

## 투사 및 역투사 방법에 따른 컴퓨터단층촬영 영상 비교

### - Comparison Study on Projection and Backprojection Methods for CT Simulation -

부산대학교 기계공학부

오오성·이승욱

#### — 국문초록 —

컴퓨터단층촬영에서 영상 재구성은 가장 중요한 과정 중 하나다. 그 중에서도 빠른 주사시간과 낮은 조사량을 위하여 반복적 재구성(iterative reconstruction)은 점점 중요시 되고 있다. 그리고 이러한 반복적 재구성을 적용하기 위해서 투사 및 역투사 과정은 필수적인 과정이 된다. 그로 인하여 최근 distance-driven approach가 투사 및 역투사 방법으로 제안되었고 주목받고 있다. 본 연구에서는 이 distance-driven approach의 특성을 이해하기 위한 여러 가지 시뮬레이션을 수행하였고 다른 두 가지의 투사 및 역투사 방법과 비교하였다. 우선, 정사각형 팬텀을 이용하여 한 각도에서 투사 및 역투사를 통한 기본적인 특성을 비교 및 분석하였다. 그 후, Shepp-Logan 팬텀을 이용하여 세 가지 투사 및 역투사 방법이 최종 재구성 영상화질에 미치는 영향을 분석하였다. 영상재구성법은 여과 후 역투사와 반복적 재구성(SART)의 두 가지 방법에 대하여 각각 세 가지 투사 및 역투사를 적용하였다. 시뮬레이션 결과 distance-driven approach는 투사 및 역투사시 최소의 아티팩트가 생기는 것을 정사각형 팬텀 시뮬레이션을 통해 확인할 수 있었다. 그리고 이를 이용하여 Shepp-Logan 팬텀의 영상재구성 결과에 적용한 결과 여과 후 역투사와와 반복적 재구성 두 가지 방법 모두에서 distance-driven approach를 통한 재구성영상의 화질이 다른 방법에 비하여 가장 우수함을 확인할 수 있었다. 본 연구를 통해서 distance-driven approach의 투사 및 역투사의 성능을 비교 분석 확인하였다.

**중심 단어:** 시스템행렬, 투사, 역투사, 영상재구성, 컴퓨터단층촬영

## I. 서 론

컴퓨터단층촬영(CT)은 의료용 및 산업용에서 가장 많이 쓰이는 비파괴 3차원 영상을 획득하는 방법이다. 1971년 첫 컴퓨터단층촬영을 이용한 영상이 나온 후, 하드웨어 및 소프트웨어 분야에서 급격한 발전을 이루고 있다. 컴퓨터단층촬영의 원리는 물체를 지나면서 물체의 두께와 선형감쇄계수에 의하여 발생하는 X선의 세기의 감소를

이용한다. 물체의 단면을 얻기 위해서는 일정한 각도에서 검출기 상으로 투사하여 획득한 영상들을 토대로 역투사를 이용한 영상 재복원을 통하여 본래의 영상을 최대한 복원하여 관찰하게 된다<sup>1)</sup>.

컴퓨터단층촬영에서 발생하는 영상의 화질에 저하를 가져오는 아티팩트의 원인은 X선원 및 검출기의 위치 등에 따른 기하학적인 원인과 X선원과 검출기 등의 사양에 따른 시스템적인 원인, 물체의 종류에 따른 원인, 그리고 영상 처리 과정 중 생기는 원인 등 여러 요인들이 존재한다. 또한 원인 중에서는 시스템행렬(system matrix)에 의하여 생기는 원인이 있다.

시스템행렬은 물체와 검출기간의 관계를 나타내어주는 행렬을 의미한다. 시스템행렬은 X선원으로부터 발생한 X선이 물체를 지나 검출기로 들어가면서 물체와 상호작용

\* 접수일(2014년 11월 4일), 심사일(2014년 11월 7일), 심사일(2014년 12월 4일), 확정일(2014년 12월 15일)

\* 이 논문은 부산대학교 자유과제 학술연구비(2년)에 의하여 연구되었음.

교신저자: 이승욱, (609-735) 부산광역시 금정구 부산대학교 63번길 2  
 부산대학교 기계공학부  
 Tel : 051-510-1013, C.P. : 010-6406-3861  
 E-mail : seunglee@pusan.ac.kr

하는 기하학적 위치에 따라서 결정이 된다. 따라서 시스템행렬을 만들기 위하여 가중치를 정하는 방법은 X선원과 검출기 소자를 지나고 면과 영상의 화소가 만나는 영역을 지정하는 것이 가장 좋은 방법이지만 시간의 간소화를 위하여 면이 아닌 선을 기준으로 정하고 계산이 이루어진다. 따라서 이를 토대로 제작된 시스템 행렬을 통하여 투과된 영상을 특정한 알고리즘을 통한 분석적 재구성 또는 반복적 재구성을 통하여 본래의 영상을 복원하는 것이 목표가 된다.

