

RTOS와 R/C 서보 모터를 이용한 엔터테인먼트 이족 보행 로봇 설계 및 구현

Design and Implementation of Entertainment Biped Robot using RTOS and R/C Servo Motor

김 동 진*, 김 정 기**, 기 창 두***

* 전남대학교대학원 메카트로닉스협동과정(전화:(062)530-0210, 팩스:(062)530-1689, E-mail : nsjinie@empal.com)

** 전남대학교대학원 메카트로닉스협동과정(전화:(062)530-0210,팩스:(062)530-1689,E-mail : pride723@hanmail.net)

*** 전남대학교 기계시스템공학부 (전화:(062)530-1667, 팩스:(062)530-1689, E-mail : cdkee@chonnam.ac.kr)

Abstract : In this paper, a entertainment biped robot controlled by R/C servo motors is built using the embedded RTOS (Real Time Operating System). uC/OS-II V2.00 is used for RTOS and control algorithm of R/C servo motors is proposed based on uC/OS-II's preemptive and deterministic property without any extra PWM module. The realized biped robot has 19 DOF, and a board 80C196KC as main CPU. To verify the proper walking process, ZMP(Zero Moment Point) theory is applied and ADAMS is used for simulation.

Keywords : Biped Robot, Entertainment Robot, RTOS

I. 서론

엔터테인먼트 분야는 탈산업 로봇 시대에 가장 먼저 시장을 형성하게 될 로봇 산업 분야로 손꼽히고 있다. 이와 더불어 국내외에서는 수많은 로봇 대회들이 개최되고 있으며 이 중 이족 로봇 격투 대회인 'ROBO-ONE' 대회, 이족 로봇 축구 대회인 'FIRA CUP'의 '휴로소프트리그' 등과 같은 이족 보행 로봇을 이용한 대회는 일반인들의 관심이 높다[7].

본 논문은 이러한 연구 현황 및 사회분위기를 바탕으로 엔터테인먼트 이족 보행 로봇을 제작하기 위해 고려해야 할 점들과 RTOS (Real Time Operating System)중 하나인 uC/OS-II를 로봇에 적용한 사례를 보였다.

그리고 uC/OS-II 의 선점형, 예측 가능성이라는 특징을 이용하여 다수의 R/C 서보 모터를 소프트웨어적으로 구동하는 알고리즘을 제안 및 검증하였다.

II. 기구부 설계 및 검증

1. 기구부 설계 및 제작

엔터테인먼트 이족 보행 로봇은 설계하는데 있어 다

음과 같은 두 가지 측면을 고려해야한다. 첫째는 보행 가능한 구조로 설계하기 위해 지켜야할 점들과 둘째는 인간의 호기심을 자극할 수 있는 디자인 적인 측면이다[1][2].

본 논문에서 구현 된 로봇의 설계 목표는 정보행이 가능한 기구 구조를 만족시키며 인간의 호기심을 자극할 수 있는 디자인을 살리는 것이다. 설계상의 특징은 다음과 같다.

- 조류 골격 구조를 갖는 다리.
- 다리 각 6 DOF (Degree Of Freedom), 팔 각 3 DOF, 허리 1 DOF 총 19 DOF의 자유도.
- 유니버설 조인트와 링크구조를 이용한 발목 2자유도 구현.
- 3차원 쾌속조형기(Rapid Prototyping, RP)를 이용한 기구부 사출.

그림 1 은 로봇의 정면도와 측면도이다. 로봇의 설계는 3D CAD툴인 CATIA V5를 이용하였다.

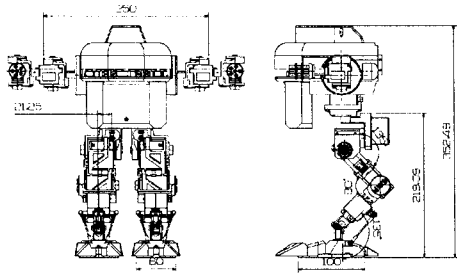


그림 1. 엔터테인먼트 이족 보행 로봇 설계
Fig. 1. Schematic of a entertainment biped robot

2. 동역학적 검증

제작된 이족보행 기구가 보행이 가능함을 검증하기 위하여 ZMP 이론(Zero Moment Point theory) 을 이용하였다.

