

---

# 영상처리 방법을 이용한 T-Bar의 볼트와 너트 유무 판별

주기세\* · 김은석

Discrimination of Bolt and Nut's Presence in a T-Bar Using Image Processing Method

Ki See Joo\* · Eun Seok Kim

## 요 약

본 논문에서는 영상 처리를 이용하여 차체의 진동에 영향을 미치는 자동차 T-Bar부품에서의 볼트와 너트의 존재 유무를 판별하는 알고리즘이 소개된다. T-Bar의 볼트와 너트 존재 유무를 판별하기 위하여 볼트와 너트의 특징치들이 학습되고 통계적 패턴매칭 방법을 이용하여 학습된 특징치들이 매칭된다. 또한 영상마다 볼트와 너트들의 화소값이 크게 변화하여 매칭율이 낮아지기 때문에 화소값의 최대와 최소 변화율이 이용된다. 본 논문에서 제안한 방법은 기존의 방법들에 비해 검사시간을 대폭 축소시켜 실시간이 요구되는 검사 자동화 분야에 아주 효율적이다.

## ABSTRACT

In this paper, the algorithm discriminating the existence and nonexistence of bolts and nuts using image processing in an automobile T-Bar influencing the vibration of a frame, is introduced. To distinct whether bolts and nuts exist or not, the features of bolts and nuts are learned, and then these feature values are matched using a statistical pattern matching algorithm. Furthermore, the minimum and maximum variation rate of pixel values are used since the matching rate is low with the large variation of pixel values of bolts and nuts in each image. The proposed method in this paper is very efficient in the automation of inspection requiring real time since the inspection time is significantly reduced compared with the conventional methods.

## 키워드

T-Bar, 패턴매칭, 스네이크, 화소값 변화율

## I. 서 론

소비자의 다양한 욕구를 충족시키기 위한 품질 개선의 노력은 전 산업 분야에 걸쳐 진행되고 있으며, 이를 위한 분석 도구의 사용, 작업자 교육, 생산라인의 자동화 등 다양한 방법들이 시도되고 있다.

자동차 산업에서도 품질 경쟁력을 높이기 위해서 정보기술과 접목시켜 자동차 용접상태를 검사하는 로봇과 볼트 조임 강도 자동 측정 로봇 등을 활용하여 작업자의 실수나 불균일한 작업을 보정하여 균일한 안정된 품질 확보가 가능해졌다. 또한 각 공정의 품질을 자동 기록하여 품질불량 원인을 공정, 설비, 작업자별로 자동 기록 측정할 수 있는 정보시스템 활용도 품질 향상에 크게 기여하고 있다. 그러나 자동차 부품을 생산하는 하청업체들은 경제적인 문제 때문에 수작업으로 품질 검사를 하는 경우가 많다. 자동차의 T-Bar를 생산하는 업체도 볼트와 너트의 유무를 검사하는 공정이 수작업으로 진행되고 있어 검사자의 오판으로 인한 볼트와 너트의 유실이 발생하고 있다. T-Bar에서 볼트와 너트의 유실은 자동차의 잠재적인 불량 유발 요소로서 소음 및 진동의 원인이 되며, 수리하기가 어려울 뿐만 아니라 구조적으로 불가능하다. 이러한 불량 요인을 없애기 위해서, T-Bar의 볼트와 너트 유무를 검사하는 공정을 자동화함으로써 작업 공정의 단순화를 통한 인원 효율화, 통계적 관리 기법에 의한 균일 품질 보증, 불량 유형 및 경향 판단 등 생산 라인 효율화 측면의 효과를 달성할 수 있다.