기본적으로 분석적 재구성 중 하나인 역투사에 쓰이는 방법은 'pixel-driven approach'가 주로 사용된다<sup>2)</sup>. 이 방법은 역투사를 하는데 있어서는 좋은 방법이 될 수 있어서 분석적 재구성을 하기에는 괜찮지만, 투사를 함에 있어서 심각한 고주파 아티팩트가 발생을 하게 되어 단순한 투사에서는 잘 쓰이지 않으며 아티팩트를 제거하기 위해서 다른 여러 가지 계산들이 필요하게 된다<sup>3)</sup>. 이것과 다른 방법으로는 'ray-driven approach'가 있다. 이 방법은 생성된 수치편암을 투사하는데 있어서 뛰어난 능력을 가지고 있기 때문에 투사영상을 획득하는데 유용하다<sup>4,5)</sup>. 하지만 이 방법은 역투사에 있어서 아티팩트가 발생하는 문제점을 안고 있다<sup>6)</sup>.

따라서 이러한 투사 및 역투사하는데 있어서의 시스템행렬에 따른 근본적인 문제들을 해결하기 위하여 최근 distance-driven approach가 제시되었고 현재 많은 주목을 받고 있다<sup>7)</sup>. 따라서 본 연구에서는 이 distance-driven approach를 통한 시스템행렬 구성을 전산시뮬레이션을 통하여 실제로 구현하고 투사 및 역투사를 통하여 획득한 영상을 위 두 가지 방법과 비교 및 평가하고자 한다.

## II. 대상 및 방법

### 1. 이론

Fig. 1은 세 가지 방법의 컴퓨터 시뮬레이션 상에서의 투사 및 역투사 방법에 대하여 나타낸다. Pixel-driven approach의 경우 X선원과 영상의 단일 영상화소의 중심을 잇는 '화소중심선'에 중점을 두는 방법이다(Fig. 1a) 및 1b)). 따라서 이 방법을 통하여 역투사를 하기 위해서는 우선 검출기에 있는 값들을 화소중심선이 있는 위치로 보간법을 통하여 값을 정해진 뒤, 영상이 있는 위치로 재구성이 이루어진다. 이 때 쓰이는 보간법은 검출기의 모양에 따라서 다르게 쓰이지만 일반적인 선형 검출기의 경

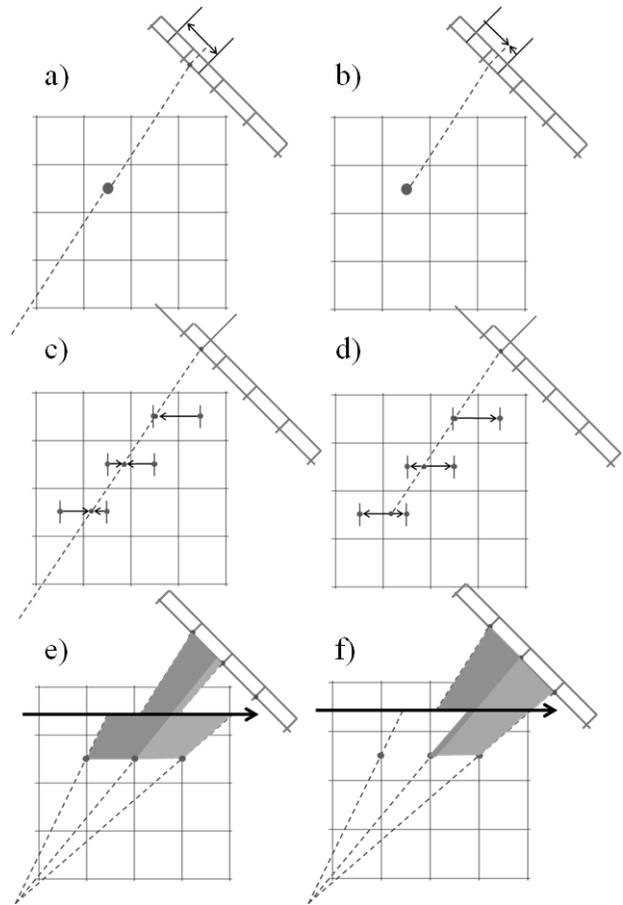


Fig. 1 3 approaches for projection/backprojection; a) Pixel-driven projection, b) Pixel-driven backprojection, c) Ray-driven projection, d) Ray-driven backprojection, e) Distance-driven projection, f) Distance-driven backprojection

우 선형보간법을 이용하여 사이에 있는 값들이 계산이 이루어진다. 하지만 투사를 함에 있어서 이 방법은 고주파 아티팩트가 발생을 하게 된다. 따라서 이를 해결하기 위하여 좀 더 복잡한 식들이 쓰이지만 이는 근본적인 해결책이 되지 못하고 있다.

