

초음파 섹터 스캐너를 위한 디지털 스캔 변환 기법

김근호·오정환·장성호*·박현욱

= Abstract =

Digital Scan Converter Algorithm for Ultrasound Sector Scanner

Keun-Ho Kim, Jeong-Hwan Oh, Seong-Ho Chang*, Hyun-Wook Park

In the conventional digital ultrasound scanner, the reflected signal is sampled either in polar coordinates of R- θ method, or in Cartesian coordinates of uniform ladder algorithm (ULA). The R- θ scan method necessitates a coordinate transform process which makes hardware complex in comparison with ULA scan method. In spite of this complexity, R- θ method has a good resolution in ultrasonographic (US) image, since scan direction of the US imaging is a radial direction.

In this paper, a new digital scan converter is proposed, which is named the radius uniform ladder algorithm (RULA). The RULA has the same scan direction as the US scanning in the radial direction and as the display space in the θ direction. In this new approach, sampled points are uniformly distributed in each horizontal line as well as in each radial ray so that the data are displayed in the Cartesian coordinates by the 1-D interpolation process. The proposed algorithm has an uniform resolution in the periphery and the center field in comparison with equi-angle ULA and equi-interval ULA.

To extend the scan angle, concentric square raster sampling (CSRS) is adopted with reduction of discontinuities on the junctions between horizontal scan and vertical scan. The discontinuities are reduced by using the junction filtering along the θ direction.

Key words : Digital scan converter (DSC), R- θ , Uniform ladder algorithm (ULA), Radius uniform ladder algorithm (RULA), Concentric square raster sampling (CSRS)

서 론

건강에 대한 관심이 높아감에 따라 의료시스템의 중요성은 높아가고 있다. 의료시스템 중에서 의료 영상시스템은 의사들이 정확한 진단을 내리기 위하여 요구되는 가장 관심있는 주제로 대두되고 있다. 의료 영상시스템은 X-ray, 초음파, CT, MRI, PET 등이 있다. 이러한 진단 장치들은 피부를 절개하지 않고 내부를 보여주는 비파괴 영상장치이며 생체의 특정한 정량적 정보를 제공한다.

초음파 진단장치는 많은 장점을 가지고 있으며 오늘날 가장 많이 사용되고 있는 진단 장치 중 하나이다. 초음파 영상장치의 원리는 그림 1과 같다. 초음파 빔을 송수파기

(Transducer)를 이용하여 보낸 후에 물체의 경계면에서 반사되어 들어오는 에코(echo)를 전기적 신호로 변환하여(1) 그림 2와 같이 디지털 스캔 변환기(Digital Scan Converter:DSC)를 이용하여 스크린상에 디스플레이(Display)한다. 초음파 진단장치는 실시간 처리가 가능하며, 인체에 무해하며, 장치의 크기가 작고, 다른 진단 장치에 비해 가격도 저렴하다는 등의 장점을 지니고 있다. 이에 반하여 단점으로는 영상의 해상도가 떨어진다는 것이다. 즉, 고해상도를 위해서는 고주파성분이 필요한데 고주파신호는 인체의 깊은 곳에서의 감쇠도가 심하여 고해상도를 나타내기에는 부적합하다. 의료영상 시스템에서의 화질은 가장 중요한 요소 중의 하나이다. 따라서, 초

한국과학기술원 정보 및 통신공학과
Dept. of Information and Communication Eng. KAIST.

*메디슨(주)

*MEDISON CO., LTD

통신저자 : 박현욱, (130-010) 서울특별시 동대문구 청량리동 207-43, Tel.(02)958-3318, Fax.(02)958-3358
본 연구는 의공학 선도기술개발 과제의 일환으로 수행되었음.

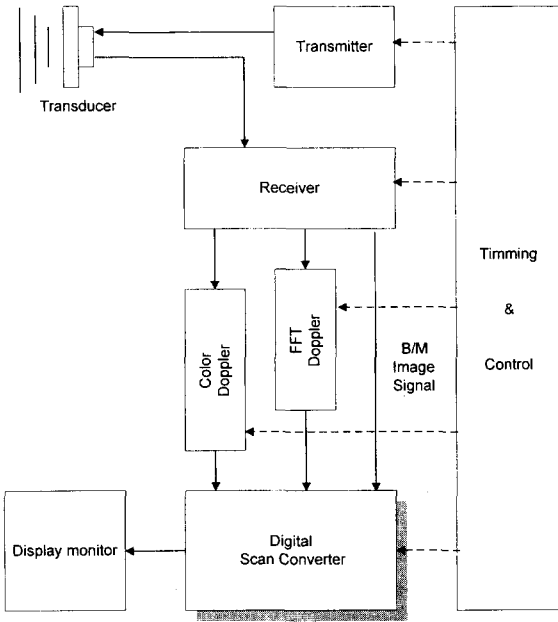


그림 1. 전체 초음파 시스템의 구성도
Fig. 1. Block Diagram of the Overall Ultrasonograph

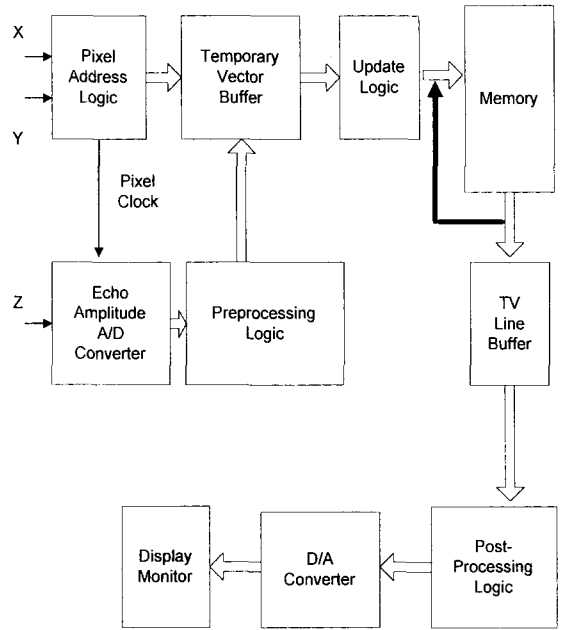


그림 2. DSC의 구조도[2]
Fig. 2. Block Diagram of Digital Scan Converter[2]

