

## TMO-eCos 기반의

# 실시간 이족로봇 제어 프레임워크에 관한 연구

박정화<sup>○</sup>, 이보은, 김정국  
한국외국어대학교

[vesuvius@hufs.ac.kr](mailto:vesuvius@hufs.ac.kr), [bbonya@hufs.ac.kr](mailto:bbonya@hufs.ac.kr), [jgkim@hufs.ac.kr](mailto:jgkim@hufs.ac.kr)

## A Study on TMO-eCos Based BIPED-Robot Control Framework

Jeong-Hwa Park<sup>○</sup>, Bo Eun Yi, Jung-Guk Kim  
Hankuk University of Foreign Studies

### 요 약

본 논문에서는 Micro 내장형 운영체제상의 실시간 객체 엔진으로 개발한 TMO-eCos를 기반으로 TMO를 이용한 이족로봇 제어 프레임워크와 이를 활용한 실제 사람의 동작과 유사하게 이족로봇을 제어할 수 있는 응용모델에 대해 기술한다. TMO 모델을 이용한 이족로봇 제어 프레임워크는 시스템 개발을 위한 객체 기반의 규격적 단층을 제공하여 모션캡처장비의 시그널을 분석 처리할 수 있도록 설계 구현되었다.<sup>1)</sup>

### 1. 서 론

최근 지능형 로봇과 같은 실시간 제어 시스템에 관한 연구가 국내외적으로 활발히 진행 중이다. 실제 사람이 동작하는 것과 유사하게 움직일 수 있는 이족로봇과 같은 실시간 제어 시스템의 제어는 모션캡처장비의 신호에 대한 주기적인 폴링, 응급 이벤트 발생에 대한 처리, 이에 관한 데드라인 기반 실시간 스케줄링 등이 필요한 시스템이다. 또한 각종 구동 및 센서와 관련된 공유 자료에 대한 실시간적 병행 접근을 제어하기 위한 실시간 매소드 간의 동기화가 요구된다.

TMO(Time-triggered Message-triggered Object) 모델은<sup>1)</sup> 규격적 실시간 프로그래밍 설계를 위해 제안된 모델로 객체 지향 프로그래밍, 시간과 메시지에 의해 구동하는 동적 실시간 스레드의 객체 멤버화, 데드라인 스케줄링 및 분산 IPC 등을 통합적으로 제공하는 모델로 실시간 제어에 대한 분석 가능한 규격적 모델을 제공한다.

본 논문은 이러한 이족로봇 제어 모델링에 적합한 도구인 TMO를 기반으로 한 프레임워크와 이를 활용한 응용 모델을 개발함으로써 실시간 임베디드 소프트웨어 분야에서 TMO의 응용 분야를 확보, 그 편이성 및 실시간성을 검증한다.

2장에서는 이족로봇 제어의 기반이 되는 TMO 모델에 관하여 기술하고, TMO-eCos<sup>2)</sup>에 관하여 기술하며, 3장에서는 실시간 이족 로봇 제어 프레임워크에 대한 설계 내용에 대해 기술하며 4장에서는 이족로봇 제어 프레

임워크의 응용에 대해 설명하고 마지막으로 결론 및 향후 연구 방향에 대해 논의한다.

### 2. 관련연구

#### 2.1 실시간 객체 TMO

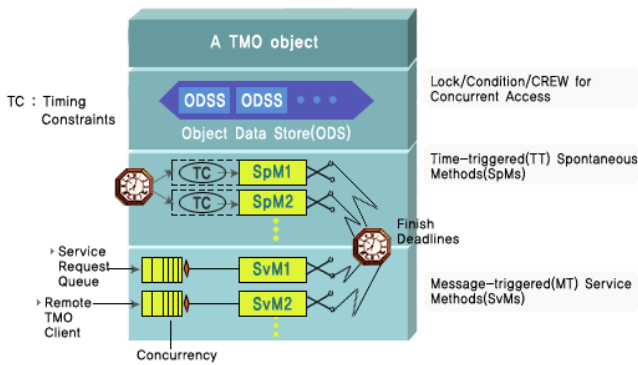
TMO는 실시간 객체 모델 형태로 정시 보장 컴퓨팅 패러다임(Timeliness guaranteed computing paradigm)을 지향한다. TMO는 경성 실시간 응용 프로그램뿐만 아니라 병렬 컴퓨팅 응용 프로그램에서도 사용할 수 있는 유연한 구조를 가졌으며 시스템 설계 시 정시 서비스를 보장한다. TMO의 특성을 요약하면 다음과 같다.

