

스테레오 비전센서를 이용한 선행차량 감지 시스템의 개발

황 준 연¹⁾ · 홍 대 건²⁾ · 허 건 수^{*3)}

한양대학교 자동차공학과¹⁾ · (주) 만도 중앙연구소 전자선행팀²⁾ · 한양대학교 기계공학부³⁾

Development of a Vision Sensor-based Vehicle Detection System

Junyeon Hwang¹⁾ · Daegun Hong²⁾ · Kunsoo Huh^{*3)}

¹⁾Department of Automotive Engineering, Hanyang University, Seoul 135-791, Korea

²⁾Mando Corporation Central R&D Center, 413-5 Gomae-dong, Giheung-gu, Youngin-si, Gyeonggi 446-901, Korea

³⁾School of Mechanical Engineering, Hanyang University, Seoul 135-791, Korea

(Received 31 March 2008 / Accepted 7 July 2008)

Abstract : Preceded vehicle detection is a crucial issue for driver assistance system as well as for autonomous vehicle guidance function and it has to be performed with high reliability to avoid any potential collision. The vision-based preceded vehicle detection systems are regarded promising for this purpose because they require little infrastructure on a highway. However, the feasibility of these systems in passenger car requires accurate and robust sensing performance. In this paper, an preceded vehicle detection system is developed using stereo vision sensors. This system utilizes feature matching, epipolar constraint and feature aggregation in order to robustly detect the initial corresponding pairs. After the initial detection, the system executes the tracking algorithm for the preceded vehicles including a leading vehicle. Then, the position parameters of the preceded vehicles or leading vehicles can be obtained. The proposed preceded vehicle detection system is implemented on a passenger car and its performances is verified experimentally.

Key words : Preceded vehicle detection(선행차량감지), Representation point(대표점), Feature extraction(형상 추출), Feature matching(형상 정합)

Nomenclature

I : image
 R : the rotation matrix
 T : the translation matrix
 X : feature position on image
 c : the length of a vector l
 K : camera calibration matrix
 X_g : 3-D position in a global coordinate
 H : measurement sensitivity matrix
 P : covariance matrix of state estimation uncertainty
 Q : covariance matrix of process noise in the state

R : covariance matrix of observational uncertainty
 K : kalman gain matrix
 Φ : state transition matrix
 x : state vector
 z : vector of measured value

Subscripts

gl : left camera to global coordinate
 x, y : x, y axis
 l, r : left, right

*Corresponding author, E-mail: khuh@hanyang.ac.kr

1. 서론

일반적으로 고속도로에서 사용되는 차량용 비전 시스템은 기본적으로 다른 인프라가 필요 없이 차선 및 선행차량 등의 차량 전방 이미지만을 이용하기에 일반차량에 있어서 적용 및 응용이 용이하다. 이러한 시스템은 차량주행상태에 대한 운전자 경고시스템이나 속도제어 및 조향제어를 통해 차량의 주행안정성을 향상시키는 운전자 보조 시스템에 적용될 수 있다. 그러나 비전 시스템의 차량 적용에 있어서 중요한 점은 차선 및 선행차량 감지 성능의 정확성과 강인성이다. 그리고 이와 더불어 짧은 연산시간에 대한 프로세서의 비용 또한 고려되어야 한다.

지능형 차량에 있어서 차선감지와 더불어 중요한 기능은 차량 전방의 선행차량 감지이다. 이 부분에 대해선 많은 연구가 진행되어 왔다. 스테레오 카메라만을 이용하여 차량을 감지하거나 Lidar¹⁾나 Radar²⁾ 등의 센서를 같이 사용하는 방법이 있었다. 후자의 경우 감지된 차량의 거리를 매우 정확하게 측정할 수 있는 장점이 있으나 반사광, 우천, 도로얼룩 등 센서 수광부에 영향을 줄 수 있는 주변 환경의 변화에 따른 영향을 많이 받는다. 전자의 경우 이미지에서 차량을 추출해내는 방법에 따라 분류될 수 있다. 일반적으로 카메라를 이용한 차량 감지 시스템은 차량이 존재할 가능성이 높은 부분을 추출하여 차량의 존재를 확인하는 방법을 사용한다. 차량을 추출하는 방법은 이미지 명암, 엣지, 기하학적 특성 등이 이용된다. 이러한 방법들 중 가장 간단한 방법은 이미지의 명암도^{3,4)}나 엣지^{5,6)}를 이용하는 방법이다. 위의 방법은 차량의 사각형상 내지는 대칭성^{6,7)}을 이용하는데 비슷한 차량이 차선을 중심으로 대칭적으로 존재하거나 도로위의 각 차선에 비슷한 형상의 무늬가 존재하는 경우 오작동의 문제가 있다. 이외에도 Histogram⁶⁾이나 Neural Network Classifier⁸⁾를 이용하는 방법이 있으나 전자의 경우 전체 이미지에 대한 연산으로 초당 연산 이미지 개수에 제한을 받거나 후자의 경우 많은 트레이닝 이미지와 시간을 요구한다.

