

벽오르는 로봇의 임베디드 영상처리 구현

권혁성, 이지수, 김상훈*
 국립한양대학교 전기전자제어공학과
 e-mail: kimsh@hknu.ac.kr*

Embedded Image Processing for Wall Climbing Robot

Hyok-Sung Kweon, Jee-Soo Lee, Sang-Hoon Kim**
 Dept. of Electrical, Electronic and Control, Hankyong National University

요 약

본 논문은 진공흡착방식을 이용한 벽오르는 로봇에 탑재하기 위한 임베디드 시스템의 설계와 영상처리 알고리즘의 구현에 관한 연구이다. 벽로봇은 안정적인 부착과 이동성을 기반으로 벽면에서의 위험 요인 발견과 지능적인 처리를 위해 영상처리가 가능하고 원격의 스마트 단말기와 실시간 통신이 가능한 환경을 구축하였으며 이상 물질을 탐지하기 위해 색상성분을 정규화하고 특정객체를 탐지 후 영상을 전송하는 방법을 구현하였다. 이러한 기능은 무인로봇을 이용해 위험한 벽 환경에서의 균열이나 이상 원인을 지능적으로 탐색하는 분야에 응용 가능하다.

1. 서론

문명과 산업이 발달함에 따라 자연스럽게 생긴 대형 구조물들이 우리 주변에서 차지하는 역할이 매우 중대해졌으며, 이와 더불어 그것들의 유지 및 보수 작업의 필요성 또한 중대해졌다. 하지만 위험한 환경과 부가적 인력, 비용 등이 비효율적이다. 이러한 검사 및 보수 작업의 위험성과 그 효율의 비합리성을 해소하기 위해서 벽면을 이용한 지능로봇에 대한 다양한 연구가 진행되었다[1][2][3][4].

본 논문에서는 기존의 연구들에서 제안한 방식 중, 부착방식으로는 벽면 흡착방식을 하드웨어의 대형화 및 환경의존성을 개선하기 위해 유리하다는 이유로[5][6][7] 선택하였으며, 이동방식에서는 이동성을 고려하여 상용 모터를 활용한 바퀴이동식[6][7]을 선택하였다.

특히 본 논문은 벽로봇의 안정적인 부착과 이동성을 기반으로 벽면에서의 위험 요인 발견과 지능적인 처리를 위해 영상처리가 가능하고 원격의 스마트 단말기와 실시간 통신이 가능한 환경을 구축하였으며 이상 물질을 탐지하기 위해 색상성분을 정규화하고 특정객체를 탐지 후 영상을 전송하는 방법을 구현하였다. 이러한 기능은 무인로봇을 이용해 위험한 벽 환경에서의 균열이나 이상 원인을 지능적으로 탐색하는 분야에 응용 가능하다.

2. 임베디드 시스템의 구성

2.1 임베디드 시스템의 H/W 구성

본 논문에서는 벽면 로봇 기반에서의 효율적인 영상처리를 위해 고성능의 영상획득을 위한 카메라 인터페이스, 처리된 데이터 저장을 위한 고사양의 메모리 컨트롤러, 결과값 출력을 위한 LCD 인터페이스등이 구비된 SoC를 선택

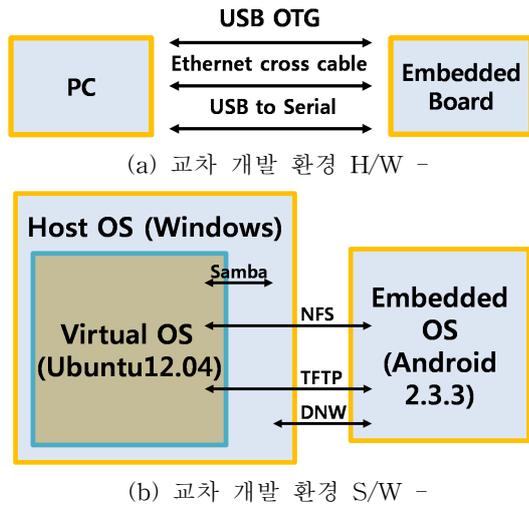
하였다. 표 1은 이러한 요구조건을 갖춘 테스트 보드의 사양을 나타낸 것이다. 삼성의 S5PV210 마이크로 프로세서는 ARM Cortex A8 코어를 사용한 32bit RISC형 프로세서로서, 모바일 폰 및 일반 응용 제품들을 위한 저가, 저전력의 고성능 응용 프로세서이다. 또한 S5PV210은 ARM v7 아키텍처에서 SIMD확장기능을 이용해 일부 최신 소프트웨어, 특히 미디어 코덱과 그래픽 가속기 부분에서 연산 유닛의 낭비를 개선하는 NEON 기술을 도입하였기 때문에 고속의 실시간 영상처리에 대하여 최선의 성능을 가진다.

