

論文98-35S-1-9

신경회로망과 다소자 초음파 트랜스듀서에 의한 수중물체의 화상화

(Object Imaging in the Water by Neural Network and Multi-element Ultrasound Transducer)

金應珪 *

(Eung Kyeu Kim)

요 약

본 연구에서는 임상진단을 위한 3차원 초음파 내시경의 기초실험으로서 다소자 초음파 트랜스듀서가 개발되었으며, 다소자 초음파 트랜스듀서와 신경회로망에 의한 2차원 수중물체의 화상화에 관한 실험적 결과가 제시된다. 원환상으로 배치된 36개의 트랜스듀서 소자에 의하여 수신된 각각의 초음파 에코신호가 신경회로망에 입력되며, 학습알고리즘으로서 역전파가 사용된다. 이때 3층 신경회로망은 트랜스듀서 앞쪽에 위치한 목표물의 학습과 화상화에 사용된다. 화상화의 대상형상은 실험적인 제약조건을 고려하여 직사각형으로 한정하였다. 실험결과, 여러가지 크기의 직사각형 목표물의 기본패턴에 의한 학습을 통해서 학습에 사용되지 않은 형상의 물체에 대해서도 대체적으로 화상화(시각화)가 가능하였다.

Abstract

In this study, a multi-element ultrasound transducer has been developed aiming at basic experiment of three-dimension endovascular ultrasound endoscopy for clinical diagnosis, and experimental results of two-dimensional object imaging in the water are presented by this ultrasound transducer and neural network. Each ultrasound echo received by thirty-six angular transducer elements is inputted to the neural network, and then backpropagation is used as a learning algorithm. A three-layer artificial neural network is used for learning and imaging of targets placed in front of the transducer. The object shape of imaging is restricted to rectangular shapes by considering experimental restraint conditions. As a result, rough visualization can be realized even for objects with unlearned shapes through the training by primitive patterns of a various sized rectangular targets.

I. 서 론

최근에 이르러 인간이 가진 뇌의 신경회로를 모방한 인공적인 신경회로망을 이용한 연구가 붐을 이루고 있다. 이에 본 연구자는 다소자 초음파 센서를 시험적으로 제작해서 이것을 사용하여 얻어진 에코신호를 신

경회로망에 입력해서 센서의 앞쪽에 놓여진 2차원 목표물의 학습과 인식에 관한 실험적인 검토를 행해왔다 [1,2,3].

고정해 놓은 초음파 어레이 센서를 사용해서 앞쪽 방향에 위치한 물체의 화상화와 관련된 연구로서, 첫째 1차원의 페이즈드 어레이(phased array)를 2차원으로 확장한 것으로, 다시말해서 격자상의 트랜스듀서 어레이의 위상제어에 의해서 가느다란 주사빔을 얻는 것^[4], 둘째 지향성을 가진 트랜스듀서를 평면상으로 나열 함으로써 화상화를 행하는 것, 예를들면 격자상으로 배열한 지향성 트랜스듀서 어레이의 각각에 대한

* 正會員, 大田産業大學校 情報通信工學科
(Dept. of Information & Communication Eng.,
Taejon National Univ. of Technology)
接受日字: 1997年8月18日, 수정완료일: 1998年1月5日

에코 지연시간의 3차원 데이터를 신경회로망의 처리로 복원하여 화상화 하는 방법^[5,6], 셋째 음향의 홀로그램(hologram)법으로 이것에는 동심의 원형상으로 배치한 트랜스듀서를 직교함수로 구동하고 수신해서 상관관계를 이용해 화상화를 행하는 것^[7,8]과 동일한 트랜스듀서를 사용해서 구면상의 반사파를 고려한 일종의 시공간적인 역투영법에 의해 3차원 물체형상의 복원을 시도한 것^[9], 고정해 놓은 초음파원으로부터 방사된 초음파의 반사파 면을 트랜스듀서 어레이로 관찰해서 역푸리에 변환법에 의해 대략적인 물체화상을 얻은후 신경회로망의 처리를 통해 복원하는 것^[10,11] 등이 있다. 그러나 이들에 관한 문제점을 지적하면 다음과 같은 점을 들 수 있다. 첫째는 2차원의 주사시에 시간을 필요로 하고 움직이는 물체의 실시간 관측에 불리하다는 것, 둘째는 공간적으로 분리된 초음파 빔의 고립성을 이용해서 화상화를 행하는 것으로 처리 자체는 간단하지만 소형화가 어렵다는 것, 셋째는 복잡한 처리를 필요로 하는 것으로 이들의 방법은 동일한 트랜스듀서 소자의 배열을 전제조건으로 하고 있다. 따라서 단판의 분할에 의해 얻어진 지향성의 특성이 서로 다른 복수의 트랜스듀서 소자를 사용한 경우에는 그 보정이 필요하게 된다. 다만 신경회로망을 이용하는 경우에는 그 단계에서 형상의 차이를 흡수하게 된다. 본 연구에서는 이와같은 유연성과 적응성 이외에 실시간 처리 및 소형화와 처리의 간단화를 목표로 하여 신경회로망을 이용하였으며, 더욱이 신경회로망을 이용하는 경우 넓은 범위의 대상물에 대해서 적용 가능토록 하기위해 범화능력에 관한 실험적인 검토를 행하였다.

