불량애자 검출을 위한 비젼 기반 전파 신경망

Propagation Neural Networks based on vision techniques for detecting of Faulty Insulator

김종만, 김영민, 황종선, 박현철, 임성호
(Jong Man Kim, Young Min Kim, Jong Sun Hwang, Hyun Chul Kim, Sung Ho Lim)

Abstract

For detecting of Faulty Insulator, a new Lateral Information Propagation Networks(LIPN) has been proposed. Energized insulator is reduced the rate of insulation extremely, and taken the results dirty and injured. It is necessary to be actions that detect the faulty insulator and exchange the new one. And thus, we have designed the LIPN to be detected that insulators by the real time computation method through the inter-node diffusion. In the network, a node corresponds to a state in the quantized input space. Each node is composed of a processing unit and fixed weights from its neighbor nodes as well as its input terminal. Information propagates among neighbor nodes laterally and inter-node interpolation is achieved. Through several simulation experiments,real time reconstruction of the nonlinear image information is processed.

Key Words : Faulty Insulator, Lateral Information Propagation Networks(LIPN), inter-node interpolation, reconstruction of the nonlinear information

1. 서 론[1]

우리 삶의 대부분의 전기에너지를 공급하는 전력은 철탑이나 전주등을 이용하여 수용가에 송배전되고 있다. 송배전선 등 고전압 전기설비가 훼손 및 노후되면 미약한 방전이 생겨 라디오, 텔레비전 등 무선통신의 수신에 장애를 일으킨다. 이때 열화현상이 생겨 섬락사고가 일어나는 경우가 있으며, 또한 바다에서의 염분이나 매연 등에 의해 애자 표면이 더러워지는 경우에도 건조상태에서는 이상이 없으나 안개, 이슬, 비 등에 의해 표면이 습윤하게 되면 애자 표면에 전해액 피막이 형성되어 누설 전류가 흐르고 절연 내력이 저하하여 플래시오버 사고를 일으킬 뿐 아니라, 피뢰기나 콘덴서형 계기용 변압기의 특성에 악영향을 미치는 등 염진해가 발생하게 된다. 특히 피뢰기 같은 경우엔 애관의 표면이 오손 습윤시 표면누설선류로 인하여 방전갭의 전압부담 균형이 깨져 상용주파 방전개시전압이나 속류차단 가능전압이 몹시 저하하여 피뢰기 폭발사고를 일으키게 된다. 따라서 이러한 공장부근의 매연이 많은 지역 혹은 해안에 있는 염해 지역 등에서 애자의 절연기능이 저하되어 발

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

생하는 오손은 급속히 진행되기 때문에 이 불량애자를 검출하여 애자세정과 불량애자의 교체 등 보수처리가 급속히 요구되고 있다.

이를 위해 방전시의 잡음원 등 높은 철탑이나 전주의 송전선의 잡음을 탐지하기 위해 초음파 측정용 검출기등이 개발 사용되어 오고 있는 실정이다. 이들 검출기는 일반적으로 현수애자, 핀애자 등의 절연 노화 상황을 전로가 충전된 상태에서 검출하는 방법으로 절연봉의 앞에 피 측정 애자의 분담전압 대소를 측정하여 절연이 노화한 애자부분에의 누설 방전 전압을 찾아내는 방법이며 아울러 누설시의 한계전압 초과시 플래시오버 전압을 측정하는 방법도 불량애자의 검출 방법으로 많이 사용되고 있다. 이들 초음파 장비를 통한 측정 방법은 가까운 거리에서는 성능이 문제가 안되지만 먼 거리 상에서는 불량의 대상 물체가 대략 어느 근방에서 플래시 현상이 발생하고 있다는 것만 측정이 될뿐 정확한 위치 설정이 불분명한 문제가 많이 발생된다. 따라서 국내외적으로 이 문제를 해결하기 위해 위치 검출센서나 화상센서 등을 이용하여 국부적으로 연구를 하고 있으나 결과물이 빈약한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 불량애자로 인한 누설전류 발생하여 플래시 오버 사고시에 미세한 자외선이 발생할 때 이것을 비젼센서가 빨리 포착하여, 햇볕이 있는 낮이나 없는 밤이나 어느때든 결함이 있는 위치를 고속 전파 신경망이론에 의해 즉시 검출토록 하는 정보전파 신경망 시스템을 개발하고자 한다.

