

# 스테레오 비전을 이용한 차량간 거리정보 검출

## Distance Detection between Vehicles Using Stereo Vision

Seok-joo Yang\* and Joong-Hwan Baek\*\*

우리 나라의 교통 상황에서 차량 대수가 증가함에 따라 운전자들은 안정성을 위해 근거리 존재하는 차량의 유무 검출 및 전후방 차량간의 충분한 거리 유지에 대한 깊은 관심이 꾸준히 증가하고 있는 추세이다. 본 논문에서는 스테레오 비전을 이용하여 전방 차량간의 거리를 검출하는 방법을 제시한다. 다중 해상도 특성을 가진 변형된 웨이블릿을 이용하여 차량의 경계선을 구한 다음 coarse to fine 방법과 히스토그램 매칭을 이용하여 좌우 영상간의 시차를 구한다. 여기서 좌우 스테레오 영상의 원해상도를 유지하기 위하여 변형된 웨이블릿으로 3 단계 변환한다. 실험 결과 3~18m의 차량간 거리 내에서 전체 거리 오차율 4.65%를 보였다.

### Abstract

As the number of autonomous vehicles is increased, drivers are trending toward constant interests in detecting distance between vehicles in close-range and maintaining the distance between forward and backward vehicles for drivers' safety. In this paper, we propose a method of detecting the distance between two vehicles by computing the disparity of the close-rang vehicle using stereo vision. The boundary of the vehicle is obtained by using the modified wavelet transform which has multi-resolution characteristics. Then the disparity between left and right images is computed using coarse-to-fine method and histogram matching. Here we transform the left-right stereo images through 3-steps using the modified wavelet for maintaining the original resolution. An experimental result showed that the proposed method had 4.65% in total error rate.

### I.

최근 우리 나라의 도로 상황에서 차량 밀도를 고려할 때 자동차의 무인 자율 주행 핵심 기술인 주행 중 자동차의 근접거리에 존재하는 차량의 유무 검출 및 전후방 차량간의 충분한 안전 거리 계산은 차량 운전자들의 필요 및 편의성에 필수적으로 수반되는 안전 운전의 요구되어지고 있다.

근접 거리에 존재하는 물체까지의 거리를 측정하

는 방법은 레인지 센서를 이용하는 방법, 하나의 영상에 존재하는 미리 알고 있는 물체의 특징의 크기를 측정하는 방법, 그리고 스테레오 비전 시스템을 이용한 방법 등이 있는데, 첫 번째 방식인 레이저를 이용한 능동적인 센서를 이용하는 방법[1]으로는 주사한 레이저가 물체 표면에 부딪혀 돌아올 때까지의 시간(time of flight) 을 측정하여 물체까지의 거리를 측정하는 방식의 센서와, 반사되어 돌아오는 레이저 파의 위상 차이(phase difference)를 측정함으로써 거리를 계산하는 방식의 센서가 있다. 관심

\* (주) 아스텔 시스템즈(Astel Systems Inc.)  
\*\* 한국항공대학교 전자, 정보통신, 컴퓨터공학부 (School of Electronics, Telecommunication and Computer Eng., Hankuk Aviation University)  
·논문번호 : 2002-6-4  
·접수일자 : 2002년 4월 11일

의 대상이 되는 물체의 특징을 이용하는 방식으로는 차량의 경우 고정된 크기와 일정한 비율을 갖는 번호판이 반드시 존재하며 차량까지의 거리에서 카메라가 취한 영상에서 나타난 번호판의 크기를 표준으로 하여 실제 주행 시에 카메라가 획득한 실제 영상에서 번호판 크기를 측정, 비교함으로써 차량까지의 거리를 계산 할 수 있다[2][3]. 또한 연속되어 획득된 두 영상에 나타난 번호판의 크기 차이로부터 차량의 속도도 측정할 수 있다. 스테레오 비전 방법은 물체를 두 개 또는 그 이상의 카메라를 이용하여 시차를 갖는 두 개의 영상을 획득한 후, 두 영상의 그레이 레벨 상관 관계를 이용하여 물체까지의 거리를 측정하는 방법으로서, 본 논문에서는 스테레오 비전을 이용하여 획득된 두 개의 영상에 변형된 웨이블릿을 이용하여 전방 차량까지의 거리를 효율적으로 계산하는 방법을 제안한다.

인간의 시각 시스템을 컴퓨터로 구현하는 것이 컴퓨터 비전의 최종 목적이며, 물체의 인식과 더불어 깊이(depth) 정보를 추출하는 것이 필수적이다. 3차원 물체 인식에 있어서 2차원 영상으로부터 3차원 정보를 추출하는 과정은 매우 중요한 단계로서 두 장 이상의 영상으로부터 깊이 정보를 추출하는 것을 스테레오 비전이라 한다[4]. 즉, 동일한 물체에 대하여 서로 다른 위치에서 획득한 좌우 영상을 정합하여 그 시차 정보를 추출하고 이를 이용하여 물체의 3차원 위치 정보를 추출하는 것이다[5]. 일반적으로 스테레오 비전 시스템은 카메라의 공간적 모델설정 및 영상 획득, 스테레오 영상 정합(stereo image matching), 깊이 정보의 추출 및 보간(depth interpolation) 등의 일련의 과정으로 구성되며 스테레오 정합에서 두 영상 사이의 대응점을 구하는 방법으로는 영상의 밝기값을 기반으로 하는 영역 기반과 영상내의 특징점을 이용하는 특징 기반, 좌우 영상이 가지는 위상차를 이용하는 위상 기반 등이 있으며 본 논문에서는 웨이블릿을 이용한 특징점 기반을 적용하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 1장 서론에 이어, II장에서는 스테레오 비전 시스템의 기하학적 구조와 거리 정보를 추출하는 기법에 대하여 알아본다. III장에서는 스테레오 정합을 위해 사용된 변형

