

## 이족보행로봇(IWR-III)의 통합 제어 환경 구축

노경곤, 서영섭, 김진걸  
 인하대학교 자동화공학과(Tel:032-860-7384)

### Implementation of Integrated Control Environment for Biped Robot(IWR-III)

Gyeong-Gon Noh, Yeong-Seop Seo, Jin-Geol Kim  
 Dept. of Industrial Automation Eng. Inha Univ.

**Abstract** - To control IWR-III Biped Walking Robot, those complex modules are necessary that concurrent control multi-axes servo motors, PID & Feedforward gain tuning, initial value calibration, display current status of system, user interface for emergency safety and three-dimensional rendering graphic visualization. It is developed for various-type gait data<sup>(1)</sup> and for control modes (i.e open/closed loop and pulse/velocity/torque control) that Integrated Control Environment with GUI(Graphic User Interface) consist of time-buffered control part using MMC (Multi-Motion Controller) and 3D simulation part using DirectX graphic library.

#### 1. 서 론

본 연구는 자체 제작한 이족보행로봇 IWR-III의 걸음새 구현에 따른, 다관절 서보모터 제어용 프로그램 개발을 목적으로 하였다.

기존 다축 제어용 프로그램은 직렬통신의 속도한계로 인하여 PC상에서의 실시간 제어가 불가능하고 다축 동시 제어에 필요한 여러 기능들의 통합이 어려웠으나, 본 프로그램은 PC 기반 다축 제어기(MMC: Multi Motion Controller)를 이용하여 이족보행로봇의 각 관절 서보모터를 실시간으로 제어하는 통합 환경을 구축하였다.

프로그램은 각 축 PID 이득의 조정 및 초기화 위치 미세 조작, 실시간 엔코더 위치 및 오차 그래프 표시, 궤적 데이터의 변경 및 저장, 시스템 초기화 및 동작상태의 이상 유무 검사, 외부 입력력 제어 그리고 1축 단독 구동기능 등으로 구성된 GUI(Graphic User Interface) 통합 환경으로 구축하여 각 보행 형태에 따른 데이터를 실험하였다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 이족보행로봇(IWR-III) 시스템의 재원

이족보행로봇 시스템의 하드웨어 구성은 그림 1과 같이 통합제어 프로그램이 실행되는 컴퓨터와 MMC, AC 서보모터 드라이브 그리고 이족보행로봇으로 크게 4부분으로 구성되며 컴퓨터와 MMC는 ISA BUS를 이용하여 고속으로 데이터를 교환하고, MMC는 AC 서보드라이브를 통해 이족보행로봇의 동작을 제어한다.

통합제어 프로그램은 기존 제어 프로그램 및 제어기와 충분한 호환성을 유지하고 GUI가 용이한 IBM-PC 기반의 Windows 9x 운영 체제에서 작성 및 운영된다. 제어기로는 8축 동시 제어가 가능한 TMS320C31 DSP를 내장하고 32개 접점의 사용자 입출력을 제공하는 MMC를 사용하였다.

이족보행로봇은 양쪽 다리관절의 발목과 허벅지에

200W, 무동력시 자세유지와 고속 동작을 위해 무릎에 400W 브레이크(break)형 AC 서보모터를 사용하였다. 또한 허벅지와 무릎에는 60:1 감속기, 토크가 가장 많이 요구되는 발목에는 100:1 감속기가, 그리고 허리 회전관절에는 200W와 60:1 감속기가 사용되어 총 8개의 AC 서보모터와 7개의 가속기, 1개의 직선운동기구로 구성된다. 그리고 이족보행로봇의 초기화를 위해 각 관절에 초기위치센서(limit switch)를 설치하였다.

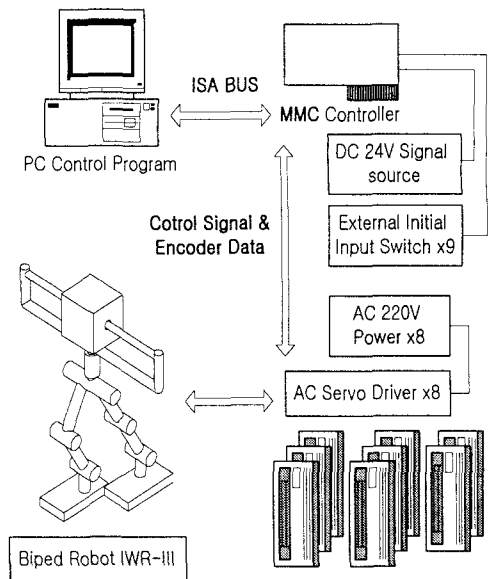


그림 1 이족보행로봇의 전체 시스템

##### 2.2 시스템 제어에 요구되는 기능 고찰

통합제어환경 구축에 필요한 기능은 크게 이족보행로봇의 보행을 제어하는 부분과 3차원 그래픽 뷰어(viewer)로 구분된다. 시스템 제어 프로그램에서는 이족보행로봇 제어기 MMC(Multi-Motion Controller)의 운용과 걸음새 궤적 데이터의 입·출력, 입력된 데이터의 기구적 특성 해석 및 번역, 각 관절의 PID 이득값 조정 및 초기화 등이 요구된다. 또한 데이터는 파일 단위로 저장·교환하여 통합제어환경에서의 호환성(flexibility)을 보장하여야 한다. 각 관절 구동기와 외부 센서의 상태의 감시(monitoring)가 요구되며 돌발사태에 대한 보호기능이 필요하다. 제어기 MMC를 통한 이족보행로봇의 구동은 그림 2와 같이 50ms 제어 주기(Sampling time)에 따라 각 관절의 동시 구동 및 제어가 이루어져야 한다.

