

임베디드 시스템을 이용한 소형 엔터테인먼트 이족 로봇 개발

신 창훈*, 이 동명*, 곽 용욱**, 이 정호***, 하 중은*

*동명정보대학교 컴퓨터공학과, 정보통신공학과, 멀티미디어공학과

동서대학교 산업디자인학과, *동아대학교 기계공학과

e-mail : clever_hoony@hanmail.net

Development of Small Biped Entertainment Robot Using Embedded System

*Chang-Hoon Sheen, *Dong-Myoung Lee, **Yong-Ook Guack,

***Jung-Ho Lee, *Jong-Eun Ha

*Dept of Computer, *Information & Communications, *Multimedia Engineering,
Tongmyong University of Information Technology

**Dept of Product Design, Dongseo University

***Dept of Mechanical Engineering, Dong-a University

요 약

임베디드 시스템의 발전으로 현재 진보된 로봇 시스템들은 운영 체제, 비전 시스템 및 센서 시스템들을 별도의 호스트 PC의 도움 없이 독립적으로 탑재하여 가동 시킬 수 있다. 본 논문에서는 임베디드 시스템을 이용한 **SBER** (Small Biped Entertainment Robot)에 필요한 로봇의 제어기 구조와 로봇에 최적화된 임베디드 시스템을 구현한다. 또한 주 프로세서와 주 컨트롤러를 탑재한 최적화된 소형 엔터테인먼트 이족 로봇 개발을 목적으로 한다. **SBER**은 TI사의 DSP인 TMS320LF2407A를 로봇의 주 컨트롤러로 사용하여 로봇의 관절 제어를 통한 기본적인 보행 실험과 음원의 위치를 파악하기 위한 음원 위치 추적 문제(Sound Localization) 수행한다. 또한 Intel사의 PXA255A를 주 프로세서로 사용하여 연산량이 높은 영상처리 알고리즘과 감정 표현, 장애물 인식 및 장애물 회피를 적용하여 보다 지능적인 로봇 시스템을 구현한다.

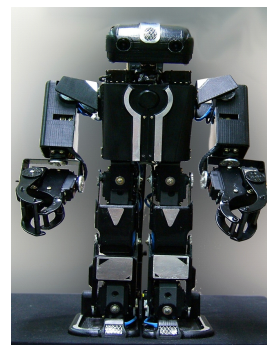
1. 서론

로봇은 시간이 갈수록 인간의 생활 영역으로 들어오고 있다. 보다 다양한 환경에서 인간과 같이 작업을 가능하게 하기 위해서는 보다 진보된 로봇 시스템 구현은 반드시 필요하다. 일반적으로 이동 로봇(Mobile Robot)을 분류할 때 에는 바퀴 구동 방식의 로봇(Wheel Robot)과 보행 방식의 로봇(Biped Robot)으로 구분될 수 있다. 그러나 바퀴 구동 방식의 로봇은 인간이 생활 하고 작업하는 환경에 직접 적용하고 활용하기에는 많은 문제점이 따른다. 그래서 본 논문에서는 보행 방식의 로봇이 갖추어야 할 최적의 임베디드 시스템 구축에 대해서 논한다. 또한 SBER의 비전과 오디오 시스템을 이용하여 이족 보행 로봇의 로컬라이제이션(Biped Robot Localization) 문제에 접근해 보고자 한다. 그 결과를 바탕으로 보다 진보된 소형 엔터테인먼트 로봇 시스템이 갖추어야 할 임베디드 시스템에 대하여 고찰한다.

2. 본론

2-1 SBER KINEMATICS SYSTEM

<그림 1>에서 보듯이 SBER의 키는 42 Cm 이며 무게는 4.3 Kg이다. 로봇은 전체 24 자유도를 가지며, 각 다리에 6 자유도, 각 팔에 5 자유도, 머리에 2 자유도로 구성 되어 있다. 각 관절은 디지털 RC 서보 모터로 구성 되며, SBER의 프레임은 알루미늄으로 가공하였다.