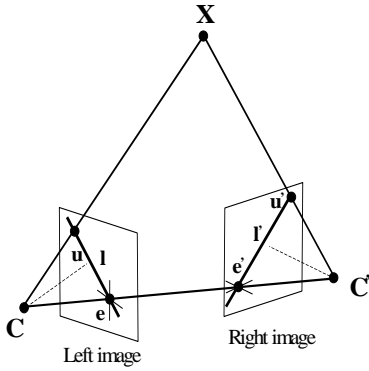
된 웨이블릿 변환에 대해 기술하고, IV장에서는 제안된 히스토그램을 이용한 전방 차량간의 거리 검출 알고리즘에 대하여 설명하고, 5장에서는 다양한 거리별 스테레오 영상에 대한 실험을 통하여 본 논문이 제안하는 방법에 대해 검토하고, 마지막 V장에서는 본 연구의 결론 및 앞으로의 연구 방향에 관하여 제시하였다.

## II.

### 2-1

일반적으로 스테레오 카메라의 기하학적인 모델은 두 대의 카메라가 하나의 물체를 바라보고 있는 구조를 가지며 응용 분야에 따라 다양한 형태를 나타낸다. 스테레오 정합을 하기 위한 영상을 취득하는 카메라의 기하학적 구조를 잘 이용하면 스테레오 정합 과정을 보다 쉽게 할 수 있다. 공역쌍을 찾아내기 위한 일치성(correspondence)의 문제는 3차원의 물체 영상을 위치가 다른 두 지점에서 취득하기 때문에 각 영상에서 물체의 위치가 틀려져 발생하며, 위치 변화의 양은 물체를 보는 각도에 따라 달라지게 된다. 특히 문제를 더 어렵게 하는 이유는 국부적인 점이나 면들이 다른 쪽의 영상에서 하나 이상의 정합 후보를 가지게 되므로 전체적인 일치성을 만족하도록 국부적인 특징들을 서로 연계하여 후보를 고려해야 하기 때문이다. 일치성 문제를 해결할 때 정합 할 점들에 대한 탐색 영역은 영상을 취득하는 카메라 사이의 기하학적인 구조를 이용하면 상당히 줄어들 수 있다. 아래의 그림 1에서 두 카메라로 평행하게 배치되어 있는 시스템의 기하학적 구조로서 그 원리와 특징을 알 수 있다[6].

공간상의 한 점 X가 좌우 영상에 투영되었을 때 초점 C와 C,을 잇는 선을 baseline이라 하며 영상의 한 점 X와 초점 C, C,에 대응되는 두 개의 선과 baseline으로 구성되는 평면을 epipolar plane이라고 이 평면과 영상 면이 교차되는 부분을 epipolar lines  $l, l,$ 라 한다. 만약 X가 공간상에서 움직일 때 모든 epipolar line은 epipolar e, e,(baseline과 영상 면의 교차점을 epipole이라 한다)를 통과하게 된다.



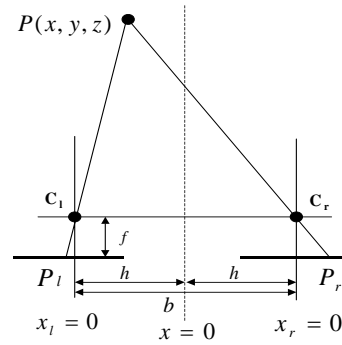
1. Epipolar 기하학적 구조

Fig. 1. Model of Epipolar Geometry

점 X에 대한 왼쪽과 오른쪽의 영상에 대한 투사점을 각각  $u, u'$ 라 하면 선분 CX는 왼쪽 평면에서 X로 표현되는 점의 모든 공간상의 위치를 나타내고, 이것은 오른쪽 평면상에서 epipolar line  $l$ ,로 투사된다. 왼쪽 평면의 투영점  $u$ 에 대응하는 오른쪽 평면의 점  $u'$ 는 오른쪽 평면의 epipolar line  $l'$  위에만 존재해야만 하는데 이를 에피폴라 구속 조건(epipolar constraint)이라 한다[7]. 특히 두 영상의 수평선이 일치 선상에 놓여 있고 수직선이 평행한 경우 epipolar line은 각 영상의 수평선이 된다. 따라서 두 영상의 같은 라인 상에 존재하는 특징들간의 정합만을 고려하여  $u$ 에 대응하는 오른쪽 평면의 점  $u'$ 를 찾는 탐색 영역을 2차원에서 1차원으로 줄일 수 있다.

