

산업 현장의 안전거리 계측을 위한 동적 계획 신경회로망

A Dynamic Programming Neural Network to find the Safety Distance of Industrial Field

김종만*, 김원섭, 김영민, 황중선, 박현철

(JongMan Kim, Wonsub Kim, YeongMin Kim, JongSun Hwang, HyunChul Kim)

Abstract

Making the safety situation from the various work system is very important in the industrial fields. The proposed neural network technique is the real time computation method based theory of inter-node diffusion for searching the safety distances from the sudden appearance-objects during the work driving. The main steps of the distance computation using the theory of stereo vision like the eyes of man is following steps. One is the processing for finding the corresponding points of stereo images and the other is the interpolation processing of full image data from nonlinear image data of objects. All of them request much memory space and time. Therefore the most reliable neural-network algorithm is driven for real time recognition of objects, which is composed of a dynamic programming algorithm based on sequence matching techniques. And the real time reconstruction of nonlinear image information is processed through several simulations. 1-D LIPN hardware has been composed, and the real time reconstruction is verified through the various experiments.

Key Words : Dynamic programming algorithm, LIPN, Real time reconstruction

1. 장 서 론

생산라인의 자동화 추세에 따라 대부분의 산업 현장에서는 안전한 현장 생산시스템이 되도록 노력하고 있으며, 이를 위해 안전한 설비 및 운영시스템을 갖추는데 최선을 다하고 있다.

특히 자동화 생산라인에서는 한 장비의 고장이나 안전사고 등으로 인한 고장이 발생시에 모든 생산라인의 가동이 중단될 수 있어 막대한 경제적 손실을 초래할 가능성이 많다. 예를 들어 생산 물류시스템 및 이동 시스템 등의 경우, 돌발 물체의 출현시에 이를 즉시 발견하여 충돌사고 이전에 대처시켜 경제적 손실을 절감시킬 필요가 있다. 최근 비약적으로

발전하고 있는 통신망 기술과 화상 및 음성 의 원격 실시간 전송 기술, 카메라 제어기술 및 신호의 전송 기술 등을 결합하여 생산 물류시스템이나 규칙적인 산업 현장의 자동 이송시스템 등에 응용하게 되면 사고로 인한 여러 손실을 경감시킬 수 있다. 이러한 돌발 물체 등의 감시 및 순간 계측을 위하여, 먼저 물체를 실시간으로 감지하는 기술과 그 감지한 물체에 대하여 지시 명령에 따른 그 물체와의 거리를 인식하는 기술이 필요하다[1].

현재 이러한 인식 기술로 인간 양눈의 원리를 이용한 카메라의 스테레오 비전 기법이 많이 사용되며[2], 이 방법의 거리 산출을 위해서는 먼저 카메라의 Calibration (정렬)을 거친후, 임의의 돌발물체에 대한 스테레오 영상을 획득한다. 그리고 획득한 좌우 영상정보에 대해 에지 (윤곽선) 특징점을 추출한다.

이때 얻어진 두 영상 특징점에 대한 일치점을 찾아내는 스테레오 정합과정을 실시하고, 정합이 완료되면 특징

* 전남도립 남도대학 전자제어과
(전남 장흥군 안양면 기산리 산 89번지,
Fax: 061-860-8609
E-mail : jmk@namdo.ac.kr)

점 위치 위주의 정합 영상에 대하여 보간 기법을 통하여 전체 영상 정보를 얻어 낸다. 이러한 거리 계산 과정 중 특히 많은 시간이 소요되는 단계는 두 화면의 각 영상점들간의 일치점을 찾는 일(matching problem)과 특징점들에 대해 계산된 거리정보를 기반으로 전체 영상점들에 대한 거리를 보간 기법을 통하여 구하는 일(distance problem)이다[3][5].