- TMO는 ODS (Object Data Store)와 이들을 공유하는 method인 thread군으로 구성된다.
- TMO의 method는 그 특성에 따라 두 개의 그룹으로 나누어진다. 하나는 시간 조건에 의해 구동되는 SpM (Spontaneous Method)이고, 다른 하나는 분산 환경에서 클라이언트가 보내는 메시지에 의해 구동되는 SvM (Service Method)이다. SpM은 실행 주기와 수행 데드라인이 주어지며 SvM은 수행 데드라인을 가진다.
- SpM과 SvM이 객체 내의 공유 데이터에 동시에 접근하여 충돌이 발생할 경우 SpM은 SvM 보다 높은 우선순위를 가지는데, 이것은 설계 시 시간 보장의 개념을 도입하기 위해 SpM과 SvM의 시간 선점을 계층화한

1) 본 논문은 정보통신부 ITRC 및 국과연의 지원에 의한 것임.

것으로 BCC (Basic Concurrency Constraints)라 한다.

- SpM과 SvM의 ODS에 대한 병행 접근의 동기화를 위해 CREW (Concurrent Read Exclusive Write) 모니터를 함께 제공한다.
- SpM과 SvM의 설계 시 필요한 실행 주기와 데드라인은 ACC (Autonomous Activation Condition)에 정의되며 기본 단위는 1/1000초이다.



[ 그림 1 ] TMO 구조

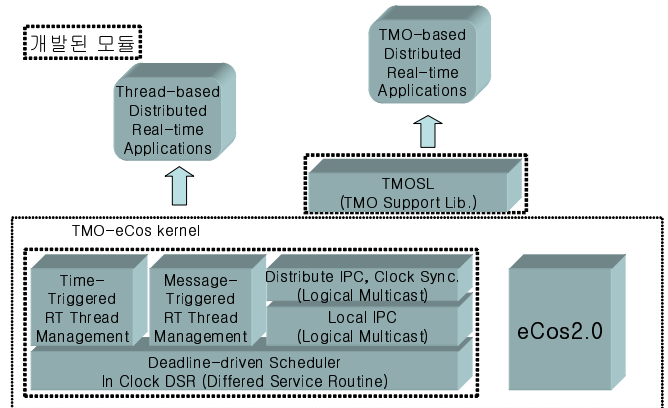
[그림 1]은 TMO의 구조를 도식화한 것으로 TMO는 일반적인 객체 모델과 같이 객체 내 자료 저장소(ODS)와 이 자료를 제어하는 SpM과 SvM으로 구성된다. SpM은 실시간 클럭에 의해 주기적으로 구동되며, SvM은 리모트 혹은 로컬 노드로부터 전달된 메시지에 의해 구동된다. 구동된 SpM과 SvM은 주어진 데드라인 안에 그 수행을 마치도록 스케줄 된다.

## 2.2 TMO-eCos

TMO-eCos는 TMO를 활용한 분산 실시간 애플리케이션의 수행을 지원하는 eCos 기반의 커널이다. TMO-eCos는 TMO 기반의 분산 실시간 객체 지원을 위해서 다음과 같은 기능을 제공한다.

- CPU의 성능에 따라 최서 30us에서 10ms까지의 정밀도로 타임트리거드 스레드와 메시지트리거드 스레드의 마감시간 구동 실시간 스케줄링을 제공함
- 타임트리거드 실시간 스레드의 정시 구동 (on-time activation)을 제공함
- 논리적인 멀티캐스트 IPC 서브시스템을 제공하며, 원격 및 로컬 메시지를 통한 메시지트리거드 실시간 스레드 구동 기능을 제공함

- 분산 노드간의 클럭 동기화 제공 (선택사항)
- TMOsL<sup>3</sup> (TMO Support Library)을 이용한 TMO 기반의 프로그래밍 방법을 제공함



[그림 2] TMO-eCos의 구조

[그림 2]는 TMO-eCos 커널 구조를 보여준다.