2-2

두 대 카메라의 초점거리  $f$ 가 서로 같고 좌측 렌즈의 중심과 우측 렌즈의 중심사이의 거리를  $b$ 라고 할 때, 두 카메라의 광축이 평행한 공간적 모델이 그림 2의 구조이다. 3차원 공간 좌표계 X-Y-Z에 대해 좌표  $(x, y, z)$ 를 가진 현실 공간상의 한 점 P를 좌우 영상 면에 투영(projection)하게 되면 한 점  $P_l(x_l, y_l)$ 과  $P_r(x_r, y_r)$ 에 각각 나타나게 한다. 좌측 영상의  $Z_L$ 축과 공간 좌표계의 Z축을 서로 일치시키고 epipolar 구속조건을 가정하면  $y_l = y_r$ 이고 좌우 카메라 위치의 결과로서  $x_l$ 과  $x_r$  사이의 시차(disparity)를 계산할 수 있다 ( $|P_l - P_r| > 0$ ).



2. 평행축을 가진 공간적 모델

Fig. 2. Geometry Model with Parallel Optical Axis

만일 3차원 공간상 한 점  $P(x, y, z)$ 가 좌우 영상 면에 투영될 때 이들 사이의 관계는  $P_l, C_l$  그리고  $C_l, P_r$ 로 삼각형의 비례관계를 이용하여 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$\frac{P_r}{f} = -\frac{h+x}{z} \tag{1}$$

동시에, 우측 영상 면에서도 동일하다.

$$\frac{P_r}{f} = \frac{h-x}{z} \tag{2}$$

위의 두 식에서부터 3차원 위치 정보 Z를 구하면

$$z(P_r - P_l) = 2hf \tag{3}$$

$$z = \frac{2hf}{P_r - P_l} = \frac{bf}{d} \tag{4}$$

여기서,  $f$ 는 카메라의 초점거리이며,  $b$ 는 카메라 렌즈 사이의 거리,  $d$ 는 정합된 두 영상 화소간의 시차로서 물리적 의미는 인간 시각에서 두 눈의 시차와 같은 것이다. 만일 시차가 0이라면 이 때 3차원 위치 정보는 무한대가 된다. 거리  $z$ 는 시차  $d$ 가 커지면 작아지고, 시차  $d$ 가 작아지면 커진다. 또 거리는 렌즈간의 거리  $b$ 에 비례하므로  $b$ 가 커지면 더 정밀한 거리정보를 얻을 수 있으나,  $b$ 가 커지면 영상내 물체의 시차값이 커지고 영상의 왜곡이 심해져서 폐색(occlusion)에 대한 대응점의 유실 등이 생길 수 있으므로 적당한 렌즈간의 거리를 선택하여야 한다.

구해진 시차를 이용하여 실제 3차원 거리 정보를

검출하기 위해서는 식 (4)가 사용되며, 픽셀 차에 의한 시차를 실제 거리 차로 변환하기 위해서는 식 (5)을 사용하여 카메라의 영상 면에서의 크기로 재구성해야 한다.

$$d(\text{실제거리}) = \text{disparity}(\text{화소}) \times \frac{x'}{\text{수평크기}} \tag{5}$$

여기서,  $x'$ 는 실제 카메라의 영상 면의 수평 크기로 본 논문에서 사용된 CCD는 1/3"의 코닥 디지털 카메라로 6.535mm이며, 수평크기는 실제 영상축의 수평 크기이다. 좌측 카메라의 중심을 실제 3차원 공간상의 원점  $R(0,0,0)$ 으로 설정하면 공간상의  $X$ 값은 영상에서 정합되는 두 점  $X$ 값의 평균값을 계산하여 위에서와 같이 카메라 상의 크기로 변환시킨 후 식 (2.1)을 이용하여 구할 수 있고,  $Y$ 값은 영상의 수직 크기의 반이 되는 지점이 원점이므로 이 점에서부터의 거리를 구한 후 카메라와 영상의 크기의 비( $y'$  / 수직 높이)를 곱하여 식 (2)를 이용하여 구할 수 있다. 이상의 결과에서 좌우 영상에서 시차  $d$ 를 구한다면 실제 3차원 공간 좌표  $R(X,Y,Z)$ 를 재구성 할 수 있다.

### III.

웨이블릿 이론은 다양한 스케일(scale)과 해상도(resolution)에서 신호를 해석, 분석하고자 하는 생각으로 수학 및 공학 분야에서 발전되어 오늘에 이른 이론으로 시간과 주파수에 대한 국부성(locality)을 가지고 신호를 표현할 수 있는 신호 처리상의 장점을 갖고 있다. 일반적으로 비정재적(non-stationary)인 특성을 갖는 영상 신호를 해석하는데 이용되고 있으며[8], 이산 신호에 적용되는 DWT(discrete wavelet transform)은 다중 해상도(multi-resolution) 해석, 영상 압축, 경계선 검출 등에 사용되어진다[9]-[13].

본 논문에서는 스테레오 영상을 다중 해상도로 분해 할 경우 저해상도 대역에 대부분 에너지가 모이고, 고 해상도 대역에는 작은 에너지를 가지는 반면에 시각적으로 중요한 에지에 대한 정보를 가지므로

영상 정보 분석에 유용한 계층적 처리 기법을 이용하여 상위 계층에서의 저해상도 분석으로 영상의 전역적인 특성을 파악하고, 하위 계층으로 옮겨가며 점진적으로 해상도를 증가시켜 영상 신호의 국부적인 특성을 분석하는 점진적인 분석(coarse-to-fine) 기법을 사용하여 전방 근거리 차량의 거리를 효과적으로 검출한다. 이와 같은 점진적인 신호 분석 또는 계층적인 신호 분석은 실시간 구현을 위한 고속 신호 처리에 가장 대표적으로 채택되고 있는 기법이다.

