

Interpolator를 이용한 새로운 디지털 빔 집속 알고리즘의 개발

이용호*0, 손학렬**, 안영복*

* 건국대학교 전자공학과

** 서강대학교 전자공학과

Development of New Digital Beamforming Algorithm Using Interpolator

Y. H. Lee*0, H. R. Shon**, Y. B. Ahn*

* Dept. of Electronic Engineering, Kon-Kuk University

** Dept. of Electronic Engineering, Sogang University

Abstract

We propose a new digital beamforming algorithm using an interpolation filter in ultrasonic imaging systems. We compared the performances of the proposed algorithm to those of the conventional digital beamforming algorithms, post-beamformer and phase rotation beamformer, by a computer simulation and experiments. The results show that the proposed algorithm has better performance than the others.

서론

빔집속 시스템은 초음파 영상 진단장치내에서 트랜스듀서에 수신된 RF 초음파 신호를 빔집속을 하려는 위치에 따라 각 변환자 소자 별로 신호를 지연한 후 합성하여 mainlobe의 폭이 매우 좁고 sidelobe의 크기가 작은 집속화된 빔패턴을 만드는 장치이다.

본 논문에서는 기존의 시스템들에서 사용하고 있는 디지털 빔 집속 알고리즘을 분석하여 장.단점을 파악한다. 이를 바탕으로 새로운 우수한 디지털 빔집속 알고리즘을 제안하고 기존의 알고리즘들과의 성능을 비교 평가한다. 성능을 비교한 결과 본 논문에서 제안하는 빔집속 알고리즘의 해상도가 우수하다는 것이 증명되었다.

지연에 대한 양자화 오차를 줄이는 것이다. 그림 1에서 보면 입력신호를 ADC를 통해 $4f_0$ 로 샘플링 한 후에 메모리에 저장을 한다. 그리고 메모리에서 데이터를 $4f_0$ 의 시간지연에 해당하는 delay를 주어서 읽는다. 그 신호를 zero padding하여 beamformer를 이용해서 더한 후에 interpolation과 decimation을 한다. 이때 $1/4f_0$ 의 시간 간격은 메모리를 읽는 것에 의해 결정이 되고 더 정밀한 시간 지연은 interpolator에서 결정이 된다. Post-beamforming 시스템은 합성을 먼저하고 합성된 데이터를 이후에 interpolation하는 기법을 사용하기 때문에 각 채널마다 interpolation 필터가 필요하지 않다. 또 하드웨어의 전체적인 속도를 RF 데이터의 샘플링 속도인 $4f_0$ 로 유지할 수 있다. 그러나, 보간을 먼저하고 빔포밍을 나중에하는 pre-beamformer에 비해 오차가 발생할 수 있다.

2) Phase Rotation Beamformer

위상 회전기(Phase Rotator)를 이용한 빔포머는 GE와 Acuson의 시스템에서 사용하고 있다. 입력 신호를 $4f_0$ 로 샘플링하고 demodulator를 이용해서 baseband 신호를 얻는다. 그리고 decimator를 이용해서 신호의 sampling rate를 f_0 로 내리고 phase rotator를 사용해서 fine delay를 갖는 신호를 얻는다. 위상 회전기는 지연 시간을 다음과 같이 위상의 형

기존의 빔집속 알고리즘

1) Post-Beamforming 시스템

이 알고리즘은 Siemens사에서 사용하고 있으며, 구성도는 그림 1과 같다. 이 알고리즘의 핵심은 하드

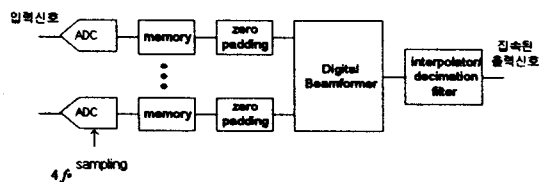


그림 1. Post-beamforming 시스템

웨어의 동작속도를 $4f_0$ 로 유지하면서 $4f_0$ 의 속도로 샘플된 신호를 $16f_0$ 로 4배 interpolation 하여 시간

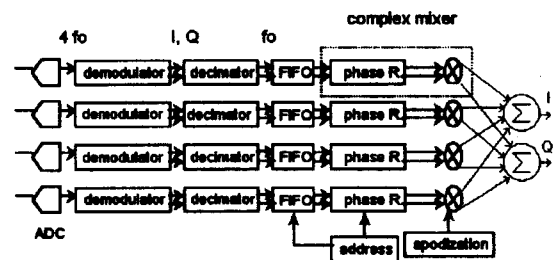


그림 2. Phase rotation beamformer의 구성도

대로 바꾸어서 수신되는 RF 신호의 위상에 곱해주면 원하는 만큼 시간 지연을 갖는 신호를 얻을 수 있다.

$$\phi_0 = \omega_0 \Delta t \quad (1)$$

식 (1)에서 ω_0 는 신호의 주파수이며, Δt 는 지연시간을 의미한다. 그림 2는 위와 같은 위상 회전기를 사용하여 4채널 빔집속을 수행하는 과정을 나타낸 것이다. Phase 여러 개의 데이터를 이용해서 한 점의 데이터 값을 구하는 것이 아니고, 필요한 한 점의 바로 앞의 데이터를 위상 회전시켜서 구하는 것이기 때문에 신호의 대역폭이 넓으면 오차가 커지는 단점이 있다. 또한 각 채널마다 demodulator가 필요하므로 시스템의 하드웨어가 복잡해진다.