일반적으로 초음파는 X선과 MRI 화상에 비해서 분해능이 열악하지만 비간헐적, 비침습적으로 체내의 조직과 기관의 상태를 실시간으로 투영해낼 수가 있어 임상에서는 태아의 진단과 심장내의 혈류분포의 관찰과 계측에 자주 사용되고 있다. 최근에 문제가 되고 있는 성인병의 원인의 하나로 동맥 경화증을 들 수 있는데, 이에 대한 치료방법으로는 크게 나누어 내과적인 방법과 외과적인 방법이 있다. 본 연구자가 이러한 연구를 시작하게 된 목적은, 이중에서 외과적인 치료방법으로 특히 주목을 받고있는 벌룬혈관 형성술에 있어서 종래에는 곤란했던, 심장 및 혈관내에 넣은 트랜스듀서 앞쪽방향의 대상물에 대한 화상화를 행함에 있다. 이를 위해서 초소형 트랜스듀서 및 그 데이터의

처리방법을 개발해서 궁극적으로는 혈관내에 삽입해서 3차원적인 초음파 내시경으로서 임상에 응용하고자 함이 그 최종 목표이다.

본 연구자가 관심을 기울여 왔던 연구로서, 이미 원주방향으로 8분할 한 원형 초음파 트랜스듀서를 사용해서 여러가지 방향에 설치한 직사각형의 목표물에 대한 화상 재구성을 신경회로망으로 행한 연구사례가 있다^[12]. 이러한 연구에서는 세로방향과 가로방향으로 설치한 목표물만을 학습한 회로망은 비스듬하게 설치한 목표물에 대해서 화상화가 불가능 했으며 또한 신경회로망의 범화능력에 대한 검토도 불충분 했다. 따라서 본 연구에서는 이러한 점을 개선하기 위하여 트랜스듀서의 분할소자를 36개로 증가시키고 동시에 기본패턴으로서 여러가지 크기의 직사각형 패턴을 신경회로망을 통해 학습시킴으로써 학습에 사용하지 않은 직사각형 패턴에 대한 화상화의 가능성 및 학습에 사용하는 기본패턴의 조합을 궁리함으로써 범화능력에 대한 향상 가능성을 검토한다.

II. 실험시스템의 구성

그림1에 실험시스템의 구성을 나타낸다. 초음파의 송수신은 복수개의 소자를 가진 1개의 단판 소형 트랜스듀서를 사용해서 행한다.

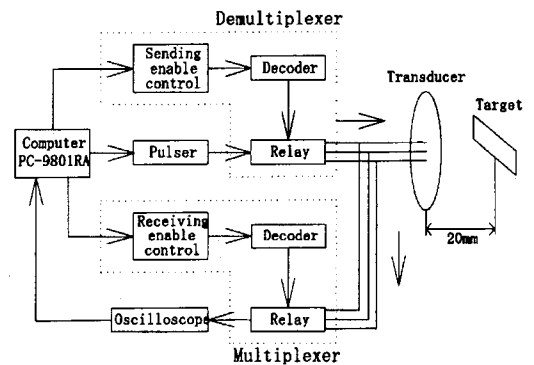


그림 1. 시스템의 구성도
Fig. 1. Block diagram of the system.

그림2의 정면도에 나타난 바와 같이 트랜스듀서는 원형의 단판 압전소자를 원주의 방향으로 12분할 하고 반지름의 방향으로 3분할 한 것으로 모두 합해서 36개의 소자가 된다. 형상은 바깥지름이 20mm, 안지름이 2mm, 각 소자의 공진주파수는 약 9.67MHz(표준편차

0.096MHz), 표면은 공통전극으로 각 소자의 표면적은 8 mm² 정도로 어떠한 소자도 동일한 면적이 되도록 분할되고 있다. 다만 각 소자의 형상이 다르기 때문에 각 소자의 방사특성은 다르게 될 것으로 예상되지만 이것에 대한 보정은 다음단계인 신경회로망의 처리로 행하게 된다. 본 연구에서는 트랜스듀서의 소형화에 관한 것 보다는 데이터의 처리방법에 주안점을 두기 때문에 제작과 실험의 용이함을 고려하여 36개 소자인 20mm 직경(중심부 8개의 소자는 10mm의 직경)의 트랜스듀서를 사용했다. 전체의 형상은 내시경에 적합한 원형으로 하였으며 이 때에 형상이 다른 소자의 데이터를 처리하기 위해 신경회로망에 의한 처리와 같은 적응적인 처리방법이 필요하게 된다. 더욱이 신경회로망을 이용한 초음파 3차원 물체 인식법을 개발하고 있는 연구^{10,11)}도 있지만, 화상의 복원에는 주로 푸리에 역변환법을 이용하고 있어 신경회로망은 복원된 화상의 수정과 인식에 사용되고 있을 뿐이다.