### 3-1

웨이블릿은 모 웨이블릿(mother wavelet)이라고 불리는 기저 함수(base function)  $\Psi(x)$ 을 이동(translation)시키고 확대 및 축소(dilation)시킴으로써 얻어지는 함수의 집합으로, 식 (6)과 같이 표현된다.

$$\Psi_{a,b}(x) = a^{-1/2} \Psi\left(\frac{x-b}{a}\right) \tag{6}$$

$a \in R^+, b \in R$

$\Psi_{a,b}(x)$ 은 square integrable한 공간  $L^2(R)$ 의 정규직교 기저를 형성하며 임의의 연속 함수  $f(x)$ 에 대한  $CTWT_f(a,b)$ 은 식 (7)와 같다.

$$CTWT_f(a,b) = a^{-1/2} \int_{-\infty}^{+\infty} \Psi\left(\frac{x-b}{a}\right) f(x) dx \tag{7}$$

여기서,  $a$ 는 웨이블릿의 폭, 즉 웨이블릿의 기저의 크기를 조정하는 scale 인덱스이고  $b$ 는 웨이블릿의 기저의 위치를 조정하는 인덱스이다. 여기에서 scale 인덱스  $a$ 가  $a > 1$ 이면 폭이 큰 웨이블릿으로 신호의 저주파 성분의 분해에 사용되고  $a < 1$ 이면 폭이 작은 웨이블릿으로 신호의 고주파 성분의 분해에 사용된다. 실제 사용되는 이산 웨이블릿은 식 (7)에서  $a = a_0^m, b = na_0^m b_0$ 로 구할 수 있고  $m$ 은 팽창에 관련된 변수이고  $n$ 은 변이에 관련된 변수이다.

$$\Psi_{m,n}(x) = \Psi_{a_0^m, nb_0, a_0^m}(x) = a^{-m/2} \Psi(a_0^{-m} x - nb_0) \quad (8)$$

3-2

2차원 부공간을 1차원 부공간의 separable한 확장으로 정의하면 2차원 공간의 부공간은 아래와 같이 1차원 부공간의 직교함으로 표현된다.

$$V_m^2 = V_m \oplus V_m \quad (9)$$

2차원 공간의 다해상도 분해는 2차원 부공간의 기저  $\Phi(x, y)$ 의 확장, 축소, 전이를 통해서 다음과 같이 표현되고,

$$\Phi(x, y) = \Psi(x)\Psi(y) \quad (10)$$

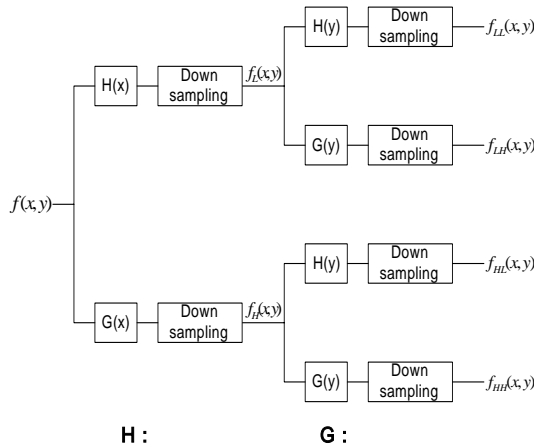
2차원 직교 부공간도  $\Psi_1(x, y), \Psi_2(x, y), \Psi_3(x, y)$ 의 3개의 기저의 확장, 축소, 전이에 의해서 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\Psi_1(x, y) = \Psi(x)\Psi(y) \quad (11)$$

$$\Psi_2(x, y) = \Psi(x)\Psi(y) \quad (12)$$

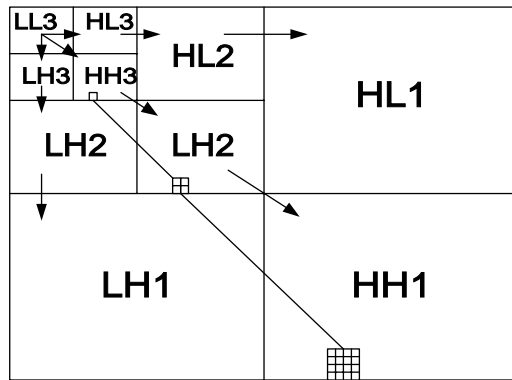
$$\Psi_3(x, y) = \Psi(x)\Psi(y) \quad (13)$$

그림 3.1은 2차원 영상에 웨이블릿 변환을 적용하였을 때 4개의 성분으로 분해되는 과정이다. 즉 시각에 민감하고 정보의 대부분을 가지고 있는 저주파 성분과 수직성분, 수평성분, 대각선성분으로 분리된다. 영상  $f(x, y)$ 는  $x$ 축 방향으로 필터링 되어져 저주파 성분인  $f_L(x, y)$ 와 고주파 성분인  $f_H(x, y)$ 로 분리되고  $f_L(x, y)$ 와  $f_H(x, y)$ 의 대역은 원신호의 반이기 때문에  $x$ 축 방향으로 다운샘플링하고 다시  $y$ 축 방향으로 필터링 함으로써  $f_{LL}, f_{LH}, f_{HL}, f_{HH}$ 의 4개의 부영상을 얻는다. 2차원 필터링 과정을 거친 4개의 부영상은 평균신호와 각 방향의 세부신호를 나타내는데  $f_{LH}$ 는 영상의 수평성분을 강조하고,  $f_{HL}$ 은 수직성분을,  $f_{HH}$ 는 대각 성분을 강조한다. 그림 4는 3단계 웨이블릿 변환을 취한 후의 주파수 대역별 위치를 나타내는 그림이다.



