



영상분할법을 이용한 강판상의 부식 감지

김범수^a, 김연원^b, 양정현^{a*}

^a경상국립대학교 기계시스템공학과, ^b목포해양대학교 메카트로닉스공학부

Detection of corrosion on steel plate by using Image Segmentation Method

Beonsoo Kim^a, Yeonwon Kim^b, Jeonghyeon Yang^{a*}

^aDepartment of Mechanical System Engineering, Gyeongsang National University, Tongyeong, Gyeongnam, 53064, Korea

^bDivision of Marine Mechatronics, Mokpo National Maritime University, Mokpo, 58628, Korea

(Received 24 March, 2021 ; revised 27 April, 2021 ; accepted 27 April, 2021)

Abstract

The visual inspection method is widely used for corrosion damage analysis of steel plate due to the cost-efficient, fast and reasonably accurate results. However, visual inspection of corrosion deteriorated degree has a problem that the reliability of results differs depending on the inspector's individual knowledge and experience. In this study, we evaluated the degree of corrosion from a given image by using image segmentation method based on the grabcut and HSV(Hue, Saturation, Value) color image processing techniques for the development of an automatic inspection tool. The code written in Python based OpenCV-python libraries was used to categorize the images.

Keywords : Image Segmentation, Corrosion, Grabcut, HSV color

1. 서 론

철강재는 대량 생산이 가능하며 경제성이 뛰어나고 기계적 성질도 우수하여 다양한 산업 분야에서 널리 사용되고 있다. 그러나 철강재는 부식 환경에 취약하기 때문에 그 용도에 따라 다양한 내식성을 부여하기 위하여 코팅 및 표면처리를 하고 있다 [1-3].

일반적으로 철강재의 내식성 평가에 대해서는 실제 사용할 환경에 폭로하여 비교 시험 하는 것이 가장 확실하고 신뢰도가 높은 방법이다. 그러나 이러한 방법은 경우에 따라 수년에서 수십년에 이르는 장시간이 소요된다. 그러므로 이 방법들을 대체하기 위한 각종 가속 시험 방법들이 널리 적용되고 있으며, 그 목적이나 용도에 따라 염수분무시험(SST, Salt spray test), 침지 시험(Immersion test) 및 전기화학적 분석시험(Electrochemical polarization analysis) 등 부식 시험을 진행하고 있다[1-3]. 특히, 전기화학적 분석법은 정량적 결과를 바탕으로 내식성 평가에 많이 이용되고 있지만, 국소부위의 평가라는 이유로 넓은 면적

*Corresponding Author: Jeonghyeon Yang
Department of Mechanical System Engineering,
Gyeongsang National University
Tel: +82-55-772-9107; Fax: +82-55-772-9109
E-mail: jh.yagi@gnu.ac.kr

을 대변하기 어렵고 장기간 평가에 대한 정확성이 떨어지는 단점이 있다[4,5].

염수분무시험과 복합부식시험 (CCT, Corrosion cycle test)의 경우, 대면적 평가가 가능한 부식가속 시험 방법으로 널리 이용되고 있으며, 시험결과 판정에는 무게 감량 및 부식 면적에 따른 레이팅넘버법에 의한 방법을 사용하고 있다. 그러나 부식면적에 따른 레이팅넘버법은 육안관찰 및 방한지에 스케치하여 총면적에 대한 부식면적비로 구하는 방법을 사용하고 있으며, 부식에 관한 지식이나 경험에 따라 판정 결과에 오차가 발생하고 있어 객관적, 정량적 평가를 수행하는 것이 곤란한 상황이다[6-8].

최근에는 영상처리기술을 이미지 분석에 적용하여 소재 표면을 분석하는 방법이 널리 이용되고 있다. 영상처리기술은 비파괴 분석 방법으로 빠르고 정확한 데이터 값을 제공할 뿐만 아니라, 사물의 라인 감지와 같은 형태학적 구분, 색상 분석 및 이미지 분할 기술을 적용이 가능한 장점을 가지고 있다.