본 연구에서는 로봇 팔에 검사용 카메라를 부착하여 T-Bar의 볼트와 너트가 위치한 곳을 위치 지정 방식으로 로봇 팔이 이동하여 이미지를 획득하고 영상처리 방법을 사용하여 볼트와 너트의 유무를 판단하는데 목적이 있다. T-Bar에 있는 볼트와 너트의 유무를 검사하는데 있어서 검사시간과 정확성이 중요한 역할을 한다. 본 연구에서는 검사시간을 빠르게 하기 위해서, 두 단계에 걸쳐서 영상을 정합한다. 먼저, 볼트와 너트의 참조영상을 5×5영역으로 나누어서 각각의 영역에서 특징값들을 참조영상과 정합해서 빠르게 볼트와 너트의 유사한 위치를 찾아간다. 그 다음, 유사한 위치에서 정확한 위치를 찾아가기 위해서 유사한 위치를 중심으로 주위 영역들을 정합한다. 이때 특징값들은 10×10영역으로 나누어진 각각의 영역에서 추출된다. 검사의 정확성을 높이기 위

한 방법으로는 조명의 변화를 고려한 화소값의 최대, 최소 변화율을 사용한다. 그리고 너트의 경우 가끔씩 너트와 유사한 구멍이 찾아질 경우가 있기 때문에 스네이크 방법을 사용하여 너트의 윤곽을 검출해서 너트의 유무를 판별하였다.

## II. 시스템 구성

T-Bar에 존재하는 볼트와 너트의 위치로 로봇 팔이 이동하면 카메라가 그 위치의 영역을 획득하게 된다. 그리고 획득한 영상에서 검사 알고리즘을 적용하여 볼트와 너트의 유무를 판별한다. 그림 1은 T-Bar의 볼트와 너트 유무 판별을 위한 시스템 구성도이다. 로봇 팔, 셋업박스, 검사 PC, 카메라로 구성되어 있다. 셋업박스는 로봇 팔을 제어하고 로봇 팔에 카메라가 부착되어 있어 볼트와 너트 영상을 얻을 수 있다.

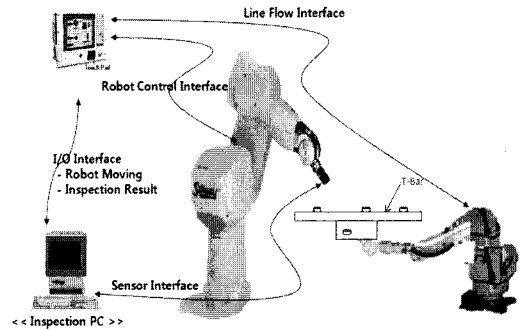


그림 1. 시스템 구성도  
Fig. 1 System structure.

## III. 볼트와 너트 검사 알고리즘

### 3.1 영상 정합 알고리즘

볼트와 너트의 유무를 검사하기 위해서 볼트와 너트의 관심 영역을 참조영상으로 분류하고 검사영상에 참조영상을 대조해서 유사성이 가장 큰 부분을 찾는다.

영상을 정합하는데 있어서 문제점은 검사 영상의 크기가 커서 참조영상과 1:1 정합을 하는데 검사 시간이 오래 걸리고, 영상에 잡음이 있거나 흐릿하면 판별에

어려움이 있다. 이와같은 문제점을 해결하기 위해서 참조영상의 화소값의 최대와 최소 변화율에 대한 특징점을 찾아 검사영상과 정합한다. 정합 알고리즘은 다음과 같다.

먼저, 참조영상에서 2가지의 특징값을 추출한다. 첫 번째 특징값은 정합의 속도를 빠르게 하여 대략적인 위치를 찾기위해서 사용되며, 방법은 참조영상을 5×5영역으로 나누고 각각의 영역에서 최대화소값 위치와 최소화소값 위치를 찾고 두 위치의 화소값 차를 구한다. 두 번째 특징값은 대략적인 위치에서 정확한 위치를 찾기 위해서 사용된다. 찾는 방법은 참조영상을 10×10영역으로 나누고 각각의 영역에서 4이웃 화소값의 차의 합이 가장 큰 부분을 찾는다.