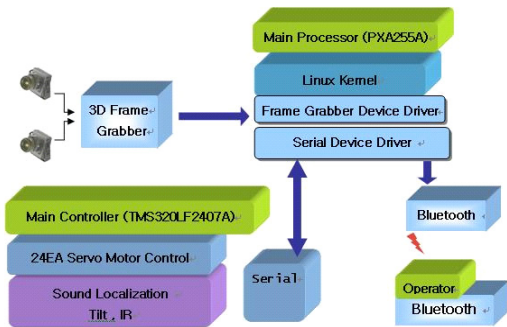


<그림 1> SBER 외관

로봇 프레임이 인간에게 주는 거부감을 해소시키기 위해서, 본 논문에서는 SBER의 외관을 플라스틱 합성수지로(ABS) 가공하여 적용하였다. SBER은 주 프로세서, 주 컨트롤러 및 스트레오 비전 모듈을 상체에 탑재하고 있다. 바퀴 기반의 로봇 시스템과 달리 보행 기반의 로봇 시스템에서 무게의 증가와 중심의 변화는 로봇 시스템을 운영하는데 있어 매우 중요한 요소이다. SBER의 안정적인 보행을 보장하면서 보다 더 견고한 하체 기구부 구조가 필요했다. 그래서 본 논문에서는 로봇 무게의 증가와 무게 중심의 변화를 CATIA 해석틀을 사용하여 시뮬레이션 하였고, 그 데이터를 기반으로 하체 기구부 설계에 적용시켰다.

2-2 SBER CONTROL SYSTEM

<그림 2> SBER의 제어부는 주 프로세서와 주 컨트롤러로 이루어져 있다. 주 프로세서는 임베디드 리눅스가 포팅된 PXA255A 기반에서 운영된다. 주 프로세서에서는 3차원 복원을 통한 물체 추적, 얼굴 검출 및 장애물 회피를 위한 맵 빌딩과 같은 연산량이 높은 고차원적인 알고리즘을 수행한다. 주 컨트롤러인 TMS 320LF2407A는 24개의 디지털 서보 모터에 대한 제어와 2조의 적외선 센서 및 음성처리, 음원 위치 추적, 기울기 센서에 따른 로봇의 움직임 변화와 같은 저차원적인 알고리즘을 담당하며, 각 모듈에 대한 통합적인 제어를 담당한다. 이러한 주 컨트롤러는 외부의 반응에 대해서 반사적으로 빠른 응답을 필요로 할 때 주 프로세서로부터 제어권을 넘겨받아 주 프로세서와 별도로 SBER을 직접 제어할 수 있다.



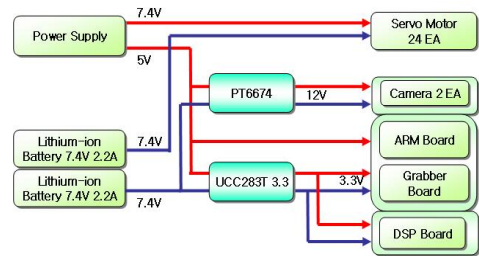
<그림 2> SBER 제어 시스템 구조도

CPU	XScale PXA255A, TMS320LF2407A
Memory	Main Processor : 32MB Frame Buffer : 512KB Main Controller : 64KB
OS	Embedded Linux
Cameras (color / stereo)	1/4" Sony CCD 510(H) x 492(v) 9.6um(H) x 7.5um(V)
Sound Input/ Output	3 Microphones (2: Sound Localization, 1: Sound Recognition) 2 Speakers
Batt	LI-ION 7.4 V, 2.2A (2Set)

<표 1 > SBER 제어 시스템

2-3.SBER POWER SYSTEM

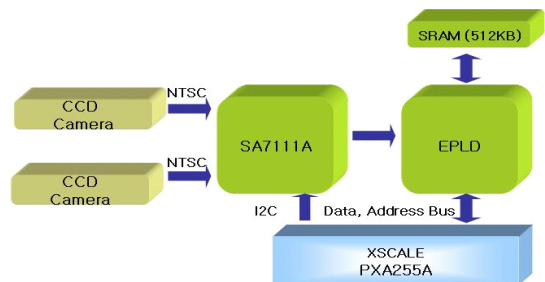
<그림 3> SBER에서 사용하는 전원 시스템은 다양한 전압 레벨을 가지는 시스템으로 프로세서는 기본적으로 3V, 5V를 사용하며 스트레오 카메라에서는 12V를 사용한다. 또한 서보 모터의 전원으로 7.4V의 전원을 필요로 하므로 SBER에서는 고 효율을 가지는 배터리를 절실히 필요로 한다. 이에 7.4V 2.2A의 효율을 가지는 리튬 이온 배터리를 이용하고 각 전압을 맞추는 소자로 TI사의 전압소자인 UCC283T 와 PT6674를 이용하여 안정적인 전원을 보장 하도록 설계하였다. 이와 같은 시스템에서의 SBER의 동작 시간은 최대 20분을 보장한다.