본 연구에서는 강판상에 형성된 부식 이미지 분석을 위하여 grabcut 및 HSV 방법을 이용하여 강판 표면의 부식 비율을 확인하고자 한다. 영상 분할 기법중 하나인 grabcut[9]은 입력 영상에서 사용자가 추출하고자 하는 객체 외곽에 사각형을 지정하여 Gaussian mixture model (GMM)을 추정한 후에 반복적으로 그래프 컷(Graph cut) 알고리즘[10]을 수행한다. GMM 분포를 나타내는 파라미터와 영상 픽셀 값으로 구성된 에너지 함수를 최소화하여 사각형 내의 객체인 전경(foreground)과 사각형 밖 영역인 배경(background)을 분리해 주는 알고리즘이다. 그래프 컷 알고리즘은 Magic Wand[11], Bayes Mate[12] 등에 비해서 사용자와의 상호 작용(user interaction)이 단순하고 최소한 국부 최적화를 보장하고 있다. 또한, 영상처리에서 가장 쉽게 접하는 RGB 공간은 Red, Green, Blue 인 빛의 3 원색 조합으로 표현되지만, 각 채널별로 영상처리할 때 색상의 왜곡이 생길 수 있다. 반면 색상(Hue), 채도(Saturation), 밝기(Value)로 구성된 HSV의 컬러 공간은 특정 색상에 대한 처리가 상대적으로 뛰어나다. 일반적으로 부식 형태는 매우 불규칙하고 부식 영역이 붉은색 계통의 색상을 띠므로 본 연구에서는 색상에 초점을 두고 주어진 시험편의 부식영역 검출과 부식비율을 분석하였다.

2. 접근방법

2.1 영상 분할

시험편(test specimen)의 부식을 분석하기 위해서는 입력 영상에서 시험편 분할(segmentation)을 선행하였다. 다양한 형태의 시험편을 주어진 입력 영상에서 간편하고 정확하게 분할하기 위해서 영상 분할기법을 사용하였다. 입력 이미지로부터 분할 할려는 시험편을 사용자가 시험편 외곽에 사각형을 지정하는 사용자와의 상호 작용 없이 grabcut 방법을 이용하여 입력 이미지의 최외각에서 일정 오프셋을 뺀 사각형을 설정하여 시험편을 자동 추출하는 방법을 이용하여 부식 이미지 영상분석을 실시하였다. 그림 1에는 grabcut 방법을 이용하여 사용자가 추출하고자 하는 객체(전경, foreground) 주위에 사각형을 그려주어 사각형 외부는 배경 픽셀 집합(background, T_B)이라 지정하고, 사각형 내부는 객체 픽셀 집합(T_F)과 미지정된 픽셀 집합(T_U)이 섞여 있는 영역으로서 사각형 내부에서 객체를 분할하는 과정을 수행하였다.

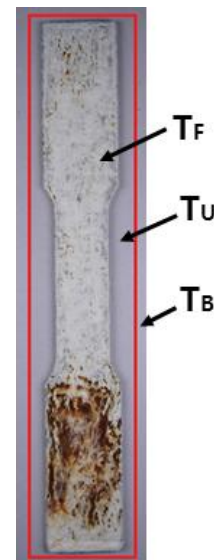


Fig. 1 User interaction and trimap at grabcut method. (T_F : Detection area, T_U : Undetection area, T_B : background area)

입력 영상은 컬러 값을 갖는 배열 $z = [z_1, z_2, \dots, z_N]$ 로 정의되며, 분할은 배열 $\alpha = [\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_N]$ 에 저장된다, 여기서 N 은 전체 픽셀수이며, z_i 는 i 번째 픽셀의 컬러 값이고, $\alpha_i \in \{0, 1\}$ 는 i 번째 픽셀의 분할 정보로서 0이면 배경에 해당하고, 1이면 전경이라 정의한다. 입력 영상에서 객체와 배경 영역의

분포를 표현하기 위해서 배경과 객체에 대한 가우시안 혼합 분포를 정의하기 위해서 각 픽셀에 대한 GMM 을 계산하기 위해서 $\mathbf{k} = [k_1, k_2, \dots, k_N]$ 을 정의한다. 여기서 $k_i \in \{1, 2, \dots, K\}$ 이고 전형적으로 $K = 5$ 이다. 그리고 객체와 배경의 GMM 분포는 식 (1) 과 같이 정의한다.

$$\theta = \{\pi(\alpha, k), \mu(\alpha, k), \Sigma(\alpha, k)\} \quad (1)$$

여기서 π 는 가중치(weight), μ 는 평균, 그리고 Σ 는 공분산이다.

