOL. 12, NO. 3, SEPTEMBER, 1993
- [5] Edwin L. Dove, “Notes on Computerized Tomography – Bioimaging Fundamental”, 2003
- [6] Zeljko V.Kuzeljevic & prof. Muthanna H. Al – Dahhan. “Expectation – Maximization (EM) algorithm and its use for CT Imaging”.
- [7] Kenneth Lange and Richard Carson, “EM Reconstruction Algorithms for Emission and Transmission Tomography”, 1984.

# DEVELOPMENT OF IMAGE RECONSTRUCTION SOFTWARE FOR FOURTH-GENERATION COMPUTED TOMOGRAPHY

NGUYEN THANH CHAU\*, TRAN THANH MINH, NGUYEN VAN CHUAN,  
DANG NGUYEN THE DUY

*Email: chaunt@canti.vn; ntchau109@gmail.com.*

Centre for Applications of Nuclear Technique in Industry, Da Lat, Lam Dong, Viet Nam.

**Abstract:** *In order to inspect large size industrial equipment for safety in production, the Centre for Applications of Nuclear Technique in Industry Research and Development the CT Equipment using Fourth-Generation in the survey of objects <2m in diameter. In addition to researching, designing, and manufacturing hardware that work well on large size devices, image reconstruction software for this configuration has been researched and developed. Image reconstruction software for fourth-generation CT imaging can reproduce images on three algorithms including: Algebraic Reconstruction Technique, Filter Back Projection, and Expectation Maximization developed in C# programming language.*

**Index Terms:** *Gamma-ray tomography, CT, fan-beam CT configuration, ART, FBP, and EM.*