따라서 본 연구에서 산업현장의 돌발물체 감지를 위하여 새로운 정보전파 신경회로망을 제안하여 스테레오 영상의 특징 정보에 해당되는 좌우 일치점(정합점)을 찾아내고, 찾아낸 정합점의 윤곽 부분 상태의 정보를 인접한 신경망 노드에 전파시킴으로써 윤곽점 영상을 전체 영역에의 거리로 계산시켜 실시간으로 추정해 낼 수 있도록 거리보간 실험을 수행시킨다.

인간의 좌우 양안의 일치점을 찾아내는 원리와 같은 두 영상의 정합점을 찾는 방법중 가장 효과적인 방법의 하나는 동적계획법[3-4]을 이용하는 것이다.

기존에 사용해 왔던 이 기법의 문제점은 실시간 응답 처리가 어렵다는 점인데, 본 연구에서 제안한 정보전파 신경회로망은 노드들의 정보를 인접 노드들에 실시간으로 전파시켜 수행하는 능력을 가지고 있어 먼저 일치점을 찾아내는 동적계획법의 문제를 해결해 준다.

그리고 본 연구에서는 제안된 기법을 통해 특징점만의 데이터를 실시간으로 보간시켜 전체의 거리 정보를 산출시킴으로써 많은 메모리와 계산시간이 요구되는 기존기법의 단점을 보완시켰고, 하드웨어를 구성하여 실험 특성을 수행하였다.

2. 장 고속 주행차 실시간 처리를 위한 정보전파 신경회로망 (LIPN)

2.1 보간특성을 갖는 정보전파 신경회로망

본 연구에서 제안한 정보전파 신경회로망 (LIPN)은 그림 1과 같이 그 구조가 단층 신경망 노드로 구성되어 있다. 각 노드가 자신의 입력값 뿐 아니라 인접한 노드의 출력값에 점점 수렴하도록 하는 연결구조를 가지며, 임의의 위치 정보를 주변의 상태 공간에 신속하게 전파시켜 자연스런 정보의 보간화가 이루어진다. 그림 1은 제안한 정보전파 신경회로망의 1차원구조이다. 그림에서 I_i 와 P_i 는 각각 i 번째 입력과 출력을 나타내며, N_i 는 i 번째 노드를 나타낸다. 연결강도 c_i 는 i 번째 노드의 입력연결 연결강도이다. 이러한 1차원 LIPN의 i 번째 노드의 출력은 식(1)과 같다.

$$P_i = f [c_i I_i + \sum c_{i,i+1} P_{i+1}]; \quad i = \pm 1 \quad (1)$$

여기서 f 는 신경망 노드의 활성화 함수이다.

신경회로망의 각 노드는 양자화된 입력공간상의 상태와 일치한다. 노드의 입력 신호와 인접노드의 신호정보는 평균 가중되어 출력을 산출시킨다.

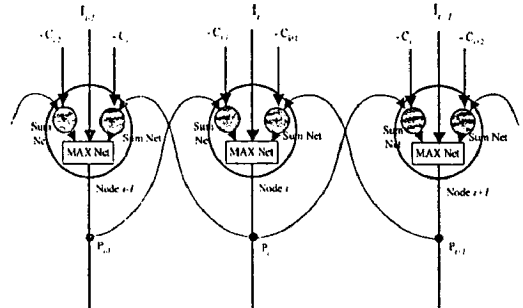


그림 1. 제안한 신경회로망의 1차원 연결과 노드의 구조

위 신경회로망 구조는 Sum과 MAX 등의 연산을 수행하는 부 신경망(sub networks)들의 합성구조(compound structure)를 가지며 입력된 cost에 의해 최소의 비용이 소요되는 방향을 찾는 역할을 한다. 각 노드에는 자신의 입력 I_i 가 인가되며 인접노드의 출력으로부터 노드간의 cost가 감해진 값들도 함께 인가된다. 각 노드의 출력으로는 인가된 값들 중 최대의 값이 출력된다.

신경회로망의 각 노드는 양자화된 입력공간상의 상태와 일치한다. 노드의 입력 신호와 인접노드의 신호정보는 평균 가중되어 출력을 산출시킨다.