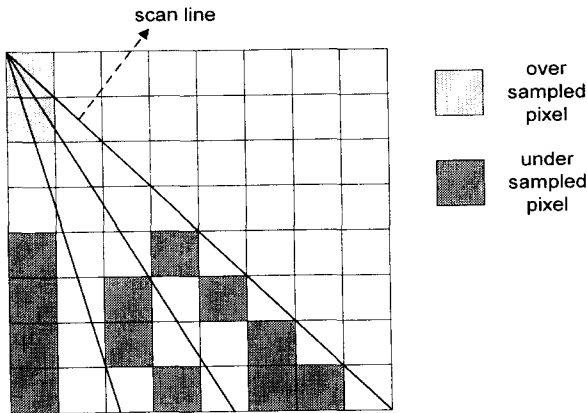


그림 3. NNIA의 방식
Fig. 3. Nearest Neighbor Interpolation Algorithm

음파 진단장치에서 화질을 개선시키기 위한 노력이 여러 사람들에 의해 진행되어 왔다. 초음파 진단장치에서 화질에 영향을 미치는 요소는 여러가지가 있는데 이 중에서 디지털 스캔 변환기는 Multirate로 샘플된 초음파의 에코 신호를 균일한 rate의 신호로 변환시켜줌과 동시에 좌표 변환 기능을 수행하므로 화질에 큰 영향을 끼친다.

한편으로 초음파 진단장치의 가장 큰 장점은 실시간 처리가 가능하다는 것인데 이를 위하여 초음파 장치는 대부분 하드웨어로 구성되어 있다. 따라서, 시스템의 복잡도는 그대로 장치의 크기와 가격에 영향을 미치게 된다.

이 논문은 디스플레이 되는 영상과 하드웨어의 복잡도에 큰 영향을 미치는 새로운 스캔 변환기에 대하여 제안

하였고 스캔 각도를 확장하기 위해 CSRS(Concentric Square Raster Sampling) 방식을 적용하였다. 이 때의 문제점으로 수평주사(Horizontal scan)와 수직주사(Vertical scan)가 만나는 $\pm 45^\circ$ 의 경계면에서 불연속한 선이 발생한다. 이것을 피하기 위하여 경계면에서 초음파 영상에 적합한 smoothing filtering을 취하였다.

디지털 스캔 변환기(Digital Scan Converter, DSC)

디지털 스캔 변환(DSC)에서[3] undersample된 데이터에 의해 발생한 artifact를 줄이는 기존의 방법에 대하여 먼저 살펴 보겠다. 첫째로, 가장 간단한 변환 방법은 NNIA(Nearest Neighbor Interpolation Algorithm)인데 이것은 DSC에서 그림 3에서 보는 바와 같이 undersample된 pixel들을 가장 근접한 pixel로 복사하는 방법으로, 계산량이 적고 하드웨어의 구성이 간단해지지만 방사상(radial) 방향으로 멀어질수록 블록화 현상이 발생하여 화질의 저하가 심각해진다.

둘째로, Fill-in algorithm은 두 개의 스캔 라인간에 보간(Interpolation)으로 스캔 라인을 하나 더 만들어서 화질을 개선시키는 방법인데, 단점으로는 계산량이 증가한다는 것이다.

셋째로, R- θ algorithm으로 극좌표계에서 샘플(sample)된 값으로부터 직각좌표계의 영상값으로 변환시키는 방법이다. 이러한 방법은 송수파기로부터 같은 거리에 위치한 point들 중에서 각을 일정하게 증가시키면서 샘플을

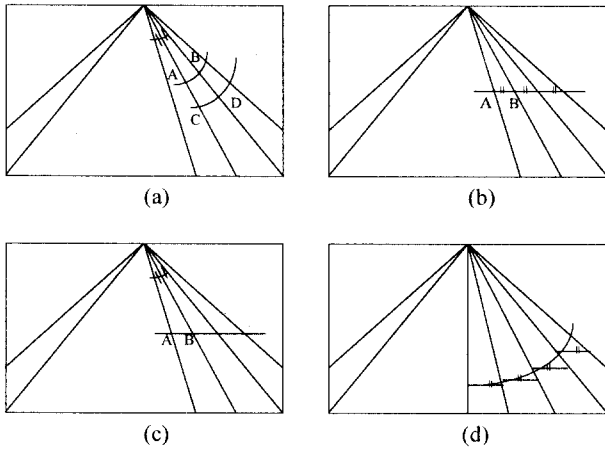


그림 4. DSC 알고리즘
 (a)R-θ, (b)Equi-interval, (c)Equi-angle, (d)RULA
 Fig. 4. DSC Algorithm
 (a)R-θ, (b)Equi-interval, (c)Equi-angle, (d)RULA