본 논문에서 제안된 시스템은 스테레오 카메라를 이용하여 설계되었다. 엣지를 사용하는 방법은 일반적으로 연산량은 적으나 대칭성에 대한 문제를

갖는다. 따라서 이를 극복하기 위해 차선감지 시스템에서 얻어진 ROI를 바탕으로 차량의 수평성분 엣지를 추출하여 수직방향 엣지 히스토그램을 통해 노이즈를 제거하게 된다. 이 세 개의 과정을 통해 시스템은 차선 내 차량의 갯수를 한정시켜 대칭성 문제를 해결하게 된다. 위의 일련의 과정을 통해 얻어진 3차원 정합 대응점은 추적 알고리즘을 통하여 전방 차량을 추적하게 된다. 제안된 시스템은 두 개의 CCD 카메라를 장착한 차량에 적용하였고 고속도로 주행 시험을 통해 성능을 검증하였다.

2. 장애물 감지

고속도로에서의 안전한 주행을 위하여 장애물이나 선행차량의 감지는 매우 중요하다. Fig. 1은 제시된 장애물 감지 알고리즘의 전체 구성도로 장애물 감지 알고리즘은 스테레오 이미지와 추정된 차선의 정보¹¹⁾로부터 설정된 스테레오 이미지의 ROI 안에서 수행된다. 차선감지 알고리즘은 설정된 차선 감지 ROI에서 edge 영상을 이용하여 차선 마커를 추출하여 3차원 좌표에서 2차식으로 차선을 표현한다. 장애물을 검출하기 위해 설정된 3차원 좌표 전방 주시거리는 다시 이미지 좌표계로 옮겨져 지평선을 포함하는 이미지의 일정 구획을 설정하게 되며, 이 부분이 차량 감지를 위한 ROI가 된다. 이때 ROI는 지평선을 포함하도록 설정이 되는데 이는 거리에 상관없이 같은 차선내에 존재하는 모든 장애물을 감지하기 위해서이다.

이를 바탕으로 시스템은 영상으로부터 범퍼, 지붕, 뒷유리 등 차량의 특징이 될 수 있는 수평성분 엣지를 추출한다. 시스템은 추출된 엣지로부터 이미지 히스토그램을 이용하여 일정 값 이상의 수직

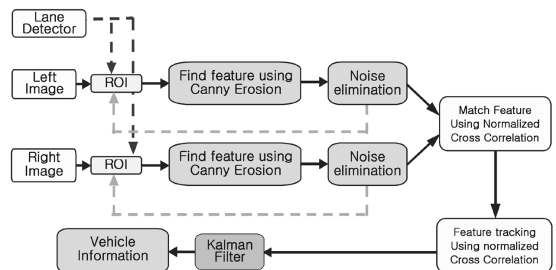


Fig. 1 Schematic diagram of vehicle detection system

성분만을 다시 추출하여 ROI를 갱신하게 된다. 이후 갱신된 ROI에서 epipolar constraints와 NCC를 적용하여 3차원 정합 대응점들을 얻게 된다. 이후 시스템은 Kalman filter를 이용하여 전방 차량 위치를 계산하게 되며 ROI 갱신과 함께 이미지 상에서 추적하게 된다.