이족보행에는 지면과의 접촉을 고려할 때 외족지지 상태(single leg support stage)와 이족지지상태(double leg support stage)로 구분할 수 있다. 본 연구에서는 초기 개발 단계에서 기본 정보행을 위하여 외족지지 (single support) 상태만을 고려하여 검증하였다.

$$X_{ZMP} = \frac{\sum_{k=0}^n m_k (z_k^i + g_z) x_k - \sum_{k=0}^n m_k (x_k^i + g_x) z_k}{\sum_{k=0}^n m_k (z_k^i + g_z)} \quad (1)$$

$$Y_{ZMP} = \frac{\sum_{k=0}^n m_k (z_k^i + g_z) y_k - \sum_{k=0}^n m_k (y_k^i + g_y) z_k}{\sum_{k=0}^n m_k (z_k^i + g_z)}$$

m_k : 각 질점의 질량

x_k : 각 질점의 위치 X방향성분

y_k : 각 질점의 위치 Y방향성분

z_k : 각 질점의 위치 Z방향성분

g_z : 중력 가속도

ZMP 계산과 안정도를 평가하기 위해 식(1)을 사용하였다. 각 관절의 기구부의 링크길기와 무게, 무게중심 위치, 관성질량은 CAD를 사용하여 계산하였고, 실제 각 기구부의 무게를 측정한 후, CAD를 이용하여 계산한 값과 비교하여 사용하였다.

지면과의 접촉을 고려하고 정적상태(quasi-static)가 아닌 동적상태(dynamic)의 보다 정확한 검증을 위해 다물체 동역학 해석 프로그램인 ADAMS를 사용하여 시뮬레이션을 하였다.

그림 2는 한발을 들었을 때 정적 밸런스 유지에 관한 ADAMS 시뮬레이션 결과이다.

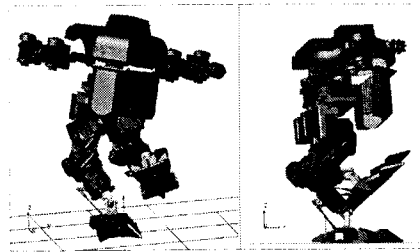


그림 2. ADAMS 시뮬레이션 결과
Fig. 2. ISO view and side view of ADAMS simulation result

III. 시스템 설계 및 소프트웨어 구조

1. 시스템 설계

시스템의 구성은 RTOS의 효율성을 검증 할 수 있는 낮은 성능의 제어부와 로봇의 진행 방향과 장애물을 검출 할 수 있는 센서 그리고 PC와 무선 통신을 위한 통신 모듈로 이루어져 있다.

이를 위해 80C196KC-20를 Main CPU로 3조의 적외선 거리 계측기와 1조의 전자 나침반 센서를 그리고 무선 통신을 위해 블루투스 통신 모듈을 장착하였다.

그 외에 로봇의 상태를 표시하는 LCD 표시기가 장착되어 있고 로봇에 장착된 모든 시스템은 RTOS(uC/OS-II)에 의해 관리된다.

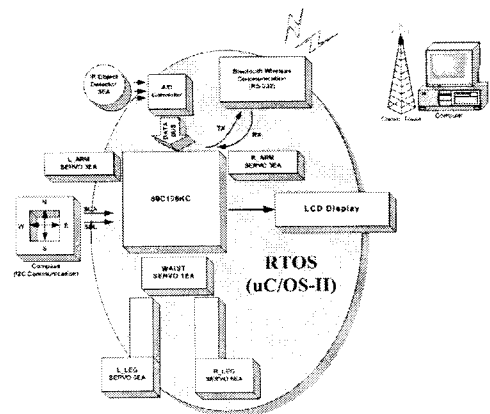


그림 3. 시스템 구성
Fig. 3. System configuration

2. 소프트웨어 구조

소프트웨어 구조는 크게 50 Hz (20 msec)의 클럭틱으로 동작하는 RTOS 부분, 디바이스 드라이버, 애플리케이션 프로그램 세 가지 영역으로 나눌 수 있다.

시스템에 장착된 모든 하드웨어는 디바이스 드라이버 프로그램에 의해 구동되며 본 시스템에는 LCD,

RS-232, A/D, I²C, R/C 서보 모터 디바이스 드라이버, 총 5개로 구현되어 있다.

에플리케이션 프로그램은 총 9개의 Task가 돌아가며 그림 4는 각 Task의 우선순위와 Task들 간의 동기화에 대한 정보를 나타내고 있다.