## 3. 실시간 이족로봇 제어 프레임워크 설계

이처럼 실시간성과 뛰어난 확장성 등의 특징을 지닌 TMO시스템을 로봇의 제어에 활용하기 위한 일환으로 사람과 유사한 이족로봇의 제어 프레임워크를 설계, 적용하였다.

이족로봇 제어 프레임워크는 다음과 같은 설계 요구사항을 갖는다.

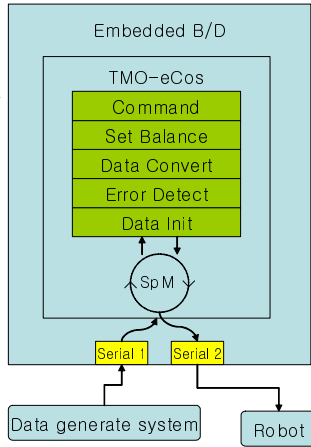
- 영점설정 : 로봇에게 명령을 내릴 장비 즉, 모션 Data를 생성하여 전송해줄 장비에 따라 전송되는 초기 값이 다를 수 있기 때문에 이를 위해 영점을 설정하는 과정이 필요하다.
- 오류검출 시스템 : 로봇이 오동작을 일으킬 경우에 대비하여 오류가 있는 데이터인지의 여부를 판단하는 알고리즘이 필요하다.
- 모션 데이터 재구성 : 로봇과 사람의 무게중심과 활동범위, 관절의 움직임 방향이 다르기 때문에 사람의 모션을 로봇에 맞게 적용, 변환 시켜주는 과정이 필요하다.
- 복합적 기능의 모듈화 : 특정 동작과 행동에서 미리 예정된 복잡한 기능을 수행함으로써 사용자의 편의와 보다 완벽한 작업을 구현할 수 있다.

상대적으로 작은 용량을 사용하고 Embedded 시스템에 적합하게 설계된 TMO-eCos 를 이용한 로봇 제어 프레임워크의 특징은 다음과 같다.

- 단일 Embedded시스템에 탑재되어 동작하기 때문에 중계시스템의 크기를 획기적으로 줄일 수 있다.
- SpM들은 동작데이터 전송장비의 영점을 설정하거나 주기적으로 동작데이터 전송장비의 신호를 저장하여

전송하는 역할을 한다. 이러한 SpM의 주기적으로 동작하는 특성 때문에 특정 장비에 대한 주기를 일반화시킬 수 있다.

- 뛰어난 확장성으로 중계시스템끼리 통신, 다수의 로봇을 유기적으로 동작시킬 수 있다.



[그림 3] 실시간 이족로봇 제어 프레임워크

[그림 3]은 실시간 이족로봇 제어 프레임워크를 보여준다.

#### 4. 실시간 이족로봇 제어 프레임워크의 응용

실시간 이족로봇 제어 프레임워크의 응용은 DoMotion사의 DoMotion Standard Motion Capture System<sup>4)</sup>과 i386board, 미니로봇의 ROBONOVA-I<sup>5)</sup>을 사용하여 구현하였다.

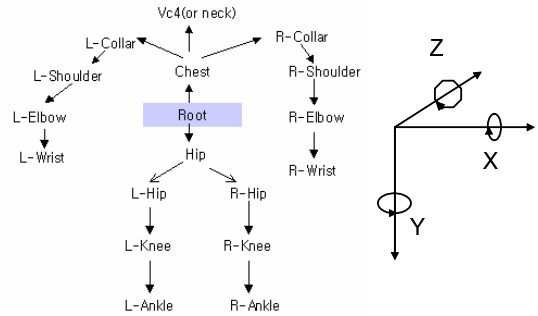
로봇의 주요 하드웨어/소프트웨어 사양은 다음과 같다.

- 최대 동작범위가 180°인 16개의 HSR-8498HB 서보모터로 구성되어져 있다.
- ROBONOVA-I을 위해 고안된 MR-C3024보드는 최대 24개의 서보모터를 구동시킬 수 있으며 사전에 프로그래밍된 동작을 명령으로 입력받아 로봇을 동작시킬 수 있다.

