

제7권1호

2009년도

# 한국인터넷방송통신TV학회 춘계학술대회 논문집

일시 : 2009년 5월 29일(금)


장소 : 한국과학기술회관(강남역)

홈페이지 : <http://www.iwit.or.kr>

주관 및 주최 : (사)한국인터넷방송통신TV학회

(사)인터넷방송통신기술원

동아방송예술대학 성장동력사업단



**IWIT** (사)한국인터넷방송통신TV학회

- D-2 ▶ 분자선 에피택시 장치로 성장한 GaN 에피층의 열처리 효과 / 97  
[최성재, 이원식 (경원대)]
- D-3 ▶ 효율적인 베이지안망 학습을 위한 엔트로피 적용 / 101  
[허고은, 정용규 (울지대)]
- D-4 ▶ Relex프로그램을 이용한 교육용 6족 다관절 로봇의 고장률 측정에 관한 연구 / 106  
[김동호, 김영철 (홍익대)]
- D-5 ▶ 소형 다관절로봇 RTOS 구현을 위한 디자인 패턴 적용 / 110  
[손현승, 김우열, 김영철 (홍익대)]
- D-6 ▶ PDA를 활용한 건강모니터링 시스템의 설계 및 구현 / 114  
[오지수, 이명화, 임명재, 이기영 (울지대)]
- D-7 ▶ 동판 결함 검사 알고리즘 연구 / 119  
[한창호, 김순철, 오춘석 (선문대)]
- D-8 ▶ 시각장애인용 길안내 시스템 구축을 위한 Android OS 기술 연구 / 123  
[변소영, 노일순 (울지대)]



# Relex프로그램을 이용한 교육용 6축 다관절 로봇의 고장률 측정에 관한 연구

## A Study on Failure Rate Measurement for The Educational Multi-Joint Robot Using Relex Software

김동호, 김영철

Dong-ho Kim, R. Young Chul Kim

홍익대학교 컴퓨터정보통신공학과

{ray,bob}@selab.hongik.ac.kr

### 요 약

현재 로봇산업에 대한 관심이 높아져감에 따라 특히 교육용 로봇의 품질에 관한 연구도 활발히 진행 중에 있다. 로봇은 몸체를 구성하고 가동하는 기계적인 부품뿐만 아니라 로봇의 행동을 제어하는 많은 하드웨어 부품으로 구성되어 있다. 기존 임베디드 시스템과는 달리 교육용 6축 다관절 로봇을 조립 및 교체 가능한 부품단위로 정의하여 각 부품별 고장률을 측정하여 이를 활용하고자 한다. 이에 교육용 6축 다관절 로봇을 Relex<sup>TM</sup>라는 하드웨어 분석 도구를 이용하여 각 부품들의 신뢰성뿐만 아니라 각 부품들의 집합부품인 모듈의 고장률도 측정하여 정확한 로봇의 신뢰성측정을 하고자 한다.

**키워드 :** 다관절 로봇, 고장률 Multi-joint Robot, Failure rate

### 1. 서 론

전 세계적으로 로봇산업에 대한 관심이 높아지고 그로 인해 차세대 성장동력 산업으로 로봇산업이 중요하게 되었다. 그래서 현재 로봇에 관련한 많은 연구가 진행되고 있다. 이에 기존 로봇의 행위를 제어하는 소프트웨어들의 고장률 분석은 소프트웨어와 하드웨어의 복합적인 고장률을 분석해야 전체적인 고장률과 신뢰성을 분석해야 한다. 그래서 현재 진행 중인 6축 다관절 로봇을 기반으로 각 부품들뿐만 아니라 부품들의 집합인 모듈단위에서의 고장률을 측정해 보고자 한다. 모듈 단위로 측정하는 이유는 향후 6축 다관절 로봇 뿐만 아니라 2축 보행로봇을 구성할 때도 각 모듈별로 조립 가능한 모델링 & 시뮬레이션 도구 개발 시 활용하고자 한다. 우선 6축 다관절 로봇을 구성하는 전자부품들의 고장률을 측정하기 위해 Relex 도구는 저항, 집적회로, 커패시터, 등 각 부품들의 고유의 고장률을 분석하여 보여줄 뿐만 아니라 각 부품들이 기판에 집적될 때 각 소자들 별로 나오는 열과 전압 등의 스트레스 요소를 고장률 분석에 적용할 수 있다.