2.2 정보전파 신경회로망의 연결강도

산업현장의 물류시스템 등 작업환경하의 돌발 물체의 영상 데이터를 잡아 신경망 기법을 통해 실시간으로 인식하기 위해서는 비선형 영상정보 부분에 대하여 선형적인 보간기능 수행을 통해 출력을 생성시키며, 이때 연결강도도 새롭게 생성시키는 기능을 가져야 한다. 본 연구에서 제안한 정보전파 신경회로망의 연결강도는 보간을 위해서 다음과 같이 최적으로 정해지는 출력 특성을 갖는다.

- [A] 입력이 있는 노드는 입력과 같은 연결강도의 값을 출력시킨다.
- [B] 입력이 없는 노드는 인접 노드로부터의 연결강도의 평균된 값을 출력시킨다.

식 (1)의 f 가 선형 활성화함수일 때, 연결강도 c_i 를 입력측 연결강도 w^i 와 출력의 연결강도 $w^o_{i,m}$ 그리

고 출력의 스케일 연결강도 w^s 를 적용하여 식 (2)로 표기할 수 있다.

$$O_i = w^s (w^i I_i + \sum_l w^o_{i,i+l} O_{i+l}); l = \pm 1 \quad (2)$$

만일 w^o 가 w^i 보다 작고 w^s 가 w^i 의 역관계이면, 식 (2)는 식 (3)과 같다.

$$O_i \cong w^s (w^i I_i) = I_i \quad (3)$$

여기서, 노드의 w^o 는 조건 [A]를 만족시키기 위해서는 입력이 있는 노드에 있어서 매우 작아야 한다. 또한 만일 w^o 가 w^i 보다 매우 크면, 식 (2)는 식 (4)로

$$O_i \cong w^s (\sum_l w^o_{i,i+l} O_{i+l}); l = \pm 1 \quad (4)$$

w^s 가 $\frac{1.0}{\sum_l w^o_{i,i+l}}$ 이면, 입력값이 없는 노드는

인접노드의 연결강도의 평균값으로 보간시키게 된다. 그러므로 조건 [B]를 만족시키도록 노드의 연결강도 w^o 는 w^i 보다 훨씬 커야 한다.

따라서 프로그램 수행중 보간값은 입력값의 존재 유무에 의존하여 다른 고정된 연결강도의 값을 할당시키므로써 새로운 연결강도 값을 생성시킨다.

2.3 제한한 정보전파 신경회로망

이용한 동적계획법 구현

동적계획법은 주어진 제한 조건하에서 시작점으로부터 목적지까지 이르는 최적의 경로를 구하는 효과적인 방법이다. 그림 2와 같은 2차원 격자형 경로의 경우 시작점

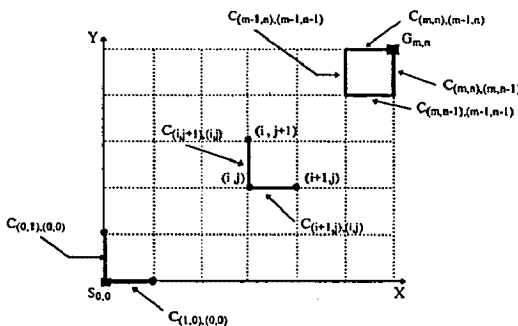


그림 2. 동적계획법을 위한 2차원 격자 경로

$S(0,0)$ 에서 목적지 $G(m,n)$ 지점에 이르는 최대 이익 (benefit)의 경로는 $(0,0)$ 에서 $(1,0)$ 점을 지나는 경로와 $(0,1)$ 점을 지나는 경로 중 이익(benefit)이 더 큰 경로이