이와는 다른 방법인 ray-driven approach의 경우 이와는 다르게 X선원과 검출기 단일 소자 중심을 잇는 선인 '소자중심선'이 초점을 맞추어 시스템행렬을 제작하는 방법이다(Fig. 1c) 및 1d)). 이 방법은 소자중심선이 영상을 지나면서 영상내의 가장 가까운 화소중심과의 선형보간법을 통하여 소자중심선으로 값을 맞추면서 검출기에 값이 들어가게 되고, 이때 어떤 보간법을 쓰느냐에 따라서 다르지만, 일반적으로 영상 화소의 행과 열을 지나면서 발생하는 교점을 이용하여 보간법이 이루어진다. 하지만 이 방법은 역투사를 함에 있어서 영상 내에 무아레 무

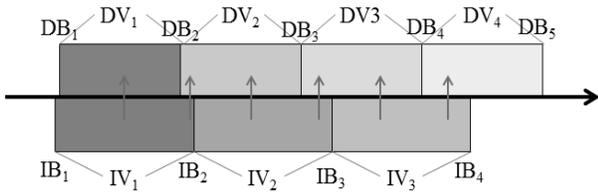


Fig. 2 Distance-driven approach for projection and back-projection

닉(moiré pattern)같은 아티팩트가 발생하게 되어 영상의 화질이 떨어지게 된다고 알려져 있다.

따라서 이러한 두 방법에 따른 아티팩트 발생을 제거하기 위하여 제안된 distance-driven approach의 경우, 위 두 방법과는 다르게 영상의 화소 및 검출기 소자의 경계선, 그리고 임의의 축을 이용하여 나타낸다(Fig. 1e) 및 1f)). 이 방법은 X선원과 영상의 경계선을 잇는 ‘화소경계선’ 및 X선원과 검출기의 경계선을 잇는 ‘소자경계선’을 어느 임의의 축상에 투영시켜서 이용하게 된다. Fig. 2는 화소경계선과 소자경계선이 임의의 축에 투영되었을 때의 모습을 나타낸다. 임의의 축에 투영되었을 때 영상경계의 좌표와 소자 경계의 좌표에는 축 상에 위치가 차이가 생기게 되고, 따라서 투사 또는 역투사를 할 때 서로 다른 위치 간에 겹치는 길이를 이용하여 가중치를 주게 된다. 따라서 이 방법은 위 두 방법과는 다르게 보간법을 이용하여 가중치는 주는 것이 아니라 선과 선의 겹치는 길이를 가중치로 이용하게 되기 때문에 투사와 역투사를 함에 있어서 아티팩트가 발생하지 않는 영상획득이 가능하다.

Fig. 2에서 투사 및 역투사를 할 때 검출기 및 영상에 획득되는 값들은 다음과 같이 나타낸다.

$$\begin{aligned} DV_2 &= p_{w1} \times IV_1 + p_{w2} \times IV_2 \dots\dots\dots (1) \\ DV_3 &= p_{w1} \times IV_2 + p_{w4} \times IV_3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{여기서, } p_{w1} &= \frac{IB_2 - DB_2}{DB_3 - DB_2}, p_{w2} = \frac{DB_3 - IB_2}{DB_3 - DB_2} \\ p_{w3} &= \frac{IB_3 - DB_3}{DB_4 - DB_3}, p_{w4} = \frac{DB_4 - IB_3}{DB_4 - DB_3} \end{aligned} \dots\dots\dots (2)$$

$$\begin{aligned} IV_2 &= bp_{w1} \times DV_2 + bp_{w2} \times DV_3 \dots\dots\dots (3) \\ IV_3 &= bp_{w2} \times DV_3 + bp_{w4} \times DV_4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{여기서, } bp_{w1} &= \frac{DB_3 - IB_2}{IB_3 - IB_2}, bp_{w2} = \frac{IB_3 - DB_3}{IB_3 - IB_2} \\ bp_{w3} &= \frac{DB_4 - IB_3}{IB_4 - IB_3}, bp_{w4} = \frac{IB_4 - DB_4}{IB_4 - IB_3} \end{aligned} \dots\dots\dots (4)$$

식 (1) 및 식 (2)는 투사를 할 때 검출기 소자에 더해지는 값들과 그때의 가중치를 나타내며 식 (3)과 식 (4)는 역투사를 할 때 영상의 화소에 더해지는 값들을 나타낸다. 여기서 DV는 검출기의 각각의 소자의 값이고 IV는 영상내의 화소의 값을 말한다. 그리고 p는 투사를 할 때의 가중치를 말하며 bp는 역투사를 할 때의 가중치, DB는 검출기 소자 경계선이 임의의 축에 투영되었을 때의 위치를 뜻하며, IB는 영상의 화소경계선이 임의의 축에 투영되었을 때의 위치를 말한다. 따라서 검출기 소자의 개수와 영상의 화소의 개수가 많아지더라도 위와 같은 방법으로 투사 및 역투사가 진행이 된다.