2. 불량애자와 LIPN 신경회로망

2.1 불량애자의 분석

전선을 철탑 또는 전주의 완금에 기계적으로 고정시키고, 전기적으로 절연시키기 위해 사용하는 지지체인 애자는 그림 1과 같이 전선과 절연 간격을 확보하여 주는 역할을 하며, 자기나 고분자 화합물로 재조되며 핀애자, 현수 애자, 장간 애자 및 지지 애자등의 여러 애자들로 구성된다.

송전선로는 가공 송전선과 지중송전선이 있다. 송전선로는 대지와 전전 상호간의 절연 간격을 유지하면서 전선을 철탑에서 절연하는 애자, 전선에 벼락의 직격을 방지하는 가공지선 등으로 구성된다. 전선을 철탑으로부터 전기적으로 절연하기 위하여 사용되는 애자는 다음과 같이 구비조건이 필요하다.

- 지락사고 등 이상전압에 대해서 충분히 견딜 것
- 기계적, 전기적으로 경년 변화가 적을 것
- 습도의 변화에 잘 견딜 것

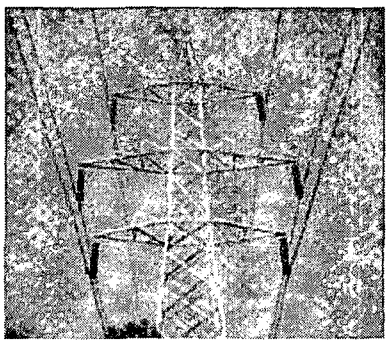


그림 1. 일반 애자의 구성 사용 예
Fig. 1. Construction of General Insulator

그림 2와 같은 불량애자는 절연층에 균열 등이 생겨서 절연 능력이 저하한 애자로서 애자의 특성 조건에 벗어나므로 분석하여 송전시의 문제를 차단시켜야 한다. 특히, 지지애자들은 절연물의 깨짐 등의 이상이 없고, 탈락 또는 부착부분의 풀림이 없을 조건을 고려하여 애자의 불량 여부를 판별 분석한다. 이러한 송전선로 상의 판별 분석을 통하여 전주의 교체, 애자의 청소, 기기단자 조임, 클램프 조임 등의 작업을 수행하여 이상적인 송전기능을 위한 수시적인 안전한 활선공사를 실시하고, 전력 손실 및 인적, 물적사고 발생이전에 매우 신속히 발견하여 불량애자검출 및 애자의 교체 등을 실시해야 한다.

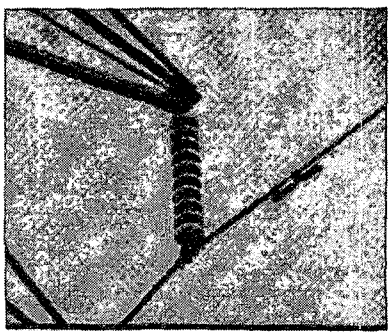


그림 2. 불량 애자
Fig. 2. Faulty Insulator

2..2 실시간 검출을 위한 LIPN 신경망

본 연구에서는 금이간 애자나 오손되어 플래시오버 현상을 띄는 불량애자 등을 스테레오 카메라를 통해서 검출시킨다. 이때 사용하는 스테레오 화상 시스템에 있어서 불량 애자의 고속인식 처리를 위하여 본 연구에서는 정보전파 신경회로망을 개발하고자 한다. 제안한 신경회로망은 그림 3과 같이 노드들의 단층 배열로 구성되며 각 노드의 입력에는 인접한 노드의 출력으로부터 정보를 전달받을 수 있는 연결을 갖는다. 각 노드는 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 I가 인가되며 인접노드의 출력으로 부터 노드간의 cost가 감해진 값들도 함께 인가된다. 각 노드의 출력으로는 인가된 값 들 중 최대의 값이 출력된다.