분할을 위한 에너지 함수를 다음과 식 (2)와 같이 정의한다.

$$E(\alpha, \mathbf{k}, \theta, \mathbf{z}) = U(\alpha, \mathbf{k}, \theta, \mathbf{z}) + V(\alpha, \mathbf{z}) \quad (2)$$

에너지 함수에서 U 는 영역 특성을 나타내는 데이터 향으로서 식 (3) 과 같이 정의된다.

$$U(\alpha, \mathbf{k}, \theta, \mathbf{z}) = \sum_{n=1}^N D(\alpha_n, k_n, \theta, z_n) \quad (3)$$

여기서, $D(\alpha_n, k_n, \theta, z_n) = -\log p(z_n | \alpha_n, k_n, \theta) - \log \pi(\alpha_n, k_n)$, $p(\cdot)$ 은 가우시안 분포 확률 함수이고 $\pi(\cdot)$ 는 혼합 가중 계수이다. 식 (2)의 $V(\alpha, \mathbf{z})$ 는 윤곽선 특성에 해당하는 향으로써 다음과 같이 컬러 공간에서 유클리드 놈(Norm)을 사용하여 정의된다.

$$V(\alpha, \mathbf{z}) = \gamma \sum_{(m,n) \in \mathcal{C}} [\alpha_m \neq \alpha_n] e^{-\beta \|z_m - z_n\|^2} \quad (4)$$

여기서 \mathcal{C} 는 영상내 모든 이웃 픽셀 쌍들의 집합, γ 는 윤곽선 가중치, $\beta = (2E[z_m - z_n]^2)^{-1}$ 이고 $E[\cdot]$ 은 기대 값이다.

따라서 식 (2)에 정의된 에너지 함수를 최소화하는 α^* 는 다음과 같이 전역 최소값을 찾는 문제로 귀결된다.

$$\alpha^* = \arg \min_{\alpha} E(\alpha, \mathbf{k}, \theta, \mathbf{z}) \quad (5)$$

여기서 구해진 α^* 는 영상 분할을 의미한다. 따라서 grabcut은 사용자가 설정한 사각형을 기

준으로 T_F, T_U, T_B 영역으로 분리한 후

step 1. T_U 영역의 모든 화소 n 에 대해서 $k_n = \arg \min_{k_n} D_n(\alpha_n, k_n, \theta, z_n)$ 을 구한다.

step 2. 영상 데이터 \mathbf{z} 로 부터 GMM 파라미터를 갱신한다.

$$\theta = \arg \min_{\theta} U(\alpha, \mathbf{k}, \theta, \mathbf{z})$$

step 3. 식 (5)로 부터 영상 분할 α^* 를 구한다.

step 4. 에너지 함수가 수렴할 때 까지 step 1~3 단계를 반복한다.

2.2 부식 영상 분석 방법

HSV 모델에서 색상의 범위는 0~179, 채도는 0~255, 밝기는 0~255로 주어진다. 그런데 붉은색은 색상에서 대략 0~20 과 160~179 인 두 개의 밴드에 걸쳐 불연속적으로 분포한다. 따라서 주어진 시험편에서 두 개의 마스크(mask)를 사용하여 붉은색 계통의 픽셀을 검출하였으며, 마스크를 통해 검출된 영역은 그레이 색상으로 변환후 0 (검은색)이 아닌 픽셀 수를 합하여 부식 면적을 계산하였다.

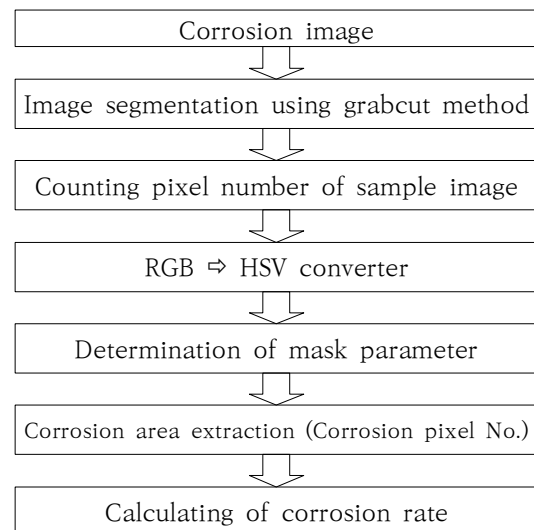


Fig. 2 Flow chart of corrosion image analysis.