## 2. 시뮬레이션

본 연구의 전산시뮬레이션은 MATLAB상에서 제작되었다. 전체적인 형태는 50 cm의 반지름을 가지는 부채꼴 빔 형태를 가지도록 제작하였다. 또한 검출기의 경우 각각의 길이가 0.07 cm인 총길이 21.6 cm의 324개의 검출기 소자를 가지도록 설계 되었다. 그리고 검출기는 X선원과 시스템의 중앙을 잇는 선과 검출기의 중앙이 수직으로 일치하도록 하였다. 이와 같은 형상에서 생기는 관심영역(ROI)의 반지름은 5.37 cm가 된다. 그리고 한 바퀴를 돌아 데이터를 수집할 때 0.5° 당 1장씩, 총 720번의 등각 영상을 획득하였다. 시스템행렬을 제작하는 방법은 세 가지 방법 모두를 이용하여 제작이 되었으며, ray-driven approach와 distance-driven approach에서 행과 열을 정하는 기준은  $|\tan \theta| \leq 1$  일 때에는 행을 기준으로,  $|\tan \theta| > 1$  일 때에는 열을 기준으로 계산이 이루어졌다.

시뮬레이션에 사용된 수치팬텀은 Shepp-Logan 팬텀과 정사각형 팬텀이 사용되었다. 영상의 크기는 10×10 cm<sup>2</sup> 크기의 512×512개의 영상 화소로 제작되었다(Fig. 3). 수치팬텀 제작에 사용된 변수들은 Table 1에 나타내었다.

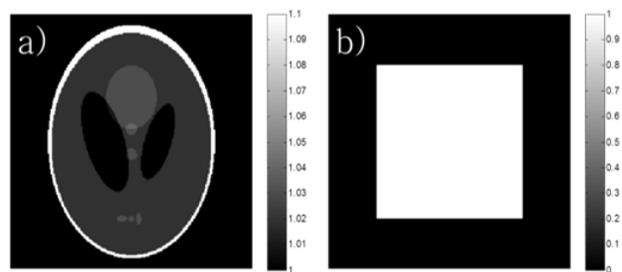


Fig. 3 Phantoms used in this numerical simulation; a) Shepp-Logan Phantom, b) Square phantom

**Table 1** Parameters of the phantoms used in this numerical simulation

	X-offset (cm)	Y-offset (cm)	Major axis (cm)	Minor axis (cm)	Rotation angle (°)	Value
Shepp-Logan phantom	0,0	0,0	9,2	6,9	0,0	2,0
	0,0	-0,092	6,624	8,74	0,0	-0,98
	1,1	0,0	1,1	3,1	-18,0	-0,02
	-1,1	0,0	1,6	4,1	18,0	-0,02
	0,0	1,75	2,1	2,5	0,0	0,01
	0,0	0,5	0,46	0,46	0,0	0,01
	0,0	-0,5	0,46	0,46	0,0	0,01
	-0,4	-3,025	0,46	0,23	0,0	0,01
	0,0	-3,03	0,23	0,23	0,0	0,01
Square phantom	0,0	0,0	6,0	6,0	0,0	1

### 3. 영상 재구성

영상 재구성 방법은 2가지 방법으로 시행되었다. 첫 번째는 여과 후 역투사 방법을 통하여 영상을 재구성하였고, 두 번째는 잘 알려진 반복적 재구성 방법 중 하나인 Simultaneous Algebraic Reconstruction Technique (SART)<sup>8)</sup>를 이용하여 영상 재구성을 실시하였다. 식 5)에 SART의 식이 나타나 있다.

$$x_l^{i+1} = x_l^i + \lambda_i \frac{1}{\sum_{k=1}^M a_{k,l}} \frac{\sum_{k=1}^M \frac{a_{k,l}}{\sum_{l=1}^N a_{k,l}} (b_l - a_{k,l} x_l)}{\dots} \quad (5)$$

여기서  $x$ 는 임의로 가정된 영상을 나타내고  $a$ 는 본 논문에서의 시스템행렬을 말한다. 그리고  $b$ 는 실제 투사된 영상을 나타내며  $\lambda$ 는 이완변수를 나타낸다. 따라서 이 알고리즘을 통한 반복을 통하여 실제 영상에 더욱 가까운 영상을 획득할 수 있다. 본 시뮬레이션에 사용한 변수들은 Table 2에 나타내었다.

**Table 2** Parameters in this numerical simulation

Phantom size	10×10 cm <sup>2</sup>	Radius of ROI	5,4 cm
Number of pixels of the phantom	512×512	Initial angle	0°
Detector size	21,6 cm	Number of view per rotation	720
Number of elements of the detector	216	FBP filter	Ram-Lak
Distance from source to center of the object (center of rotation)	50 cm	Iterative reconstruction algorithm	SART
Distance from source to center of the detector	50 cm	Iteration	100

## III. 결과 및 고찰

### 1. 투사

Fig. 4는 정사각형 팬텀을 투사한 결과 및 0°에서의 단면을 나타낸다. 여기서 pixel-driven approach는 부채꼴 형태의 빔 형태로 인하여 영상의 가운데 부분에 고주파의 아티팩트가 생겨나고 ray-driven approach와 distance-driven approach에서는 고주파 아티팩트가 생기지 않은 깨끗한 검출기 영상을 획득할 수 있다.