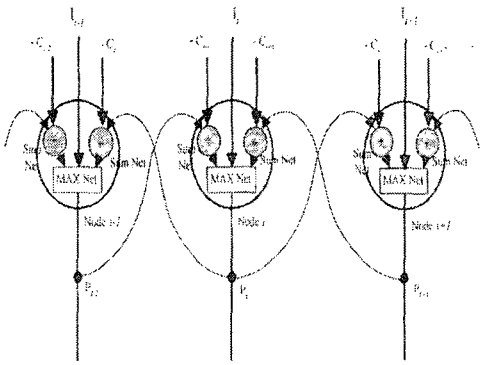


그림 3. 제안한 신경망의 1차원구조와 노드구조
Fig. 3. 1-Dimension Node of Proposed LIPN

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

<노드 (l_x, l_y)위치에 입력이 있을 때, 노드 (m_x, m_y) 위치에 대한 입력 연결강도 >

$$w^{i}_{(m_x,m_y),(l_x,l_y)} = \frac{W_{in}}{D_{(m_x,m_y),(l_x,l_y)}}$$

; for *all* m_x and m_y *within the RANGE* ~~~*from* (l_x, l_y) (1)

$$= 0 \; ; \; Otherwise$$

< 노드 (l_x, l_y) 위치에 입력이 없을 때, 노드 (m_x, m_y) 위치 에 대한 입력 연결강도>

$$w^{i}_{(m_x,m_y),(l_x,l_y)} = 0 \quad ; \text{for all } m_x \text{ and } m_y \qquad (2)$$

또

< (l_x, l_y) 위치로 부터 (m_x, m_y) 노드에 대한 출력 연결강도>

$$w^{o}_{(m_x,m_y),(l_x,l_y)} = \frac{W_o}{D_{(m_x,m_y),(l_x,l_y)}}$$

; for *all* m_x, m_y *within the RANGE* *from* (l_x, l_y)

$$= 0 \; ; \; Otherwise \qquad (3)$$

여기서 $D_{(mx,my),(lx,ly)}$는 한 점 (l_x, l_y)로부터 다른 점 (m_x, m_y)까지의 거리이고 RANGE는 각 노드가 영향을 미치는 거리를 의미하는 상수이며, W_{in} 및 W_o은 각각 일정한 크기의 연결강도이다. 이러한 수식으로 부터 각 신경세포는 입력값이 있는 경우, 자신의 입력값을 자신의 출력과 인접 노드의 출력에 전달하며, 입력값이 없는 경우, 인접한 신경세포들의 출력에 영향을 받아 자신의 출력값을 갱신한다. 결과적으로 영상 정보에 해당되는 신경세포는 자신의 입력값에 접근하게 되며 그 외의 정보가 존재치 않는 신경세포는 인접한 신경노드의 출력 정보에 의해 영향을 받게 되므로 정보가 점차 주위에 전파되어 보간된다.

2.3 LIPN을 이용한 동적계획법 구현

동적계획법은 주어진 제한 조건하에서 시작점으로부터 목적지까지 이르는 최적의 경로를 구하는 효과적인 방법이다. 그림 4와 같은 2차원 격자형 경로의 경우 시작점 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 경로이다. 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

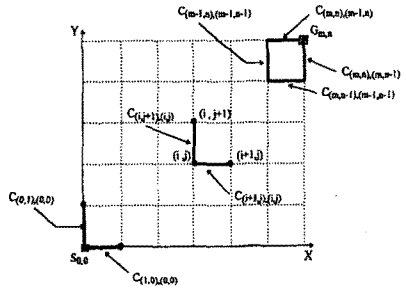


그림 4. 동적계획법을 위한 2차원 격자 경로

Fig. 4. 2-Dimension Grid Path for Dynamic Programming

이익은 $C_{(1,0),(0,0)} + C^*_{1,0}$ 으로 표기되며, (0,1)을 거쳐 목적지에 이르는 이익은 $C_{(0,1),(0,0)} + C^*_{0,1}$ 가 되며, (0,0) 점으로 부터 목적지에 이르는 최대 이익 $C^*_{0,0}$ 은

$$C^*_{0,0} = MAX\{ C_{(1,0)(0,0)} + C^*_{1,0}, C_{(0,1)(0,0)} + C^*_{0,1}\} \quad (4)$$