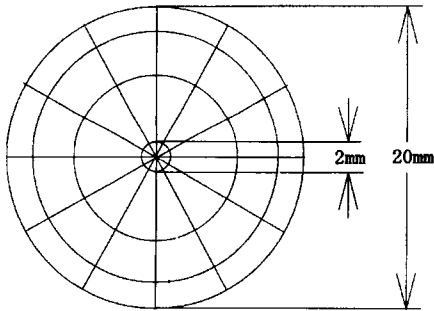


그림 2. 트랜스듀서의 정면도

Fig. 2. Front view of the transducer.

트랜스듀서는 직육면체의 플라스틱 용기(22cm [L] × 15cm [W] × 9cm [H])의 측면 [W] 중앙부에 부착되고 목표물은 트랜스듀서의 앞쪽방향 약 20mm의 평면내에 놓여졌다. 시스템은 퍼스널 컴퓨터로 제어되고 송신과 수신 보드에는 디멀티플렉서 및 멀티플렉서가 조합되어 있다. 펄스 발생부에서 발생한 펄스를 사용해서 트랜스듀서의 어떤소자를 구동시킬 것인가와 또한 각 소자에 들어온 수신에코 중에서 어떤소자의 에코를 계측할 것인가에 대해서 중복되지 않게 순번적으로 릴레이에 의한 디멀티플렉서 및 멀티플렉서로 선택한다. 구동에는 고속펄스를 사용해서 70v의 폭 0.5 μs인 좁은 단일펄스를 순번적으로 각 소자에 보낸 후, 그 외의 분할소자인 35개로 부터 개별적으로 수신하여

한 개의 목표물에 대해서 1260조(=36×35)의 에코 데이터어를 얻게 된다.

실험에서 사용된 목표물 까지의 거리 20mm는 트랜스듀서의 앞면에 설치한 두께가 약 1.5mm인 내수수지 면으로부터의 거리이다. 수지내부에서의 전파속도를 수증의 3배 정도로 한다면 실제의 트랜스듀서로부터 목표물에 이르기까지의 초음파의 왕복시간은 27.3μs가 된다. 따라서 각각의 에코 데이터에 대한 샘플링은 한 개의 소자에 펄스를 인가하고 나서 27.25μs 후에 선택된 수신소자 출력에 대한 샘플링을 시작한 후 31μs 까지 3.75μs 동안 행해진다. 샘플링 속도는 40MHz(샘플링 간격 25ns)로 샘플링 점수는 150점으로 행해진다.

A/D 변환에는 디지털 오실로스코프가 사용되고, 디지털화 된 에코 데이터는 오실로스코프의 GP-IB 인터페이스를 통해서 퍼스널 컴퓨터에 전송된다.

III. 목표물 및 수신에코신호

학습과 시험에 사용된 목표물 패턴의 종류, 목표물의 배치상태 및 각각의 실제크기를 나타내며, 트랜스듀서 앞쪽방향에 목표물을 설치해서 임의 소자를 구동했을 때, 다른소자에서 얻어진 수신에코신호의 예를 나타낸다.

1. 목표물

현재의 실험시스템에서는 회로의 구성상태를 고려할 때 1개의 목표물에 대한 에코 데이터를 얻는데 1시간 정도 소요된다. 그러나 초음파의 전파과정에 대한 해석의 복잡성 때문에 계산기를 이용한 시뮬레이션에 의한 학습은 매우 곤란하다. 따라서 이와같은 실험시스템의 제약으로부터 학습에 있어서 기본패턴의 종류를 지나치게 증가시킨다는 것은 어려운 일이다. 이러한 실험적인 조건하에서 기본패턴에 대한 조합방법과 범화능력을 계통적으로 조사하기 위하여 본 연구에서는 화상화의 대상 형상을 직사각형으로 한정했다. 대상을 직사각형으로 한정한 후에 여러가지 종류의 목표물에 대한 패턴을 조합하여 학습을 행할 때 어떠한 범화능력을 얻을 수 있는지를 실험적으로 검토한다. 실험에 사용된 목표물은 두께 약 1mm의 플라스틱제 판을 절단한 것으로 그 형상을 그림3(a)~(k)에 나타낸다. 여기에서 목표물 A~K에 대한 실제의 크기를 나타내면 표 1과 같다.

여기에서 목표물 A~G에 관해서는 학습과 시험에 또한 H~K에 관해서는 시험에만 사용했다. 이들의 목표물은 지름이 1.2mm인 원형강선의 끝에 수직로 고정되고 다른 한쪽 끝은 X-Y 테이블에 부착되어 있다. 강선과 X-Y 테이블은 간단히 분리될 수 있고 동시에 정확히 원래의 위치에 재조정 될 수 있도록 하였다.