### 2. 역투사

역투사를 실시하기 위하여 distance-driven approach로 투사한 영상을 이용하여 진행하였다. 일반적인 영상은 정사각형 팬텀을 역투사하였기 때문에 사다리꼴 형태를 가지는 아티팩트가 없는 깨끗한 영상을 획득해야 한다. Fig. 5는 0°에서 각각의 방법으로 역투사한 영상들을 나타낸다. 여기서 ray-driven approach에서는 무아레 무늬를 띄는 많은 아티팩트가 발생하게 되지만 pixel-driven approach와 distance-driven approach에서 이러한 아티팩트가 없는 영상을 획득할 수가 있다.

### 3. 영상재구성에 따른 결과 비교

Shepp-Logan 팬텀을 이용하여 세 가지 방법에 따른 여과후 역투사 방법 및 반복적 재구성 방법이 각각 Fig. 6과 Fig. 7에 나타나있다. 모든 영상에서 범위는 영상의 오른쪽에 표시되어있다. Fig. 6의 여과 후 역투사에서 ray-driven approach가 가장 좋지 않은 영상을 보여주었고 pixel-driven approach와 distance-driven approach는 본래의 영상을 비교적 잘 복원함을 알 수가 있다. 또한 반복적 재구성을 이용한 경우, distance-driven approach를 제외하고는 제대로 영상이 복원이 되지 않음을 확인 할 수 있다.

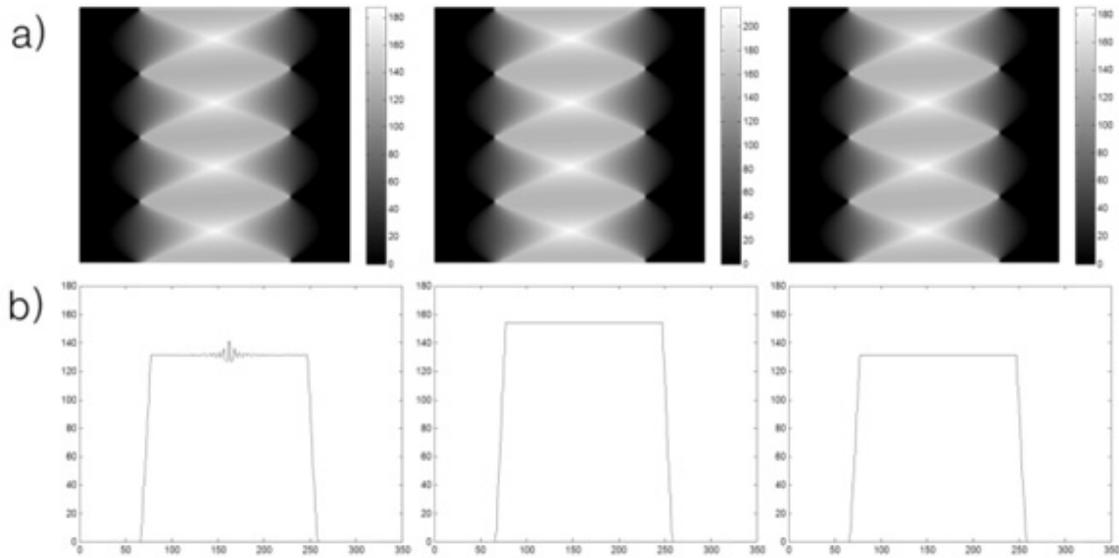


Fig. 4 a) Projection images of square phantom, b) Profile at  $\theta = 0^\circ$  ; (left: Pixel-driven approach, middle: Ray-driven approach, right: Distance-driven approach)

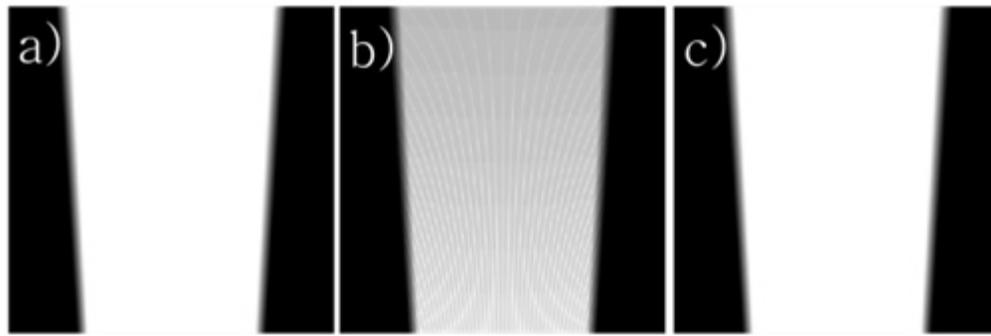


Fig. 5 Backprojection images of square phantom at  $\theta = 0^\circ$  ; (a) Pixel-driven approach, b) Ray-driven approach, c) Distance-driven approach)