3. 2차원 웨이블릿 변환 블록도

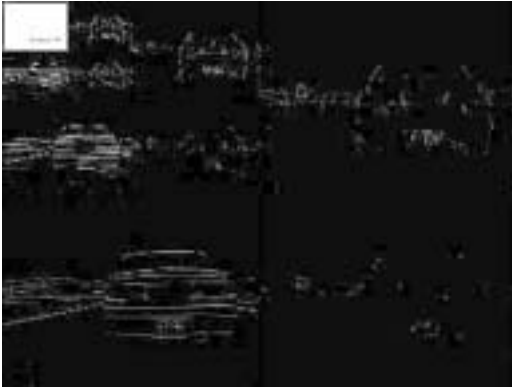
Fig.3. Block Diagram of the 2-D Wavelet Transform



4. 3단계 웨이블릿 변환 후의 주파수 대역의 위치

Fig.4. The Frequency Band Position after 3 Step Wavelet Transform

1단계 웨이블릿 변환을 취하면 4개의 부대역 LL1, LH1, HL1, HH1으로 나뉘어지게 되며 LL1은  $\Phi(x, y)$  웨이블릿 기저를 통한 저주파 공간, LH1, HL1, HH1은 각각  $\Psi_1(x, y), \Psi_2(x, y), \Psi_3(x, y)$  기저를 통한 고주파 대역이다. 1단계 웨이블릿 변환 후의 4대역 중에서  $\Phi(x, y)$ 기저를 통한 부공간 대역을 다시 분해하고 이 과정을 반복하여 웨이블릿 변환을 행한다. 그림 5은 차량 스테레오 영상에 3단계 웨이블릿 변환을 취한 결과로서 변환 후에도 신호의 주파수 특성과 공간적 특성을 같이 보존하는 것을 확인할 수 있다.



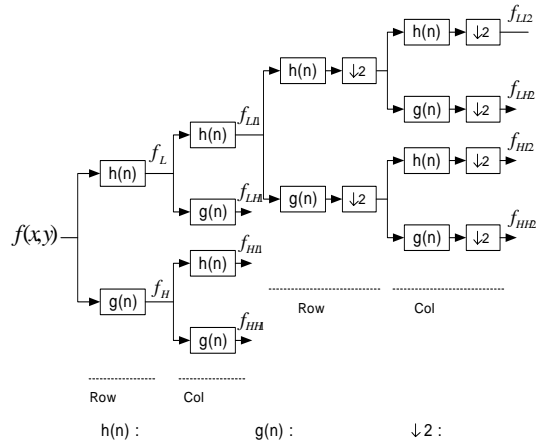
5 차량 스테레오 영상의 3단계 웨이블릿 변환

Fig.5. 3 Step Wavelet Transform of Vehicle Stereo Image.

3-3 (Shiftability)

스테레오 영상에서 계층적 구조를 형성하기 위해 웨이블릿 변환을 사용한다. 웨이블릿 변환된 영상은 정보의 중복이나 손실 없이 잡음이 제거된 중요 정보를 지닌 영상(LL부대역)과 수평(LH부대역), 수직(HL부대역), 대각선(HH부대역) 에지 성분을 지닌 영상으로 분할되어지므로 특징점 추출 과정을 매우 간단하게 할 수 있다. 계층적 구조에서 영상에 대한 정보들은 저해상도 계층에서 고해상도 계층으로 점진적으로 해석하는 coarse to fine 방법을 이용하여 전체적인 특징을 고려하고, 점차적으로 해상도를 높여 정확한 시차값을 추정한다.

스테레오 정합에서 좌우 영상사이에서 시차가 존재할 때 필터링된 결과가 단지 위치의 변화만으로 나타날 때 이동성이 유지된다고 할 수 있다[14]. 주파수 영역에서는, 스케일링된 신호의 이동성이 유지되기 위해 앨리어싱(aliasing)이 일어나지 않아야 한다. 그러므로 Nyquist 주파수 이하의 비율로 표본화(sampling)된 신호는 위치와 해상도에 따라 불안정한 특성을 가지게 되고, 이로 인해 웨이블릿 부대역에서는 입력 신호의 이동에 따라 이동성의 유지가 어렵다. 유한한 개수의 tab을 가진 H와 G필터를 통과한 신호가 감축(decimation) 과정을 거치게 되면 앨리어싱이 일어나게 되고, 이로 인해 웨이블릿 변



6. 이동성을 유지하기 위한 변형된 웨이블릿 변환 블록도

Fig.6. Block Diagram of Modified Wavelet Transform for Preserving Shiftability

환의 불안정성이 발생한다. 이러한 앨리어싱을 제거하기 위해서는 H와 G 필터를 보다 이상적인 형태로 설계하여야 하지만 제한된 필터 tab의 개수로는 불가능하다.

스테레오 영상에서 이동성을 유지하기 위해서는 감축되기 전의 앨리어싱 효과가 적은 신호를 정합에 이용하면 비교적 이동성의 유지가 될 수 있으므로 그림 6는 이를 위한 변형된 웨이블릿 변환의 과정을 보여준다. 한 영상에 대해 웨이블릿 변환이 x축과 y축에 대하여 separable하기 때문에 먼저 1단계 변환에서는 다운샘플링을 생략하고, 행에 대해 두 개의 필터(저주파 필터, 고주파 필터)를 사용하여 영상을 분해하고 출력된 영상에 다시 열에 대해서 필터를 사용하여 분해한다. 2단계부터는 다운 샘플링을 거친 후 필터를 사용하여 영상을 분해한다.