목표물은 트랜스듀서의 앞쪽 방향으로부터 20mm의 거리에 있는 트랜스듀서의 중심축에 수직한 평면상에 위치해 있으며, 그림3에 표시한 바와 같이 16mm×16mm의 정사각형 영역내에 설치된다. 횡축과 종축방향의 한 눈금은 4mm로 모두 16개의 작은 정사각형으로 이루어지며, 이 작은 정사각형은 목표물의 기본단위(면소)를 나타낸다. 목표물 H를 제외한 목표물 A~K에는 작은 정사각형으로 이루어질 수 있는 모든 직사각형이 포함되어 있다.

표 1. 실험에 사용된 목표물
Table 1. The targets used in experiment.

목표물	크 기	목표물	크 기	목표물	크 기
A	4mm×4mm	B	8mm×8mm	C	12mm×12mm
D	4mm×16mm	E	8mm×16mm	F	12mm×16mm
G	16mm×16mm	H	22.4mm×5.6mm	I	4mm×8mm
J	4mm×12mm	K	8mm×12mm	.	.

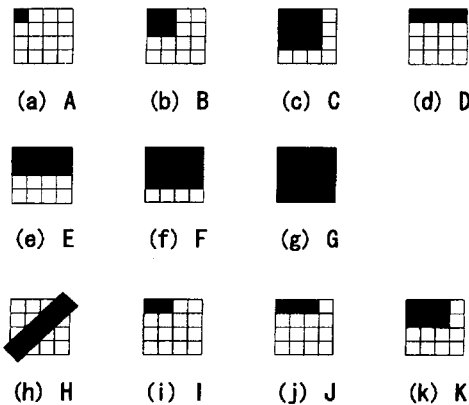


그림 3. 목표물 패턴(검은색 부분)
Fig. 3. Target patterns(black painted regions).

목표물의 배치에 있어서 목표물 A에 관해서는 그림 3(a)에 나타낸 바와 같이 16개의 작은 정사각형이 각각 16개소에 설치 되었다. 목표물 B, C에 관해서는 그림3(b), (c) 크기의 정사각형을 그림3의 16개의 작은 정사각형으로 이루어지는 면상에서 횡축과 종축의

방향에 번호순으로 기본단위씩 겹치지 않도록 구성해서 각각 9개소와 4개소에 설치했다. 목표물 D, E, F, G에 관해서는 16개의 작은 정사각형으로 이루어지는 정사각형 내에서 수평 및 수직방향에 번호순으로 기본 단위씩 겹치지 않도록 한후 90° 회전한 8, 6, 4, 1 개소에 각각 배치했다. 목표물 H에 관해서는 그 중심을 트랜스듀서의 중심축과 일치시켜 각도상으로는 수직방향으로부터 좌우로 45° 씩 기울인 2개소에 설치했다. 목표물 I, J, K에 관해서는 시험에만 사용되기 때문에 그 대칭성을 고려해서 각각 4, 2, 2 개소를 선정해서 설치했다.

2. 수신에코신호

트랜스듀서의 정면 앞쪽방향 20mm의 거리에 목표물 G를 설치해서, 임의의 소자(No.1)를 구동한 후, 다른 소자(No.20)에서 얻어진 수신에코신호에 대한 파형의 예를 그림4에 나타낸다.

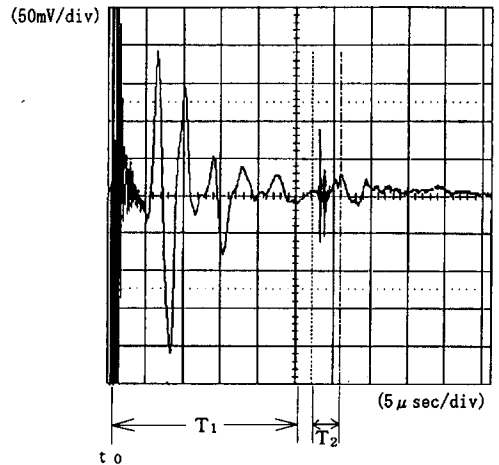


그림 4. 수신에코신호의 예
Fig. 4. An example of received echo signal.

이 그래프에서 횡축은 시간으로 한 눈금이 5μs, 종축은 전압으로 한 눈금이 50mV 이다. 그림4에서 t0는 펄스를 발사한 시점에 대응한다. T1 구간의 진동은 트랜스듀서가 단판을 분할한 것 뿐으로 구동소자의 진동이 직접 다른소자에 전해진 것으로 판단된다. 또한 소자를 보호하기 위하여 트랜스듀서의 앞면은 내수수지의 보호재로 감싸있고 그 뒷면은 보강용 패키징재로 덮여있기 때문에 이들 내부에서의 전파도 진동에 관여한다고 사료된다. T2 구간은 목표물에 의한 반사에코 이

며, 그 양측의 두 종선사이에 낀 부분이 샘플링 구간으로 왼쪽의 점선이 샘플링의 개시시점이고 오른쪽의 일점쇄선이 종료시점으로 150점으로 구성되고 있다. 이 데이터가 신경회로망에 입력되지만 소자수가 많기 때문에 그 자체의 데이터를 그대로 사용하게 되면 데이터 수가 많아지게 되어 처리가 곤란하게 되므로 데이터의 2승합의 평균값을 구해서 입력값으로 하였다. 그 외에 에코의 위상을 추출하기 위하여 에코의 SIN 성분과 COS 성분을 구해서 2승합의 평균값과 함께 신경회로망에 입력하였으나 그 수렴은 곤란 하였다. 이것은 위상정보가 목표물의 위치와 세로길이에 너무 민감하게 반응한것으로 판단된다.