이다. 여기서 $C^*_{1,0}$ 과 $C^*_{0,1}$ 를 구하기 위해서는 다시 그 이후의 점으로부터 목적지에 이르는 최대의 이익을 이용한다. 이 과정은 목적지에 이를 때까지 반복되어 목적지 직전에 이르러서는 $C^*_{m-1,n}$과 $C^*_{m,n-1}$ 를 이용하게 되며, 이 값들은

$$C^*_{m-1,n} = C_{(m,n),(m-1,n)}$$

$$C^*_{m,n-1} = C_{(m,n),(m,n-1)} \quad (5)$$

로서 이전 단계의 계산에 이용된다.

스테레오 영상에 동적계획법을 적용시키기 위해서는 좌, 우 영상의 epipolar 선을 각각 X, Y 축으로 하며 각 격자점 위치에 해당 화소들 간의 상호 상관값을 각 노드의 이익값으로 갖는 정합공간을 구성한다.

따라서 그림 4에서 구하고자 하는 (i,j) 번째 노드를 지나는 경로의 최대 이익 $C^*_{i,j}$ 는

$$C^*_{i,j} = MAX\{C_{(i+1,j),(i,j)} + C^*_{i+1,j}, C_{(i,j+1),(i,j)} + C^*_{i,j+1}\} \quad (8)$$

이다. 여기서 $C_{(i+1,j),(i,j)}$ 는 (i,j) 노드로부터 $(i+1,j)$ 번째 노드에 이르는 이익이고 $C^*_{i+1,j}$ 은 $(i+1,j)$ 노드로부터 목적지에 이르는 최대의 이익이다. 또한 $C_{(i,j+1),(i,j)}$ 는 (i,j) 노드로부터 $(i,j+1)$ 번째 노드에 이르는데 얻는 이익이고 $C^*_{i,j+1}$ 는 $(i,j+1)$로 부터 목적지에 이르는 최대의 이익이다. 이 동적계획법은 일부의 방향에 대해서만 연결을 갖으며 각 노드가 간단한 회로망(MAX net) 로 이루어진 정보전파 신경회로망으로 구성할 수 있다. 즉 $C_{(i+1,j),(i,j)}$ 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 동적계획법 구현된다. 그림 5는 그림 4 의 (i,j) 노드 부분에 대한 정보전파 신경회로망의 동적계획법 모델이다. 여기서 $C_{(i+1,j),(i,j)}$와 $C_{(i,j+1),(i,j)}$는 $(i+1,j)$ 방향과 $(i,j+1)$ 방향에 대한 bias로 간주하면 쉽게 구현될 수 있으며, MAX net는 다이오우드 회로를 이용하면 간단히 구성된다.

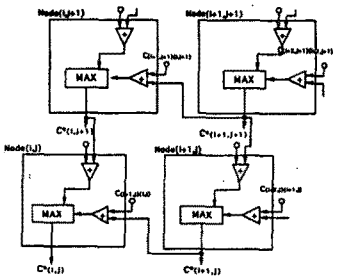


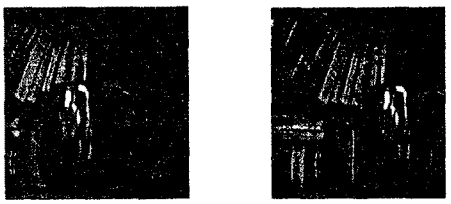
그림 5. 제안방식 신경회로망을 이용한 동적계획법의 구현

본 연구는 동적 계획법과 보간 기능을 수행할 수 있는 정보전파 신경회로망을 개발하여 전신주 등의 불량애자를 검출토록 스테레오 영상 시스템에 응용하여 실시간 검출의 가능성을 입증하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 실시간 측정을 위한 스테레오 영상모델의 보간 실험

