

모바일 수술 중 CT의 구동 제어와 충돌방지를 위한 통합 임베디드 시스템 구현

신진우*, 김세정*, 노태성*, 유중현*, 진홍영*, 정길환*, 윤권하*, 김대원*, 김규겸*
*원광대학교 의료융합연구센터
wkuwoo@naver.com, sejeong98105@naver.com, sexyroh94@naver.com, jhryu@wku.ac.kr, zip80@wku.ac.kr,
jeongkh1@wku.ac.kr, khy1646@wku.ac.kr, kimdw@wku.ac.kr, kgkim@wku.ac.kr

Implementation of Integrated Embedded Control System for drive control and collision avoidance of Mobile Intraoperative CT

Jin-Woo Shin*, Sea-Jung Kim*, Tae-Seong Roh*, Jong-Hyun Ryu*, Hong Young Jun*,
Kil-Hwan Jeong*, Kwon-Ha Yoon*, Dae-Won Kim*, Kou-Gyeom Kim*
*Medical Convergence Research Center, Wonkwang University

요 약

최근 의료시장에 상용화된 모바일 수술 중 CT(intra-operative computed tomography, iCT)는 수술실 내 이동이 자유로울 뿐만 아니라 수술 후 즉각적인 환자 모니터링이 실시간으로 이루어져 수술 후 환자의 예후 향상과 재수술 확률을 낮출 수 있다. 이동성을 갖춘 iCT는 편의성과 유용성이 검증되었지만, 이동시 발생할 수 있는 충돌사고의 단점이 존재한다. 따라서, iCT의 이동시 발생할 수 있는 위험을 최소화 할 수 있는 안전장치가 요구된다. 본 연구에서는 모바일 iCT의 구동 제어의 편의성과 안전성을 확보 할 수 있는 CT 촬영을 제어하기 위한 리모트 컨트롤러, 이동시 전방 시야를 확보하기 위한 전방 모니터링 카메라 출력, 충돌 위험을 알릴 수 있는 초음파 센서를 통합하는 임베디드 컨트롤러를 개발하고자 한다.

1. 서론

기존 CT는 차폐실에 고정된 형태이며 CT 촬영을 하기 위해서는 환자를 이동시켜야 한다. 그러나 수술을 위한 각종 감시 장비와 환자의 몸에 부착된 치료 도구로 인하여 이동이 어려우며, 이동 중 환자 감염 등의 예기치 못한 문제들로 인해 수술 중 환자의 CT 촬영이 어렵다는 문제점이 있다.[1,2] 수술 중 환자의 CT 촬영과 이동이 손쉬운 iCT를 이용한다면 수술 예후 향상과 재수술 확률을 낮출 수 있다. 기존 연구에서는 원활한 방향 이동을 위해 주행 및 방향 제어를 담당하는 드라이브 핸들과 회전반경이 작은 메카닉 휠이 장착되어 전 방향 이동이 가능한 iCT를 개발하였다.[3]

하지만 iCT 이동시 발생할 수 있는 충돌 사고의 문제가 있어 이동시 발생할 수 있는 위험을 최소화하고자 한다. 본 연구에서는 리모트 컨트롤러 입력을 통한 iCT 시스템의 정밀한 모바일 이동 제어와 장비의 이동방향을 보여주는 전방 모니터링 카메라 출력, 이

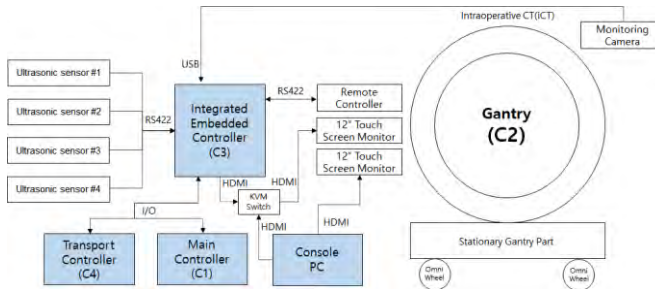
동중에 초음파 센서에 의한 주변 장애물을 탐지하여 사용자에게 충돌 경고 기능을 담당하는 통합 임베디드 컨트롤러를 라즈베리파이를 이용해 개발하고자 한다.

2. 방법

본 연구에서 개발된 iCT 시스템의 통합 임베디드 컨트롤러는 3 가지 주요 기능을 담당한다.[4] 첫째는 사용자의 입력을 리모컨으로 수신하여 iCT를 제어하는 다양한 컨트롤러에 RS422 통신을 이용한 명령을 전송하여 장비의 이동 제어와 CT 촬영 제어를 수행한다. 둘째는 사용자가 iCT를 이동시키고자 할 때, 장비 부피로 인해 전방 시야가 가려지므로 모니터링 카메라의 영상을 전면 모니터에 표시한다. 셋째는 모니터링 카메라로 확인할 수 없는 충돌 위험이 있는 장애물을 초음파 센서를 통해 전면 모니터 화면에 경고 표시함으로써 사용자의 편의성을 높인다.