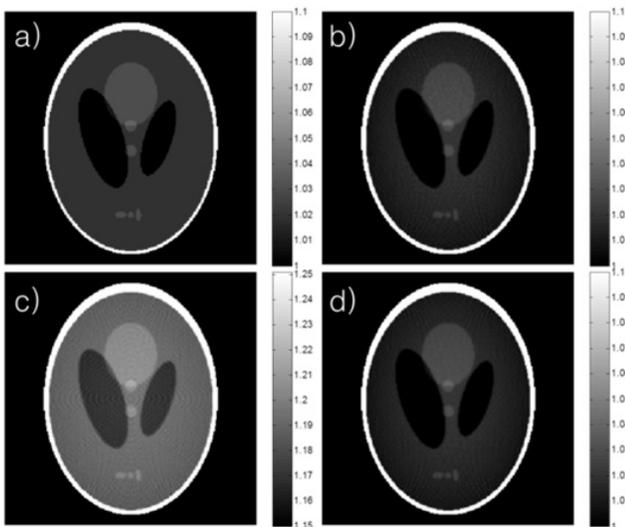


Fig. 6 Filtered backprojection (FBP) images of Shepp-Logan phantom; a) Reference, b) Pixel-driven approach, c) Ray-driven approach, d) Distance-driven approach

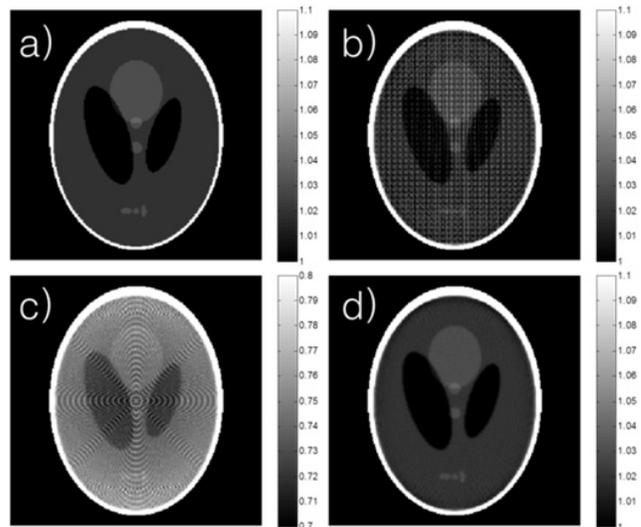


Fig. 7 Iterative reconstruction (SART) images of Shepp-Logan phantom; a) Reference, b) Pixel-driven approach, c) Ray-driven approach, d) Distance-driven approach

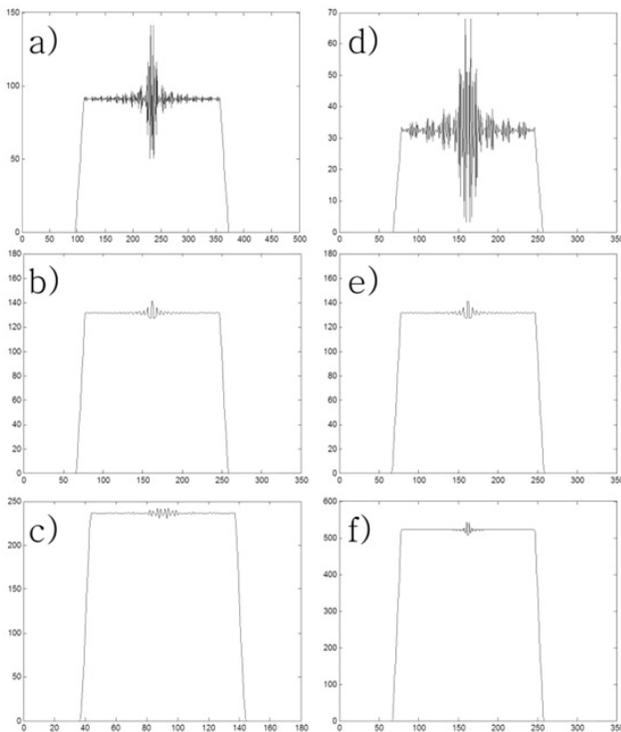


Fig. 8 Projection images according to a number of detector elements and image pixels using pixel-driven approach; (a),b),c): number of detector elements: 468,324,180, d),e),f): number of image elements: 128,256,512)