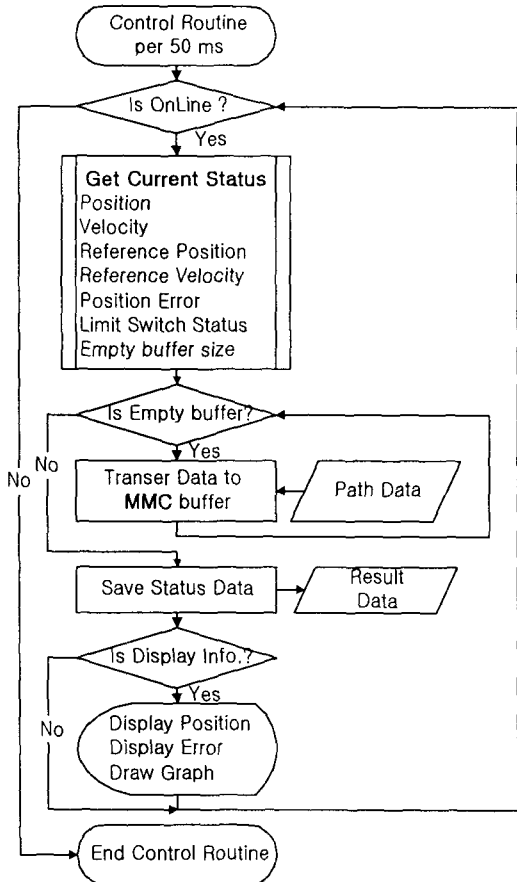


그림 2 MMC 제어 루프(loop)

### 2.3 구현 및 실험

이족보행로봇의 통합제어환경은 그림 3의 시스템 제어 프로그램과 그림 4의 3차원 그래픽 뷰어로 구현되었다. 시스템 제어 프로그램은 이족보행로봇의 전체 시스템을 제어 및 감시하고 3차원 그래픽 뷰어는 미리 언산된 걸음새 궤적을 입체적인 환경으로 검증한다.



그림 3 시스템 제어 프로그램

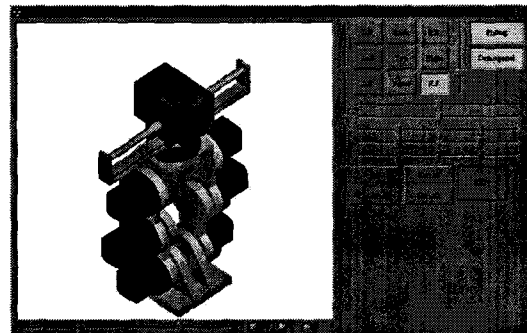


그림 4 이족보행로봇의 3차원 그래픽 뷰어(viewer)

시스템 제어 프로그램은 이족보행로봇 제어기 MMC (Multi-Motion Controller)를 통해 전체 시스템을 통합 관리하고 각 관절의 서보 모터를 구동시키며 각종 입·출력 신호를 감시한다. 프로그램은 먼저 MMC의 설치상태와 초기화를 시작으로 각 관절 모터의 온·오프 (on·off), 개방형루프제어(open-loop control)와 폐쇄형루프제어(closed-loop control)간의 변환 그리고 펄스·속도·토크(pulse·velocity·torque)의 제어모드(control mode)의 선택이 가능하다. 그리고 각 관절 모터를 단독 구동시키며 실시간으로 표시되는 위치·속도·오차를 그래프로 확인하면서 PID 및 Feedforward 이득값을 설정 및 저장한다. 각 관절 서보 모터의 이득값은 모터, 감속기, 관절의 질량 그리고 관절간의 상관관계 등 여러 요소에 의해 결정되므로 수 차례의 실험이 요구된다. 또한 보행 동작 중 동적 특성의 변화는 이득값의 실시간 변환을 필요로 하는데 이는 추가적인 구현이 요구된다. 이족보행로봇의 초기화자세는 허벅지와 발목은 30°, 무릎은 60°를 접은 상태이다. 각 초기위치에는 위치센서가 부착되어 이를 반복 감지하여 평균값으로 초기화한다. 또한 센서 부착 위치의 오차량과 양쪽 다리의 균형을 보정하기 위해 각 관절의 동작으로 보정값(calibration value)을 결정 및 저장한다.