그림 2는 부식 영역 분석 알고리즘 흐름도를 나타낸다. 일반적으로 영상 데이터 처리는 직사각형 이미지를 행렬로 매칭하여 가로 및 세로 픽셀수를

전체 이미지의 픽셀수로 보고 여러 가지 분석을 하고 있으나, 본 연구에서는 다양한 형태를 갖는 시험편에서의 부식 영역 비율을 분석하기 위해서, 입력 영상 이미지에서 시험편만을 배경에서 분리하기 위해 grabcut 알고리즘을 이용하였다. Grabcut은 사용자가 추출하고자 하는 전경이 있는 부분이 포함된 직사각형을 그려주어 알고리즘에서는 직사각형 밖이 배경이고 직사각형 내부에 추출하고자 하는 전경이 있다고 가정하고 전경을 추출한다. 본 연구에 사용된 영상은 시험편만이 있는 이미지므로 사용자와의 상호 작용없이 입력영상의 크기보다 상하좌우로 오프셋(10 픽셀) 만큼 작은 사각형을 프로그램 내부적으로 지정하여 시험편을 자동적으로 추출하였다. 따라서 grabcut 처리된 영상에서 전경과 배경이 구분되므로 배경을 특정 색상으로 치환한 후 전체 픽셀수에서 치환된 픽셀의 색상을 빼서 시험편의 픽셀수를 구한 후, grabcut으로 구해진 전경(시험편)에서 부식영역을 검출하기 위해서 RGB 인 영상을 색상, 채도 및 밝기를 잘 표현하는 HSV 모델로 변환하였다. 일반적으로 부식은 붉은색 계통을 띄므로 HSV로 변환된 영상에서 붉은색의 최소 및 최대 경계값을 설정하여 만든 마스크를 시험편에 적용하여 부식영역을 구하였다. 따라서 주어진 시험편에서 부식 영역은 마스킹하여 구해진 부식영역 픽셀수와 시험편의 전체의 픽셀 수의 비로 구하였다. 주어진 시험편에서 적녹의 분포 비율을 계산하기 위한 영상 처리과정에서 본 연구에서는 HSV 색 공간을 사용하였다. 일반적으로 RGB 보다는 HSV 모델이 색상(Hue)을 잘 표현하고 있다. 따라서 적녹 이외의 색상을 가진 녹현상은 해당 색에 대응되는 Hue 범위를 정한 후 시험편으로 부터 해당 색상만을 추출할 수 있다. 본 연구를 위해 개발한 프로그램은 사용자가 색상과 채도(Saturation) 및 명도(value)를 자유롭게 설정할 수 있으므로 적녹 이외의 녹현상 분포도 본 연구에서 제시한 방법과 동일하게 추출하고자 하는 해당 색상 범위를 설정하여 계산할 수 있다.

3. 테스트 예

부식 영역 분석에는 파이썬(Python)과 OpenCV-python 프로그램을 이용하였다. Python은 인터프리터 언어이지만, Python-OpenCV 는 C++로 코딩된 라이브러리를 python용 API(Application

Program Interface)로 제공한 것으로 처리속도가 C++와 같이 컴파일드 언어로 작성된 프로그램만큼 빠르게 작동이 가능한 장점이 있다.

그림 3은 python 프로그램을 이용하여 부식 시험편의 영상분할 처리 이미지 결과를 나타내고 있다. 그림 3(a)는 부식샘플 이미지이며, 그림 3(b)와 (c)는 이미지 분할 후 백그라운드와 영상분할 이미지를 나타내고 있다. 인장시험편과 같이 다양한 형상의 시험편에 대해서도 시험편의 형상과 배경을 잘 구분하고 있으며, 분할된 이미지에서 부식 영역 또한 잘 검출하고 있는 것을 확인할 수 있었다.