취하는 방법이다(그림 4 (a)). 여기서 샘플포인트들은 극좌표계 내에 있는데, 우리가 보는 화면은 직각좌표계이다. 그러므로, 2차원 보간처리를 수행하여 좌표변환을 해주어야만 하는 어려움이 있다. 이때 발생하는 문제점으로 는 계산량도 많아지고 고주파 성분인 edge가 blurring되는 것을 볼 수 있다. 그러나 대부분의 초음파 영상은 저주파성분이 많기 때문에 일반적으로 R-θ 방식의 PSNR (Peak Signal to Noise Ratio)이 가장 좋다. 보간 방식은 르장드르 선형보간(Legendre Linear Interpolation)으로서[4] 샘플된 point와의 거리에 반비례하여 비중(weight)을 주는 방식이다. R-θ 방식에서 Discrete한 스캔 각도는 다음 식 (1)과 같으며 한 스캔 라인에서 샘플되는 데이터의 샘플주기는 일정하다.

$$\theta(i) = \frac{\pi i}{(N-1)}, \quad i = -(N-1)/2, \dots, (N-1)/2$$

N : No. of scan lines (1)

마지막으로, ULA는 Uniform Ladder Algorithm의 약어인데 그림 4 (b)와 (c)에서 보는 바와 같이 X축으로만 상관성(Correlation)을 가지며, X축 사이에 표본(sample)된 데이터를 이용, 보간하여 undersample된 데이터를 구한다. ULA는 각과 좌표를 구하는 방법에 따라 두 가지로 나눌 수가 있는데, 한가지 방법은 스캔 라인간에 등간격(Equi-interval)에 있는 샘플을 취하는 방법으로 식 (2)와 (4)와 같이 각과 좌표를 구한다. 다른 한가지 방법은 스캔 라인 간격이 등각도(Equi-angle)간에 샘플을 취하는 것으로 식 (3)과 (4)와 같이 각과 좌표를 구한다. ULA는 X축 위에서만 보간을 취하므로 수평간에

상호 연관성을 가지고, 1차원 르장드르 보간(Legendre Interpolation)을 하며, 수평 Point Spread Function을 가진다. 그러므로, 이 알고리즘은 계산량이 적으며, 하드웨어의 구조도 간단해지며 크기도 작아진다. 그러나, 단점은 수직 방향으로 연관성(Correlation)이 없기 때문에 위아래간에 불연속적인 artifact가 발생할 가능성이 높아진다. 두가지 방식중 하나인 등간격 방식은 송수파기가 있는 중심부에서는 상대적으로 화질이 나빠지고 중심부에서 먼 주변부에서는 상대적으로 화질이 좋아진다. 반면에 등각도 방식은 중심부에서 상대적으로 화질이 우수하고 주변부에서 화질이 나빠진다.

등간격 방법과 등각도 방식의 각 경우에 대한 스캔 각도 $\theta(i)$ 는 다음과 같다.

등간격 방법의 경우,

$$\theta(i) = \tan^{-1} \left[\frac{i}{(N-1)/2} \right],$$

$$i = -(N-1)/2, \dots, (N-1)/2 \quad (2)$$

등각도 방법의 경우,

$$\theta(i) = \tan^{-1} \frac{\pi}{2(N-1)},$$

$$i = -(N-1)/2, \dots, (N-1)/2 \quad (3)$$

샘플된 데이터의 (x, y) 좌표값은 다음과 같다.

$$\begin{cases} x = jT(i)\sin\theta(i) = jT(0)\tan\theta(i) \\ y = jT(i)\cos\theta(i) = jT(0) \end{cases} \quad (4)$$

$$T(i) = \frac{T(0)}{\cos\theta(i)} \quad (T(0)=1)$$

제안된 Radius ULA 방법

ULA 방법은 많은 장점이 있을 뿐 아니라 단점도 지니고 있다. 단점 중 하나는 초음파(Ultrasound)의 빔 방향과 보간 방향의 불일치로 인한 것인데, ULA 방법은 수평 방향의 보간 방향을 갖는 반면 초음파의 빔 방향은 방사상 방향이기 때문이다. 또한 등간격 방법은 중심부, 등각도 방법은 주변부에서 화질의 저하가 심각하므로 ULA와 계산량이 같고 어느 곳에서나 균일한 화질을 가지는 알고리즘이 요구된다. 본 논문에서 제안하는 개선된 알고리즘은 Radius Uniform Ladder Algorithm으로 약어로 RULA라 표기한다. 그림 4 (d)와 같이 송수파기의 중심점에서 같은 거리에 있는 곳은 같은 화질을 가지고, 방사상의 주사(scan) 방향이 초음파의 방향과 일치시키는 효과도 볼 수 있다. 또한 보간 방법이 X축상의 상관관계를 가지는 1차 르장드르 선형보간이기 때문에 계산량도 적

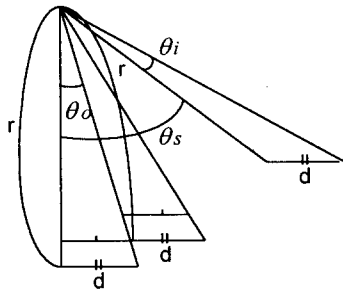


그림 5. RULA의 개념도
Fig. 5. The Concept of RULA

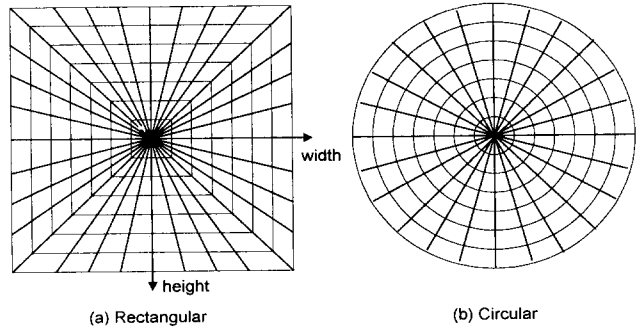


그림 6. CSRS의 구조
Fig. 6. The Structure of CSRS

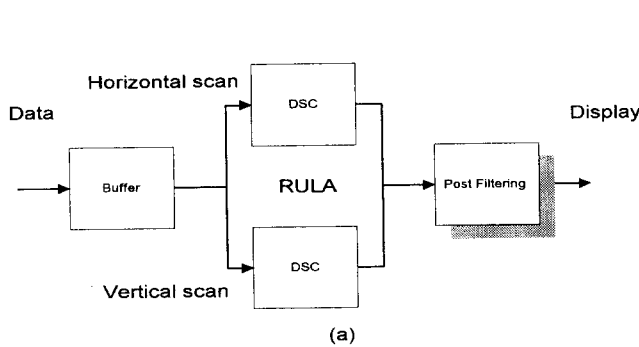


그림 7. 후처리 기법 (a)구조도 (b)필터링
Fig. 7. Post-processing (a)Schematic diagram (b)Filtering