<표 1> 임베디드 시험용 보드의 사양

CPU	Samsung S5PV210 ARM Cortex A8	800MHz / 1GHz Application Processor
Memory	Mobile DDR2	512 Mbytes
	SLC NAND Flash	256 Mbytes
Display	7" WVGA (800*480) Color TFT with Touch Screen Interface	
Ethernet	SMSC LAN9220	10 / 100 Mbps Ethernet Controller
USB	USB 2.0 Host	
	USB 2.0 OTG	
Camera	5M Pixel CMOS Camera	
SD	SD / MMC Port 0	Standard SD Connector
	SD / MMC Port 1	Standard SD Connector
UART	UART Port 0	BT & Expansion Connector
	UART Port 1	D-SUB9 DEBUG
WiFi / Bluetooth	SDIO, 802.11 b/g 지원, BT(UART0)	

이외에도 시스템 비용을 줄이고 시스템 전체적인 기능을 강화하기 위해 CMOS Camera, TFT LCD, Ethernet, UART, USB, WiFi / BT Module 등 많은 외부적 하드웨어를 포함하고 있다.

2.2 임베디드 시스템의 S/W 구성



(그림 1) PC와 임베디드 보드의 환경구성

그림 1은 PC와 임베디드 보드의 대략적인 환경 구성도이다. 임베디드 보드는 최대한 간결하게 구성되어야 하는 본연의 특징을 살리기 위해 내부적으로 컴파일러가 존재하지 않는다. 그러므로 PC와 임베디드 보드 사이에 교차 개발 환경(Cross Development Environment)을 구성하여야 한다. NFS와 TFTP를 이용하기 위하여 Ethernet cross cable을 연결하였고 DNW를 이용하기 위하여 USB OTG와 USB to Serial cable을 연결하였다. 안드로이드에서는 ADB Interface를 지원하기 때문에 USB to Serial cable을 이용하여 실시간 디버깅이 가능하다.

S5PV210의 ADB 드라이버는 Windows 32bit OS에서만 지원 가능하므로 Host OS는 Windows로, 안드로이드를 포팅하여 범용적인 응용 프로그램들을 이용하기 위해 Ubuntu 12.04 LTS (Long Term Support)을 사용하는 환경을 구축하였다.

3. 임베디드 시스템에서의 영상처리

3.1 RGB 정규화 알고리즘

RGB 정규화 알고리즘은 빛의 세기와 상관없이 색상 요소들 간의 상관관계만으로 데이터 구조를 보편화하여 변환시키기 위한 방법이다. 즉, 자체 데이터에서 최장거리를 도출하여 이를 기준으로 모든 컬러 패치들의 RGB 데이터를 조정하는 것이며 RGB 컬러 모델에서 각 성분들을 정규화 하는 방법은

$$R' = R / (R + G + B)$$

$$G' = G / (R + G + B)$$

$$B' = B / (R + G + B)$$

와 같다. 이는 0~1사이의 어떤 값을 가지게 되는데 실제로

정규화된 값을 이용하려면 각 값에 255를 곱하여 0~255사이로 매핑(mapping)하는 방법을 취할 수 있다.