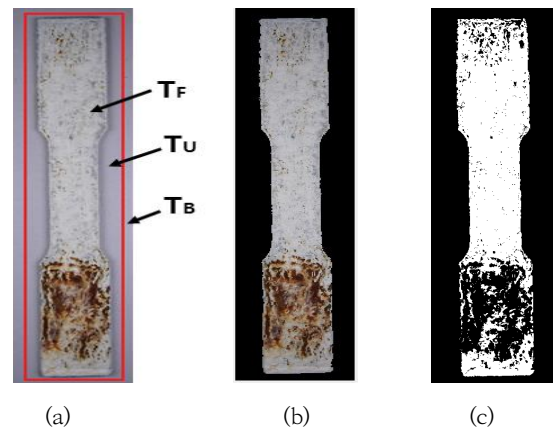


Fig. 3 (a) Original image of corrosion sample (b) Image segmentation after grabcut (c) Rust pixel image after image processing.

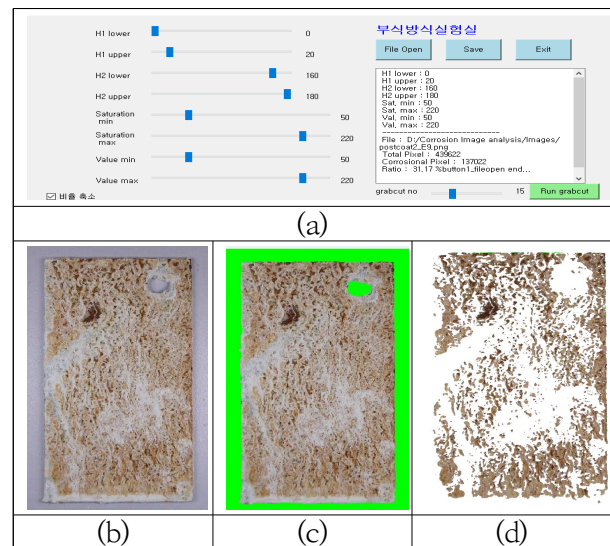


Fig. 4 Corrosion image analysis by using Python program : (a) Evaluation condition (b) Corrosion specimen after SST, (c) Image segmentation after grabcut, and (d) Detection of corrosion on sample using automated image processing.

그림 4는 KS9502 규격에 따라 SST 평가 후 용융 아연후도금 강판의 영상 이미지 분석결과를 나타내고 있다. 그림 4(a)는 입력 영상 데이터를 표시하며,

프로그램에서 슬라이드 바 위젯은 붉은색 영역(시험편의 부식영역) 필터의 상하한 값 설정, 밝기 상하한 값 설정, 채도 상하한 값 설정 및 grabcut의 최대 반복 횟수를 지정하였다. 그림 4(b) ~ (d)는 grabcut으로 분할한 시험편과 배경, 그리고 붉은 녹색 영역을 분할 한 것을 나타내고 있으며, 시험편과 배경 그리고 붉은녹 영역이 잘 분할 되는 것을 확인할 수 있었다. 부식 면적율은 전체 픽셀수 439,622 중 부식 영역 픽셀수 137,022으로 31.17%의 부식 면적을 나타내는 것을 확인할 수 있었다.

Table 1 Comparison data of Rating No. of KS9502 and image analysis.


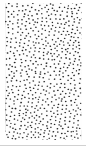
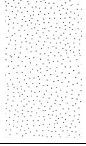


Rating No.	Image	pixel	Black	Ratio (%)	RN_log	RN
1		493000	201955	40.96	1.16	1
3		492000	39233	7.97	3.29	3
5		481000	10061	2.09	5.04	5
7		496000	1546	0.31	7.52	7
9		489000	489	0.1	9	9

표 1에는 KS9502에 표기된 SST에 의한 시험편 표면의 부식정도에 따른 Rating No.에 대한 값으로 프로그램을 이용한 부식 분석 이미지와의 비교한 결과이다. Rating No.는 CASS(Copper Accelerated Acetic Acid Salt Spray) 시험 등에서 부식면적과 유효면적간의 부식정도를 나타내는 판정의 비율로 1 ~ 10으로 구분하여 나타낸 것으로, Rating No.와 부식 면적률(A)과의 관계는 식 (6)과 같다

$$RN = 3(2 - \log_{10}A) \quad (6)$$

Rating No. 표준도에 나타낸 RN값과 영상 이

미지 분석에 의한 RN값을 rating No. 1 ~ 9에 대해 비교 결과, 표준값과 영상이미지 분석값이 잘 매칭되는 것을 확인할 수 있었다.