모션캡춰장비의 주요 관절과 특징은 다음과 같다.

- 모션캡춰장비는 크게 광학식, 자기식, 기계식의 세 종류로 나누어지는데 DoMotion Standard Motion Capture System은 기계식 모션캡춰장비이다. 즉, 각 관절에 회전센서가 부착되어 사용자의 움직임을 측정한다.
- 총 16개의 센서(각 관절당 한 개)를 가지고 있으며 TILT(X-Rotate)-270°, TWIST(Z-Rotate)-270°, YAW(Y-Rotate)-240°의 동작범위를 갖는다.

[그림 4]는 모션캡춰장비의 각 관절에 부착된 각도센서와 X, Y, Z 축을 중심으로 한 각도의 회전방향을 나타내고 있다.



[그림 4] 모션캡춰장비의 각 관절과 각도

모션캡춰장비와 로봇을 동기화 시키려면 모션캡춰 시스템의 데이터를 분석하여 처리한 후 다시 로봇에게 명령을 내릴 중계 시스템이 필요하다. 이러한 시스템을 TMO-eCos를 탑재한 i386 Board로 설계하였다. SpM을 이용하여 주기적으로 모션캡춰장비의 데이터를 분석, 변환하여 로봇에 전송해주는 시스템을 구축하였다.

구현된 중계 시스템의 역할은 다음과 같다.

- Booting 후 특정 모션에 대한 각 관절의 초기 값 저장한다.
- 모션캡춰장비의 각도 단위와 로봇의 각도 단위의 불일치성을 해결한다.
- 모션캡춰장비에서 전송되는 잘못된 데이터를 검출한다.
- 모션캡춰장비의 데이터를 분석, 중심이동 판별 및 보정한다.
- 전송받은 데이터의 Command 여부 판단 후 해당 시그널을 전송한다.
- 각 관절의 최대 활동범위를 지정한다.

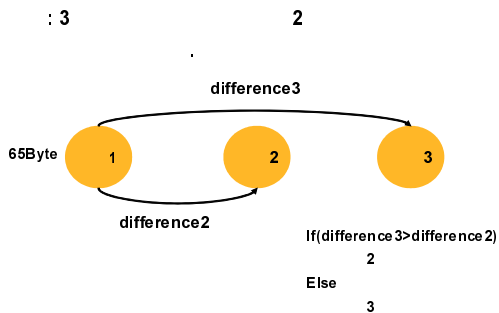
아래의 내용은 위의 내용을 자세히 설명한 부분이다.

모션캡춰장비의 센서는 무릎을 제외한 모든 관절의 값을 X, Y, Z 축을 중심으로 나타낸다. 무릎관절은 그 특성상 X축의 데이터만 존재한다. 모션캡춰장비의 특성상 사람의 신체에 착용하여 기계식 센서로 각 해당 관절의 각도 값을 산출하기 때문에 각 사람의 착용하고 있는 상태와 기계의 상태에 따라 같은 동작이라도 각 관절의 값이 각각 다르게 측정될 수 있다. 이와 같은 문제점을 보완하기 위하여 처음 Board가 운용될 경우 초기 SpM이 동작, 비프 음에 맞추어 카운트다운을 시작하고 카운트다운 종료 시에 정해진 특정 동작의 각 각도센서 값을

추출한다. 이렇게 추출된 값은 이후 주기적으로 동작하는 SpM에 의해 전송받은 각도의 값과 비교하여 특정 동작에서 움직임 정도를 파악할 수 있다.

모션캡춰장비의 데이터는 총 65Byte가 하나의 모션을 나타낸다. 즉, 65Byte의 데이터가 그 순간 작용한 사람의 자세를 나타낸다. Byte의 순서는 고정되어 있으며 각 Byte가 의미하는 값은 특정 관절의 각도이다. 이 각도는 실제의 각도 값에 5/6을 곱한 데이터로 출력되며 이 각도를 로봇에 적용시키기 위해서 반대로 6/5의 값을 곱해 로봇의 해당 모터에 전송해야 한다.