3.2 시그니처 알고리즘(Signature Algorithm)

컬러히스토그램은 같은 영상에 대한 카메라 시점의 변화 및 이미지를 구성하는 물체의 이동, 회전, 변형 등에 민감하지 않다는 특징 때문에 여러 응용에서 검출 대상 물체를 비교하는 수단으로 사용되고 있다. 그러나 컬러 히스토그램은 이미지를 구성하는 지역적인 컬러분포를 고려하지 못하므로 유사한 컬러분포를 가지는 다른 대상을 같은 이미지를 검색할 가능성이 있다. 이 문제는 이미지의 여러 부 영역에 대해 지역 컬러 히스토그램을 유지하여 해결할 수 있다. 이미지의 컬러특징은 이미지를 구성하는 전체 화소의 대부분을 차지하는 몇몇 주요 컬러에 의해 결정된다. 몇몇 주요 컬러가 이미지의 컬러 특징을 결정짓는 것에 착안해서 주요 컬러의 지역적 컬러분포를 시그니처 형식으로 간단하게 표현할 수 있다. 다음 표는 4*5개의 셀로 나누었을 때 특정 주요 컬러의 셀에 대한 대표 컬러 여부를 보인 것이다. 검게 칠해진 셀은 어떤 컬러가 그 셀 내부에서 임계치(Threshold) 이상의 화소를 차지하여 셀의 대표컬러가 된 것이다. 어떤 컬러가 셀을 대표할 때 비트 값 1을 부여하고 반대의 경우 비트값 0을 부여하면 다음 표의 컬러 시그니처는 11000010000011100111 가 된다.

1	2	3	4	5
6	7	8	9	10
11	12	13	14	15
16	17	18	19	20

이미지를 구성하는 각 주요 컬러에 대해서 위의 표와 같이 각 셀에 대해 대표컬러 여부를 계산하면, 주요 컬러 개수만큼의 N*M 비트열을 만들 수 있다. 이것이 이미지에 대한 컬러 시그니처이다. 컬러 시그니처에 의한 이미지의 유사도는 질의 이미지와 데이터베이스 이미지에 공동으로 포함되는 주요 컬러를 구한 후, 양쪽 컬러 시그니처를 AND연산하고, 그 결과로 만들어진 비트열에 포함된 비트값 1의 개수를 세어 구해진다.

이미지를 구성하는 셀의 크기를 20픽셀까지 줄여 세밀하게 이미지를 분할한 후, 주요 컬러에 대한 컬러 시그니처를 생성하여 이미지를 구성하는 주요 컬러의 지역적 분포(Color-Spatial)를 표현했다. 또, 주요 컬러 시그니처를 모두 OR 연산해서 이미지 시그니처를 구성한 후 이미지 시그니처를 이용한 걸러내기 방법을 실험했다.

3.3 Segmentation Algorithm

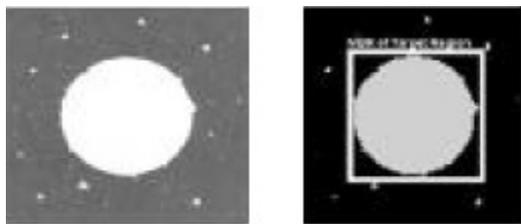
영상 세그멘테이션(segmentation)은 영상 내의 관심 대상이 되는 물체의 영역을 추출하기 위해서 널리 연구되어 왔다. 본 연구에서는 그레이 영상에서 영역확장(region growing)에 기초한 영상 세그멘테이션 알고리즘을 설계하고

이를 구현한다. 영상은 먼저 블록으로 나누어지고, 각 블록에 대하여 블록 내의 픽셀들의 명암도를 평균한 대표 명암도(representative intensity)가 결정된다. 특정블록으로부터 시작하여 비슷한 특성을 가진 인접 블록을 병합하는 방식으로 세그멘테이션이 진행되며, 인접 블록의 병합 여부는 병합 임계값(merging threshold)에 따라 결정된다. 본 논문에서 제시된 영상 세그멘테이션 알고리즘은 대부분의 영상 세그멘테이션 기법에서 채택하고 있는 영상 필터링이나 블러링 등의 노이즈를 제거하기 위한 전처리 과정이 불필요하기 때문에 빠르고, 과잉 세그멘테이션의 가능성을 감소시켰으며, 관심 대상이 되는 물체의 영역을 복수 개 포함하고 있는 그레이 영상에서의 영상 세그멘테이션에 적합하게 설계되었다.