<그림 3> SBER 전원 시스템

2-4.SBER VISION SENSOR SYSTEM

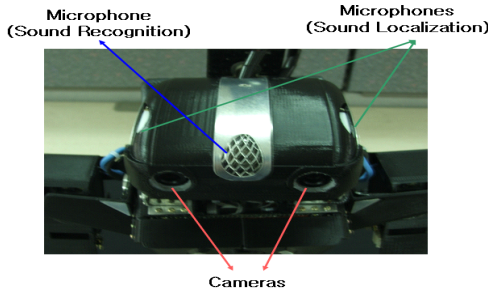
본 논문에서는 <그림 3>과 같이 작고 효율적인 임베디드 스트레오 비전 시스템을 구현하였다. SBER의 머리에는 2대의 칼라 CCD 카메라를 탑재하고 있다. 주 프로세서에서 발생하는 I2C 신호를 이용하여 시분할로 좌,우측 카메라의 NTSC 신호를 제어한다. 시분할로 A/D 컨버터를 공유함으로써 SBER의 비전 시스템 모듈을 단순화 시킬 수 있다.



<그림 3> SBER 스트레오 비전 시스템

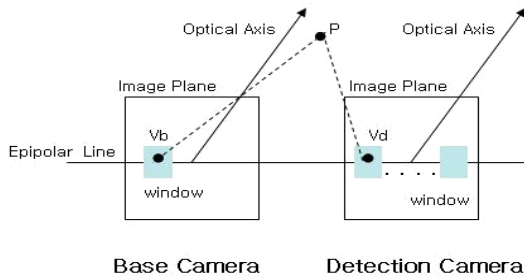
SBER의 비전 시스템은 상황과 조건에 따라 적용 시킬 2D,3D 영상처리 알고리즘을 탑재하고 있다. 스트레오 카메라는 로봇이 가동 되기 이전에 오프라인 상에서 Tsai's 캘리브레이션 통하여 보정되어 진다. 보정 후 캘리브레이션 인자들은 차후 물체의 3D 좌표 복원 시 사용이 된다.[2] 스트레오 비전 시스템은 주된 역할은 SBER이 실세계에서 3차원 물체를 인식하기 위해서는 사용된다. 실세계에 위치한 물체를 인식하기 위해서 가

장 먼저 SBER의 소프트웨어 모듈은 블록 매칭을 통하여 시차영상을 (Disparity Image) 구축한다. 시차 영상에서 영상의 깊이는 시차에 반비례하며, 이렇게 생성된 거친 깊이 맵(Deep Map)은 메디안 필터를 통해서 부드러운 형태의 깊이 맵을 구축할 수 있다. 레벨링 알고리즘을 통해 깊이에 따른 물체 영역을 알아낼 수 있으며, 최종적으로 켈리브레이션 인자를 통해서 물체의 3D 위치를 복원 할 수가 있다.[1]



<그림 4> 카메라, 마이크론의 위치

SBER은 평행 카메라 모델을 채택하고 있다. <그림 5>에서와 같이 Base, Detection 카메라의 광축은 서로 수평이 된다. SBER의 평행 카메라 모델은 카메라의 기하학적 구조를 단순화 시키면서 Epipolar Line을 따로 계산하여 하는 불필요한 작업을 제거할 수 있다.



<그림 5> Epipolar 라인에서 정합점 위치

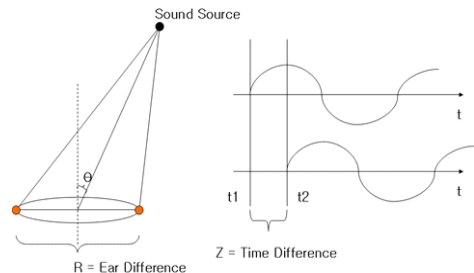
<그림 5>에서 월드 좌표의 점 P가 Base Camera 와 Detection Camera에 관측되어진 경우 Base Camera 의 점 Vb는 Detection Camera의 Epipolar Line을 검색하면서 정합점 Vd를 찾을 수가 있다. 그러나 아무리 정교한 시스템이라고 할지라도 카메라의 제조상 오차와 켈리브레이션 오차를 내포 되어 있기 때문에 Base Camera에서 관측된 Vb와 Detection Camera에 관측된 Vd를 정확히 정합시키기에는 어려움이 있다.[1][2] 그래서 본 논문에서는 <수식 1>을 이용하여 정합점을 찾기 위한 블록에 대한 유사도 평가 방법을 적용한다.[4]

$$S(m_1, m_2) = \frac{\sum_{i=-n}^n \sum_{j=-n}^n (I_1(u_1 + i, v_1 + j) - \overline{I_1(u_1, v_1)}) \times (I_2(u_2 + i, v_2 + j) - \overline{I_2(u_2, v_2)})}{(2n+1)(2m+1) \sqrt{\sigma^2(I_1) + \sigma^2(I_2)}}$$

< 수식 1 > 상관값에 의한 유사도 평가

2-5.SBER AUDIO SENSOR SYSTEM

SBER의 오디오 센서 시스템은 <그림 4>에서와 같이 좌, 우측 및 정수리 부분에 3개의 마이크로폰을 탑재하고 있다. 좌, 우측 2개의 마이크로폰은 사운드 로컬라이제이션(Sound Localization)을 수행하기 위해서 사용되어 지며, 정수리 부분의 1개의 마이크로폰은 음성 인식을 하기 위해서 사용되어 진다. 실 시간적으로 입력되는 아날로그 사운드 정보들은 주 컨트롤러(TMS320LF2407A)의 2개의 A/D컨버터 채널을 통해서 200Khz로 샘플링 된다. 이때 입력되는 사운드 정보들은 RC 서보 모터의 잡음을 포함하게 되는데 본 논문에서는 FIR 필터 라이브러리를 이용한 HPF(High Pass Filter)를 구현하여 적용 하였다.