Interpolator를 이용한 새로운 디지털 빔집속 시스템

본 논문에서는 그림 5에 보이는 바와 같이 fine delay을 주기 위해 각 채널별로 interpolation 필터를 사용하는 새로운 빔집속 시스템을 제안한다. 그림 3의 빔집속 시스템은 세밀한 지연시간을 갖는 데이터를 얻기 위하여 RF 데이터를 보간하는 방법을 사용하고 있다. 또한 이 빔집속 시스템은 각 채널마다 보간기를 갖고 보간 후 합성하는 구조로 이루어져 있다. 디지털 데이터의 보간은 빔 집속을 위한 $1/4f_0$ 샘플링 단위의 시간 지연은 address generator 메모리로부터 적절한 시간 지연된 데이터를 읽어서 얻을 수 있다. 그리고 $1/4f_0$ 이하의 시간 지연은 interpolation 필터를 이용해서 얻어진다. 4배 Interpolation을 하는 필터를 이용하면 $1/16f_0$ 까지 시간 지연 오차를 줄일 수 있다. 여기서 사용하는 interpolation 필터는 FIR 필터를 사용한다. 보간을 위한 디지털 필터의 계수 값을 미리 결정하여 수신된 RF 데이터의 보간에 사용한다.

RF신호를 빔포밍 하기 전에 선형 필터로 보간하는 방식으로 비교된 알고리즘 중 오차를 가장 적다.

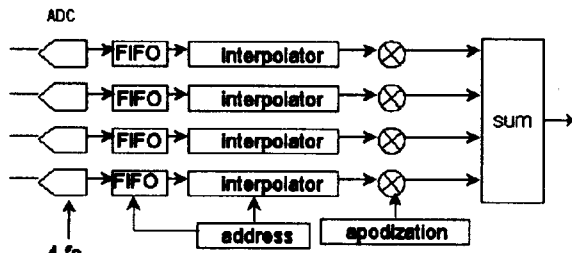


그림 3. Interpolation을 이용한 디지털 빔집속 시스템

컴퓨터 시뮬레이션

각 빔집속 알고리즘의 성능을 비교 분석하기 위해서 컴퓨터를 이용해서 빔 패턴을 얻었다. 시뮬레이션에서 사용한 변환자의 중심주파수는 7.5 MHz 이고 소자의 크기는 0.3 mm, 채널 수는 64채널이다. 수신 신호를 20.54 MHz로 샘플링하였다. 그림 4은 시뮬레이션을 이용해서 각 알고리즘 별로 2차원 빔 패턴이다. 깊이 방향으로 30mm, 60mm 100mm에서 각각 얻어졌다. 그림 8에서 (a)는 post-beamformer, (b)는 phase rotation beamformer 그리고(c)는 interpolation beamformer를 이용해서 얻은 2차원 빔 패턴을 60 dB까지 본 것이다. 그림4에서 보는 바와 같이 본 논문에서 제안하는 interpolation beamformer의 해상도가 가장 좋게 나타나는 것을 볼 수 있다. 그리고 post-beamformer의 경우가 가장 해상도가 떨어지는

것으로 나타났다.



그림 4. 깊이에 따른 (a) post-beamformer (b) phase rotation beamformer (c) interpolation beamformer의 2차원 빔패턴

실험

위에서 행한 시뮬레이션 결과를 확인하기 위해서 실험을 하였다. 실험의 사양은 위의 시뮬레이션 사양과 같다. 그림 5에서 (a)는 post-beamformer를 이용해서 영상을 얻은 결과이고 (b)는 Phase Rotate, (c) interpolation beamformer를 적용한 영상이다. 그림 (a와 (b를 보면 그림(c)보다 point target이 더 이 퍼져 보이고 speckle 잡음이 더 커 보인다 이러한 결과는 시뮬레이션에서 나타난 결과와 일치하는 것이다. 즉, 본 논문에서 제안하는 interpolation 필터를 이용한 빔집속 방법의 성능이 가장 우수하다는 것이 시뮬레이션과 실험을 통해 증명되었다.

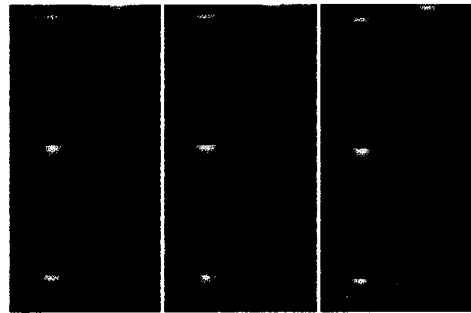


그림 5. (a) interpolation beamformer (b) post-beamformer (c) phase rotation beamformer를 이용해서 얻은 실험 영상

결론

초음파 영상 진단장치의 사용하는 interpolation 필터를 이용한 새로운 디지털 빔집속 알고리즘을 개발하였다. 성능 분석결과 기존의 디지털 빔집속 알고리즘인 post-beamformer나 phase rotation beamformer 등에 비해 해상도가 우수함이 시뮬레이션과 실험을 통해 증명되었다. 새로 제안한 시스템은 각 채널별로 interpolation 필터를 사용하므로써 시간지연의 정밀성과 데이터의 정확성을 얻을 수 있고 이로 해상도가 증가하는 결과를 얻었다. 기존의 post-beamformer에 비해 하드웨어가 다소 커지기는 하지만 현대의 ASIC 기술로는 큰 부담이 되지 않을 것으로 판단된다.

참고문헌

[1] U.S Patent 5,235,982 Matthew O'Donnell, Ann Arbor, Mich Gerenal Electronic Company, Aug. 17, 1993
 [2] U.S Patent 5,388,079 Jin Kim, Zoran Banjanin, Hiroshi Fukukita, Semence Medical System, INC., Feb. 7. 1995