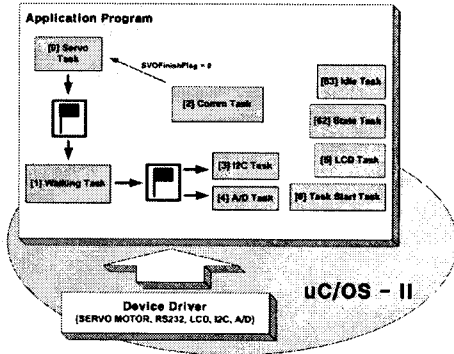


그림 4. 소프트웨어 구조
Fig. 4. Software architecture

IV. 다수의 R/C 서보 모터 제어 알고리즘

R/C 서보 모터의 일반적인 특징은 20 msec의 리프 레시 주기와 0.9 ~ 2.1 msec의 펄스 온 타임을 갖는 PWM(Pulse Width Modulation) 펄스 신호에 의해 각 이 결정되는 모터이다.

다수의 R/C 서보 모터를 구동하는 일반적인 방법으로는 타이머 1개 당 8개의 서보 모터를 구동하는 방법, VHDL(Very high speed integrated circuit Hardware Description Language)과 CPLD(Complex Programmable Logic Devices) 또는 FPGA(Field-Programmable Gate Arrays) 칩을 사용하여 R/C 서보 모터 구동에 필요한 PWM 펄스 발생기 모듈을 직접 구현하는 방법 등이 있다[1][6].

본 논문에서는 uC/OS의 특징 중 선점형, 예측가능성과 정렬 알고리즘을 이용하여 다수의 R/C 서보 모터를 소프트웨어적인 방법으로 구동하는 알고리즘을 제한하고자 한다.

본 알고리즘은 크게 두 부분으로 나누어진다.

첫째, R/C 서보 모터의 리프레시 주기를 위해 서보 모터 Task의 우선순위를 가장 높게 하고 Task의 한 주기가 끝나면 RTOS에서 제공하는 딜레이(Delay) 함수를 이용하여 20 msec를 지연시킨다.

둘째, 각 R/C 서보 모터의 각을 결정하는 펄스 온 타임을 위해 딜레이 값을 오름차순 정렬 후 모든 포트 를 on 시킨 후 식 (2) 시간 이후 각각에 대응되는 물리적인 포트를 off 시킨다.

$$t_n = \sum_{i=0}^n \Delta t_i \quad (2)$$

데이터를 정렬함에 있어 주의할 점은 각 딜레이 값과 그 값에 대응되는 물리적인 포트 값을 함께 정렬해야 한다는 점이다.

대부분의 이족 로봇의 자유도는 30 DOF 미만이므로 적은 양의 데이터 정렬에 있어 소스 코드가 간략하고 정렬 속도가 빠른 거품정렬 알고리즘을 사용하였다. 거품 정렬의 총 비교 연산 회수는 식 (3)과 같다.

$$\sum_{i=0}^{n-1} i = \frac{n(n-1)}{2} \quad (3)$$

다음은 n개의 데이터 정렬을 위한 Pseudo 코드이다.

```
for (i=0; i<n-1; i++)
  for (j=n-1; j>i; j-){
    if(dly[j-1] <= dly[j]) continue;
    swap (dly[j-1], dly[j]);
    swap (port[j-1], port[j]);
  }
/* dly[] : 펄스 온 타임 값
port[] : 펄스 온 타임에 대응되는 출력포트 편*/
```

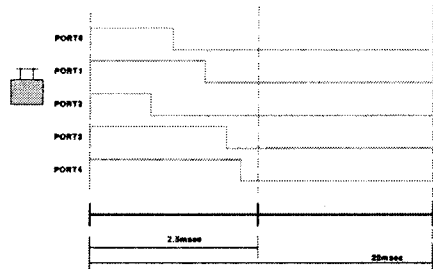


그림 5. 정렬되기 전 PWM 신호와 출력포트 번호
Fig. 5. PWM signal and the number of output port before sorting

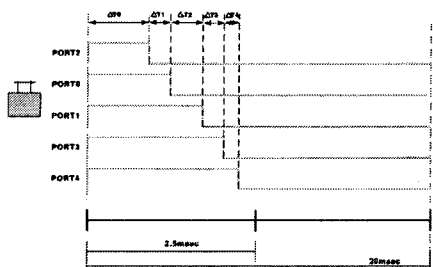


그림 6. 정렬된 후 PWM 신호와 출력포트 번호
Fig. 6. PWM signal and the number of output port after sorting.

V. 실험 및 토의

본 논문에서는 제작된 로봇에 대해 제안한 알고리즘의 성능에 대한 평가와 한 발을 들었을 때 정적 밸런스를 유지할 수 있는 기구 구조로 제작되었는가에 대한 실험을 하였다.

서보 모터 Task의 우선순위가 가장 높으므로 다른 Task에 의해 선점 당하지 않고 클럭 틱은 20 msec로 동작하므로 서보 모터 Task에 1틱의 딜레이 함수 호출을 통해 아래와 같이 20 msec의 리프레시 주기를 갖는 파형이 만들어진다.