2.1 Feature Extraction

본 논문에서는 일반적인 고속도로 영상을 사용하여 차량의 영상을 추출하였다. 스테레오 이미지에서 대응점을 찾기 위해 차량의 특징이 되는 기하학적 정보를 이용하는데 본 논문은 이러한 특징이 되는 성분을 추출하기 위하여 Canny filtering, erosion filtering과 잡음 제거 과정을 거치게 된다. Fig. 2는 일반적인 고속도로의 영상으로서 차선감지 시스템¹¹⁾에서 얻어진 차선 정보를 이용하여 초기 ROI를 얻는다. 이후 ROI는 Canny filter⁹⁾를 이용하여 Fig. 3과 같이 변환된 후 erosion filter¹⁰⁾를 통하여 Fig. 4의 영상으로 변환되어진다. 이후 잡음 제거 과정을 통하여 잡음으로 여겨지는 부분을 제거하면 Fig. 5와 같은 결과 이미지를 얻을 수 있다. 잡음 제거는 edge histogram¹⁰⁾을 이용하였다. 그 결과 차량의 수평 엣지 성분이 강한 부분만을 얻는다.

이와 같은 과정은 왼쪽, 오른쪽 카메라 각각의 이미지에서 수행 되는데 Fig. 5의 이미지를 왼쪽 카메라 영상에 표시하면 Fig. 6과 같은 이미지를 얻을 수 있다. 여기서 화면 상단의 박스는 이전 과정에서 얻어진 결과 영상이며 다이아몬드 모양의 표시는 결과 영상의 중심점으로 representation point라 한다.

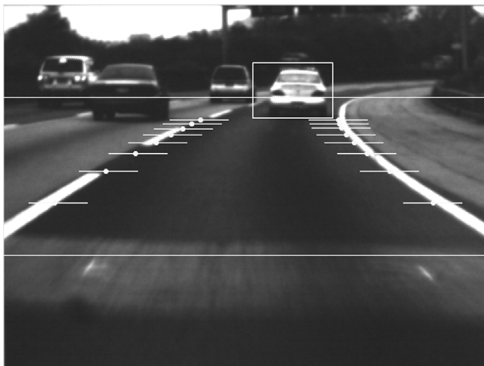


Fig. 2 ROI of left image

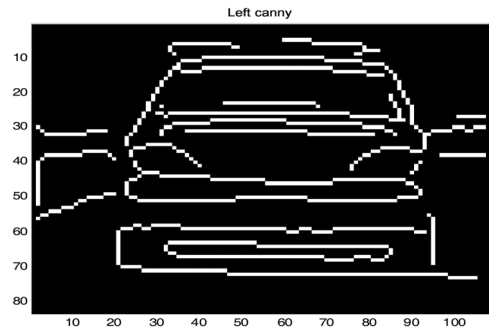


Fig. 3 Canny filtering on ROI

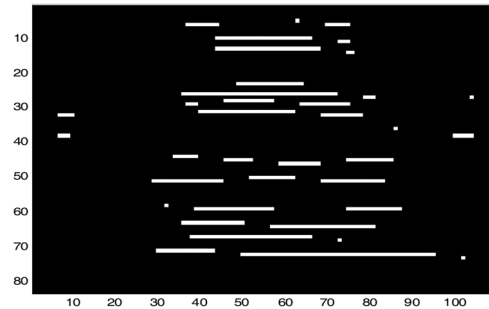


Fig. 4 Erosion filtering on ROI

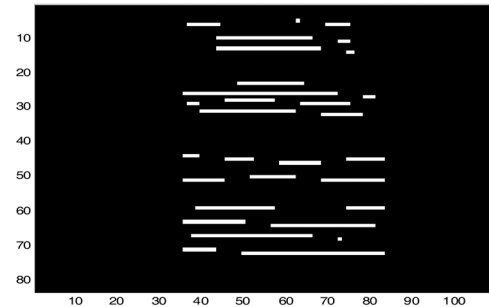


Fig. 5 Noise elimination on ROI

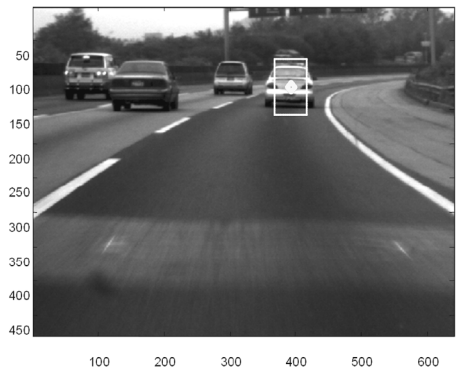


Fig. 6 Representation point of feature in left image

2.2 Feature Matching and Tracking

본 논문에서는 대응점들을 찾는 방법으로 Normalized Cross Correlation(NCC)⁹⁾이 이용되었다. 기본적인 feature matching 방법은 한 점의 명암도를 다른 점들의 명암도와 비교하는 것이다. 그러나 이미 지상에는 같은 명암도를 갖는 무수한 점들이 있고 명암도는 관측위치나 반사특성에 영향을 많이 받기 때문에 명암도를 형상의 고유한 특징으로 여기기는 어렵다. 이를 극복하기 위해 NCC를 사용하였다.