IV. 신경회로망과 학습

본 연구에서는 3층 역전파 신경회로망을 구축했다. 입력층의 유니트 수는 1260개로 이것은 36개의 소자 중에서 송신 및 수신소자를 중복치 않도록 선택하는 조합의 수인 ${}_{36}P_2$ 에 대응하고 있다. 다시 말해서 1개의 샘플링값의 배열 데이터에 대해서 그 진폭의 RMS값(2승의 합을 샘플링의 점수로 나눈값)을 1개의 입력 데이터로 하고 있다. 중간층은 15개의 유니트, 출력층의 유니트 수는 16개로 4×4의 행렬로 표시한다.

학습에는, 목표물 종류별(괄호안은 이동개소)로 A(16개소), B(9개소), C(4개소)를 기본패턴으로서 사용해서 각각 단독으로 학습한 것, 이 중에서 2개를 조합시켜 학습한 것, 3개를 모두 사용해서 학습한 것의 합계인 7종류로 학습하였다. 우선 정사각형을 기본패턴으로 선정한 것은 본 연구에 있어서 화상화의 대상인 직사각형의 가장 기본적인 형상이라고 판단되었기 때문이다. 더욱이 이들에 부가해서 패턴 A, B, C 및 G(1개소)의 정사각형 구름과 D(8개소), E(6개소), F(4개소)의 직사각형 구름의 쌍방으로부터 3종류를 선택한 합계 9종류와 전자 7종류를 합한 16가지 방법으로 학습 하였다. 이와같이 여러 가지 기본패턴으로 구성된 조합의 학습결과로부터 어떠한 형상의 미지패턴을 원래의 형상대로 화상화 할 수 있는지를 검토함으로써 범화능력의 특성을 해석한다. 더구나 학습의 경우 출력이 임계값 이상이면 출력의 화소값을 1로 그렇지 않으면 0으로 하였으나 어떠한 경우에 대해서도 오인식의 패턴수가 0에 수렴된 후에 100회의 추가학습을 행하여 종료했다. 여기에서 임계값은 실험효율을

고려해서 0.85로 하였다.

신경회로망의 학습 파라메타는 가중값과 임계값의 초기값을 $[-0.1, 0.1]$ 사이의 고른 분포를 가진 난수로 설정하고, 시그모이드 함수의 기울기 계수는 1.2, 가중값의 수정계수는 0.33, 가중의 망각값은 1.0으로 하였다.

V. 식별실험의 결과 및 고찰

정사각형 및 직사각형 패턴을 학습시킨 신경회로망에 학습에 사용치 아니한 목표물의 시험 데이터를 입력시켜 화상을 재구성 할 때, 화상평면상에서의 오울 및 45° 방향으로 목표물 H를 설치해서 얻어진 에코 데이터를 정사각형 패턴을 사용해서 학습한 신경회로망에 각각 입력했을 때의 출력결과를 나타낸다.

1. 식별실험의 결과

정사각형 A, B, C를 사용한 7종류의 패턴 및 정사각형 A, B, C, G와 직사각형 D, E, F의 양방향으로부터 선택한 9종류의 패턴을 학습시킨 신경회로망에, 학습에 사용하지 아니한 목표물의 시험 데이터를 입력했다. 출력결과 실험적으로 적당한 최저값인 0.4를 임계값으로 설정해서 그 이상을 1로 그 미만을 0으로 하여 화상을 재구성 했다. 이러한 재구성의 화상에 있어서 원래 있어야 할 장소에 없다고 판정된 화소수와 원래 존재하지 않은 장소에 있다고 판정된 화소수와와의 합인 잘못된 화소수로부터 한 개의 화소당 오울을 계산한 결과를 표2에 나타낸다. 표2의 좌단의 세로항목은 학습에 사용한 목표물의 종류를, 상단의 가로항목은 시험에 사용된 목표물의 종류를 나타낸다. 표2에서 그물의 표시는 각각의 시험패턴에 대한 오울이 가장 낮은 학습패턴의 조합을 나타낸다.