2.1. 시스템 구성

iCT 시스템은 다수의 임베디드 컨트롤러에 의해 제어된다. 컨트롤러 C1은 메인 컨트롤러로 갠트리 고정부에 위치하여 CT 촬영에 필요한 모든 기능들을 종합적으로 제어하는 마스터 역할을 담당한다. 컨트롤러 C2는 갠트리 회전부에 위치하여 고전압 제너레이터와 디텍터 시스템을 포함하는 CT 촬영 시스템을 제어하고, 컨트롤러 C4는 드라이브 핸들과 리모트 컨트롤러에 의한 메카닉 휠의 이동 제어를 담당한다. 본 연구에서 개발하는 컨트롤러 C3는 통합 임베디드 컨트롤러로 CT 촬영과 이동에 관련된 사용자 제어 기능을 담당한다. 그림 1은 통합 임베디드 컨트롤러의 전체 블록 다이어그램을 나타내며, USB, RS422 및 I/O 인터페이스를 이용하여 다수의 장치와 통신하고 제어한다.



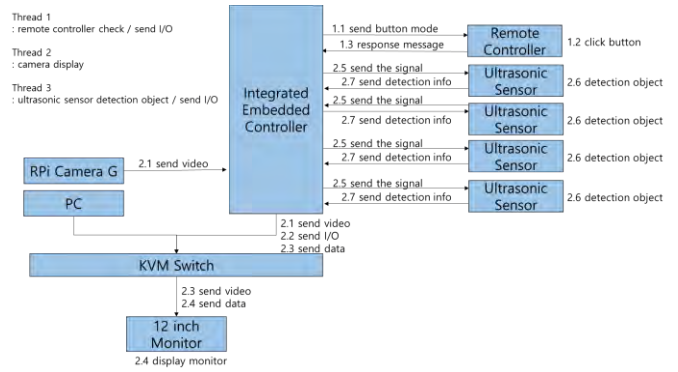
(그림 1) iCT 시스템 블록 다이어그램

통합 임베디드 컨트롤러는 라즈베리파이(Raspberry Pi 3B+, Raspberry Pi Foundation, United Kingdom)를 이용하여 5V 전원 공급회로, GPIO에 의한 포토 커플러 절연회로, USB to RS422 통신회로를 포함하여 외부장치와 인터페이스 회로를 내장 설계한 제어보드에 탑재하여 적용하였다. 통합 임베디드 컨트롤러 제작 사진은 그림 2와 같다.



(그림 2) iCT 시스템 통합 임베디드 컨트롤러

그림 3은 소프트웨어 기능 구현을 중심으로 표현한 구성도이다. 리모트 컨트롤러의 동작 상태는 RS422 통신을 통해서 확인한다. 이동 시 주 전원 입력 상태를 체크하여 전방 화면과 내장 콘솔 PC 영상을 자동으로 선택하여 모니터 화면에 출력한다. 이때, 초음파 센서로 주변 장애물과 측정된 거리 값에 따른 충돌 주의 상태를 전방 모니터 화면에 표시하여 사용자의 편의를 증가시켰다.



(그림 3) 통합 임베디드 컨트롤러 기능을 중심으로 한 블록 다이어그램

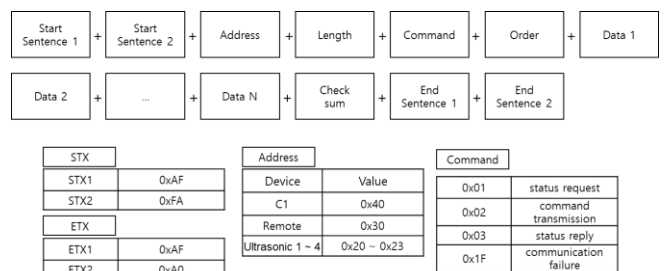
2.2. 통신

2.2.1. RS422

통합 임베디드 컨트롤러는 메인 컨트롤러, 리모트 컨트롤러 장치, 초음파 센서와 RS422 통신 방식을 이용하여 통신한다. 이는 두 선의 전위 차이를 이용하여 데이터를 송수신하는 통신 방식이기 때문에 외부로부터의 영향을 받지 않아 노이즈에 강하고, GND 선 없이 통신하여 거리 확장이 가능하다는 장점을 가지고 있어 선택하였다.[5,6] 통합 임베디드 컨트롤러는 RS422 multi drop mode로 연결하여 통합 임베디드 컨트롤러가 마스터 역할을 담당하고, 나머지 장비들은 슬레이브 역할을 담당하도록 구성한다.