NCC는 일반적으로 이미지 템플릿의 일치 여부를 찾는 데 유용한 방법으로 이를 이용하여 feature matching과 tracking을 수행하였다.

I1과 I2는 스테레오 이미지의 명암도로서 식 (1)과 같다. 식 (2)는 NCC로 -1에서 1까지의 값을 갖는데 템플릿 매칭이 완벽한 경우 1의 값을 갖는다. 식 (3)은 mean intensity이다.

$$I_1(x) = I_2(h(x)) = I_2(x + \Delta x) \quad (1)$$

$$NCC(h) \quad (2)$$

$$= \frac{\sum_{W(x)} (I_1(\tilde{x}) - \bar{I}_1)(I_2(h(\tilde{x})) - \bar{I}_2)}{\sqrt{\sum_{W(x)} (I_1(\tilde{x}) - \bar{I}_1)^2 \sum_{W(x)} (I_2(h(\tilde{x})) - \bar{I}_2)^2}}$$

$$\bar{I}_1 = \frac{1}{N} \sum_{W(x)} I_1(\tilde{x}), \bar{I}_2 = \frac{1}{N} \sum_{W(x)} I_2(h(\tilde{x})) \quad (3)$$

where $h(\tilde{x}) = \tilde{x} + d$: translation model
 $\hat{h} = \operatorname{argmin}_d NCC(h)$

시스템은 representation point를 이용하여 오른쪽 카메라 영상에서 얻어진 ROI 내부에 epipolar line을 긋고 그어진 line을 새로운 ROI로 갱신한다.

Fig. 7의 중앙에 있는 상자는 오른쪽 카메라 영상의 ROI에서 feature extraction 결과 얻어진 영역이다. 그리고 굵은 점선은 Fig. 6에 있는 representation point의 epipolar line이며 실선은 representation point의 correspondence candidates로서 갱신된 ROI이다. 이후 왼쪽 영상에서 representation point를 중심점으로 31×31 크기의 템플릿을 추출한다.

그리고 오른쪽 영상에서 각각의 candidates를 중심점으로 하는 31×31 크기의 템플릿을 추출하여 이들 템플릿을 이용하여 NCC를 계산한다. 그리고 그

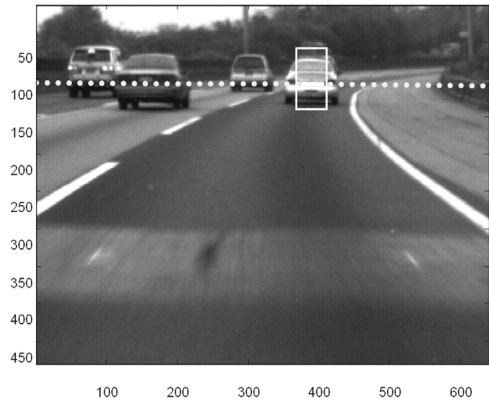


Fig. 7 Epipolar line if representation point in right image

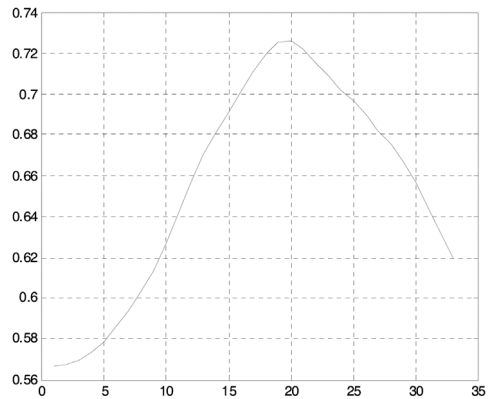


Fig. 8 NCC value of Correspondence candidates

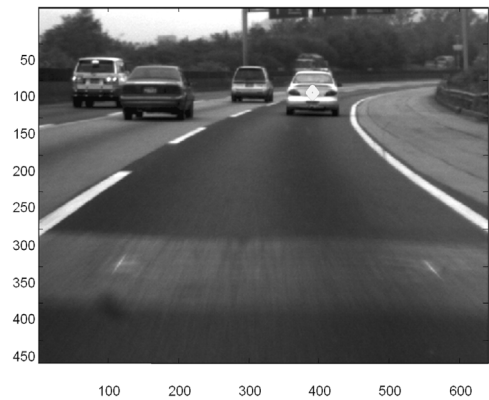


Fig. 9 Representation point in left image

값들 중 가장 큰 값이 correspondence point가 된다. Fig. 8은 candidates의 NCC value를 나타내는 그래프이며 Fig. 9와 Fig. 10의 다이아몬드 모형은 각 영상에서 얻어진 선행차량의 위치를 나타내고 있다. 이

