

조선용 자율주행형 용접로봇 제어시스템 설계

Design of control system for autonomous mobile welding robot in ship yard

*임현영¹, 우종진¹, 오민재², 구남국², 이상무³, 김태완², 이규열², #김종원¹
 *H. Y. Lim¹, J. J. Woo¹, M. J. Oh², N. K. Ku², S. M. Lee³, W. T. Kim², K. Y. Lee², #J. W. Kim¹ (jongkim@snu.ac.kr)
¹ 서울대학교 기계항공공학부, ² 서울대학교 조선해양공학과, ³ 한국생산기술연구원 로봇기술개발본부

Key words : Mobile Welding Robot, Hybrid Control Architecture, Control System

1. Introduction

조선소의 용접 대상물은 개방형 선체구조와 이중 선체구조로 분류할 수 있다. 개방형 선체구조에서는 고정식 6축 로봇이 용접작업을 수행하고 있으며 이동 능력이 없기 때문에 고정된 위치에서만 용접작업이 가능하다. 용접이 끝나면 작업자가 갠트리 크레인을 조작하여 다음 작업위치로 로봇을 이동시킨다. 하지만 이중 선체구조는 이중으로 밀폐되어 있기 때문에 개방형 선체구조에서 이용하고 있는 방식으로 로봇을 이동시킬 수 없다. 따라서 용접 자동화가 이루어지지 않았으며 관련된 많은 연구가 수행되어 왔다.

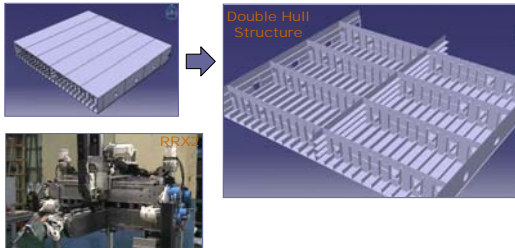


Fig. 1 Double Hull Structure and RRX2

서울대학교와 대우조선해양(주)은 이중선체구조에서 용접작업을 수행할 수 있는 자율주행형 용접로봇 'Rail Runner' (RRX) 개발과제를 수행하고 있다. 최근 RRX의 2번째 버전인 RRX2의 Mobile Mechanism 과 제어기 하드웨어 설계에 대한 내용이 발표 되었다[1]. RRX2는 중, 횡방향 이동을 위한 Mobile Platform 과 용접기능을 위한 Welding Unit 으로 구성 되었으며 총 14 축의 Servo Motor 가 사용 되었다. 본 논문에서는 RRX2의 제어기 하드웨어와 소프트웨어 설계를 포함한 제어시스템 구현에 대한 내용을 기술한다. 연구용이 아닌 산업 현장에서 작업할 수 있는 로봇을 목표로 하였기 때문에 견실한 제어구조로 설계하였고 실시간성을 고려하여 실시간 운영체제를 기반으로 제어소프트웨어를 개발하였다. 제안된 제어구조와 동작 알고리즘은 실험결과를 통해 유용함을 확인 하였다.

2. Task based Hybrid Control Architecture

자율주행형 용접로봇은 제어기를 로봇 본체에 탑재한 상태에서 작업환경을 실시간으로 인지하며 중, 횡방향으로 주행할 수 있고 용접기능을 수행할 수 있어야 한다. 고정식 6축 로봇은 용접작업만 수행하지만, 자율주행형 용접로봇은 주행을 위한 위치인식기능, 판단기능, 통신기능 등과 같은 새로운 기능이 추가 되었다. 이를 위해 지능적인 로봇 제어구조 설계와 복잡한 기능을 통일성 있게 관리해주는 알고리즘 개발이 필요하게 되었다. 자율주행형 용접로봇의 복잡한 용접기능을 효율적으로 처리하기 위해 시스템을 관리하는 기능, 모션을 생성하는 기능, 서보 및 센서를 제어하는 기능 등 기능별로 관련 모듈을 컴포넌트화하여 재사용성이 가능하도록 하였고 모듈의 수행 기능 및 실행 속도를 고려하여 모듈 등을 3개의 Layer로 그룹화하였다. 구성한 모듈은 서로 다른 Layer에 있을 수도 있고 다

른 하드웨어에 구현이 되어 있을 수도 있기 때문에 특정 기능을 수행하기 위해 모듈들이 유기적으로 동작하는 알고리즘이 필요하다. 로봇 제어 방식은 Deliberative 제어와 Reactive 제어와 Hybrid 제어로 나눌 수 있다. Deliberative 제어는 환경을 모델링한 Knowledge Database를 기반으로 추론 기능을 이용하여 Task를 계획하고 수행하는 계층적인 제어구조이다. 복잡한 Task에서도 최적화를 이룰 수 있지만, 반응속도가 느리고 외부 환경모델을 기반으로 하는 단점이 있다. Reactive 제어는 센서에 입력되는 값에 대응하여 Actuator를 구동시키는 방식으로 Actuator의 반응이 유한하게 정의되어 있다. 입력에 대하여 실시간으로 반응하지만, 전체적인 Task 계획 및 수행은 어려운 단점이 있다. Deliberative 제어와 Reactive 제어의 단점을 상호 보완할 수 있는 Hybrid 제어구조가 많이 이용되고 있다. 최근 지능형 서비스 로봇에 Hybrid 제어구조를 적용하여 동적으로 변화하는 환경에서 복잡한 Task를 수행할 수 있도록 하는 연구가 진행되고 있다[2][3]. 자율주행형 용접로봇은 지능형 로봇과 비교해서 다수의 서보모터, 센서, 용접기 등 더 많은 하드웨어가 연결되어 있다. 특히 용접로봇은 높은 정밀도가 요구되고 고장이나 오동작을 최소화 해야 하기 때문에 제어 소프트웨어가 견실하게 설계 되어야 한다.