#### 4. 고찰

Fig. 4의 결과를 보게 되면 pixel-driven approach에서 많은 아티팩트가 발생하였음을 알 수가 있다. Pixel-driven approach는 투사를 하게 될 때, 화소중심선을 기준으로 검출기에 도달하게 된다. 따라서 검출기에 도달한 화소의 값은 화소중심선이 도달한 곳과 그 이웃의 검출기 소자에만 값이 표현이 되지만 그 외의 나머지 검출기에는 값이 표현이 되지 않는다. 따라서 검출기 소자의 크기가 영상 화소의 크기에 비하여 매우 작을 경우(소자의 개수가 영상 화소의 개수보다 매우 클 경우) 값이 제대로 분배가 되지 않고 고주파를 띠는 아티팩트가 생겨나게 된다. 그래서 이런 아티팩트를 줄이기 위해서는 소자의 개수를 줄이거나 영상 화소의 개수를 늘림으로써 최소화시킬 수 있다(Fig. 8). Ray-driven approach에는 pixel-driven approach와는 반대과정으로 진행이 된다. Ray-driven approach는 X선원과 검출기소자의 중심을 잇는 소자중심선에 중점을 두게 된다. 따라서 역투사를 하는 과정에 있어서 검출기 소자의 크기가 영상화소의 크기보다 매우 클 경우(검출기 소자의 개수가 영상 화소의 개수

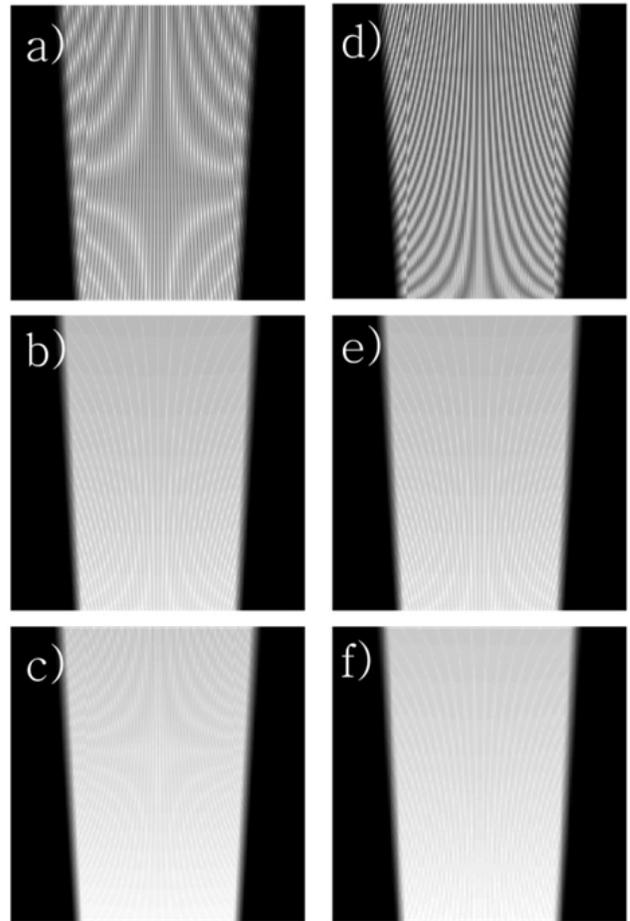


Fig. 9 Backprojection images according to a number of detector elements and image pixels using ray-driven approach; (a),b),c): number of detector elements: 180,324,468, d),e),f) number of image elements: 512,256,128)

보다 매우 작을 경우) 영상 화소의 일부분에만 값이 표현이 되며 나머지 화소에는 값이 도달하지 않아 아티팩트가 발생이 된다. 따라서 이 경우에는 검출기 소자의 개수를 늘리거나 영상 화소의 개수를 줄임으로써 아티팩트를 최소화시킬 수 있게 된다(Fig. 9). 따라서 위 두 가지 방법들은 서로 상반된 성격을 가지고 있으며 이를 해결하기 위해서는 좀 더 복잡한 수식을 쓰거나 다른 방법을 추가해야 한다. 하지만 distance-driven approach의 경우에는 투사와 역투사를 하면서 검출기 소자 개수와 영상 화소의 개수가 아무리 달라진다고 하더라도 겹치는 길이를 가중치로 이용하기 때문에 검출기와 영상 내의 일부분에만 값이 가는 것이 아니라 골고루 값이 나타나는 것이 가능하다. 따라서 이 방법을 씬으로써 두 과정 모두 아티팩트가 생성되지 않고 깨끗한 영상의 획득이 가능하다.