IV.

좌우 카메라를 통하여 획득한 스테레오 영상에 변형된 3단계 웨이블릿을 취함으로써 중요 정보를 지닌 영상(LL부대역)과 수평(LH부대역), 수직(HL부대역), 대각선(HH부대역) 에지 성분을 지닌 영상으로 분할되며 각각의 부대역은 계산량과 처리시간 감소를 위하여 영역을 제한한다. 제한된 탐색영역에

서 수직 에지를 검출하고 수직 히스토그램 분석을 통하여 좌우 영상의 에지 차를 계산한다. 제한된 영역에서의 히스토그램 분석을 통하여 전방 차량 거리를 검출하는 알고리즘은 다음과 같다.

- 1단계: 입력된 좌우 영상에 변형된 웨이블릿 3단계 변환
- 2단계: 변환된 웨이블릿 HL1, HL3 영상에 탐색 영역 설정
- 3단계: 분해된 3레벨의 HL3의 수직 에지 계산 후 수직 방향으로 projection하여 x축에 대한 누적 히스토그램 생성 및 전방의 중심에 가중치를 주기 위해 가우시안 함수 적용
- 4단계: 3레벨 좌우 HL3의 에지차 계산
- 5단계: HL3의 시차의 4배에 임계치를 주고 1레벨 스캔 범위 설정
- 6단계: 원영상과 같은 해상도를 가진 1레벨 좌우 HL1에서 누적 히스토그램 생성 및 가우시안 함수 적용
- 7단계: 좌측영상의 최대 히스토그램을 5단계의 범위 내에서 우측영상의 히스토그램과 비교
- 8단계: 원영상의 해상도를 가진 HL1에서 정확한 시차 검출
- 9단계: 식 (2.5)를 이용한 거리 측정

물체 인식은 영상의 고주파 영역, 즉 밝기가 급격히 변하게 되는 에지 부분을 통해 인식하게 되므로 물체의 에지 정보를 이용하면 거리를 검출할 수 있다. 에지는 크게 수평과 수직성분으로 구분할 수 있는데 각 방향의 에지를 계산한 후 각 방향으로 projection하여 히스토그램을 구한다. 입력 영상 A에 대한 수평 방향의 projection H와 수직 방향의 projection V는 다음과 같다.

$$H[i] = \sum_{j=0}^{m-1} A[i, j] \quad (14)$$

$$V[j] = \sum_{i=0}^{n-1} A[i, j] \quad (15)$$

여기서  $m$ 과  $n$ 은 각각 영상의 수직과 수평의 크기

이다.

이러한 히스토그램은 영상에서 물체와 배경에 대해 동일하게 적용되며 효율성 향상을 위해 전처리 과정으로 영역 제한 방법을 적용한다. 수직 성분의 에지를 얻기 위해 입력받은 좌우 영상에 대해 변형된 3단계 웨이블릿 변환을 취한 후 3레벨 HL3에 설정된 탐색 영역 범위에서 식 (4.4)를 이용하여 수직 에지 누적 히스토그램을 구한다. 결정된 히스토그램 분포는 전방의 중심에 가중치를 주기 위해 가우시안 함수를 적용한 후 차폭의 수직 외곽선으로 생각되는 부분에 큰 값을 갖는 히스토그램을 얻을 수 있다. 가우시안 필터는 아래의 식으로 정의된다.

$$G[x, y] = \frac{e^{-(x^2 + y^2)}}{2\sigma^2} \quad (16)$$

여기서  $\sigma$ 는 가우시안 평활화 필터의 폭을 조절하는 파라미터가 된다.  $\sigma$ 가 작은 값을 가질 경우에는 가우시안 평활화 필터의 폭은 좁아지며,  $\sigma$ 의 값이 클 경우에는 넓어진다.

알고리즘 4단계는 좌측 HL3의 최대 히스토그램 범위 안에서 우측 HL3의 최대 히스토그램 차를 구하기 위해서 아래의 식을 이용하여 최소 MAD(mean of absolute difference)  $e(d)^*$ 를 계산한다.

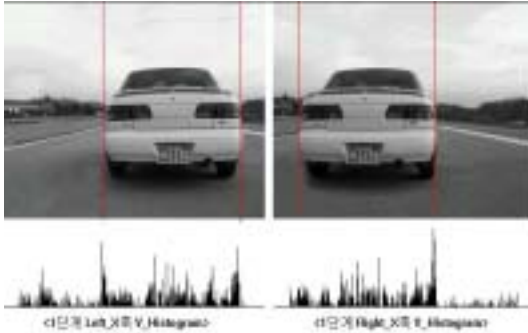
$$e(d) = \frac{1}{M} \sum_{x \in R} |f_L(x) - f_R(x+d)| \quad (17)$$

$$e(d)^* = \min_{d = \{0, 1, \dots, \max disp\}} e(d) \quad (18)$$

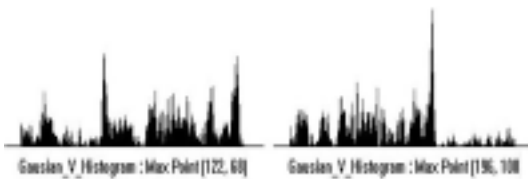
여기서,  $R$ 은 점  $x$ 에 인접하는 점들의 집합이고  $M$ 은 그 집합을 이루는 총 개수이며  $d$ 는 좌우 히스토그램의 시차이다.