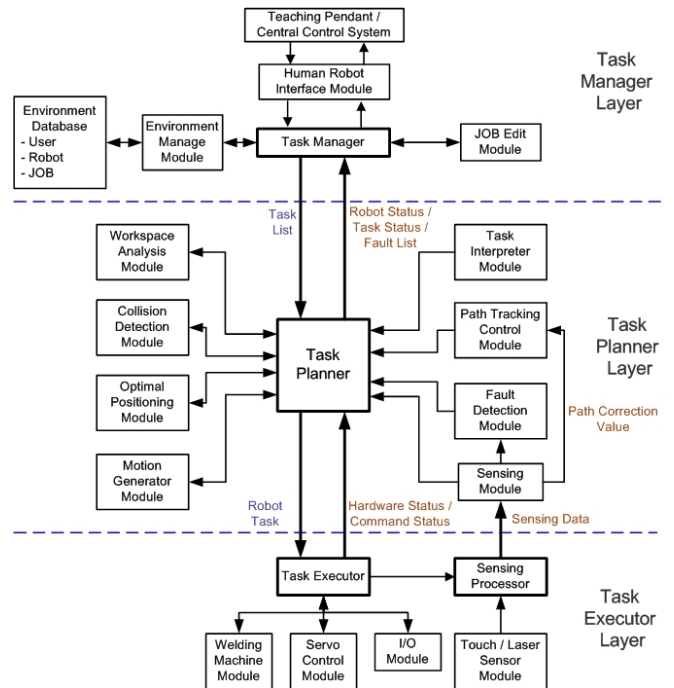


Fig. 2 Proposed Hybrid Control Architecture

로봇 제어 소프트웨어는 Fig. 2와 같이 Hybrid 제어구조 형태의 3개 layer로 설계 되었다. Task Manager Layer는 사용자가 Teaching Pendant 혹은 중앙제어시스템을 이용하여 제어 소프트웨어에 접근할 수 있도록 하고 입력 받은 Job File, Robot Configuration Data를 관리한다. Task Planner Layer는 Task List를 로봇이 수행할 수 있는 명령어 형태로

Interpret 한 후 로봇의 동작을 계획한다. Task Executor Layer 는 Motion Controller 및 Actuator 를 제어하여 로봇이 Task 를 수행할 수 있도록 한다. 3 Layer 간의 통신은 공유메모리를 이용하는 방식을 선택하였고 제어구조는 Task 를 기반으로 동작한다.

3. Motion Generation Algorithm in Task Planner Layer

Task Planner Layer 는 제안한 Hybrid 제어구조의 중간층에 위치하고 있다. Task Manager, Task Executor 와의 통신 기능뿐만 아니라 로봇의 동작을 생성하는 중요한 기능을 수행한다. 로봇이 사용자가 목표한 작업을 수행하도록 Task Manager 는 Job 을 입력 받아 Task List 를 Task Planner 에 전달한다. Task Planner 는 Task List 를 한 line 씩 Interpret 하며 로봇 동작을 생성한다. 로봇의 용접 Torch 가 미리 정의된 위치와 자세를 연속적으로 추종해야 좋은 용접 품질을 얻을 수 있다. 일반적으로 연속 궤적추종 제어를 위해서 정해진 Sampling Time 에 역기구학 해석을 수행하거나 미리 해석하여 Memory 에 저장하는 방식을 사용하고 있다. 본 논문에서는 제어 소프트웨어와 Motion Controller 가 Interpolation 기능을 분담하는 방식을 사용하였다. Task Planner 는 기구학 해석을 통해 위치와 자세가 고려된 연속적인 경유점을 계산한다. 경유점 수는 이동거리를 기준으로 계산된다. Motion Controller 는 경유점 사이의 동시보간 기능을 수행하며 경유점 사이에서 속도 감소가 일어나지 않도록 Look-Ahead 보간 방식을 사용하였다.

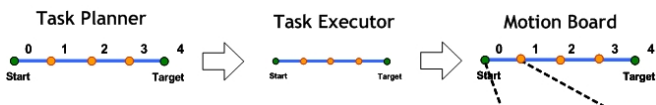


Fig. 3 Sequence of Motion Generation

4. Implementation and Experiment Results

4.1 Design of Control System

로봇 제어 소프트웨어를 내장한 CPU Board 는 KONTRON 사의 866LCD-M/mITX 를 사용하였다. Motor 는 Panasonic AC Servo Motor 를 14 축에 적용하였고 다축 동시보간 기능을 수행하는 Motion Controller 를 사용하였다. 개발한 제어 소프트웨어가 용접 로봇을 견실하게 제어하기 위해서 모듈의 동작주기가 일정해야 한다. 따라서 운영체제는 경성 실시간성(Hard-RealTime)이 우수한 QNX 를 선택하였다. 제어 소프트웨어는 C 언어를 사용하여 개발하였다.