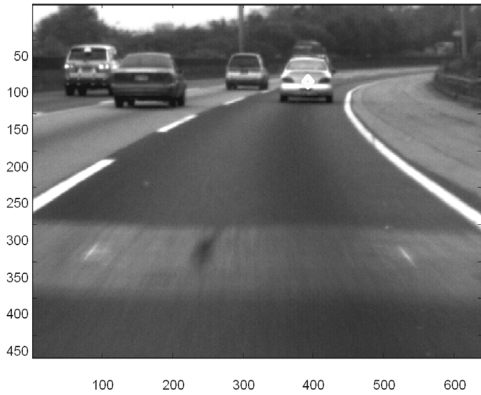


Fig. 10 Detected correspondence point of representation point in right image

러한 feature matching을 통하여 얻어진 대응 쌍은 왼쪽과 오른쪽 카메라 이미지의 30 frame 동안 NCC를 이용하여 tracking된다. 이후 다시 차선 정보를 이용한 ROI에서 feature extraction을 수행하며 위와 같은 과정을 반복하게 된다.

2.3 삼각법

앞에서 언급된 과정들을 이용하여 epipolar 구속 조건에 따르는 적합한 대응 쌍들을 분류했다. 그러나 대응점들이 존재하는 3차원 좌표는 아직 알 수 없다. 삼각법은 스테레오 대응점에 있어서 물체의 3차원 좌표를 찾아내는 기본적인 방법이다. 실제 모든 매칭되는 이미지 쌍들은 약간의 노이즈를 포함하고 있다. Fig. 11은 이러한 노이즈로 인한 영향을 보여주고 있다.

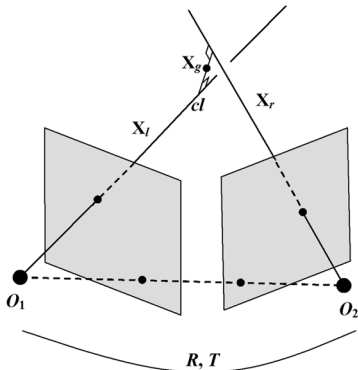


Fig. 11 Triangulation with a noisy corresponding pair

만약 이러한 대응점들이 이상적으로 측정되었다면 X_r 과 X_l 은 어딘가에서 만날 것이다. 그러나 만약 이러한 대응점이 어떤 에러와 같이 측정되었다면 X_r 과 X_l 은 어디에서도 만날 수가 없다. 이러한 경우 교차점은 간단하게 X_r 과 X_l 로부터의 최소 거리가 되는 점으로 추정한다. 이때, l 을 X_r 과 X_l 사이의 직교 벡터라 하며 기하학적 관계에 따르면 다음과 같다.

$$l = (X_l \times R_r^{-1} X_r) / \| X_l \times R_r^{-1} X_r \| \quad (4)$$

$$K_l^{-1} \begin{pmatrix} 1 \\ X_{gl} \\ y_{pl} \\ z_{pl} \end{pmatrix} + cl + R_r^{-1} K_r^{-1} \begin{pmatrix} 1 \\ X_{gr} \\ y_{pr} \\ z_{pr} \end{pmatrix} = -R_r T_r \quad (5)$$

1, X_r 과 X_l 사이의 기하학적 관계에 따라 식 (4), 식 (5)의 변수들 결정되면 대응쌍들의 3차원 좌표는 식 (6)를 통해 알 수 있다.

$$X_g = R_{gl}^{-1} \left[K_l^{-1} \begin{pmatrix} 1 \\ X_{gl} \\ y_{pl} \\ z_{pl} \end{pmatrix} + 0.5cl \right] + T_{gl} \quad (6)$$

식 (6)은 노이즈를 포함하는 대응점들 재구성하는 문제에 대한 가장 좋은 해답은 아닐지라도, 계산 량이 그다지 많이 필요하지 않는 단순화된 방법이다.