다. 만약 $(1,0)$ 과 $(0,1)$ 로 부터 목적지에 이르는 최대 이익

$C^*_{1,0}$ 과 $C^*_{0,1}$ 을 알고 있다면, $(0,0)$ 점으로부터 $(1,0)$ 을 거쳐 목적지에 이르는 이익은 $C_{(1,0),(0,0)} + C^*_{1,0}$ 으로 표기되며, $(0,1)$ 을 거쳐서 목적지에 이르는 이익은 $C_{(0,1),(0,0)} + C^*_{0,1}$ 가 되며, $(0,0)$ 점으로부터 목적지에 이르는 최대 이익 $C^*_{0,0}$ 은

$$C^*_{0,0} = \text{MAX} \{ C_{(1,0),(0,0)} + C^*_{1,0}, C_{(0,1),(0,0)} + C^*_{0,1} \} \quad (5)$$

이다.

스테레오 영상에 동적계획법을 적용시키기 위해서는 좌, 우 영상의 epipolar 선을 각각 X, Y 축으로 하며 각 격자 점 위치에 해당 화소들 간의 상호 상관값을 각 노드의 이익값으로 갖는 정합공간을 구성한다. 따라서 그림 2에서 구하고자 하는 (i,j) 번째 노드를 지나는 경로의 최대 이익 $C^*_{i,j}$ 는

$$C^*_{i,j} = \text{MAX} \{ C_{(i+1,j),(i,j)} + C^*_{i+1,j}, C_{(i,j+1),(i,j)} + C^*_{i,j+1} \} \quad (6)$$

이다.

$C_{(i+1,j),(i,j)}$ 와 $C^*_{i+1,j}$ 사이에 합(+) 유니트를 설치하고 $C_{(i,j+1),(i,j)}$ 와 $C^*_{i,j+1}$ 사이에 합(+) 유니트를 설치한다. 합해진 두 신호는 MAX 유니트에 인가시키고 그 중 최대치를 취하여 $C^*_{(i,j)}$ 로 하는 신경회로망을 구성하면 동적계획법이 구현된다. $C_{(i+1,j),(i,j)}$ 와 $C_{(i,j+1),(i,j)}$ 는 $(i+1,j)$ 방향과 $(i,j+1)$ 방향에 대한 bias로 간주하면 쉽게 구현될 수 있으며, MAX net 는 다이오우드 회로를 이용하면 간단히 구성된다.

3. 장 실험 및 검토

3.1 실시간 측정을 위한 스테레오 영상 보간모델의 실험

산업현장의 돌발물체 출현시 얻어진 비선형 영상정보에서 연결강도의 보간 특성을 입증하기 위해 다음 그림 3에서는 신경망 노드의 0번째 노드와 8번째 노드에 각각 30과 10의 값을 인가하여 연결강도를 각기 달리하여 보간시킨 특성 실험 값을 보였다. 그림 3에서 보인 것 처럼 제한한 정보전파 신경회로망은 연결강도 값이 $w_1=0.5$ 와 $w_2=0.5$ (3)의 경우에 선형보간을 수행함을 알 수 있

으며, 또한 다른 여러 경우의 연결강도 설정시에 비선형 보간을 수행할 수 있음을 보여주고 있다.

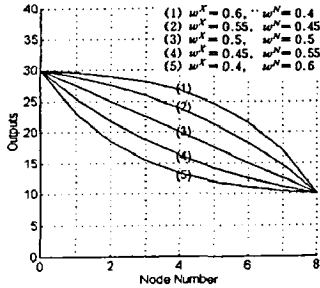
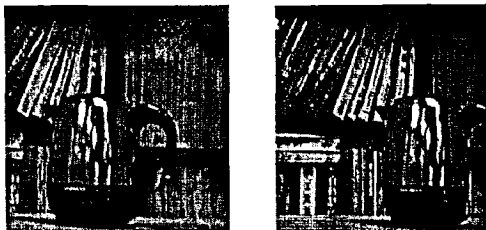