영상 세그멘테이션은 각 영역이 동질의 특성을 가지게 하고 인접한 다른 영역은 서로 상이한 특성을 갖도록 영상을 복수 개의 영역으로 세그멘테이션하는 과정이다. 영상 세그멘테이션의 전형적인 정의는 다음과 같다. P()가 인접 화소들의 그룹에 대하여 정의된 동질성 술어(homogeneity predicate)라 할 때, 영상 세그멘테이션은 집합 F를 연결된 복수 개의 부 집합(subset) 혹은 영역(S1, S2, ..., Sn)으로 다음 조건을 충족시키면서 분할하는 것이다.

$$Y^N_{i=1} S_i = F, S_i \cap S_j = \Phi, \text{ for } \forall i \neq j$$

영상 세그멘테이션 기법은 임계값(threshold)에 기초한 방법과 경계선에 기초한 방법, 영역에 기초한 방법 및 이들을 합성한 방법으로 구분할 수 있다. 본 논문에서는 임계값에 기초한 방법을 이용하며 원 영상을 이진 영상으로 변환하여 세그멘테이션을 함으로 임계값에 기초한 방법은 영상이 두 가지의 확연히 구분되는 영역을 가지고 있을 때 좋은 세그멘테이션을 제공한다.



(a) 원 영상 (b) 목표물체영역추출
(그림 2) 목표 영역 추출 결과

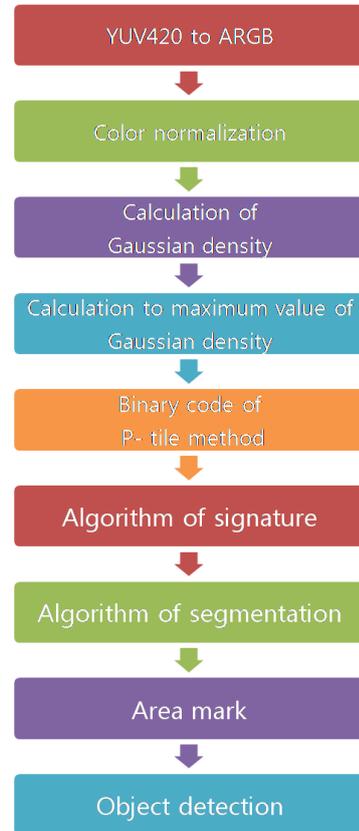
4. 영상처리 블록도

본 논문에서 수행된 임베디드 환경에서의 영상처리 전체 과정을 그림 3에서 보여준다.

5. 실험

5.1 실험 카메라 모듈의 SPEC

표 2는 실험 카메라 모듈인 MT9P111의 대략적인 사양이다. 5백만 화소의 MIPI형 카메라 모듈로 저전력과 적절한 해상도를 지원함으로써 이번 실험에 문제없이 동작하도록 되어있다.

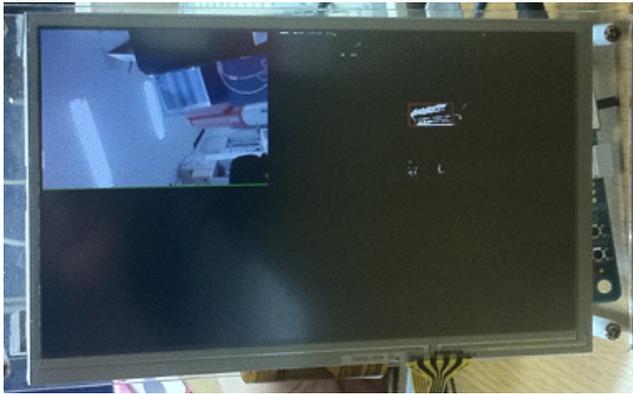


(그림3) 목표 영역 추출 과정

<표 2> 카메라 모듈의 사양

Input Resolution	2592 * 1944
Output Resolution	320 * 240
Frame rate (VGA)	30 fps MAX
Frame rate (JPEG)	15 fps MAX
Pixel	5 M pixels
Input clock frequency	10-48 MHz

5.2 화면에서의 확인



(그림 4) 결과 영상 확인

벽 로봇에 장착된 임베디드 보드의 카메라로 영상을 얻은 후, 그 결과를 임베디드 보드와 스마트폰의 플랫폼 환경에서 그림 3의 흐름도에 의한 영상처리 알고리즘을 적용하고 처리한 결과를 그림 4에서 보여주고 있다. 화면의 왼쪽은 왼쪽에 있는 벽로봇에 부착된 MT9P111 카메라 모듈에 의해 캡처된 영상이고, 오른쪽 영상은 특정색상분포(빨강색)를 갖는 대상만을 필터링하여 검출해낸 결과를 흰색으로 강조한 결과 영상이다.