이족보행로봇의 걸음새 궤적 데이터<sup>(2)</sup>를 파일(file)로 입력하여 이를 각 관절의 기구적 특성에 맞게 해석하여 메모리에 저장한다. 이때 궤적은 제자리에서 두 다리 지지(two leg support), 한 다리 지지-한 다리 고정(one-leg support) 그리고 한 다리 지지-한 다리 스윙(one-leg support, the other swing) 등이 사용되었다. 또한 한 스텝(one step)의 동작 시간을 3초와 2초로 계산된 궤적과 보행 패턴(pattern)에 따른 Z축 유동 궤적<sup>(3)</sup> 등이 실험되었다. 메모리에 입력된 궤적 데이터는 10ms 단위의 50ms 주기로 MMC의 제어 데이터로 전송되며 이를 MMC는 1ms의 제어주기(sampling time)로 각 관절의 모터를 제어한다. 이때 제어 데이터와 동작중인 위치, 속도 그리고 오차 값이 그래프로 표시 및 저장되어 돌발적인 모터의 동작이나 이족보행로봇의 파손을 방지하게 하고, 보행 동작 결과에 관한 해석을 가능하게 하였다. 이 밖에 실행된 궤적 데이터에 따른 역(inverse) 보행을 구현하여 초기위치로 되돌아 가꾸로 걷는 동작도 실험하였다.

3차원 그래픽 뷰어는 3차원 실시간 그래픽 라이브러리(library)를 사용하여 걸음새 궤적에 따른 이족보행로봇의 자세와 각 관절의 상관관계 그리고 작동 환경과의 비교를 가능하게끔 구현하였다. 이족보행로봇의 형상과 기구학적 계층구조는 기존의 CAD(Computer Aided Design) 및 애니메이션(animation) 환경을 이용하여 데이터의 호환 및 교환성을 높였다. 이는 향후 시스템

의 확장이나 변경 시 필요한 데이터와 설계에 대한 검증  
을 가능케 한다. 관찰 시점의 줌(zoom), 회전 그리고  
패(pan) 기능을 구현하였으며 그라운드 셰이딩  
(gouraud shading), 솔리드 렌더링(solid  
rendering) 그리고 텍스처 맵핑(texture mapping)을  
사용하여 현장감 있는 환경을 구축하였다.

### 3. 결 론

이족보행로봇은 인간의 걸음새를 구현하여 복잡하거나  
위험한 작업환경에서 사람을 대신할 수 있다. 현재 이족  
보행로봇에 적합한 여러 종류의 걸음새에 관한 연구가  
진행 중이다. 보행에 따른 궤적 생성의 문제는 기구학적  
해석뿐만 아니라 동특성 해석과 ZMP의 보장<sup>[4]</sup> 그리고  
주위환경에 따른 영향을 무시할 수 없다. 또한 이족보행  
로봇의 발바닥과 지면의 상태, 마찰력, 감속기의 백래쉬  
(back-lash) 등은 고속 걸음새 구현에 어려운 문제로  
대두되고 있으며, 이족보행로봇의 운동과 자세를 감지해  
내기 위한 계측기와 제어기의 개발이 요구된다.

다양한 환경<sup>[5]</sup> 하에서 적용 가능한 유연성과 인간의 걸  
음새와 유사한 동작의 구현을 위해서는 이족보행로봇 기  
구부의 자유도 확장이 요구되며 이는 전체 시스템의 확  
장을 요구한다. 여기서 통합제어환경의 구축으로 전체  
시스템의 사양과 각 구성요소 간의 데이터 교환을 검증  
할 수 있었으며 이족보행로봇의 걸음새 구현을 기존의  
방법보다 직관적이고 효율적으로 수행할 수 있었다.

통합제어환경의 이족보행로봇(IWR-III)과 이전 이족보  
행로봇(IWR-II)의 걸음새 구현을 비교하면 보행속도  
면에서 50%의 향상을 이루었으며, 보행간 각 관절의  
동작오차는 20%의 감소효과를 이룰 수 있었다. 현재의  
IWR-III가 고속 걸음새를 구현함을 감안하면 동작 오차  
는 현격히 감소하였다고 할 수 있다.

향후 이족보행로봇의 걸음새 궤적 생성과 검증 부분을  
추가하여 실시간 제어와 돌발환경에 대한 대처 그리고  
걸음새의 궤적 오차에 대한 보상 등이 요구되며 각 관절  
의 동작 오차를 감소하기 위한 다양한 서보제어 알고리  
즘(algorithm)의 적용과 구현이 필요하다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] 진광호, "이족보행로봇의 Kick선을 이용한 보행 구현", 대  
한전기학회 추계학술대회 논문집, p552~554, 1998.
- [2] 김종대, "이족보행로봇의 최적 균형 궤적 생성에 관한 연  
구", 인하대학교 대학원 석사학위 논문, p50~56, 1999.
- [3] 임선호, "이족보행로봇 IWR-III의 균형점 제어 구현에 관  
한 연구", 인하대학교 대학원 박사학위 논문, p124~164,  
1999
- [4] 최상호, "이족보행로봇 IWR의 동적 안정도를 균형점 해  
석에 관한 연구", 인하대학교 대학원 석사학위 논문,  
p16~27, 1998
- [5] 이보희, "이족보행로봇 IWR의 걸음새 구현", 인하대학교  
대학원 박사학위 논문, p113~115, 1996