그림 3. 다양한 연결강도를 갖는 LIPN의 보간 곡선

제한한 신경회로망의 보간 특성을 확인하기 위해 주행시에 얻어지는 스테레오 영상을 그림 4와 같이 실험실 내의 영상을 모델로 대체하여 특성 실험을 수행하였다. 또한 사용된 특징값으로는 에지 성분(윤곽선 정보)을 사용하였으며, 임계값보다 큰 에지 영상의 화소들 간에 상호 상관값을 계산하였다. 에지를 추출하기 위해 sobel operator를 사용하였으며, 특징으로 사용된 에지의 임계값은 10.0 이었다. 에지 위치에 대한 정합값은 문헌[3, 4]에서 제안한 상호 상관 계산법을 사용하였으며 사용한 마스크 창은 X,Y 축 및 45도, 135도 선상의 17 × 17의 크기였다. 그림 5는 각 특징점들에 대한 거리정보를 제한한 정보전파 신경회로망을 사용하여 동적계획법 특성실험을 수행후 일치점(정합점)을 찾아낸 후 화소 밝기로 표현한 영상정보이다. 여기서 밝은 점은 카메라로부터 가까운 점의 위치를 표현한다. 그림 6은 특징점들만의 영상 정보값을 제한한 정보전파 신경회로망에 의해 전체 영상정보로 보간시켜 구해진 거리정보값을 삼차원적으로 나타낸 그림이며, Z 값이 큰 값을 갖는 화소의 위치는 카메라와의 거리가 가까움을 의미한다. 이 실험 결과로, 특징점에 해당하는 거리 정보로부터 전체 영상점에 대한 위치점을 점차로 보간시켜 자동차의 고속 주행시에 얻어지는 물체에 대한 완전한 거리정보를 구해낼 수 있음을 입증시켜 준다.



(a) 좌측 영상 정보 (b)우측 영상 정보
그림 4. 스테레오 비전 실험을 위한 영상 정보

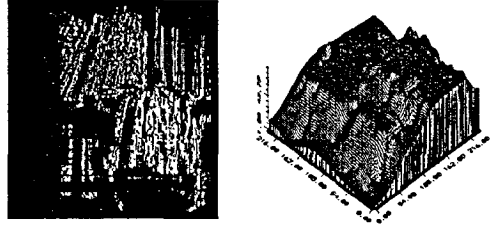


그림 5. 특징점의 정합된 후의 거리 영상 정보
그림 6. 특징점에 대한을 이용한 거리정보 보간 결과

3.2 하드웨어 구현 및 특성 실험

3.2.1 하드웨어 구현

제한한 신경회로망 모델이 적절한 보간 특성이 있음을 입증하기 위해 신경망 하드웨어를 구성하였다. 이 하드웨어는 신경 회로망의 입력과 출력을 위해 전압을 인가시켜 보간특성을 갖도록 범용 아날로그 IC와 전자 소자를 이용하여 그림 7과 같이 각 신경망 노드를 구성하여 특성 실험을 실행하고 그림 8과 같은 결과를 얻어 우수한 보간 특성을 갖고 있음을 입증하였다.

그림 7의 회로에서 노드의 입력이 V_{in} 으로 주어지며, 인접 노드로부터 나온 출력 X 와 X' 가 가해진다. 노드의 출력은 최종부의 V_{out} 로 나타난다.

3.2.2 LIPN 하드웨어 특성실험

10 개의 노드를 가진 일차원 LIPN의 하드웨어를 범용 전자소자로 구성하였다. 구성된 하드웨어의 특성실험을 위

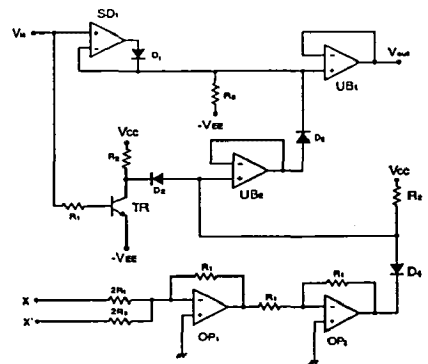


그림 7. 이날로그 IC 등에 의해 구성된 한 노드의 하드웨어 구성 예

하여 동적신호를 노드의 양끝단에 연결하여 보간특성을 가지는 실험결과를 보였다.