다음으로, 그림 2처럼 참조영상에서 찾은 25개의 최대/최소화소값을 갖는 위치를 검사영상에 정합시켜 그 위치에서의 최대화소값을 갖는 위치에서 최소화소값을 갖는 위치의 화소값을 뺀 값을 구한다. 참조영상의 특징값과 검사영상에서 구한 값을 식 1의 MAD(Mean Absolute Difference)방법을 사용하여 정합한 후 최소값을 갖는 후보지 5개를 찾는다. 여기서 참조영상의 최대/최소화소값을 갖는 위치만을 정합하므로 50개의 특징값만 정합하면 된다. 그러나 기존의 MAD방법은 참조영상 전체 픽셀을 정합해야하므로 시간이 오래 걸린다.

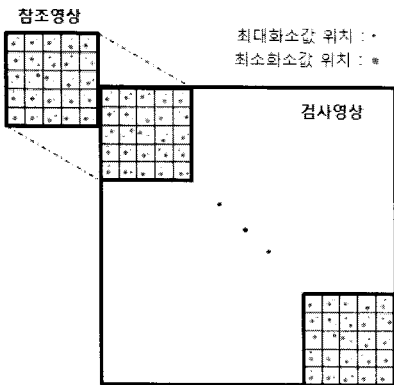


그림 2. 첫 번째 특징값으로 정합  
Fig. 2 Matching by the first features.

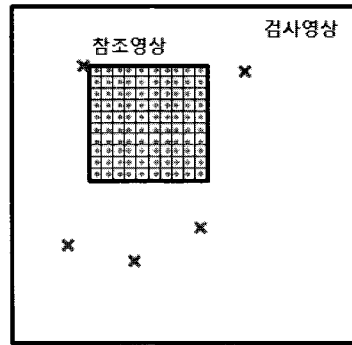
$$MAD = \frac{1}{M} \sum_{i=0}^M |(f_1(x_i, y_i) - T_1(x_i, y_i))| \quad (1)$$

여기서,  $M$ : 영역의 개수(25개)

$f_1(x_i, y_i)$ : 검사영상에서 최대화소값 위치와 최소화소값 위치의 화소값을 뺀 값

$T_1(x_i, y_i)$ : 참조영상에서 최대화소값 위치와 최소화소값 위치의 화소값을 뺀 값

5개의 후보지에서 정확한 위치를 찾아가기 위해서, 후보지 위치를 기준으로 8이웃에서 2번째 특징값을 검사영상과 식 2의 상관계수를 이용하여 정합하고 최대값을 갖는 위치를 찾는다. 그림 3은 두 번째 특징값으로 검사영상에 정합하는 과정을 나타낸다.



5개의 후보지 위치: x  
4이웃 화소값의 차의 합이 가장 큰 위치: #

그림 3. 두 번째 특징값으로 정합  
Fig. 3 Matching by the second features.

$$r = \frac{\sum_{i=0}^N (f_2(x_i, y_i) - \bar{f}_2)(T_2(x_i, y_i) - \bar{T}_2)}{\sqrt{\sum_{i=0}^N (f_2(x_i, y_i) - \bar{f}_2)^2 \sum_{i=0}^N (T_2(x_i, y_i) - \bar{T}_2)^2}} \quad (2)$$

여기서,  $N$ : 영역의 개수(100개)

$f_2(x_i, y_i)$ : 검사영상에서 두 번째 특징점에 해당하는 위치의 화소값

$T_2(x_i, y_i)$ : 참조영상에서 두 번째 특징점에 해당하는 위치의 화소값

$\bar{f}_2$ :  $f_2(x_i, y_i)$ 의 평균

$\bar{T}_2$ :  $T_2(x_i, y_i)$ 의 평균

### 3.2 너트판별 알고리즘

볼트의 경우, 정합 알고리즘으로 정확한 판별이 가능하지만 너트인 경우 너트와 유사한 구멍이 찾아지는 경우가 있다. 그래서 이를 구별하기 위해서 다음과 같은 방법을 사용하였다.