4. 결 론

본 연구는 영상처리기술을 이용하여 강판 표면에 형성된 부식 이미지에 대한 배경과 소재의 분할 그리고 분할된 이미지로부터 부식면적을 분석을 한 논문이다. Grabcut 및 HSV 방법을 이용하여 강판소재의 형상에 상관없이 효과적으로 이미지 검출이 가능한 것을 확인할 수 있었으며, grabcut한 이미지로부터 부식 비율을 자동으로 선정 및 계산이 가능한 것으로부터 소재의 부식 정도를 객관적, 정량적으로 판단할 수 있을 것으로 사료된다.

후 기

이 연구는 2017년 한국연구재단 생애 첫 연구사업 연구비(2017R1C1B5016191)에 의하여 수행되었으며, 이에 감사를 드립니다.

References

- [1] Beomsoo Kim, Jaesung Kwon, Yeonwon Kim, Myeonghoon Lee, and Jeonghyeon Yang, Formation of Calcareous Deposit on Steel Plate by using Waste Oyster Shell, J. Korean Inst. Surf. Eng., 50 (2017) 531-535.
- [2] Suk-Jong Yoo and Yun-Ha Yoo, Study on Corrosion Behaviors of Automotive Steels Under Various Accelerated Corrosion Tests, Transactions of KSAE, 26 (2018) 221-228.
- [3] Jae-Won Lee, Se-Young Oh, Bora Park, Min-Suk Oh, and Sung-Jin Kim, Corrosion Behaviors of the Eutectic Structure in Zn-Al-Mg Alloy Coated Steel in Chloride Containing Aqueous Environment, Korean J. Met. Mater. 58 (2020) 610-616.
- [4] A. Gallegos-Melgar, Sergio A. Serna, I. Lázaro, E.-J. Gutiérrez-Castañeda, V. H. Mercado-Lemus, H. Arcos-Gutierrez, M. Hernández-Hernández, J. Porcayo-Calderón, Jan Mayen, and M. Del Angel Monroy, Potentiodynamic

- Polarization Performance of a Novel Composite Coating System of Al₂O₃/Chitosan-Sodium Alginate, Applied on an Aluminum AA6063 Alloy for Protection in a Chloride Ions Environment, *Coatings*, 10 (2020) 45.
- [5] Jakub Tkacz, Jozef Minda, Stanislava Fintová, and Jaromír Wasserbauer, Comparison of Electrochemical Methods for the Evaluation of Cast AZ91 Magnesium Alloy, *Materials*, 9 (2016) 925.
- [6] Bo Liu, Tae-Kyu Lee, and Kuo-Chuan Liu, Impact of 5% NaCl Salt Spray Pretreatment on the Long-Term Reliability of Wafer-Level Packages with Sn-Pb and SnAg-Cu Solder Interconnects, *Journal of ELECTRONIC MATERIALS*, 40 (2011), 2111-2118.
- [7] Hyuntaeck Lim, Pilkyu Kim, Hoemin Jeong, and Sungho Jeong, Enhancement of abrasion and corrosion resistance of duplex stainless steel by laser shock peening, *Journal of Materials Processing Technology*, 212 (2012) 1347-1354.
- [8] Junhyuk Son, Dong-Yurl Yu, Yong-Ho Ko, and Junghwan Bang, A Study on the Electrochemical Corrosion Property of Sn-xSb Solder Alloy, *Journal of Welding and Joining*, 36 (2018) 78-82.
- [9] Carsten Rother, Vladimir Kolmogorov, and Andrew Blake. "GrabCut"-interactive foreground extraction using iterated graph cuts, *ACM transactions on graphics (TOG)* 23 (2004): 309-314.
- [10] Yuri Y. Boykov, Marie-Pierre JOLLY, Interactive graph cuts for optimal boundary & region segmentation of objects in ND images, *Proceedings Eighth IEEE International Conference on Computer Vision. ICCV 2001. IEEE (2001)* 105-112.
- [11] ADOBE SYSTEMS INCORP. 2002. Adobe Photoshop User Guide.
- [12] Yung-Yu Chuang, Brian Curless, David H. Salesin, and Richard Szeliski, A bayesian approach to digital matting, *Proceedings of the 2001 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. CVPR 2001. IEEE (2001)* II264-II271.