목표물 B와 같은 정사각형에서는 패턴 AEG를 학습에 사용한 경우가 가장 오울이 작고, 그 다음으로 AC, ADG의 순으로 되고 있다. 또한 목표물 C에서는 BEG, ADF가 유효하다. 위의 결과로 부터 B(C)에서는 그것을 형상에 따라 짜맞춘 AE, AG와 AC의 쌍(BG와 AF의 쌍)을 학습에 사용함이 유효하다는 것을 알게 되었다. 더욱이 여기에서는 형상이 다른 별개의 형상에 완전히 포함될 때 대소관계에 있다고 한다. 또한 어떤형상 a에 대해 그것보다 큰 형상인 b_1 과 작은 형상인 b_2 가 있을 때 후자의 (b)는 전자인 (a)를 “삽

입한다”고 한다.

표 2. 화상평면에 있어서의 오율(오출력 화 소/16)

Table 2. Error ratio in imaging plane(error output pixels/16).

학습 patterns	시험 patterns									
	A	B	C	D	E	F	G	I	J	K
AEG	---	0.26	---	---	0.39	---	0.05	0.16	0.06	
ADF	---	0.18	0.16	---	0.23	---	0.06	0.03	0.09	
ADG	---	0.13	0.36	---	0.18	0.51	---	0.06	0.06	0.03
BEG	0.13	---	0.13	---	0.39	---	0.05	0.19	0.06	
BDF	---	0.24	---	0.14	---	0.56	---	0.16	---	
BDG	0.18	---	0.28	---	0.13	0.47	---	0.05	0.09	
CEG	0.54	0.33	---	0.40	---	0.38	---	0.45	0.47	0.12
CDF	0.32	0.29	---	---	---	---	0.75	0.19	0.09	0.16
CDG	0.23	0.21	---	---	0.22	0.35	---	0.06	0.06	0.03
A	---	0.20	0.55	0.22	0.49	0.70	1.0	0.08	0.16	0.38
B	0.20	---	0.32	0.21	0.24	0.51	0.88	0.09	0.19	0.12
C	0.55	0.32	---	0.44	0.30	---	0.44	0.52	0.47	0.21
AB	---	---	0.34	0.17	0.38	0.58	0.94	0.02	0.09	0.16
BC	0.26	---	---	0.24	0.17	0.39	0.56	0.14	0.28	0.06
AC	---	0.13	---	0.17	0.33	0.45	0.75	0.06	---	0.25
ABC	---	---	---	0.15	0.30	0.42	0.75	0.06	0.06	0.12



(1) teacher signal for target J

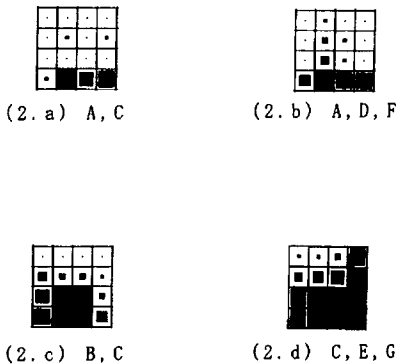


그림 5. 여러가지 기본패턴에 있어서 목표물 J에 대한 출력결과

Fig. 5. Output results for target J for various basic patterns.

그러나 사각형 중에서 면적이 최소인 A와 같은 경우에는 학습에 사용한 목표물의 종류별 형상이 그것

자체 보다도 모두 크다. 이러한 경우를 포함해서 D, E, F, I, J, K의 직사각형 목표물에 대해서 공통적으로 언급할 수 있는 사항은 학습에 있어서 시험 목표물의 2변 중에서 1변과 동일한 길이를 갖는 패턴을 학습에 이용하는 것이 유효하다는 것이다. 예를 들면 D에서는 1변이 동일한 A와 다른 1변이 동일한 G를 학습한 경우가 오인식률이 작고, E에서는 1변이 동일한 B에 다른 1변이 동일한 D, F, G를 이용한 경우가 효과적이다. 이러한 결과는 위에서 기술한 정사각형 B, C의 경우에 대해서도 적용된다. 한가지 예로, 시험용 목표물로 J를 사용해서 패턴 AC, ADF, CEG, BC로 학습한 신경회로망에 입력한 결과를 그림5에 나타낸다. 이들의 결과로 부터, 일반적으로 시험 목표물의 폭에 가까운 기본패턴을 중심으로 학습시킨 신경회로망이 유효하다고 추정된다.

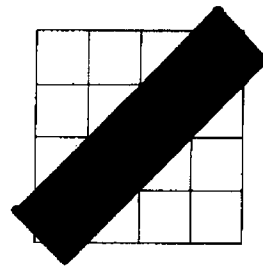


그림 6. 목표물 H의 위치
Fig. 6. A location of the target "H".

다음으로 그림6에 나타난 바와 같이 경사각 45° 방향으로 목표물 H를 설치해서 얻어진 에코 데이터를 위에서 나타낸 15 종류의 신경회로망 중에서 정사각형 패턴 A, B, C를 사용해서 학습한 7종류의 신경회로망에 각각 입력했을 때의 출력결과를 그림7(a)~(g)에 나타낸다. 여기에서 출력값은 흑색 정사각형의 면적에 대응하며, 그 기대값은 목표물의 중심부에서 1.0, 그외의 주변부에서는 0.5가 된다. 이러한 패턴에 대해서도 왼쪽 목표물의 폭에 비교적 가까운 패턴 A, B 또는 AB로 학습한 신경회로망은 비교적 능숙하게 반응하고 있으나 패턴의 크기가 큰 C를 포함해서 학습한 회로망은 패턴의 모서리 부분에 대해서 크게 반응하는 경향이 보여져 패턴 C의 학습이 역효과로서 나타나는 것으로 보인다.