5.3 측정 결과

실제 임베디드 보드에서 테스트 한 결과 현재 검출대상으로 설정된 파라미터들 범위의 붉은 계통의 영역을 필터링하여 출력한 결과를 볼 수 있으며 Signature와 Segmentation을 통하여 일정 분포 내의 영역을 성공적으로 분해해 낸 것을 알 수 있다. 제한된 개발환경하에서 다양한 알고리즘을 탑재한 이유로 처리속도는 약 5~6fps 정도로 낮게 구현되었는데 더 간소화하고 개선된 연산을 통해 속도를 개선하는 연구가 필요한 것으로 생각된다.

6. 결론

본 논문은 진공흡착방식을 이용한 벽오르는 로봇에 탑재하기 1상처위한 임베디드 시스템의 설계와 영상처리 알고리즘의 구현에 관한 연구이다. 벽로봇은 안정적인 부착과 이동성을 기반으로 벽면에서의 위험 요인 발견과 지능적인 처리를 위해 영상처리가 가능하고 원격의 스마트 단말기와 실시간 통신이 가능한 환경을 구축하였으며 이상 물질을 탐지하기 위해 색상성분을 정규화하고 특정객체를 탐지 후 영상을 전송하는 방법을 구현하였다. 이러한 기능은 무인로봇을 이용해 위험한 벽 환경에서의 균열이나 이상 원인을 지능적으로 탐색하는 분야에 응용 가능하다.

특히 본 연구를 통해 Mobile용으로 주로 사용되던 임베디드 시스템에서도 고성능의 영상처리들이 가능한 것을 확인하였고 기술적 추세인 Android Smart Phone에서도 고급의 영상처리를 구현할 수 있는 가능성을 확인하였다. 아직까지는 실시간이라고 할수 있는 30fps 이상의 성능을

구현하진 못했지만 다양한 필터연산과 물체검출 알고리즘 등을 시도하였고 프로그램을 더 간소화하고 개선함으로써 처리 속도의 개선 등 충분한 가능성을 확인할 수 있었다.

참고문헌

- [1] Clark, J; Goldman, D; Lin, P; Lynch, G; Chen, T; Komsuoglu, H; Full, R; Koditschek, D. (2007). Design of a Bio-inspired Dynamical Vertical Climbing Robot, *Proceedings of Robotics: Science and Systems 2007*, Atlanta, Georgia, USA, June, 2007, on line proceedings,
- [2] Hirose, S. & Tsutsumitake, H. (1992). Disk rover: A wall-climbing robot using permanent magnet disks, *Proceedings of the 1992 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp. 2074--2079, Raleigh, NC, 1992.
- [3] Li Jun, GAO Xueshan, FAN Ningjun, LI Kejie, JIANG Zhihong and JIANG Zhijian , *CHINESE JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING* , "Adsorption Performance of Sliding Wall Climbing Robot" (2010)
- [4] Tomotuki Yamaguchi, Yoshiaki Sorioka, Sunhong Park, and Shuji Hashimoto , Department of Applied Physics, Waseda University "SIEN: Telescopic-Arm Climbing-Support Robot" (2009 .2)
- [5] Manuel F.Silva and J.A.Tenreiro Machado , Instituto Superior de Engenharia do Porto Portugal , "A Survey of Technologies and Applications for Climbing Robots Locomotion and Adhesion" (2006. 9)
- [6] Jizhong Xiao and Ali Sadegh The City College, City University of New York USA , "City-Climber: A New Generation Wall-climbing Robots" (2008)
- [7] 강무진, 문형필, 최혁렬 , 성균관대학교, 메카트로닉스 협동 과정 , "임펠러를 이용한 벽면이동로봇의 설계 및 제어에 관한 연구 (2010. 1)