먼저, 가장 효과적으로 객체의 윤곽을 검출하기 위해서 스네이크 알고리즘을 이용하였다. 초기 스네이크 포인트는 그림 4처럼 8개로 초기화 하였다.

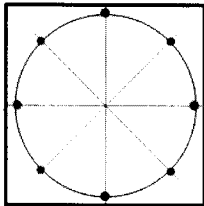


그림 4. 8개의 스네이크 포인트  
Fig. 4 8 snake points.

각각의 8개의 포인트로부터 에너지함수를 최소화하는 방향으로 움직이면서 객체의 윤곽을 찾아낸다. 스네이크 위치를 이동시키는 에너지 함수는 식 3과 같이 내부에너지( $E_{int}(v_i)$ )와 외부에너지( $E_{ext}(v_i)$ )로 구성되어 있다.

$$E_{snake}(v) = \sum_{i=0}^{m-1} (E_{int}(v_i) + E_{ext}(v_i)) \quad (3)$$

여기서,

$v_i = (x_i, y_i)$  : 스네이크 포인트( $i = 0, 1, \dots, m-1$ )

$m$  : 전체 스네이크 포인트 개수

$x_i, y_i$  :  $i$ 번째 스네이크 포인트의  $x, y$ 좌표

내부에너지는 1차미분과 2차미분의 합으로 이루어지며, 스네이크 포인트를 연결하는 곡선을 부드럽게 한다. 그리고 외부에너지는 영상의 에지정보를 사용하여 스네이크 포인트가 객체의 윤곽에 놓이게 한다. 매개변수  $\alpha, \beta, \gamma$ 의 가중치를 줘서 내부, 외부 에너지의 중요도를 결정한다.

$$E_{int}(v_i) = \alpha \|v_i - v_{i-1}\|^2 + \beta \|v_{i-1} - 2v_i + v_{i+1}\|^2 \quad (4)$$

$$E_{ext}(v_i) = -\gamma |\nabla f(v_i)|^2 \quad (5)$$

다음으로, 스네이크 알고리즘으로 찾은 윤곽점들로부터 객체의 무게중심을 식 (6)을 이용하여 구한다.

$$c(x, y) = \left( \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} x_i, \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} y_i \right) \quad (6)$$

여기서,  $x_i, y_i$  : 객체의 윤곽점 좌표

마지막으로, 무게중심에서 8방향으로 이웃 화소간에 밝기값의 유사성을 비교한다. 8방향 모두 유사성이 있으면 하나의 그룹이므로 구멍으로 분류되고, 너트인 경우는 대부분 두 개의 그룹으로 분류된다.

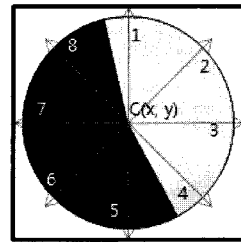


그림 1 : {1, 2, 3, 4}  
그림 2 : {5, 6, 7, 8}

그림 5. 8개의 검사 방향과 2개의 그룹  
Fig. 5 8 inspection directions and 2 groups.

## IV. 실험결과

본 연구에서 실험한 검사영상의 크기는 1374×1034, 볼트 참조영상은 80×110, 너트 참조영상은 118×113을 사용하였다. 그리고 영상처리 프로그램을 Windows XP에서 Visual Studio 2005로 개발하였다.

제안한 정합 알고리즘과 다른 정합 알고리즘(MAD (Mean Absolute Difference)[1], MSE(Mean Square Error)[2], NGC(Normalized Gray-Level Correlation)[3])의 성능을 실험하기 위해서, 원본 영상에 각각 인위적으로 잡음과 평활화 필터링을 적용하였다. 그림 6, 7은 볼트와 너트에 대한 평활화한 영상들과 잡음을 첨가한 영상들을 보여주고 있다.