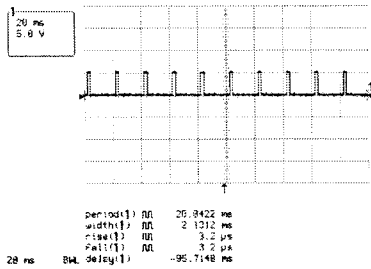


그림 7. 리프레시 주기 (20 msec)

Fig. 7. Refresh cycle (20msec)

다음으로 펄스 온 타임을 측정해 보았다. 그림 8과 같이 중립 각에 대한 파형은 1.5 msec가 나왔으며 ± 60 도에서는 약 3도의 누적 오차를 보였다. 이는 알고리즘의 오류가 아닌 CPU 보드의 성능이 낮아 딜레이 함수의 분해능이 뒷받침 해주지 못해 생긴 결과이다.

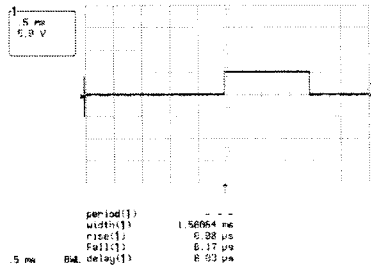


그림 8. 0도(1.5msec) 일 때 펄스 온 타임

Fig. 8. Pulse on time at 0 degree (1.5msec)

제안 한 알고리즘을 적용하는데 있어 몇 가지 주의할 사항은 다음과 같다. 첫째, 서보 모터 Task의 우선순위가 가장 높아 다른 Task에 의해 선점 당하지는 않지만 인터럽트 서비스 루틴에 의해 생기는 지연이 펄스 온 타임 구간에 영향을 받지 않도록 적절히 처리해 주어야 한다. 둘째, 80C196KC CPU 사용 시 24 DOF에서 CPU 사용율이 80%를 상회하므로 최대 23 DOF 이하에서 사용해야 한다.

다음으로 한발을 들었을 때 정적 밸런스를 유지하는가에 대한 실험은 보행 패턴을 입력하여 정보행을 구현함으로써 이를 검증하였다.

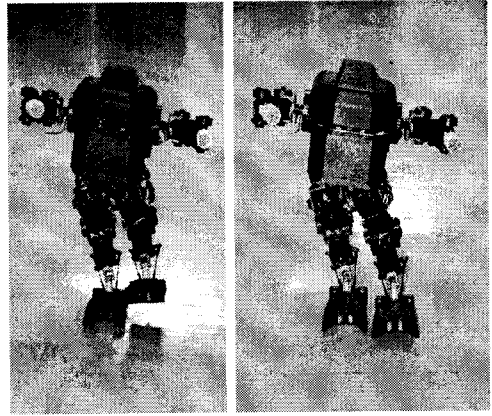


그림 9. 정보행 중인 로봇

Fig. 9. Under static walking

VI. 결론

본 논문은 RTOS와 R/C 서보 모터를 사용하여 엔터테인먼트 이족 보행 로봇 설계 및 제작의 한 예를 보였으며, 다수의 R/C 서보 모터를 구동하는 새로운 알고리즘을 제안 및 검증하였다.

특히 이족 보행 로봇 구현이 불가능한 낮은 성능의 CPU 보드에 이를 구현함으로써 RTOS의 효율성을 보였다.

참고문헌

- [1] F., Miyashita, T., Matsui, T., Kitano, H. "PINO, The humanoid that walk", Proc. of The First IEEE-RAS Int. Conf. on Humanoid Robots, MIT, 2000.
- [2] ROBO-ONE committee, "Mechanical Session", ROBO-ONE Technical Conference, 2002.
- [3] Jean J. Labrosse, *MicroC/OS-II The Real-Time Kernel*, R&D BOOKS, USA, 1999.
- [4] Jean J. Labrosse, *Embedded System Building Block*, R&D BOOKS, USA, 2000.
- [5] Kazuo Hiai, Masato Hirose, Yuji Haikawa, Toru Takenaka. "The Development of Honda Humanoid Robot", Proceedings of the 1998 IEEE International Conference on Robotics & Automation, 1998.
- [6] 김낙현, "2족 보행 로봇 '쇠돌이' 제작기", 마이크로 소프트웨어, 9월호 특집 3-2, pp. 224-231, 2003.
- [7] 권동수, "Entertainment Robot의 국내의 기술 동향 및 발전 방향", MRDEC 지능로봇 워크샵, 2003.