고 간단하다. 이 알고리즘은 대체로 전범위에서 좋은 화질을 유지시킨다.

그림 5는 RULA의 간단한 개념도이다.

이 방법에서 각 스캔 각도를 계산하는 방법은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \theta_0 &= \tan^{-1}(d/r) \\ \theta_i &= \tan^{-1}[(r \sin \theta_s + d)/(r \cos \theta_s)] - \theta_0 \\ \theta_s &= \sum_{k=0}^{i-1} \theta_k \end{aligned} \quad (5)$$

Concentric Square Raster Sampling (CSRS)[5]

ULA(Equi-interval과 Equi-angle)와 RULA의 단점은 중심점에서 멀어지는 주변부에서 현저하게 화질이 저하된다는 것인데, 이것을 해결하기 위하여 CSRS를 채택하였다. 이것을 이용하여 송수파기의 위치를 0°라 할 때, 그림 6 (a)와 같이 -45°에서부터 45°의 범위까지는 수평방향의 주사, -90°에서 -45°, 45에서 90°의 범위까지는 수직방향의 주사를 한다. 그러나, CSRS의 단점으로는 수평방향의 주사선과 수직방향의 주사선이 서로 만나는 곳

에 불연속한 선이 발생하는 것이다.

불연속한 선을 제거하기 위하여 Lowpass Filtering (LPF)을[6] 했는데, 이것은 계산량의 증가를 발생시키는 주요한 원인이 되므로 계산량을 최소화시키기 위해서는 최적화 필터링이 필요하다. 그림 7 (b)와 같이 접합면 필터링(Filtering)의 방향은 -45°과 45°의 접합면과 직교한다. 단, 후처리 기법과 영상의 고주파수의 해상도 사이는 Trade-off가 있다는 것을 염두에 두어야 한다. 자세한 내용은 실험결과에서 볼 수 있다.

실험 결과

먼저 그림 8의 시뮬레이션(simulation) 영상(image)에 대한 성질을 살펴 보자. 이 영상은 초음파 이미지의 방사상 방향으로의 특성을 잘 보여 주고 있다. 이 영상은 중심쪽의 위쪽부분에 고주파 성분의 팬텀(phantom)이 있고 아래쪽과 주변부에 저주파 성분의 팬텀과 배경(background)이 있고, 모양은 왼쪽 부분에 수직성분과 수평성분의 직선으로 이루어진 4개의 정사각형과 오른쪽 부분에 수직성분과 수평성분과 대각선 성분의 직선으로 이루어진 3개의 원으로 구성되어 있는 복잡한 팬텀이다. 세

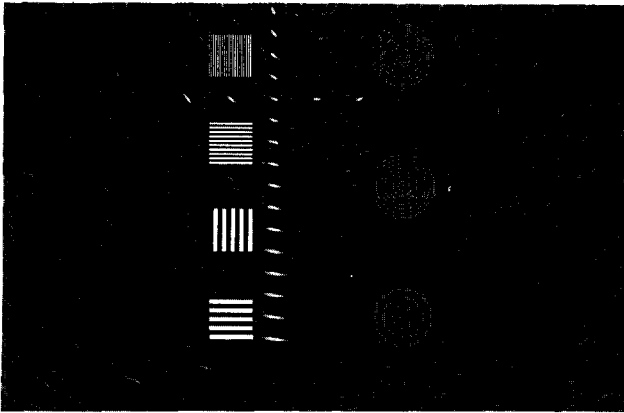


그림 8. 시뮬레이션 영상
Fig. 8. The Image of Simulation

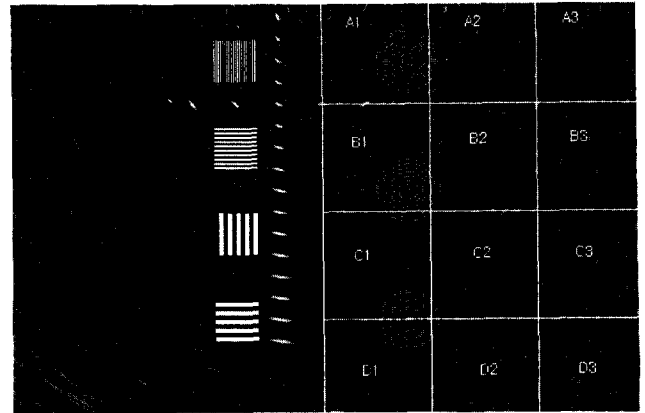


그림 9. 화질 비교를 위한 영역별 구분
Fig. 9. The Division of Region

표 1. 각 영역별 구성 성분
Table 1. Property of Local Field

Local Region	Property of Field	What to be
A1	vertical and horizontal center and periphery	phantom
A2	vertical center and periphery	-
A3	vertical center	-
B1	horizontal center	-
B2	vertical and horizontal periphery	junction
B3	vertical periphery	-
C1	horizontal center	phantom
C2	horizontal middle	-
C3	vertical and horizontal periphery	junction
D1	horizontal center	phantom
D2	horizontal center	-
D3	horizontal periphery	little junction

로는 400 pixel이고, 가로는 600 pixel이다.