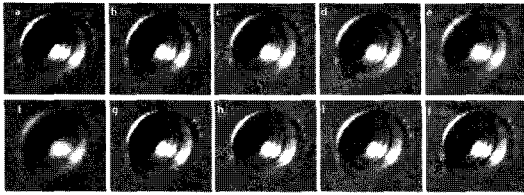


그림 6. 평활화 영상들과 잡음을 가미한 영상들(너트)  
Fig. 6 Smoothing Images and the images corrupted by noise.

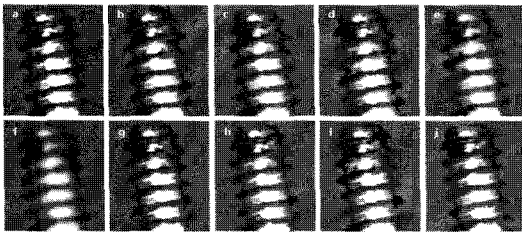


그림 7. 평활화 영상들과 잡음을 가미한 영상들(볼트)  
Fig. 7 Smoothing Images and the images corrupted by noise.

여기서, a는 원본 영상, b는 평균 필터링(Mean filtering)[4]을 적용한 영상, c는 중간 값 필터링(Median filtering)[5]을 적용한 영상, d, e, f는 가우시안 평활화 필터링(Gaussian filtering)[6][7]을 적용한 영상으로 표준편차를 각각  $\delta=0.5$ ,  $\delta=1.0$ ,  $\delta=2.0$ 로 하였다. 그리고 g와 h는 가우시안 잡음(Gaussian noise)을 적용한 영상으로 잡음 범위를 0.01, 0.02로 하였으며 i와 j는 균일잡음(Uniform noise)을 각각 확률 0.01, 0.02로 적용한 영상이다.

표 1. 각각의 방법들에 대한 정합율과 정합 시간  
Table. 1 Matching rate and matching time for each algorithm.

영상	제안한 방법	MAD	MSE	NGC
a	1.00	1.00	1.00	1.00
b	0.973	0.932	0.994	0.997
c	0.98	0.925	0.989	0.987
d	0.963	0.904	0.989	0.968
e	0.940	0.842	0.969	0.986
f	0.905	0.731	0.910	0.96
g	0.993	0.977	0.999	0.998
h	0.988	0.96	0.998	0.994
i	0.994	0.98	0.999	0.999
j	0.992	0.969	0.998	0.998
정합시간(sec)	0.607	307.42	160.71	200.05

표 1은 평활화와 잡음을 첨가한 영상들에 대해서 각각의 정합 알고리즘을 적용한 결과의 정합율과 정합시간을 나타낸다. 모든 방법들의 정합율이 매우 높았지만  $\delta=2.0$ 인 가우시안 평활화 필터를 적용한 영상(f)에 대해서는 정합율이 낮았다. 그리고 제안한 방법이 다른 방법들에 비해서 정합시간이 0.6074로 가장 적게 걸렸다.

그림 8은 각각의 방법들에 대해서 표준편차를 변화시켜가면서 가우시안 평활화 필터를 적용했을 때의 정합율 그래프이다. MSE, NGC, 제안한 방법들은 조금씩 정합율이 낮아졌지만 MAD방법은 표준편차가 0.3보다 커질 때 급격하게 정합율이 감소하였다.

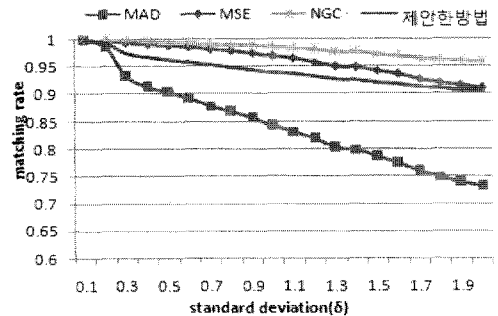


그림 8. 각각의 방법들에 대하여 표준편차 변화에 따른 정합율(가우시안 평활화 필터적용)  
Fig. 8 Matching rate with different standard deviation for each algorithm(Using gaussian smoothing filter).