<그림 6> 음원의 위치에 따른 시간차

HPF필터의 차단 주파수를 통해 RC 서보 모터의 잡음을 제거 하여 원하는 주파수 대역의 신호를 얻어 낼 수 있다. 일반적으로 음원의 위치를 파악하기 위해서는 두 귀간의 시간차(ITD)와 레벨차(ILD)을 이용한 방법이 서로 절충되어 사용되어 진다. 이중에서도 음원의 방향을 판별을 위해 사용되어 지는 가장 중요한 단서는 ITD이다. 음파는 상온에서 대략 340 m/s의 속도로 전달되는데 <그림 6>에서처럼 음원의 위치에 따라 두 마이크로폰에 음이 도달하는 데 약간의 시간차가 발생하게 된다. 또한 ILD는 음파는 음원으로부터 멀어짐에 따라 점점 감쇄하게 되며 음원에서 보다 가까운 쪽의 마이크로폰이 반대쪽 마이크로폰 보다 더 큰 레벨의 음을 입력받는다.

SBER에 오디오 센서 시스템은 ILD는 단지 ITD 단서에 대한 보조적인 단서로서 사용하게 된다.[3]

2-6. SBER ACCELEROMETER & IR SENSOR SYSTEM

SBER과 같은 이족 보행 로봇 시스템은 움직임과 자세 제어에 대한 보정 시스템이 필요하다. 그래서 본 논문에서는 SBER의 움직임에 따른 ZMP 변화를 알아내기 위해서 Analog Device사의 ADXL202E 2축 가속도 센서를 사용하여 자세 보정 시스템을 구축하였다. ADXL202E는 5 x 5 x 2 mm의 초 소형사이즈의 MEMS기술을 포함한 센서로 SBER의 골반 부분에 탑재 되어 있다. 60HZ의 분해능을 가지며 2축에 대한 기울기 신호를 PWM로 출력한다. 기울기 센서는 전자적

이고 기계적인 복합적인 시스템이기 때문에 외부 잡음에 매우 민감하다. 때문에 본 논문에서는 주 컨트롤러 TMS320LF2407A의 FIR 필터 라이브러리를 이용하여 LPF(Low Pass Filter)를 통과시켜 산발적으로 발생하는 노이즈를 필터링 하여 보다 정확한 자세 보정에 이용하였다.

결론

본 논문에서는 임베디드 시스템을 이용한 SBER (Small Biped Entertainment Robot)에 필요한 로봇의 제어기 구조와 로봇에 최적화된 임베디드 시스템을 구현하였다. 논문 서두에서 밝혔듯이 별도의 호스트 PC와 부가적인 설정이 필요 없는 독립형 엔터테인먼트 로봇 구현에 목표를 두었다. 엔터테인먼트 요소를 갖춘 인간 친화적인 로봇이라면 단순 반복 기능을 탈피해야 한다. 그래서 본 논문에서는 국부 영역에 대한 3D 맵 빌딩을 통한 장애물 회피, 얼굴 검출, 로봇의 ZMP 변화에 따른 균형 잡기, 모션과 음성을 통한 감정 표현, 음원 위치 추적과 음성 인식과 같은 고차원적인 알고리즘을 로봇 시스템에 적용 시켜서 실험해 보았다. 향후 본 논문에서는 SBER 시스템을 이용해서 보다 진보적인 AI를 구현하여 일반인들이 쉽게 접근할 수 있는 엔터테인먼트 이족 로봇으로 발전 하고자 한다.

참고문헌

- [1] Tatsuzo Ishida , Yoshihiro Kuroki
"Development of Sensor System of a Small Biped Entertainment Robot"
Proceedings of the 2004 IEEE International Conference on Robotics & Automation New Orleans, LA
- [2] Roger Y. TSAI "A Versatile Camera Calibration Technique for High-Accuracy 3D IEEE Journal of Robotics and Automation Vol. RA-3, No.4, August 1987
- [3] Handzel, A. A., and Krishnaprasad P. S. Biomimetic Sound-Source Localization IEEE Sensors Journal, 2(6):607-616, 2002
- [4] XU Gang , TSUSI saburo, "3-JIGEN VISION" p135 ,1998