다음은 시뮬레이션 영상의 규격(Specification)과 그 영상을 영역별로 나눈 것을 보여주고 있다.

Simulation image size:600×400 in width and height
No. of scan line:193 lines
Sampling rate:400 points per scan line
Scan degree:-90°~ 90°

그림 9와 같이 각 부위별로 해상도를 알아보기 위하여 100×100의 크기로 영역을 나누었다. 각 부위를 A1 (300, 0), A2 (400, 0), A3 (500, 0), B1 (300, 100), B2 (400, 100), B3 (500, 100), C1 (300, 200), C2 (400, 200), C3 (500, 200), D1 (300, 300), D2 (400, 300), D3 (500, 300)로 나누었고 각 영역 옆의 괄호안의 좌표는 영상의 최상위 중심점을 (x, y)=(300, 0)라 할 때, 각 영역의 좌측위 시작점의 위치를 나타낸다. PSNR

을 나타내기 위하여 설정한 영역은 side effect를 없애기 위하여 10 pixel만큼의 여분을 제외한 90×90의 크기만을 정하였다. 표 1은 각 영역안에 무엇이 포함되었는지를 나타내고, 표 2는 각 영역의 PSNR을 나타낸다.

1. RULA와 기존방법의 비교

(1) 영역별 PSNR 비교

R-θ 방식은 원모양의 고주파 성분과 방사상 방향의 배경을 나타내는데 우수하였다. 먼저 주지할 일은 A1, A2, A3 영역은 oversample된 영역이므로 보간 방법에 좌우되지 않는다. B1 영역을 살펴보면 R-θ 방식이 PSNR이 가장 높는데, 그 이유는 고주파성분의 수직선과 수평선이 포함되어 있는 영역이기 때문이다. 방사상으로 잘 표현된 B2, B3, C2와 같은 배경 영역에서는 아주 우수하였고, CSRS가 쓰이지 않았기 때문에 접합면이 나타나지 아니하였다. R-θ 방식은 송수파기로부터 일정한 거리 이내의

표 2. DSC의 영역별 PSNR(dB)

Table 2. Local PSNR of DSC

Start Point	R- θ	ULA(Equi-interval)	ULA(Equi-angle)	RULA
A1	16.17	16.96	16.12	16.44
A2	23.01	25.06	24.88	24.94
A3	29.00	28.54	30.40	29.41
B1	20.61	20.02	20.57	20.43
B2	24.39	21.34	19.75	20.54
B3	29.40	22.15	21.54	21.82
C1	24.81	24.89	26.42	25.61
C2	28.28	22.19	21.67	22.09
C3	-	21.10	19.52	20.19
D1	-	21.81	23.46	22.70
D2	-	21.93	22.35	22.38
D3	-	20.97	20.09	20.61

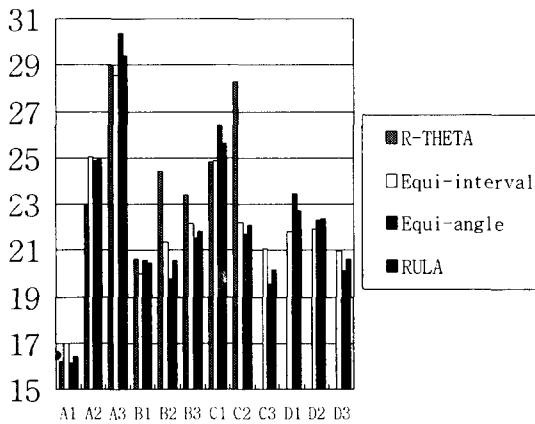


그림 10. DSC간 영역별 PSNR 비교
Fig. 10. Comparison of Local PSNR with DSC

영상만을 디스플레이할 수 있다. 그러므로, 이 실험에서는 반경(radius)이 400 pixel 이내만 표시가 가능하였다. 이것은 C3, D1, D2, D3 영역은 표현이 불가능하다는 것을 의미한다.

등간격 방법은 CSRS의 접합면과 주변부에서 R- θ 방식보다는 못하지만 우수한 특성을 나타내고 있고, 특히 B2, B3와 같은 배경과 경계면에서 좋은 특성을 나타내었다.

등각도 방식은 A3, C1, D1과 같은 중심부에서 좋은 특성을 나타내었는데, 반면에 주변부에서는 현저하게 화질이 떨어지는 것을 알 수 있다.

RULA는 표 2에서 살펴 보듯이 A1, A2, A3, C1, C3, D1, D3에서 등간격 방법과 등각도 방식 사이의 중간 정도의 해상도를 가지는 것을 알 수 있었다. 또한 D2 영역에서는 가장 좋은 화질을 나타내었다. 이것은 모든 영역에

서 RULA가 균일한 화질을 가진다는 것을 의미하고 있다. 그림 10은 그러한 사실을 한눈에 보여주고 있다.

그림 11은 샘플(sample)된 데이터가 각 DSC에 의해 변환된 결과를 보여주고 있는데, (a)는 R- θ 방식, (b)는 Equi-interval ULA 방식, (c)는 Equi-angle ULA 방식, (d)는 제안된 RULA 방식의 결과이다.

(2) 전체 PSNR 비교

우선 진단할 때 가장 중점적으로 보이는 영상의 중심점 (300, 200)으로부터 폭 300, 높이 200 pixel만큼의 크기의 PSNR과 전체 영상의 580×380 pixel만큼의 크기의 PSNR을 구하였다. 폭 20 pixel과 높이 20 pixel은 edge effect를 없애기 위한 여유 공간이다. 표 3에서 보듯이 RULA가 전체 영상에서 가장 좋은 해상도를 가진다는 것을 알 수 있다.