하지만 Relex 도구는 실제 시스템 전체에서 소프트웨어가 끼치는 고장률 분석에 관한 정보가 미흡한 부분이 있다. 그러나 전체 로봇 전자부품의 고장률을 측정하기엔 적합하다. 또한 교육용 6축 다관절 로봇을 전체 하나의 시스템으로 보고 있지만, 상황에 따라 부품들을 추가 및 교체가 가능하고 업그레이드 가능한 모듈단위로 6축 다관절 로봇을 구성하고자 한다. 그래서 6축 다관절 로봇의 수명은 하드웨어 부품에 대한 고장률을 Relex 하드웨어 고장률 분석 도구를 통해 기존 6축 다관절 로봇의 모듈 단위를 기반으로 각 모듈들의 고장률을 분석하여 각 단위별 고장률 수준을 정의하고 이를 바탕으로 전체적인 교육용 로봇시스템에 각 모듈들이 미치는 영향을 살펴보고자 한다.

### II. 본 문

#### 2.1 하드웨어 신뢰도 예측규격

신뢰도에 예측규격을 지원하는 relex 도구는 전기전자시스템 및 기계적인 시스템의 고장율과 MTBF(Mean Time Between

Failures)를 예측하고 FEMA(Failure Mode and Effective Analysis), FEMECA, (Fault Tree RBD simulation) 등의 다양한 분석기법을 제공하는 신뢰성분석 도구이다. 기본적으로 시스템 및 부품의 전체적인 또는 부분적인 고장율과 신뢰성 및 가용성을 빠르고 정확하게 계산한다. 대표적인 신뢰도 예측규격은 다음과 같다<sup>[2]</sup>.

### 2.1.1 MIL-HDBK-217

1965년 미국 DoD (Department of Defense)에서 제정하였고, 전기전자부품과 어셈블리의 신뢰도평가척도와 방정식을 제공한다. Part Stress와 Part Count의 방식이 제공되며, Relex Prediction에서는 MILHDBK-217에서 제공하는 모든 예측방식을 이용할 수 있다<sup>[2]</sup>.

Part Stress Method 시스템설계 완성단계에서 주로 적용하는 방식이며, 시스템과 부품의 설계에 따른 고유스펙과 다양한 파라메타 설정이 필요하다. 일반적으로 많이 사용되는 방식이다<sup>[2]</sup>.

Part Count Method 시스템설계 초기단계에서 적용하는 개략적 예측방식이며, 몇 가지의 팩터만을 이용하여 고장률을 예측하는 방식이다. 요구되는 팩터로 Quantity(수량), Quality(등급), Environment (사용환경)등이 요구된다<sup>[2]</sup>.

### 2.1.2 Bellcore

1990년대 중반에 AT&T Bell 연구소에서 제정하였고, MIL-HDBK-217을 근거로 상용부품(Commercial)과 통신(Communication)부품에 대한 고장률예측을 위한 규격이다. 현재 미국 내에서 많이 활용되고 있으며, 향후 확산될 전망이다. MIL규격과 달리 단위시간이  $10^9$  단위로 고장률을 표기한다<sup>[3]</sup>. 각 부품과 어셈블리에 대한 팩터설정이 MIL-HDBK-217에 비해 소수인 반면 Field Data, Laboratory Test Data, Burnin Data를 고려하여 예측한다<sup>[3]</sup>.

### 2.1.3. RAC Prism

미국 RAC(Reliability Analysis Center)에서 개발하였고, MIL-HDBK-217 또는 기존의 신뢰도 예측규격들의 단점을 보완하여 새로이 개발된 기법이다. RACRates 라는 차세대 부품 신뢰도모델을 제공하며, 기존규격들이 취약했던 시스템 팩터나 스트레스 팩터가 강화되었다<sup>[3]</sup>.

## 2.2 Relex를 활용한 각 부품별 고장률계산

교육용 6족 로봇의 부품들은 다음의 부품들이 많이 구성되어 있다. 각 소자단위의 부품들이 조립될 때 어느 형태로 조립되는가도 고장률에 큰 영향을 미친다. 각 부품들이 조립

된 형태에 따라 발열 등의 스트레스 요소가 달라지기 때문이다. 그리고 각 소자별 특성 또한 적용해야 한다<sup>[3]</sup>.

### 2.2.1 Capacitor (캐패시터)

캐패시터의 고장률을 계산하기 위해서는 온도 및 부품등급, 정전용량, 전압스트레스등 다양한 팩터가 요구되며, 부품종류마다 각기 다른계산식이 제공된다<sup>[3]</sup>.

### 2.2.2 Integrated Circuit (집적회로)

MIL-HDBK-217F를 기준으로 할 때 Technology Type에는 LSTTL, LTTL, TTL, MOS 등 16가지종류의 타입이 제공된다. # of Gates 는 IC에 구성되어 있는 Gate 수를 입력하며, Pins 에는 IC에 접점을 갖는 핀의 수를 입력한다<sup>[3]</sup>.

### 2.2.3 Resistor (저항)

MIL-HDBK-217F 규격을 참조하면 다른 부품도 마찬가지로 Resistor의 항목은 다양한 서브카테고리를 가진다. 레지스터라는 한 부품종류에도 다양한 재질과 타입들이 있으며, 사용자는 정확한 서브카테고리의 분류에 대한 이해가 있어야 한다<sup>[3]</sup>.