이상의 내용을 정리해 보면, 다소자 트랜스듀서의 각 소자를 차례로 구동했을 때의 수신 데이터를 신경

회로망을 통해서 학습시킴으로써, 학습종료 2차원 물체에 대해서는 위치 및 형상인식과 화상화가 문제점 없이 가능했다. 미학습 물체에 대해서는 이들을 면적 면에서 조합하거나 또는 1번이 이들에 가까운 몇개의 정사각형 또는 직사각형 패턴을 기본패턴으로 했을 때, 2차원 평면 내에서의 위치 및 그 대략적인 형상인식과 화상화가 가능했다.

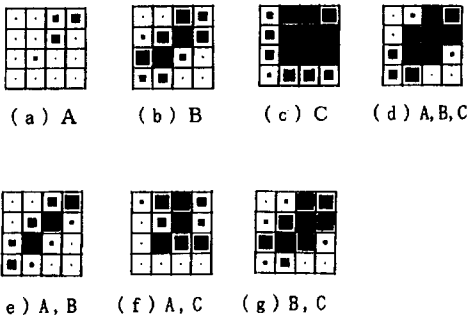


그림 7. 여러가지의 기본적인 학습패턴에 대한 출력결과
 Fig. 7. Output results for various basic training patterns.

2. 식별실험상의 고찰

본 실험에서는 4×4 화소의 목표물에 대해서 각각의 공진주파수가 9.67MHz의 36개 소자를 가진 트랜스듀서에 놓여진 각 소자를 차례로 구동해서 그외의 모든 소자로 수신함으로써 1260개의 시계열 고주파 데이터를 얻었다. 시계열 데이터 자체는 정보량이 많기 때문에 에너지를 1개의 특징으로서 압축하고 표현했다. 따라서 신경회로망에서는 고주파 레벨에서의 홀로그램에 의한 처리 혹은 개구형성적인 처리가 아닌 진폭과 포락선 레벨에서의 처리가 행해지고 있다. 향후에 있어서 전자(the former)에 대한 정보를 기능한한 포착해 낼 수 있을 때, 주사시간 단축 등의 성능향상에 기여할 것으로 예상된다. 다시말해서, 위상제어로 2차원적인 주사를 행하는 phased array 방식에서는 1 화면의 주사에 “목표물의 분해능 수×에코시간”이 소요된다. 이것에 대해서 본 방식에서의 고주파 신호를 그대로 혹은 그것으로부터 추출된 특징을 포착해서 홀로그램적 처리를 행할 수 있다면, 보통의 phased array 와 같은 수신할 때의 빔의 형상이 아닌 수신한 후의 처리에서 반사파 면의 형상으로부터 대상물을 재구성

하게 되어 기본적으로는 1 소자의 구동만으로 충분히 “1×에코 반사시간”에서 활상이 가능할 것이다. 현재의 경우, “소자수×에코반사시간”에서 활상이 행해지고 있다.

VI. 결 론

본 연구에서는 초음파를 이용한 초소형 트랜스듀서 및 그 데이터의 처리방법을 개발해서 혈관내에 삽입하여 3차원 초음파 내시경으로서 임상에 활용하고자 함에 그 목표를 두고 있으며, 이를 위한 기초실험으로서 이미 원주방향으로 8분할한 원형초음파 트랜스듀서를 사용해서 여러방향에 설치한 직사각형 목표물에 대한 화상 재구성 실험을 행한 바가 있다. 하지만, 이 연구에서는 세로방향과 가로방향으로 설치한 목표물만을 학습한 회로망은 비스듬하게 설치한 목표물에 대해서 화상화가 불가능 했으며, 신경회로망의 범화능력에 대한 검토도 충분치 못했다. 따라서, 이번 연구에서는 이러한 점을 개선하기 위하여 트랜스듀서의 분할소자를 36개로 증가시키고 동시에, 전번 실험에서 고려치 않은 기본패턴으로서 여러가지 크기의 직사각형 패턴을 신경회로망을 통해 학습시킴으로써 학습에 사용치 않은 직사각형 목표물에 대한 화상화의 가능성 및 학습에 사용한 기본패턴의 조합을 궁리함으로써 범화능력에 대한 향상 가능성을 실험적으로 확인해 보았다. 이때, 신경회로망은 3층망으로, 역전파 학습알고리즘이 사용되었고, 트랜스듀서 앞쪽에 위치한 목표물의 학습과 화상화에 사용되었다. 실험시스템에서 회로 구성상태 및 초음파 전파과정에 대한 해석의 복잡성 등 실험적인 제약조건으로부터, 본 연구에서는 화상화의 대상 형상을 정사각형을 포함한 직사각형으로 한정하였다. 여러가지 직사각형 목표물에 대한 화상화 및 범화능력에 대한 향상가능성의 실험결과, 정사각형(A, B, C)을 기본패턴으로 한 7종류 및 정사각형(A, B, C, G)과 직사각형(D, E, F)의 양방향으로부터 선택한 9종류를 합한 16종류의 패턴을 학습시킨 신경회로망에, 학습에 사용치 아니한 목표물의 시험 데이터를 입력시켜 화상을 재구성 할 때, 목표물 패턴의 2번 중에서 1번과 동일한 길이를 갖는 패턴을 학습에 이용하는 것이 오인 식별이 작고 효과적임을 알게 되었다. 이러한 결과는 일반적으로 목표물의 폭에 가까운 기본패턴을 중심으로 학습시킨 신경회로망이 유효함을 나타낸 것이다.