이 히스토그램은 저해상도 계층에서의 전체적인 특징을 고려한 시차이므로 coarse-to-fine 방법을 이용하여 원 영상과 같은 고해상도를 갖는 HL1의 수직 히스토그램에서 정확한 시차를 계산한다. 그림 7은 3 m에서 실제 좌우 영상과 다운 샘플링이 생략된 HL1레벨 좌우 영상의 수직 히스토그램과 가우시안 평활화 필터를 적용한 수직 방향 히스토그램이다.

알고리즘 6단계에서 얻어진 좌우 수직 히스토그



(a) 좌우 스테레오 영상(3m)과 수직 에지 히스토그램



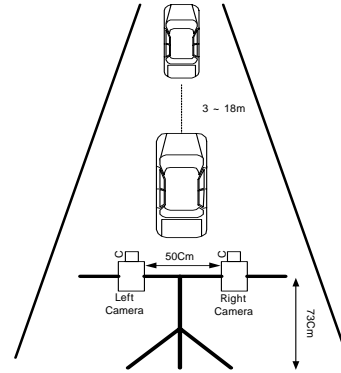
(b) 가우시안 적용 히스토그램

7. 3m 스테레오 영상에 알고리즘 6단계 적용 결과  
Fig.7. Applying of Step 6 of the Algorithm into 3 m Stereo Image

램을 이용하여 정확한 시차 검출과 전방 장애물 거리 측정은 계층적 웨이블릿 피라미드 구조를 이용하며, HL3레벨 시차의 4배에  $-40 \sim +40$ 의 임계치를 사용하여 HL1레벨 스캔 범위를 설정하고 좌측 영상의 최대 히스토그램 값을 갖는 위치에서 우측 영상의 최대 히스토그램 값의 차로써 실제 영상과 같은 해상도에서 시차를 구할 수 있다. 마지막으로 이 시차를 이용하여 전방 차량까지의 거리를 측정하게 된다.

V.

본 논문에서 실험을 위한 스테레오 영상은 코닥 디지털 카메라를 이용하여 취득하였고 자동차는 3 m씩 변화시키면서 3 ~ 18 m 사이에서 거리를 측정하였다. 영상은  $1280 \times 960$  화소 크기의 컬러 영상을 입력받고 이를 다시  $320 \times 240$  화소 크기를 갖는 2차원 그레이 레벨 영상으로 변환하였다. 초점 거리는 12 mm, 두 카메라 사이 거리는 50 cm, 카메라 높



8. 차량 영상 획득 구성도

Fig.8. Model of Vehicle Image Acquisition

이는 73 cm를 사용하였으며 차량 영상 획득 구성도는 그림 8에 나타낸다. 본 실험에 사용된 기본 파라미터의 값은 표 1에, 웨이블릿 변환을 위한 필터는 분해필터와 합성필터가 동일한 웨이블릿 함수로부터 유도된 직교 필터로 Daubechies 4-tap 필터를 사용했으며 필터 계수 값은 표 2에 나타낸다.

그림 9는 3m에서 좌우 히스토그램의 profile과

1 기본 파라미터 값

Table 1. Base Parameter Value.

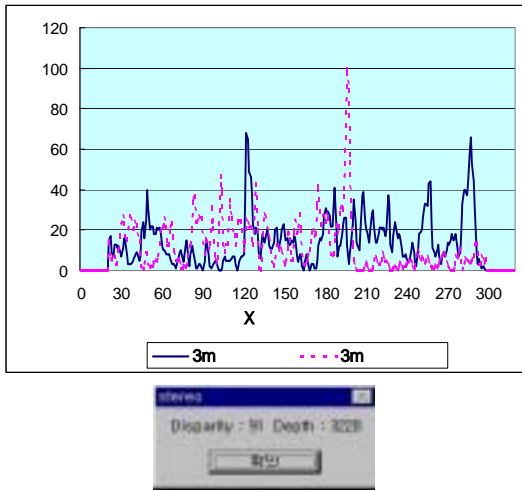
Parameters	Value
image width ( $x$ )	320 pixels
image height ( $y$ )	240 pixels
vanish line ( $v$ )	72 pixels
lane width	280 pixels
focal length ( $f$ )	12 mm
baseline distance ( $b$ )	50 cm
camera height ( $h$ )	73 cm

2 Daubechies 4 탭 필터 계수 값

Table 2. Daubechies 4- Tap Filter Coefficients Value.

탭 번호	계수 값
C1	0.4829629131445341
C2	0.8365163037378079
C3	0.2241438680420134
C4	-0.1294095225512604





9. 3m 거리에서의 히스토그램과 거리 검출 결과  
 Fig.9. Results of Histogram and Distance Detection in 3m Distance.

3 측정 거리 결과, 오차값, 및 오차율

Table 3. Results of Measured Distance, Error, and Error Rate.