## III. 적용사례

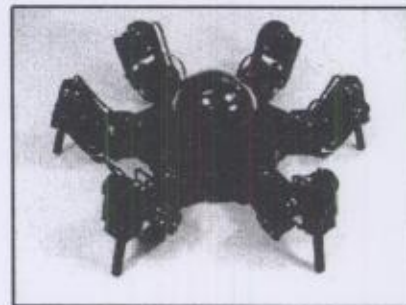


그림 1. KMC-교육용 6족 다관절 로봇

적용한 다관절로봇은 산악지형, 사막, 수중과 같은 다양한 환경 속에서 임무를 수행할 수 있다. 험난한 지역을 이동하기 위해서는 다관절 로봇의 형태가 적합하지만 다리가 많고 동시에 움직여야하는 어려움이 있다. 또한 대부분의 운용환경이 험난한 지형이 많기 때문에 로봇의 신뢰성 또한 매우 중요하다<sup>[4]</sup>.

6족 다관절 로봇은 각 다리에 3개의 관절을 사용해서 총 18개의 서보모터를 사용하는 다관절 로봇이다. <표 1>은 6족



로봇의 시스템 구성을 정리한 것이다<sup>[4]</sup>.

교육용 6족 다관절 로봇은 ATmega128 MCU를 사용하고 초음파 센서 2개를 장착하여 장애물을 피할 수 있도록 되어 있다<sup>[4]</sup>.

표 2. 교육용 6족 다관절 로봇의 시스템 사양

구분	교육용 6족 다관절 로봇
Microcontroller	Atmel ATmega128 16MHz
OS	none
RAM	4Kbyte
EEPROM	128Kbyte
Sensor	2
Communication	Bluetooth
Motor	18
JVM	No
Language	C

6족 다관절 로봇의 특징은 프로세서를 2개 나누어 센서부와 수행부로 나뉘어져 있다. 센서부는 상위모듈이라고 하고 수행부는 바디 모듈이라고 부른다. 상위 모듈과 바디 모듈은 UART를 통해서 프로세서간 통신을 수행한다. 상위 모듈은 센서로 이루어져 있으며 센서를 제어하기 위한 포트로 구성되어 있다.<sup>[4]</sup>

교육용 6족 다관절 로봇의 클래스 다이어그램은 다음과 같다. 실제 로봇의 부품을 분류하였을 경우 6개의 부품으로 나뉘지만 전자부품으로 분류했을 경우 [그림 2]와 같이 크게 5 부품으로 나뉘는 것을 알 수 있다.

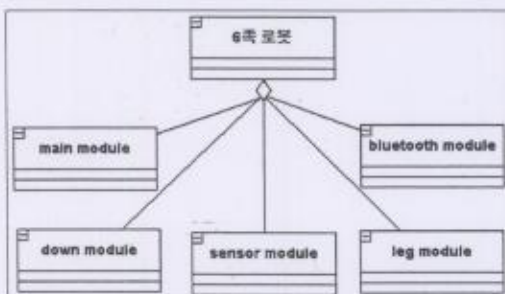


그림 2. KMC-교육용 6족 다관절 로봇의 클래스 다이어그램

6족 다관절 로봇은 메인모듈과 다운로드 모듈, 센서 모듈, 블루투스 모듈 그리고 다리(구동)모듈로 구성된다. 메인모듈은 로봇의 실제 행위동작을 제어하고 다운로드모듈은 로봇의 행위를 코딩하여 호스트 컴퓨터에서 6족 다관절 로봇으로의 데이터를 다운로드할 시 사용되며, 센서모듈은 초고주파 센서로 구성된 센서에서 감지된 데이터 값을 메인모듈로 전달하는 역할을 한다. 다리모듈은 메인모듈에서 전달된 신호를 기

반으로 각 다리마다 있는 3개의 서보모터를 제어하여 동작을 한다.

각 모듈들은 많은 수의 전자부품으로 이루어져 있고 또한 각각의 고장률 또한 다 다르다. 우리가 사용하고자 하는 도구는 각 전자부품별 고장률뿐만 아니라 모듈단위의 고장률도 분석이 가능하며 기관에 집적된 상태에서의 온도 및 기타 환경변수 값의 적용도 가능하다.