그림 8은 동적신호를 가지는 회로의 특성실험을 위하여 각 노드의 양 끝단에 다른 주기 함수를 인가하였다. 실험에 사용된 신호 주파수는 2[kHz] 이다. 이 결과는 동적 신호에 대한 보간을 위한 첫 번째 노드와 아홉번째 노드에 정현파와 구형파를 각각 인가하여 두 동적신호에 대한 보간 결과를 보인 것이다.

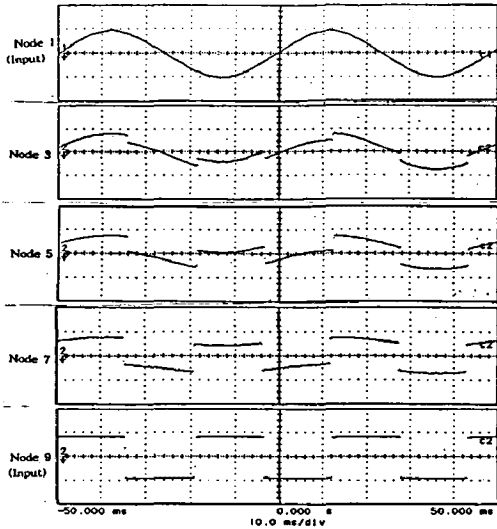


그림 8. 정현파와 구형파 신호 사이의 1차원 LIPN 하드웨어의 보간 실험

노드의 신호 출력은 정현파로부터 구형파까지 점차적으로 잘 보간되어감을 볼 수 있다. 합성된 노드의 출력결과가 첫 번째 노드에 가까울수록 정현파에 가까워지고 마지막 번째 노드에 가까이 갈수록 구형파에 가까워 짐을 알 수 있다. 두 신경회로망 노드 사이의 보간시 시간 지연은 약 6[μ s] 정도였다.

4. 장 결 론

본 연구에서는 산업 현장에서 물류이송 시스템 등에서 갑자기 출현하는 돌발물체의 검지에 필요한 실시간 거리 계산을 위하여 얻어진 스테레오 영상의 정합과정에서 계산 시간 소모 문제 해결을 위한 목적으로 실시간 보간 특성을 갖는 새로운 신경회로망을 개발하였다.

제한된 정보전파 신경회로망은 이송중 얻어진 좌우 영상정보를 기초로 하여 스테레오 비전 거리산출시 임의의 위치에 대한 일치성 문제인 동적계획법 구성방법을 가능케 해주었다. 그리고 돌발 물체 등의 실시간 검지를 위하여 이송중 얻어진 특징점 중심의 영상 거리정보로부터 전체 거리정보로 실시간 동작처리 문제를 해결시켰다. 또한 제안한 LIPN 신경망 모델을 하드웨어적으로 구성하여

그 특성 실험을 수행하여 실시간 보간 특성을 가짐을 입증하였다.

참 고 문 헌

- [1] Cordelia Schmid, Andrew Zisserman, " Automatic Line Matching across Views ", pp. 666-671, 1997.
- [2] V. Venkateswar and R. Chellappa, "Hierarchical stereo and motion correspondence using feature groupings", IJCV, 1995.
- [3] Y. Kanazawa and K. Kanatani, " Direct Reconstruction of Planar Surfaces by Stereo Vision ", IAPR Workshop on MVA, pp. 285-288, Dec. 1994.
- [4] Y. Ohta and T. Kanade, " Stereo by intra- and inter-scanline search using dynamic programming ", IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. PAMI-7, no.2, pp.139-154, Mar. 1985.
- [5] Y. Yakimovsky & R. Cunningham, " A System for Extracting Three-Dimension Measurements from a Stereo Pair of TV Cameras ", Computer Graphics and Image Processing 7, pp.195-210, 1978.