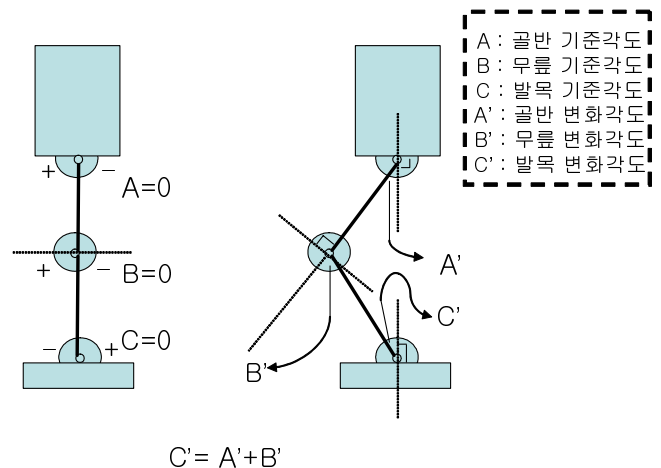
모션캡춰장비는 비주기적으로 잘못된 데이터를 전송해준다. 하나의 모션 즉, 65Byte의 데이터 중 어떠한 Byte 값이 어떻게 잘못 전송될지 전혀 예측할 수 없다. 이러한 오류는 규칙성이 없어 사람이 실제 움직이는 데이터인지 아니면 잘못된 데이터인지를 구분하기 힘들다. 잘못된 데이터를 변환하여 로봇에 적용할 경우 로봇이 넘어지거나 큰 오작동을 하게 된다. 따라서 실제 사람의 움직임과 잘못된 데이터를 판단하여 보완해줄 수 있는 알고리즘이 필요하다. 이러한 오류검출 방법으로 우선 연속된 세 개의 모션 가운데 많어도 한 개 이하의 모션만이 잘못되었다는 가정을 한다. 그 후 모션캡춰장비에서 전송되는 연속된 세 개의 모션을 저장하여 첫 번째 모션과 나머지 모션들을 각각 비교하여 각 모션마다 첫 번째의 모션과 어느 정도의 차이를 보이는지 계산한 후 가장 차이가 적은 모션을 선별하여 변환 전송할 모션으로 선택한다. 이러한 알고리즘을 적용할 수 있는 이유는 모션캡춰장비에서 전송되는 각 관절의 데이터가 고속으로 전송되기 때문이다. 즉, 고속으로 전송되기 때문에 사람이 움직일 경우 각 데이터별로 차이가 있지만 연속된 모션의 경우 그 차이가 미세하다. 만약 첫 번째 모션에 오류가 존재하더라도 선택하는 최종 모션은 두 번째와 세 번째 모션 중 하나이기 때문에 이러한 오류가 적용되는 것을 피할 수 있다.



[그림 5] 오류가 있는 모션 데이터 필터링방법

[그림 4]는 연속된 모션 3개를 추출, 첫 번째 모션과의 각 Byte별로 차이 값을 구한다음 그 값으로 두 번째 모션과 세 번째 모션 중 하나를 선택하는 것을 보여준다.

로봇의 상체가 컨트롤 보드를 포함하여 상대적으로 하체보다 무겁기 때문에 한발로 중심을 잡기란 힘들다. 따라서 모션캡춰장비의 데이터를 로봇에 맞게 보정해줄 필요가 있다. 이를 위해서 가장 먼저 필요한 것이 한 발로 땅을 지탱하고 있는지의 여부를 판단하는 것이다. 발에는 발목관절, 무릎관절, 골반관절이 있는데 이 세 개의 관절이 어느 정도 굽혀있는지에 따라 상체와 지면사이의 거리가 좌우된다. 이러한 점을 이용하여 양 다리의 세 개의 관절 값을 비교하여 특정 수치 이상의 차이가 나면 한쪽 다리에 중심이 이동된 것으로 판단하여 로봇을 지탱하고 있는 발의 특정 수치를(무게를 지탱하고 있는 골반과 발목의 Z축 값) 변환하여 한쪽 다리로 지탱할 수 있도록 하였다. 또한 로봇을 지탱하는 발목 관절의 X축 좌표에 따라 로봇이 쉽게 앞으로 넘어지거나 뒤로 넘어질 수 있기 때문에 이러한 좌표 값을 보정할 필요가 있다. 항상 지탱하고 있는 발목의 X축 좌표는 무릎과 골반의 X축 좌표를 기준으로 계산하여 산출하고 항상 지탱하고 있는 발의 표면이 지표면과 평행을 이룰 수 있도록 하여 균형을 잡는데 도움을 줄 수 있도록 하였다.