그래서 6족 다관절 로봇의 각 부품별 및 모듈별 고장률을 도구에 적용하여 나온 결과 값은 다음 [그림 3]과 같다. [그림 3]에서 main module을 살펴보면 각 IC, 레지스터, 커패시터 등 다양한 부품들의 조합으로 구성된다. 측정된 고장률을 살펴보면 다음과 같다. Main module의 전체적인 고장률은 1.94715를 나타내고 Bluetooth Module은 0.159606, Download Module은 0.054401, Sensor Module은 0.727969, Leg Module(servo motor)은 28.699779의 고장률을 나타낸다. 각 완성된 부품들의 고장률 및 각 구성 부품들의 고장률은 오른쪽 결과 값으로 나타나며 전체적인 6족 로봇의 고장률 또한 나타낸다. 각 점선으로 된 박스로 체크된 부분은 6족 로봇의 전체 고장률과 완성된 각 부품의 고장률을 나타낸다.

System Tree	
Name	Failure Rate, Predicted
6족 로봇 Board	31.588930
main module(Body)	1.94715
ATmega128	0.002806
AT24C256n-105C-2.7	0.001631
LM1117 3MPX-5.0	0.001824
MAX232(SO type)	0.001053
MO 104(2012size)	0.016380
20pF(2012size)	0.006552
1uF(3216 Size)	0.016380
10uF/25V	0.006552
10k(2012size)	0.216047
3.3k(2012size)	0.144031
AT5-16Vn	1.000000
1n4148	0.000922
bluetooth module(Body)	0.159606
MAX232(SO type)	0.001631
22uF(2012size)	0.013104
4.7k(2012size)	0.072016
220(2012size)	0.144031
11175 - 3.3V(452)	0.001053
download module(Body)	0.054401
74HC244	0.002806
100k	0.072016
1M4148	0.000922
104	0.003276
Sensor Module(Head)	0.727969
MS24A30	0.727969
22uF(2012size)	0.000000
Leg Module(Leg)	28.699779
Servo Motor	28.699779

그림 3. 각 부품별 고장률

표 3. 측정된 각 모듈별 고장률

Name	failure rate
Main Module	1.947175
Bluetooth Module	0.159606
Download Module	0.054401
Sensor Module	0.727969
Leg Module (servo motor)	28.699779
Total	31.588930

측정된 고장률 데이터를 기반으로 6족 다관절 로봇의 각 모듈별 고장률 수준을 정의할 수 있다.

고장발생확률수준은 4단계로 수준1(매우적음)은 발생확률 0.01 이하를 뜻하고 수준2는 발생확률 0.01 ~ 0.1, 수준3은 발생확률 0.1 ~ 0.2, 수준4는 발생확률 0.2 이상을 말한다<sup>[5]</sup>.

고장발생확률수준을 기반으로 우리는 6족 로봇 모듈들의 수준을 측정해본 결과 메인 모듈은 수준4로 고장발생확률이 높은 편이었고 다운로드 모듈은 수준2로 발생확률이 적은 편이었다. 블루투스 모듈은 수준3으로 중간정도의 발생확률을 나타냈다. 센서모듈은 수준4 그리고 구동모듈 또한 수준4를 나타냈고 이들의 통합적인 수준은 4를 보여줬다. 이는 우리가 정의한 교육용 6족 다관절 로봇의 모듈들의 구조에서 운행과 관련된 다리쪽 모듈이 전체 로봇 시스템에 커다란 영향을 준다는 것을 알 수 있다.

#### IV. 결론

하드웨어 신뢰성 측정도구인 Relex를 사용하여 6족 다관절 로봇의 하드웨어 부품 고장률을 측정하였다. 6족 다관절 로봇의 소자 부품들의 고장률뿐만 아니라 각 소자들의 집합체인 완성품에 대한 고장률을 측정할 수 있게 되었다. 이를 기반으로 각 부품 모듈들의 고장률 수준을 측정하였고 실제 6족 다관절 로봇을 운용하는 업체에서의 고장 부품들의 수준 또한 유사함을 알 수 있었다. 이 부품 모듈들의 수준을 개발단계 전 과정에 적용하여 하드웨어의 고장률 수준을 6족 다관절 로봇 환경에 맞게 재정의 하고자 한다. 향후 개발한 로봇 모델링 & 시뮬레이션 도구 상에서 로봇 행위에 따른 고장률을 분석하고자 한다.

본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터육성지원사업의 연구결과로 수행되었음 (C1090-0903-0004).

본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임.

#### 참고 문헌

- [1] 체제욱, 김현준, 이성배, 이준호, 박병두 "Relex 프로그램을 적용한 소구경화기의 고장계통분석에 관한 연구, 2008
- [2] MIL-HDBK-217 MILITARY HANDBOOK, 1990
- [3] 장주수, 송준엽, 박상준, "신뢰도예측 가이드", 2004
- [4] 김재수, 손현승, 김우열, 김영철, "다관절 로봇 제어를 위한 교육용 소프트웨어 연구", 2008.
- [5] 송준엽, 이후상, 장주수, 정지용, 하성도 "고장모드 및 영향, 치명도 해석(Failure Mode and Effects, Criticality Analysis)", 2005