(3) 계산량 비교

영상의 화질도 중요하지만 화질을 너무 강조하다보면 계산량이 많아지므로 시스템의 하드웨어가 복잡해지고 커진다. 그러므로, 영상의 화질은 향상되며 계산량은 감소하는 알고리즘을 개발하는 것이 가장 중요하다. R- θ 방식은 극좌표에서 직각좌표계로 전환하는 알고리즘이 가장 중요한데, 이것은 영상복원을 위하여 2차원 보간과정이 필요하며 이것이 계산량을 증가시키는 중요한 요인이다. Table 4는 R- θ 방식이 다른 알고리즘보다 복원을 위한 보간 계산량이 15배 이상 크다는 것을 보여주고 있다. RULA의 계산량은 ULA의 계산량보다 작거나 거의 같은 것을 볼 수 있다.

2. Non-Filtering 대 Junction Filtering

접합면 필터링은 초음파 주사(Ultrasound scan) 변환

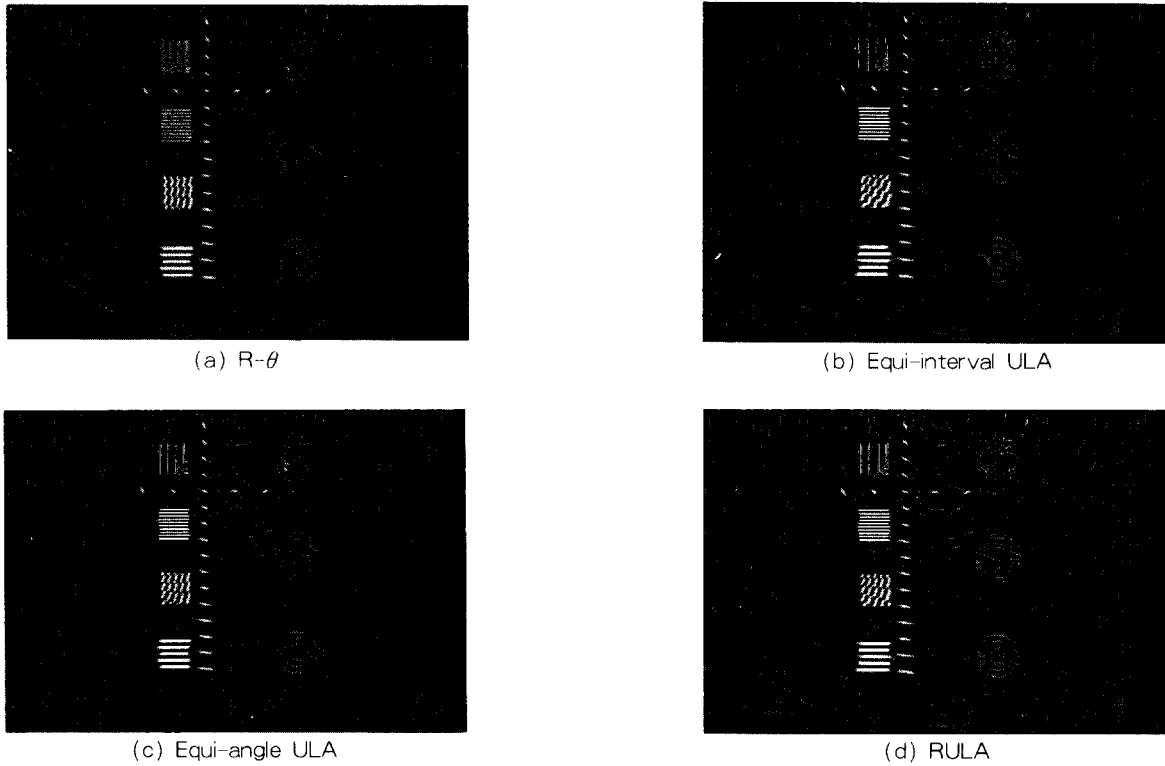


그림 11. 디지털 스캔 변환기의 실험 결과
Fig. 11. Result of DSC

표 3. 전체영상의 해상도 (PSNR:dB)

Table 3. Result of Total PSNR (Width and Height):center point (300, 200)

Width x Height	R-θ	ULA(Equi-interval)	ULA(Equi-angle)	RULA
300 × 200	20.46	20.40	21.33	21.03
580 × 380	—	22.34	22.39	22.53

표 4. DSC간의 계산량 비교

Table 4. Quantity of Calculation

Interpolation	R-θ	ULA(Equi-interval)	ULA(Equi-angle)	RULA
+	20,524,100	1,289,200	1,277,100	1,266,200
×	15,213,900	981,200	967,800	959,600

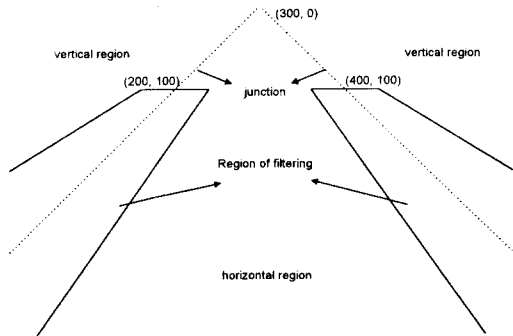


그림 12. 접합면 필터링의 범위
Fig. 12. Field of Junction Filtering

의 후처리 기법 중 하나이다. 송수파기의 위치를 기준으로 하여 수직주사와 수평주사의 접합면은 $\pm 45^\circ$ 에서 각각 발생하는데, 접합면을 중심으로 $\pm 16.7^\circ$ 사이의 영역을 후처리한다(그림 12). 이러한 후처리 필터링의 계수는 1/4, 1/2, 1/4인데, 이것은 2^n 이므로 DSP(Digital Signal Processing) 처리를 할 때 shift operation이 가능하여 계산량을 줄일 수 있다.