그림 9와 10은 각각의 방법들에 대해서 잡음분포를 변화시켜가면서 가우시안 잡음과 균일 잡음을 첨가했을 때의 정합율 그래프를 나타내고 있다.

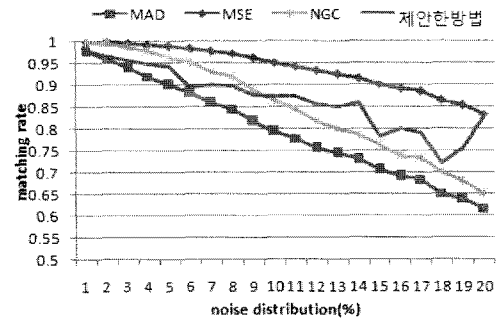


그림 9. 각각의 방법들에 대하여 잡음 분포 변화에 따른 정합율(가우시안 잡음 첨가)  
Fig. 9 Matching rate with different noise distribution for each algorithm(Adding gaussian noise).

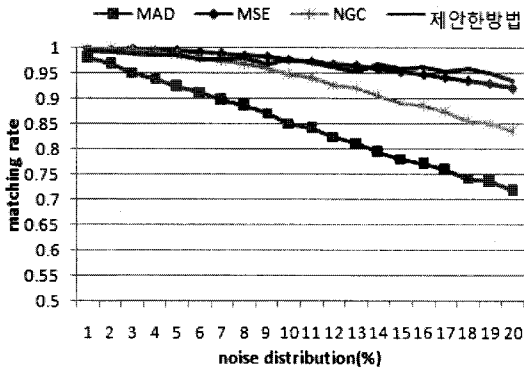


그림 10. 각각의 방법들에 대하여 잡음 분포 변화에 따른 정합율(균일 잡음 첨가)

Fig. 10 Matching rate with different noise distribution for each algorithm(Adding uniform noise).

그림 9를 보면 모든 방법들이 잡음 분포가 증가함에 따라 유사하게 감소하였다. 그러나 제안한 방법은 가우시안 잡음에 대해서 불규칙하게 변화하는 모습을 보였다. 그리고 그림 10의 균일 잡음에 대해서는 MAD방법만이 다른 방법들에 비해서 정합율이 급격하게 감소하였다.

정합 알고리즘으로 찾은 객체가 볼트인 경우 다른 객체와 구별이 확실하였지만 너트인 경우 구멍이 검출될 수도 있기 때문에 스네이크 방법을 사용하여 객체의 윤곽을 추출한 후, 찾은 윤곽선으로 객체의 무게중심을 찾았다. 그리고 무게중심을 기준으로 8방향 화소값의 유사성을 검사하였다.

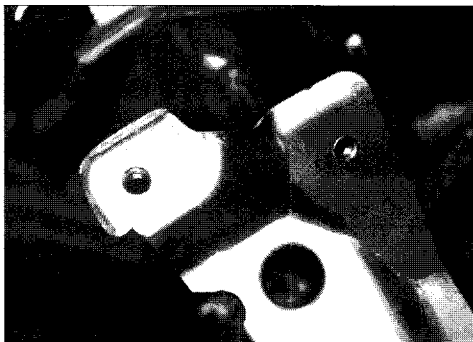


그림 11. 검사영상  
Fig. 11 Inspection image

그림 11은 너트 검사영상을 나타내고 있으며, 그림 12는 그림 11의 너트들을 스네이크 방법으로 찾은 윤곽선 영상을 보여주고 있다. 그림 12의 b에서 8방향의 화소값의 유사성을 검사하면 1, 7, 8방향이 유사하고 2, 3, 4, 5, 6 방향이 유사하다. 그리고 d의 경우는 3, 4, 5, 6방향이 유사하고 1, 2, 7, 8방향이 유사하다.