또한, 여러가지 크기를 가진 직사각형 목표물의 기본 패턴에 의한 학습을 통해서 학습에 사용하지 않은 형상의 목표물체에 대해서도 대체적으로 화상화가 가능함을 알게 되었다. 이것은 여러가지 직사각형 패턴의 조합에 따른 신경회로망의 범화능력에 대한 향상 가능성을 나타낸다고 할 수 있다.

향후의 과제로서는, 다채널 A/D 변환장치의 사용에 따른 데이터 취득시간의 단축도도, 대상물체의 보다 정확한 복원을 위한 가능한 적은수의 기본패턴 탐색 및 혈관내의 초음파 내시경으로 활용하기 위한 트랜스듀서 직경의 축소화(5mm 이하) 등을 들을 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] N. Asada et al, "Potential usefulness of an artificial neural network for differential diagnosis of interstitial lung diseases : pilot study", *Radiology*, vol.17, no.3, pp.857~860, 1990.
- [2] 김응규, "신경회로망과 초음파 트랜스듀서에 의한 2차원 목표물의 위치식별", 한국정보과학회 '96 학술발표논문집, 제23권 제1호, pp.1037~1040, 1996
- [3] 박정학, 조현철, 사공건, "다공질 압전소자(PZT)로 제작된 초음파 트랜스듀서의 펄스-에코 응답 특성", 대한전기학회논문지, 제45권 제9호, pp.1297~1301, 1996.
- [4] TC Pilkington, RE Indeker and OT von Ramm, *National Science Foundation/Engineering Research Center for Emerging Cardiovascular Technologies*, Proc. IEEE 81(1), pp.79~94, 1993.
- [5] Min-Hong Han and Sang-Yong Rhee, "Camera Calibration for Three-dimensional Measurement", *Patter Recognition*, vol.25, no.2, pp.155~164, 1992.
- [6] 吉澤信幸, "超音波センサとニューラルネットワークを用いた三次元物體認識", *EMC*, 53, 98~104, 1992.
- [7] 湯淺 筆, 石原知明, 高野 幸 他, "波面符合化送信方式による水中撮像装置", *信學技報 US94-7*, pp.45~52, 1994.
- [8] 谷口信行, 望月剛, "臨床應用可能な超音波3次元装置の開発", *超音波醫學會第60回研究發表會講演論文集*, YID-6, pp.17~18, 1992.
- [9] 大城 理, "醫用畫像計測", 第17回大阪大學BME研究會, pp. 7~10, Feb. 1994.
- [10] S.Watanabe and M.Yoneyama, "An Ultrasonic Visual Sensor for Three-Dimensional Object Recognition Using Neural Networks", *IEEE Trans. Robotics Autom.*, 8(2), pp.240~249, 1992.
- [11] 光本浩士, 田村進一 他, "面對稱性に基づく單眼視3次元復元", *信學論*, vol.J68-D, no.3, pp.369~375, 1988.
- [12] Eung-Kyeu Kim and Shinichi Tamura, "Neural Network Applied to Object Imaging in the Water by Multi-element Ultrasound Transducer", *Proceeding of International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communication(ITC-CSCC) '96*, vol.1, pp.373~376, July 1996.

저 자 소 개



金 應 珪(正會員)

1952년 11월 1일생. 1976년 2월 충남대 공대 공업교육과(학사). 1978년 2월 충남대 대학원 공업교육과(석사). 1993년 9월 오사카대학 기초공학연구과 의용정보공학전공(박사). 1982년 6월~1987년9월 충남대 공대 조교 1987년 10월~1989년 9월 교오또대학 공학부 연구원. 1990년 2월~1992년 3월 오사카대학 의학부 助手. 1993년 3월~1994년2월 충남대공대 시간강사. 1994년 3월~현재 대전산업대학교 정보통신공학과 조교수. 주관심분야는 화상처리, 컴퓨터비전, 신경회로망이며, 화상통신 및 정보통신망 등에 흥미를 갖고 있음.