3. 차량 감지 실험

3.1 실험을 위한 하드웨어와 소프트웨어

두 개의 CCD 카메라는 평행하게 장착되고 초당 30프레임의 영상을 progressive scan 방식으로 이미지를 얻는다. 두 개의 CCD 카메라를 통해서 얻어진 이미지는 프레임 그레이버 (Matrox meteor II-MC)를 통해 PC의 메모리에 저장된다. 차량 감지 프로그램은 C++언어와 인텔 OpenCV 라이브러리를 이용하여 개발되었다.

3.2 차량 감지 및 추적 결과

장애물 또는 선행차량은 이미지에서 감지 및 추적되고 관측된 위치는 구형 좌표계로 표현된다. 구형 좌표계에서 차량으로부터 물체까지의 위치를 서술하는데 매우 유용하다. 구형좌표계의 r 은 차량으로부터 감지되어진 물체까지의 거리를 의미하고 θ 는 요 각도, ϕ 는 피치 각도를 의미한다.

측정된 값들은 센싱 과정에서 발생하는 노이즈를 포함하여 측정된 결과에 심한 진동형태로 나타나게 된다. 이는 차량 추적을 위한 ROI의 갱신을 어렵게 해 시스템 성능 저하의 원인이 된다. 따라서 측정된 값들은 칼만필터를 이용하여 측정된 정보에 포함되어 있는 차량의 위치정보와 센싱 과정에서 발생하게 되는 각종 노이즈 정보를 종합하여 장애물의 정확한 위치를 추정하게 된다. 칼만필터는 다음의 식 (7), (8)과 같이 각 단계마다 시간갱신과 측정갱신을 반복적으로 수행하여 상태를 추정하게 된다.

$$\begin{aligned}
 x(k+1|k) &= \Phi(k+1|k)x(k|k) + w(k) \\
 P(k+1|k) &= \Phi(k+1|k)P(k|k)\Phi^T(k+1|k) \\
 &\quad + Q(k)
 \end{aligned}
 \tag{7}$$

$$\begin{aligned}
 K(k+1) &= P(k+1|k)H^T \\
 &\quad [HP(k+1|k)H^T + R(k)]^{-1} \\
 x(k+1|k+1) &= x(k+1|k) \\
 &\quad + K(k+1)[z(k+1) - Hx(k+1|k)] \\
 P(k+1|k+1) &= [I - K(k+1)H] \\
 &\quad P(k+1|k)[I - K(k+1)H]^T \\
 &\quad + K(k+1)R_{k+1}K(k+1)^T
 \end{aligned}
 \tag{8}$$

일반 고속도로에서 수행된 장애물 감지 결과는 Fig. 12, 13, 14이며, 각각은 측정된 자차량과 전방차량 사이의 r, θ, ϕ 값이다.

4. 결론

본 연구에서 제안한 선행차량 감지 시스템은 feature extraction, feature matching and tracking의 과정으로 이루어진다. feature extraction의 경우 Canny filter를 이용하여 얻어진 edge를 erosion filter와 잡음 제거 과정을 통하여 차량영상의 edge 중 수평성분이 강한 edge들만을 추출하도록 한다. 이 과정에서 배경이 되는 부분들과 차량의 좌우 부분의 일부분이 제거 된다. 이후 왼쪽영상의 representation point의 epipolar line에서 NCC를 이용한 feature matching을 통하여 신뢰성있는 대응 쌍을 찾아내고 추적하였다. 이를 이용하여 선도 차량의 3차원 좌표 값을 추정할 수 있었으며 추정된 결과 값이 실제 값과 비교되지는 않았지만 신뢰할만한 영역 안에 있으며, 따라서 지능형 안전도 차량 개발에 적합한 기술이라 생각된다.