실제거리	측정거리	오차	오차율(%)
3m	3.228m	0.228m	7.6 %
6m	6.528m	0.528m	8.8 %
9m	9.477m	0.477m	5.3 %
12m	12.241m	0.241m	2.0 %
15m	14.690m	0.310m	2.0 %
18m	18.362m	0.362m	2.0 %

이 결과에 의하여 결정된 시차와 측정된 거리를 나타낸다. 표 3은 3 ~ 18 m에서의 거리 검출 결과와 오차율을 나타낸다. 표 3에서 보는 것과 같이 3 m ~ 18 m 내외의 거리에 대해서는 상당히 신뢰할 만한 결과를 갖는 것을 볼 수 있다.

VI.

본 논문에서는 자동차의 근접거리에 존재하는 차량의 유무 검출 및 전후방 차량간의 충분한 안전 거리를 계산함으로써 차량 운전자들의 안정성을 유지할 수 있는 방법을 제안하였다. 인간의 시각 특성에

근거하는 스테레오 비전은 서로 다른 위치에서 획득한 두 영상으로부터 3차원 거리 정보를 추출하는데 유용하며, 좌우 영상으로부터 대응점을 찾는 정합 과정이 매우 중요하다.

본 논문에서는 계층적 스테레오 정합 방법인 공간과 주파수 정보를 동시에 해석하는 웨이블릿의 다해상도 영상 분해를 통하여 각각의 특징을 갖는 부대역으로 분할하며, 수직 에지 성분을 갖는 부대역에서 누적 히스토그램을 사용하여 전방 차량 거리 검출에 효율적인 알고리즘을 제안하였다. 실험 결과 3 m에서는 측정 오차가 0.23 m(7.6%), 18 m에서는 0.36 m(2.0%)로 전체 거리의 오차율은 4.65%로 측정되었다.

향후 연구 방향으로는 여러 대의 자동차가 전방에 있는 경우나 자동차가 아닌 다른 물체가 포함된 경우 등의 영상에 대한 실험을 실시하고, 차량간 거리 검출에 대해 연구할 예정이다.

- [1] R. A. Jarvis, "A Perspective on Range Finding Techniques for Computer Vision", IEEE Transactions on Pattern Recognition and Machine Intelligence, no, pp. 122- 139, March, 1983.
- [2] 김희식, 이평원, "자동차 번호판 인식을 위한 영상내의 관심영역 추출 알고리즘", 제9회 영상처리 및 이해에 관한 워크샵, pp. 121-124, 1997년 1월, 경주.
- [3] 양보승, 김재광, 공성평, 최환수, "한국 자동차 번호판 용도 문자 인식을 위한 연구", 제 9회 영상처리 및 이해에 관한 워크샵, pp. 227-233, 1997년 1월, 경주.
- [4] Olivier Faugeras, *Three-Dimensional Computer Vision*, The MIT Press, pp. 165-240, 1993.
- [5] D. Marr and Poggio, *Computer and Robot Vision*, Addison Verlag, 1987.
- [6] Yoshiaki Shirai, *Three-Dimensional Computer Vision*, Springer Verlag, 1987.
- [7] M. Sonk. V. Hlavac, R. Boyle, *Image*

- Processing, Analysis, and Machine Vision*, PWS Publishing, 2nd Edition, pp. 476-483, 1999.
- [8] O. Rioul and M. Vetterli, "Wavelets and Signal Processing", *IEEE SP magazine*, pp. 14-18, Oct. 1991.
- [9] A. Cohen, I. Daubechies, and J. C. Feauveau, "Biorthogonal Bases of Compactly Supported Wavelets", *Commu. Pure Appl. Math.*, vol. 45, pp. 485-560, 1992.
- [10] S. G. Mallat, "A Theory Multi-Resolution Signal Decomposition : The wavelet Representation", *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell, PAMI-11*, no. 7, pp. 674-693, July 1989.
- [11] R. Wilson, A. D. Calway, and E. R. S. Pearson, "A Generalized Wavelet Transform for Fourier Analysis : The Multi-Resolution Fourier Transform and Its Application to Image and Audio Signal Analysis", *IEEE Trans. Infor Theory*, vol. IT-38, no. 2, pp. 674-690, Mar. 1992.
- [12] S. G. Mallat and W. L. Hwang, "Singularity Detection and Processing with Wavelets", *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. IT-38, no. 2, pp. 617-643, Mar. 1992.
- [13] S. G. Maggat and S. Zhong, "Characterization of Signals from Multi-Scale Edges", *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell*, vol. PAMI-14, no. 7, PP. 710-732, July. 1992.
- [14] E. P. Simoncelli, W. T. Freeman, "Shiftable Multi-Scale Transforms", *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. IT-no. 2, pp. 587-607, Mar. 1992.

## (梁錫朱)



호 처리, 영상통신

1999년 2월 : 조선대학교 전자공학과 졸업  
 2001년 2월 : 한국항공대학교 통신정보공학과 공학석사  
 2000년 12월 ~ 현재 : 이스텔시스템즈 연구원 근무  
 : 스테레오 비전, 신

## (白重煥)



1981년 2월 : 한국항공대학교 항공통신정보공학과 졸업  
 1987년 2월 : Oklahoma st. Univ. 전자공학과 공학석사  
 1991년 7월 : Oklahoma st. Univ. 전자공학과 공학박사  
 1981년 1월 ~ 1984년 10월 : (주)동아엔지니어링 근무  
 1991년 9월 ~ 1992년 2월 : 한국전자통신연구소 선임연구원  
 1992년 3월 ~ 현재 : 한국항공대학교 조교수  
 : 컴퓨터 비전, 영상 처리 및 영상 압축