임의의 전신주 등의 불량애자를 스테레오 영상을 취하여 거리정보 산출하는 신경망 보간 기법을 위하여, 본 연구에서는 제안한 정보전파 신경회로망의 보간 모델을 이용하여 실시간 거리산출후 애자 교체 가능토록 보간알고리즘을 사용하였다. 제안한 신경회로망의 보간 특성을 확인하기 위해 스테레오 영상을 그림 6과 같이 실험실 내의 영상을 모델로 대치하여 특성 실험을 수행하였다. 또한 사용된 특징값으로는 에지 성분(윤곽선 정보)를 사용하였으며, 임계값보다 큰 에지 영상의 화소들 간에 상호 상관값을 계산하였다. 에지를 추출하기 위해 sobel operater를 사용하였으며, 특징으로 사용된 에지의 임계값은 10.0 이었다. 에지 위치에 대한 정합값은 [3, 9]에서 제안한 상호 상관 계산법을 사용하였으며 사용한 마스크 창은 X,Y 축 및 45도, 135도 선상의 17 × 17의 크기였다. 그림 7은 각 특징점들에 대한 거리정보를 제안한 정보전파 신경회로망을 사용하여 동적계획법 특성실험을 수행후 일치점(정합점)을 찾아낸 후 화소 밝기로 표현한 영상정보이다. 여기서 밝은 점은 카메라로부터 가까운 점의 위치를 표현한다. 그림 8은 특징점들만의 영상 정보값을 제안한 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 해당되는 거리 정보로부터 전체 영상점에 대한 위치점을 점차로 보간시켜 원거리 전신주 등의 불량애자에서 얻어지는 물체 정보에 대한 완전한 거리정보를 구해낼 수 있음을 입증시켜 준다.



(a) 좌측 영상 정보 (b)우측 영상 정보

그림 6. 스테레오 비전 실험을 위한 영상 정보
Fig. 6. Images for the experiments of stereo vision

그림 7. 특징점의 정합된 후의거리 영상 정보
Fig. 7. Distance image after stereo matching with the feature points

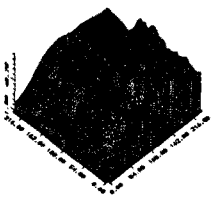


그림 8. 특징점에 대한 LIPN 이용한 거리보간
Fig. 8. Interpolation results with proposed LIPN

3.2 하드웨어 구현 및 특성실험

3.2.1 하드웨어 구현

실시간 처리를 목적으로 컴퓨터 시스템을 사용하여 비젼 처리한 특성이 좋다 할지라도, 입력정보가 존재하는 경우에 다양한 연결강도를 갖는 신경망의 하드웨어 시스템을 실제로 구성하는 것은 매우 어렵다. 본 연구에서 제안한 정보전파 신경회로망은 간단한 전자적인 스위칭 조작을 통하여 각기 다른 연결강도의 할당을 가능케 할 수 있다. 제안한 신경회로망 모델이 적절한 보간 특성이 있음을 입증하기 위해 신경망 하드웨어를 구성하였다. 이 하드웨어는 신경 회로만의 입력과 출력을 위해 전압을 인가 시켜 보간특성을 갖도록 범용 아날로그 IC와 전자 소자를 이용하여 구성하였다. 여기서 몇개의 Op-Amp., 다이오드, 저항들과 같은 소자로 구성된 회로를 9개의 노드 구조로 실제 구성하여 실험하였다.