Fig. 6은 Shepp-Logan 팬텀의 여과 후 역투사 영상을

나타낸다. 여과 후 역투사는 일정한 각도로부터 얻은 검출기 영상을 여과 후 한 번의 역투사로 영상이 이루어진다. 따라서 pixel-driven approach와 distance-driven approach의 경우 역투사를 함에 있어서 아티팩트가 발생하지 않았기 때문에 비교적 깨끗한 영상을 획득할 수가 있다. 하지만 ray-driven approach의 경우 역투사를 하면서 발생하는 아티팩트로 인하여 영상복원이 제대로 되지 않음을 알 수가 있다. 또한 반복적 재구성의 경우에는 한번의 재구성을 위해서는 역투사과정 이외에도 실제로 획득한 투사영상과 비교하기 위해서 가정된 영상을 투사를 하기 때문에, 투사 및 역투사과정이 모두 필요하다. 따라서 pixel-driven approach와 ray-driven approach 모두 기존의 영상과는 다른 심각한 아티팩트가 생겨남을 알 수가 있다. 하지만 distance-driven approach는 위 두방법과는 다르게 투사와 역투사에도 아티팩트가 생겨나지 않았으며 그 결과 영상의 복원이 깔끔하게 이루어짐을 확인할 수 있다. 따라서 이 방법은 투사 및 역투사를 반복하는 모든 알고리즘에 적용이 가능할 것으로 보인다. 현재 컴퓨터단층촬영의 제조회사 별로 조사량을 줄이기 위하여 여러 반복적 재구성 방법을 이용한다. 따라서 이 방법을 적용시킴으로써 영상화질의 개선이 이루어질 것으로 예상된다.

#### IV. 결 론

본 연구는 컴퓨터단층촬영에서 영상 재구성에 따른 영상의 품질을 높이기 위하여 세 가지 방법에 따른 시스템행렬을 제시하였고 시스템행렬을 제작 및, 영상을 재구성하여 비교하였다. 그 결과, 정사각형 팬텀의 영상에서 검출기영역에서 아티팩트가 발생하는 pixel-driven approach와 영상영역에서 아티팩트가 발생하는 ray-driven approach와는 달리 distance-driven approach에서 검출기영역과 영상영역 전부에서 아티팩트가 가장 적게 발생함을 알 수 있었다. 그리고 이를 토대로 영상재구성을 실시한 결과 여과 후 역투사방법과 반복적 재구성 모두 distance-driven approach에서 가장 적은 아티팩트가 발생하였고 재구성영상의 화질이 가장 우수함을 알 수 있었다. 따라서 실제 영상에 구현할 경우 여러 알고리즘을 이용하여 영상을 구성하는데 그 때에도 투사 및 역투사를

통하여 고화질의 영상재구성을 실시하기 때문에 시스템행렬에 따른 아티팩트가 제거된 영상을 획득할 수 있다. 따라서 본 연구는 기초 연구로서 영상 화질을 개선시키기 위한 여러 시뮬레이션 적용가능 할 것으로 보여 활용가능성이 크다고 할 수 있다.

#### 감사의 글

Rensselaer Polytechnic Institute (RPI)의 Ge Wang 교수님의 토의와 조언에 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. A. C. Kak and M. Slaney, "Principles of computerized tomographic imaging", IEEE Press, 1988
2. J. Hsieh: "Computed Tomography: Principles, Design, Artifacts, and recent Advances 2nd Edition", SPIE press, 110-111, 2009
3. G. L. Zeng and G. T. Gullberg, "A ray-driven backprojector for backprojection filtering and filtered backprojection algorithms", IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference, 1199-1201, 1993
4. Peter M. Joseph, "An improved algorithm for reprojecting rays through pixel images", IEEE transaction on Medical Imaging, 1993
5. Robert L. Siddon, "Fast calculation of the exact radiological path for a three-dimensional CT array", Med. Phys. 12(2), 252-255, 1985
6. B. De Man and S. Basu "Distance-driven projection and backprojection", IEEE Nuclear Science Symposium Medical Imaging Conference (Norfolk), 2002
7. B. De Man and S. Basu, "Distance-driven projection and backprojection in three dimensions", Phys. Med. Biol. 49, 2463-2475, 2004
8. G. Wang and M. Jiang, "Ordered-subset simultaneous algebraic reconstruction techniques (OS-SART)", Journal of X-Ray Science and Technology, 12(3):169-177, 2003

•Abstract

---

## Comparison Study on Projection and Backprojection Methods for CT Simulation

Ohsung Oh · Seung Wook Lee

*School of Mechanical Engineering, Pusan National University*

Image reconstruction is one of the most important processes in CT (Computed tomography) technology. For fast scanning and low dose to the objects, iterative reconstruction is becoming more and more important. In the implementation of iterative reconstruction, projection and backprojection processes are considered to be indispensable parts. However, many approaches for projection and backprojection may result severe image artifacts due to their discrete characteristics and affects the reconstructed image quality. Thus, new approaches for projection and backprojection are highly demanded these days. In this paper, distance-driven approach was evaluated and compared with other conventional methods. The numerical simulator was developed to make the phantoms, and projection and backprojection images were compared using these approaches. As a result, it turned out that there are less artifacts during projection and backprojection in parallel and fan beam geometry.

---

**Key Words :** System matrix, Projection, Backprojection, Reconstruction, Computed tomography