4.2 Experiment Results

본 논문에서 제안한 하드웨어 및 소프트웨어 구조의 동작을 검증하기 위한 실험을 수행하였다.

실제 실험 전에 시뮬레이터를 이용하여 제안한 제어소프트웨어 구조와 동작생성 알고리즘의 동작을 확인 하였다.

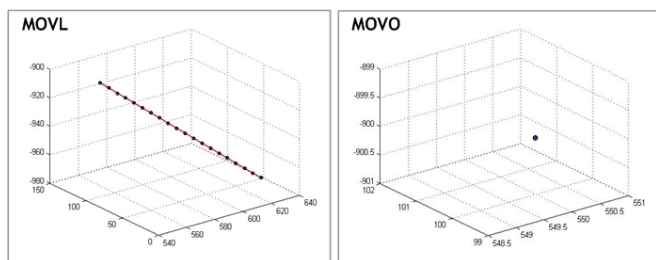


Fig. 4 MOVL and MOVO Motion

용접작업 수행을 위해 중요한 Motion 은 직선을 유지하며 이동하는 MOVL Motion 과 한 점에서 위치를 고정한 상태

로 자세만 변경하는 MOVO Motion 이다. Fig. 4 는 MOVL Motion, MOVO Motion 의 모의실험 결과이다. 실험 결과를 통해 정확한 직선운동과 자세 변경을 확인 할 수 있었다. 모의실험 수행 후 실험용 간이 용접 시편을 이용하여 실제 용접기능을 실험하였다. 실험은 제어기 하드웨어 및 소프트웨어의 전체적인 동작을 확인할 있도록 용접점 Sensing, 정확한 Weaving Motion , 용접선 추적제어, 비상정지, 재시작 기능 수행 등을 실험하였다.

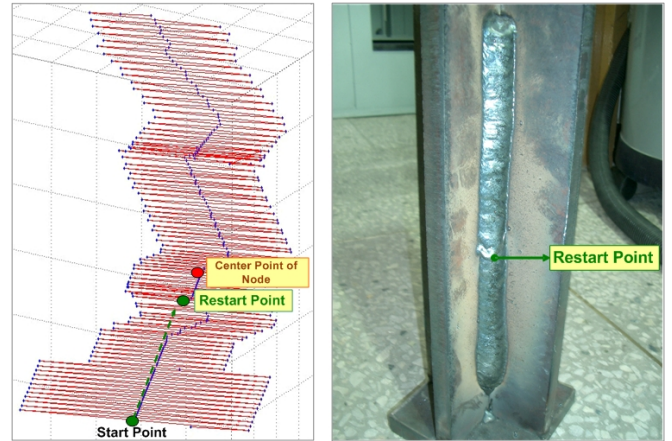


Fig. 5 Welding Test using Arc Sensing

Fig. 5 는 Motor Driver 로 부터 Feedback 받은 관절값을 Forward Kinematics 수행 후 계산된 로봇의 Torch 경로와 실제 용접한 결과이다. 용접 진행 방향이 중간에 변경되는 것은 아크센서에서 측정된 센싱값을 이용하여 보정값을 계산한 후 경로계산에 반영한 결과이다. 정확한 Weaving Motion 과 비상정지 후 용접 재시작 기능이 수행 되었다. 본 논문에서 제안한 하드웨어 구성과 소프트웨어구조의 유용성을 실험결과를 통해 확인하였다.

Conclusion and Future Work

본 논문은 이중 선체 내부에서 자율주행 하며 용접기능을 수행하는 용접로봇의 제어기 하드웨어 및 제어 소프트웨어 구조를 제안하였다. 제안한 제어기 하드웨어와 제어 소프트웨어를 적용한 용접 로봇의 용접 기능, 센싱기능 등을 실험하였고 실험결과를 통해 유용함을 확인할 수 있었다. 향후 실제 현장에 적용하기 위하여 CAD Data 를 입력 받아 Task List 를 생성하는 OLP(Off-line Programming) 모듈을 개발할 계획이다.

후기

이 연구는 2007 년 BK21 사업과 대우조선해양(주)의 지원으로 수행 되었습니다.

참고문헌

1. Kyu-Yeul Lee, Jongwon Kim and Tea-wan Kim, Development of a mobile welding robot for double hull structure in shipbuilding, Robotics and Applications 2007, No.2
2. Sung-Yong Jeon, Hyung-Jin Kim, and Keum-Shik Hong, Reactive Layer Control Architecture for Autonomous Mobile Robots, Proc. of the International Conference on Mechatronics and Information Technology, 2005
3. Jindong Liu, Huosheng Hu, Dongbing Gu, A Hybrid Control Architecture for Autonomous Robotics Fish, Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2006