표 5에서 접합면 필터링은 영역 B2, B3, C3, D3를 포함하므로 그곳의 각각의 PSNR은 0.76dB, 0.39dB, 1.69dB, 0.41dB만큼 증가하였다는 것을 알 수 있다. C2 영

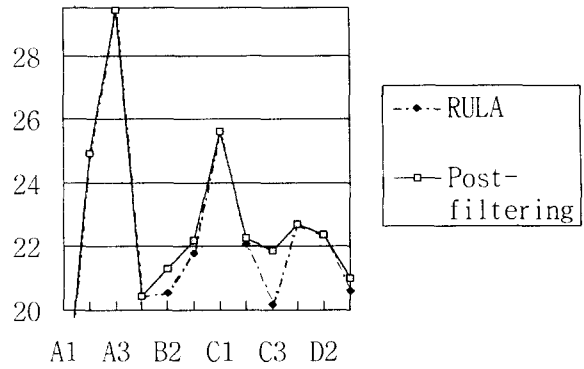
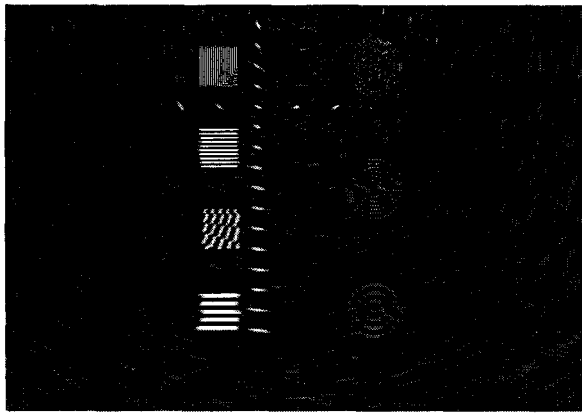


그림 13. (a) RULA에 접합면 필터링의 결과 (b) 영역별 PSNR 비교
Fig. 13. (a) Result of RULA after Junction Filtering (b) Comparison of Local PSNR

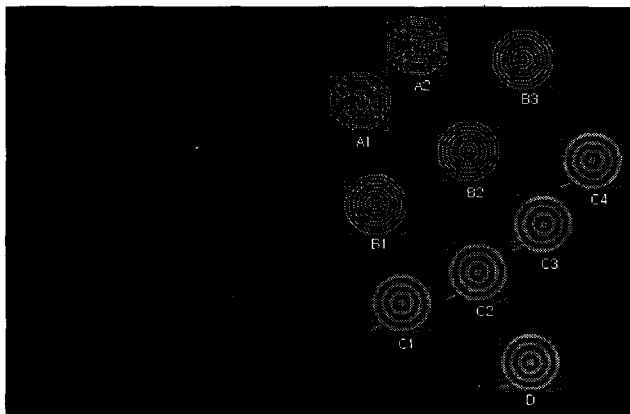


그림 14. θ 방향에 대해 균일한 해상도를 테스트하기 위한 영상
Fig. 14. Test Image for Uniform Resolution in θ -direction

역에서는 약간만이 증가되었는데, 이것은 C2가 약간의 처리영역만을 포함하고 있기 때문이다. 앞에서 말한 바와 같이 shift operation으로 약간의 계산량만이 증가하였는데, 덧셈이 93450번 증가하였다. 전체 영상의 PSNR은 22.642010dB로 0.112dB가 후처리로 인하여 향상되었다. 그림 13은 접합면의 필터링을 한 후 향상된 영상과 영역별 PSNR의 증가를 그래프로 보여준다.

3. θ 방향에서 RULA의 균일한 해상도 테스트

마지막으로 송수파기의 중심점 (300, 0)에서부터 떨어진 거리가 같다면 균일한 해상도를 유지하는지 알아보기 위하여 새로운 테스트 패턴(그림 14)을 오른쪽 부분에만 만들었다. 오른쪽에만 만든 이유는 영상 복원을 위한 보간이나 후처리 필터링 모두 좌우 대칭이기 때문이다. 먼저 (300, 0)에서부터 100 pixel만큼 떨어진 곳에 22.5° (Region A1)와 67.5° (Region A2)에 고주파수 패턴이 각각 위치하고, 200 pixel만큼 떨어진 곳에 15° (Region B1), 45° (Region B2), 75° (Region B3)에 중간주파수

표 5. 후처리 필터링의 결과 (PSNR: dB)

Table 5. Result of Local PSNR (90×90) in Junction Filtering

Start Point	RULA	Post Filtering
A1	16.44	16.44
A2	24.94	24.94
A3	29.41	29.41
B1	20.43	20.43
B2	20.54	21.31
B3	21.82	22.21
C1	25.61	25.61
C2	22.09	22.26
C3	20.19	21.88
D1	22.70	22.70
D2	22.38	22.38
D3	20.61	21.01

패턴이 각각 위치하고, 300 pixel만큼 떨어진 곳에 15° (Region C1), 30° (Region C2), 45° (Region C3), 60° (Region C4)에 저주파수 패턴이 각각 위치한다. 또한 400 pixel만큼 떨어진 곳에 30° (Region D)의 방향에 저주파수 패턴이 위치한다.