[그림 6] 발목의 좌표 계산

[그림 6]은 로봇의 골반의 좌표와 무릎의 좌표로 발목의 좌표를 지표면과 평행하게 유지하는 것을 보여준다.

걷는 동작은 실제 복잡하고 완벽한 중심이동을 요구한다. 이로 인해서 모션캡춰장비를 사용하여 걷는 동작을 하는 것은 많은 시간과 노력이 필요하다. 이러한 문제를

해결하기 위해 실제 로봇에 존재하지는 않지만 모션캡춰 장비에서 존재하는 손목 관절을 사용하여 명령어를 입력 받을 수 있도록 하였다. 즉, 모션캡춰장비의 목관절과 허리관절 등 사용하지 않는 관절 중에서 상대적으로 자유로운 양쪽 손목관절의 굽혀짐 정도에 따라 걷는 동작, 방향 회전, 뒷걸음 여부를 판단하여 그에 따라 미리 로봇에 입력되어진 동작을 수행한다. 이때 로봇의 하반신은 명령어에 따라 움직이되 상반신은 사람의 모션과 똑같이 움직이도록 하였다.

사람과 로봇의 각 관절 활동범위가 다르기 때문에 로봇의 활동범위를 초과하는 데이터를 전송하면 로봇의 모터에 무리가 가해지고 이로 인하여 모터가 동작하지 않는 경우가 생긴다. 이러한 것을 방지하기 위하여 로봇의 각 관절이 움직일 수 있는 최대값을 조사하여 모션캡춰장비의 데이터가 이 값을 초과하면 해당 관절의 최대 활동범위 값으로 동작할 수 있도록 한다.

## 5. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 TMO 엔진을 이용한 실시간 로봇 제어 프레임워크의 일환으로 이족로봇 제어프레임워크에 대해 기술하였다. TMO-eCos를 이용한 제어프레임워크는 뛰어난 확장성과 실시간성 보장, Embedded 보드에 탑재 가능, 다른 장비와 Message를 기반으로 통신하며 동작할 수 있다는 특성을 지닌다. 본 논문에서는 이족 로봇이라는 특정 종류의 로봇에 맞게 프레임워크를 구성하였지만 이와 같은 TMO 엔진의 특성은 사회의 여러 부분에 각기 다른 모습으로 적용될 다양한 종류의 로봇 제어 프레임워크의 플랫폼으로 제공될 수 있다. 향후 연구 과제로는 무선화된 통신 방법을 사용한 로봇의 제어와 TMO 엔진의 SpM으로 주변 환경 변화를 주기적으로 인지, 판단하여 동작하는 플랫폼의 구성, TMO 엔진의 확장성을 이용하여 인공지능을 적용한 각 노드가 유기적으로 통신하여 특정 목표에 대해 대처할 수 있도록 하는 연구가 필요하다.

## 6. 참고 문헌

1) K.H Kim and H. Kopetz, "A Real-Time Object Model RTO.k and an Experimental Investigation of Its Potentials", Proc. 18th IEEE Computer Software and Applications Conference, pp.392-402, November 1994.

2) 김광, "TMO-eCos : 분산 실시간 객체 모델을 지원하는 eCos 기반의 마이크로 운영체제", 한양대학교 컴퓨터공학과 박사학위논문, 2005년 12월.

3) J.G. Kim, M.H. Kim, B.J. Min, and D.B. Im, "A Soft Real-time TMO platform - WTMOS - and Implementation Techniques", Proc. 1<sup>st</sup> IEEE International Symposium on object-oriented Real-time Distributed Computing, pp.254-264, April 1997.

4) Domotion Motion Capture System user manual

5) ROVONOVA-I manual