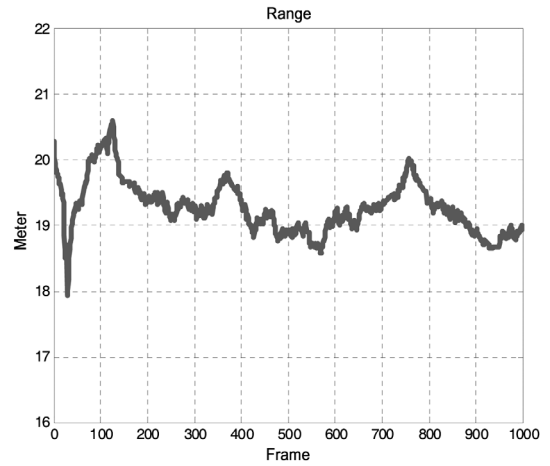


Fig. 12 Calculated distance from vision image

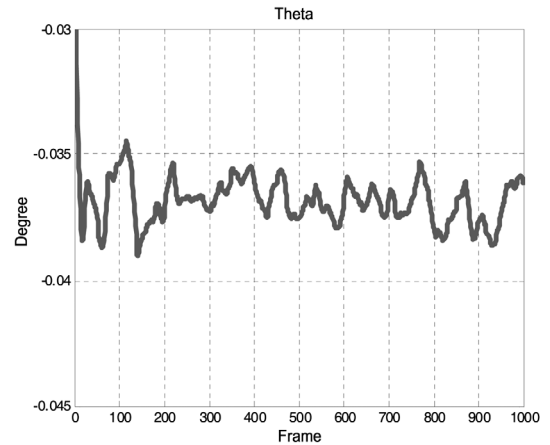


Fig. 13 Calculated θ from vision image

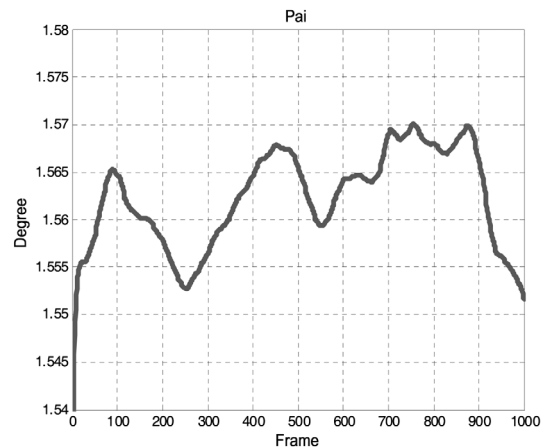


Fig. 14 Calculated ϕ from vision image

References

- 1) S. Eigo, S. Morito, S. Shigeru, H. Norio, T. Tomonobu and T. Masatoshi, "Preceding Vehicle Detection using Stereo Images and Non-scanning Millimeter-wave Radar," IEICE-Trans. Inf. Syst. 2006, E89-D(7), pp.2101-2108, 2006.
- 2) S. Manabu, S. Tetsuo, M. Ikuhiro and E. Hiroshi, "Design Method for an Automotive Laser Radar System and Future Prospects for Laser Radar," Proceedings of the Intelligent Vehicles '92 Symposium, pp.120-125, 1992.
- 3) J. Blossévill, C. Krafft, F. Lenoir, V. Motyka and S. Beucher, "TITAN: New Traffic Measurements by Image Processing," IFAC Transportation Systems, 1994.
- 4) Y. Park, "Shape-resolving Local Thresholding for Object Detection," Pattern Recognition Letters, Vol.22, pp.883-90, 2001.
- 5) M. Bertozzi and A. Broggi, "GOLD: A Parallel Real-time Stereo Vision System for Generic Obstacle and Lane Detection," IEEE Trans. Image Process, Vol.7, pp.62-81, 1998.
- 6) M. Xie, L. Trasoudaine, J. Alizon and J. Gallica, "Road Obstacle Detection and Tracking by an Active and Intelligence Sensing Strategy, Machine Vision Application, Vol.7, pp.165-177, 1994.
- 7) H. Moon, R. Chellapa and A. Rosenfeld, "Perform Analysis of a Simple Vehicle Detection Algorithm," Image and Vision Computing, pp.1-13, 2002.
- 8) L. Xin, Y. XiaoCao, L. M. Yi, K. Robert and G. Grant, "A Real-time Vehicle Detection and Tracking System in Outdoor Traffic Scenes," Proceeding of the 17th International Conference on Pattern Recognition, pp.761-764, 2004.
- 9) Y. Ma, S. Soatto, J. Kosecka and S. Sastry, An Invitation to 3-D Vision, Springer, Germany, 2003.
- 10) R. C. Gonzalez and R. E. Woods, Digital Image Processing, Prentice Hall, New Jersey, 2002.
- 11) K. Huh and Y. Park, "Development of a Robust Lane Sensing System using Vision Sensors," Proc. of AVEC, pp.769-774, 2002.