그 결과는 표 6에 나타나는데 RULA는 R- θ 와 같이 같은 거리에서 균일한 해상도를 가진다는 것을 볼 수 있다. 영역 A1, A2에서는 oversample된 영역이다. R- θ 와 RULA이 영역 B1, B2, B3에서 13dB에서 14dB 사이의 균일한 해상도를 가진다는 것을 알 수 있고, 영역 C1, C2, C3, C4에서도 14.9dB에서 15dB 사이의 균일한 해상도를 가진다는 것을 알 수 있다. 반면에 ULA는 패턴의 모양과 위치에 따라 해상도의 변화가 심하다는 것을 알 수 있다.

후처리한 결과를 살펴보면 역시 접합면에서 화질의 향

표 6. RULA가 균일한 해상도를 가지는가를 테스트한 결과 (PSNR:dB)
 Table 6. PSNR of Various Scan Conversion for Uniform Resolution Image in θ -direction

Region	R- θ	ULA(Equi-interval)	ULA(Equi-angle)	*RULA	Post-processing
A1	11.38	11.58	11.91	11.84	11.84
A2	11.27	11.43	11.89	11.66	11.66
B1	14.18	13.34	14.11	13.67	13.67
B2	14.15	14.78	12.85	13.70	14.01
B3	13.93	12.91	13.79	13.33	13.33
C1	15.92	14.34	15.63	15.00	15.00
C2	15.87	15.17	14.83	15.28	15.28
C3	15.84	16.34	13.76	15.35	15.82
C4	15.68	14.69	14.51	14.68	14.71
D	-	13.50	13.22	13.34	13.34

상이 현저하다는 것을 알 수 있다.

결 론

한정된 대역폭과 하드웨어의 복잡도는 전체의 영상을 주사하는데 제한요소가 된다. 그러므로, 전체 영상을 보기 위하여 여러가지 방법이 시도되어 왔다. 그 가운데 ULA에서의 CSRS 방법은 효과적이고 간단하다. 그러나, 초음파 영상의 성질이 방사상 방향이므로 ULA의 화질은 균일하게 유지할 수 없었고, 특히 등간격 방법은 중심부에서 등각도 방식은 주변부에서 각각 화질의 저하가 심각하였다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 RULA를 제안하였고, 이것은 초음파 영상의 방사상 방향에 적합한 것이다. 그 결과 주변부, 중심부에서 구별없이 균일한 해상도를 유지하였고, 송수파기로부터 같은 거리에서 같은 화질을 유지하였다.

마지막으로 CSRS를 적용한 RULA 방법은 몇 가지 주사방식에 비하여 전 영상영역에서 가장 좋은 해상도를 보였고 중심부 영역에서도 좋은 것을 보였다. 무엇보다도 좋은 화질을 유지하면서도 간단한 알고리즘이므로 여러가지에 적용될 수 있다는 것이 장점이다. 위에서 말한 후처리 필터링은 초음파 영상에 적합하므로 접합면에서의 더 나은 화질을 볼 수 있었다.

참 고 문 헌

1. Tai K. Song, and Song B. Park, "A new digital phased array system for dynamic focusing and steering with reduced sampling rate", Ultrasonic Imaging, vol. 12, pp. 1-16, 1990.
2. Jonathan Ophir, and Nabil F. Makland, "Digital scan converters in diagnostic ultrasound imaging", Proceedings of the IEEE, vol. 67, no. 4, pp. 654-664. April 1979.
3. M. H. Lee, J. H. Kim, and S. B. Park, "Analysis of a scan conversion algorithm for a real time sector scanner", IEEE Trans. Medical Imaging, vol. MI-5, no. 2, pp. 96-105, June 1986.
4. Jame T. Walker, "Digital scan conversion and smoothing for a real time linear array imaging system", Acoustic Imaging, pp. 1-14, 1980.
5. S. W. Lee, and S. B. Park, "A new scan conversion algorithm for ultrasound compound scanning", Ultrasonic Imaging, vol. 7, pp. 215-224, July 1985.
6. Nigel J. Burton, Frank Pino, Pratab Sivaprakasa-pillai, and Mehrdad Nikoonahad, "Digital Image processing for scanning acoustic microscopy", IEEE Trans. Sonics and Ultrasonics, vol. su-31, No. 4, July 1984.

=국문초록=

상용화된 디지털 초음파 섹터 스캐너에서는 반사되는 신호원이 극좌표계의 $R-\theta$ 방법 또는 직각좌표계의 ULA(Uniform Ladder Algorithm) 방법을 쓰고 있다. $R-\theta$ 스캔방식은 ULA 방법에 비해 하드웨어가 복잡해지는 좌표변환 과정이 필요하다. 이러한 단점에도 불구하고 초음파 영상의 주사방향이 방사상 방향이므로, $R-\theta$ 방법이 초음파 영상에서 해상도가 뛰어나다.

본 논문에서는 새로운 디지털 스캔 변환기를 제안하였는데 Radius Uniform Ladder Algorithm이라 하며 약어로 RULA라고 한다. RULA는 방사상의 초음파 주사와 같고 θ 방향의 표시공간이 같은 주사방향을 가진다. 새로운 접근방법에서 샘플포인트(sample point)들은 각 방사상의 직선뿐 아니라 각 수평직선에서 균일한 분포를 가진다. 그래서, 데이터들은 같은 수평직선 위에 있는 두 샘플 간에 보간과정을 거침으로 직각좌표계에 표시된다. 제안된 알고리즘은 ULA 방법인 등간격(Equi-interval) 방식과 등각도(Equi-angle) 방식과 비교할 때 주변과 중심부 어디서든지 균일한 해상도를 가진다.

전 영상을 표시하기 위하여 Concentric Square Raster Sampling(CSRS)를 적용하였는데, 이것은 수평주사와 수직주사간 점점의 불연속선을 형성한다. 이러한 불연속선은 그 주위를 θ 방향으로 1-D 필터링을 사용함으로 줄어든다.