노드의 입력이 V_{in} 으로 주어지며, 인접 노드로부터 나온 출력 X 와 X′ 가 가해진다. 노드의 출력은 최종부의 V_{out}로 나타낸다. 노드의 입력값이 없는 경우에, $-V_{EE}$ 값이 V_{in} 에 인가된다. 입력이 있는 노드의 경우에는 $[V_{CC}-V_{th}, -V_{EE}+V_{th}]$ 영역의 적절한 전압이 V_{in} 값으로 설정된다. 만일 노드에 입력이 존재하지 않으면 V_{in} 에 $-V_{EE}$ 가 공급되므로 D_1 이 off 된다. 여기서 연결강도 w^i 는 0이다. 한편 X 와 X′ 으로 부터의 입력은 평균화 되어 UB_2, D_3 와 UB_1 를 통해 V_{out}로 출력된다. 연결강도값 w^s 와 w^o 는 각각 0.5 와 1.0 이다. 만일 노드의 입력값이 존재하는 경우에는 TR 과 D_3는 off 이다. 이 경우의 X 와 X′ 의 정보값은 V_{out} 에 영향을 미치지 않는다. D_3 가 0 값을 가지므로 인접노드로 부터 연결강도 w^o들은 0 값을 갖는다. w^i 와 w^s 는 모두 1.0 이다.

4. 결 론

본 연구에서는 불량애자로 인한 누설전류 발생하여 플래시 오버 사고시에 미세한 자외선이 발생할 때 이것을 비젼센서가 빨리 포착하여, 햇볕이 있는 낮이나 없는 밤이나 어느때든 결함이 있는 위치를 고속 전파 신경망이론에 의해 즉시 검출토록 샘플로 얻어진 스테레오 영상을 이용하여 실시간 보간 특성을 갖는 새로운 신경회로망을 개발하였다.

좌우 영상이 존재하는 스테레오 비젼 시스템에 있어서 두 영상 정보에 대한 특징점들의 정합점 데이터가 비선형 특징점 형태이므로 본 연구에서 제안한 LIPN을 이용하여 전체 영상 거리정보로의 보간실험을 수행하여 실시간 보간시키는 기능을 보였다. 따라서 이렇게 제안된 정보전파 신경회로망은 얻어진 좌우 영상정보를 기초로 하여 스테레오 비젼 거리산출시 임의의 위치에 대한 일치성 문제인 동적계획법 구성방법을 가능케 해주었다. 그리고 불량 애자의 실시간 검출을 위하여 얻어진 특징점 중심의 영상 거리정보로부터 전체 거리정보로 실시간 동작처리 문제를 해결시켰다.

또한 제안한 LIPN 신경망 모델을 하드웨어적으로 구성하여 그 특성 실험을 수행하였다. 구성된 신경회로망 노드 배열의 끝단에 정적 입력을 인가하여 보간 실험을 수행한 결과 거의 선형적인 보간 결과를 보였다. 비선형 특성정보에 대하여도 입력 노드 사이의 중간 값들을 잘 보간하는 특성을 가지는 특성을 산출할 수 있어 불량애자의 실시간 인식 및 검출의 가능함을 입증하였다.

참고 문헌

[1] D. L. R. Fernando, L. Christian, and J. Jose, "Robust Path Planning in the Plane," IEEE Transactions on Robotics and Automation, vol. 12, no.2, pp. 347-352, April 1996.

[2] S. Sundar and Z. Shiller, "Optimal Obstacle Avoidance Based on the Hamilton-Jacobi-Bell-man Equation," IEEE Transactions on Robotics and Automation, vol. 12, no. 2, pp.305-310, April 1997.

[3] 김종만, 최종수, 김형석, 김성중, "등고선 정보로부터 지형고도 정보의 실시간 복원을 위한 측향정보전파 신경회로망," 전기학회논문지, 45권 11호, 1996년 11월

[4] C. L. P. Chen, "A rapid supervised learning neural network for function interpolation and approximation," IEEE Trans. Neural Networks, Vol. 7, no.5, pp. 1220-1230, Sept. 1996.

[5] Y. Yakimovsky & R. Cunningham, " A System for Extracting Three-Dimension Measurements from a Stereo Pair of TV Cameras ", Compuer Graphics and Image Processing 7, pp.195-210, 1978.