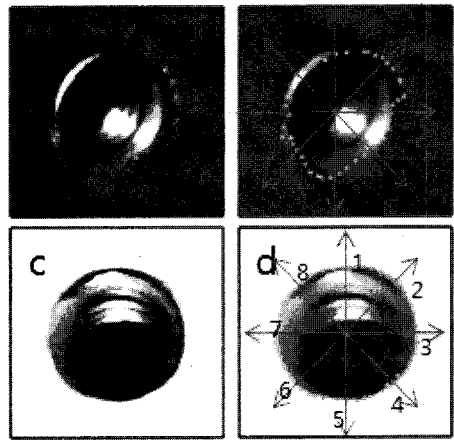


그림 12. 참조영상(a, c)과 스네이크 방법에 의한 에지검출(b, d)

Fig. 12 (a) and (c) Reference images. (b) and (d) Edge extraction by snake method.

## V. 결론

자동차 T-Bar 생산공정에서 T-Bar에 있는 볼트와 너트의 유실을 막아 잠재적 불량 유발 요인을 없애기 위해 선 볼트와 너트의 유무를 판별해야한다. 그래서 본 연구에서는 T-Bar에 존재하는 볼트와 너트의 유무 판별을 정합 알고리즘과 스네이크 방법을 사용하여 자동화하였다. 실험결과 제안한 방법과 다른 방법들의 정합 결과가 유사하였지만 제안한 방법이 다른 방법들에 비해서 매우 빠른 정합 속도를 보였다.

향후에는 다양한 제약조건에서 영상의 정합률을 높일 수 있는 방법을 연구할 계획이다.

참고문헌

- [1] Jun, Z., Jian, L., Fuyuan, P., "Precision Analysis of MAD Terrain Matching," Journal- Huazhong University of Science and Technology Chinese Edition, Vol.28 No.7, pp. 35 - 37. 2000.
- [2] Zheng, Z., Wang, H. and Teoh, K., "Analysis of gray level corner detection," Pattern Recognition Letters, Vol.20, pp. 149-162, 1999.
- [3] Bruenig, M., Niehsen, W., "Fast full-search block matching based on combined SAD and MSE measures," Proceedings- Spie The International Society for Optical Engineering, Vol.3653, pp. 439-449, 1998.
- [4] Saitoh, F., "Image Template Matching by Selecting Block Areas Based on Normalized Correlation Rates," Journal- Japan Society for Precision Engineering, Vol.67 No.8, pp. 1271-1275, 2001.
- [5] Schroeder J., Chitre, M., "Adaptive Mean/Median Filtering," Conference record, Vol.1, pp. 13-16, 1996.
- [6] B.I. Justusson, "Median filtering: Statistical properties," in Two-Dimensional Digital Signal Processing II, Vol. 43, pp. 161-196, 1981.
- [7] Russo, F., "A Method for Estimation and Filtering of Gaussian Noise in Images," IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference Proceedings, Vol. 52, pp. 1148-1154, 2002.

저자소개



주기세(Ki See Joo)

1982.3 - 1988.2 한양대학교 공과대학  
산업공학과 졸업(공학사)  
1990.8 - 1992.5 Texas A&M Univ.  
산업공학과 졸업(공학석사)  
1993.2 - 1996.2 고려대학교 공과대학 산업공학과 졸업  
(공학박사)  
1996.3 - 1997.2 대불대학교 공과대학 산업공학과 전임  
강사  
1997.3 - 현재 목포해양대학교 해상운송시스템학부 교수  
※관심분야: 3차원 영상처리, 물류자동화, 데이터베이스



김은석(Eun Seok Kim)

1999년 대불대학교 산업공학과  
(공학사).  
2001년 목포해양대학교(공학석사)  
2006년 아주대학교(공학박사)  
2004년~2005년 (주)이알하우스 연구원  
2005년 ~ 2007년 제노시스(주) 연구원  
※관심분야: 영상처리, 제어계측, 유비쿼터스