2.2.2. RS422 프로토콜

리모트 컨트롤러와 초음파 센서의 통신 프로토콜은 그림 4처럼 시작신호(STX1, STX2), 주소(Address), 데이터 길이(Length), 커맨드(Command), Order, n개의 데이터 개수(Data 1, Data 2, ..., Data N), Checksum, 종료신호(ETX1, ETX2)로 구성된다. STX는 통신 시작 비트로 0xAF와 0xFA를, ETX는 통신 끝을 나타내는 비트로 0xAF와 0xA0로 설정한다. Address는 리모트 컨트롤러와 초음파 센서 각각의 주소를 나타낸다. Length는 n개의 Data 수에 Command, Order, 그리고 Checksum을 더한 값이다. Command는 상태 요청할 때 0x01, 상태 회신할 때 0x03, 통신이 실패일 경우는 0x1F로 구분한다. Checksum은 Address, Length, Command, Order, data를 더한 값이고 1byte로 하여 상위 Carry가 생겼을 때는 버리도록 한다.



(그림 4) RS422 통신 프로토콜

2.2.3. 리모트 컨트롤러

리모트 컨트롤러는 AVR 마이크로 컨트롤러(ATMEGA128)로 개발하고, 리모트 컨트롤러의 버튼 기능은 그림 5 와 같다. 리모트 컨트롤러의 상단은 자주 사용하는 CT 촬영 버튼을 배치하여 Laser indicator on/off 제어 및 회전 갠트리를 CT 촬영 위치로 전진/후진 Jog 제어를 담당하고, 하단은 메카넘 휠의 이동 Jog 제어를 담당한다. 사용자에게 의한 리모트 컨트롤러의 기능버튼 눌림 감지는 통합 임베디드 컨트롤러에서 리모트 컨트롤러의 버튼 눌림 상태를 100ms 간격으로 요청하여 업데이트 되며 만일 통신 오류가 발생 시 이전 버튼 눌림 상태를 초기화하고 메인 컨트롤러로 오류 메시지를 전송한다. 리모트 컨트롤러의 버튼 인식에 따라 메카넘 휠의 Jog 제어를 담당하는 컨트롤러 C4 에 GPIO 출력을 통해 수술실처럼 여러 의료기기가 혼재되어 사용되는 혼잡한 공간에서 정밀한 움직임이 가능하도록 리모트 컨트롤러를 이용하여 0.3m/s 의 속도로 하향 제어한다. 메인 컨트롤러에서 필요한 데이터는 재가공하여 전달한다.[7]

순서	버튼 명칭	버튼 기능
1	Reference Zero	수술중 CT 회전 갠트리를 제0 위치로 설정하는 기능
2	Scan Position	수술중 CT 회전 갠트리를 원자 촬영 스캔 위치로 이동시키는 기능
3	Laser	레이저 인디케이터 온/오프 제어
4	Forward	지면에 인착한 수술중 CT 회전 갠트리가 슬라이딩하여 환자 테이블을 앞쪽으로 전진하는 기능
5	Backward	지면에 인착한 수술중 CT 회전 갠트리가 슬라이딩하여 환자 테이블을 뒤쪽으로 후진하는 기능
6	Lift Up	수술중 CT 본체를 보내줄 이동시키기 위하여 지면으로 부터 25미터 높이 올라가는 기능
7	Lift Down	수술중 CT 본체를 CT촬영을 안정적으로 할수 있도록 지면으로 내려 앉혀서시키는 기능
8	Right Turn	수술중CT를 미세조정하여 우회전 이동 기능
9	Left Turn	수술중CT를 미세조정하여 좌회전 이동 기능
10	Forward	수술중CT를 미세조정하여 전진 이동 기능
11	Left Side	수술중CT를 미세조정하여 좌측 이동 기능
12	Right Side	수술중CT를 미세조정하여 우측 이동 기능
13	Reverse	수술중CT를 미세조정하여 후진 이동 기능

(그림 5) 리모트 컨트롤러 및 버튼 기능

2.3. 모니터링 카메라

iCT 가 이동할 때 iCT 의 부피가 커서 사용자 위치에서 전방 시야를 가리기 때문에, 본 연구에서는 모니터링 카메라에서 전방 영상을 사용자의 앞에 장착된 모니터로 화면을 실시간으로 전송하는 스트리밍을 통해 해결한다. 라즈베리파이 호환 카메라는 많은 카메라를 지원하지만 본 연구에서는 표 1 과 같은 초점 거리는 짧으며 화각이 넓은 광각 카메라가 필요하기 때문에 본 연구에서는 RPi Camera G 를 선정하였다.

<표 1> 라즈베리파이 카메라 모듈 비교

Raspberry Camera Number	ADJUSTABLE FOCUS DISTANCE	ANGLE OF VIEW (DEGREE)
RPi Camera V2	X	62.2
RPi Camera G	O	160
RPi Camera M	O	200

2.4. 충돌 방지 센서

모니터링 카메라로 확인이 불가능하고 충돌 위험이 있는 장애물을 초음파 센서를 이용해 전면 모니터 화면에 경고 표시하였다. iCT 의 이동시 주변 장애물을

감지하기 위한 용도의 센서는 표 2 처럼 초음파 센서, 적외선 센서, 레이저 등을 비교하였으며, iCT 이동 시 단거리 측정과 종 방향의 정확도를 고려하여 초음파 센서를 선택하였다.[8]

<표 2> 충돌 방지 센서 성능 비교

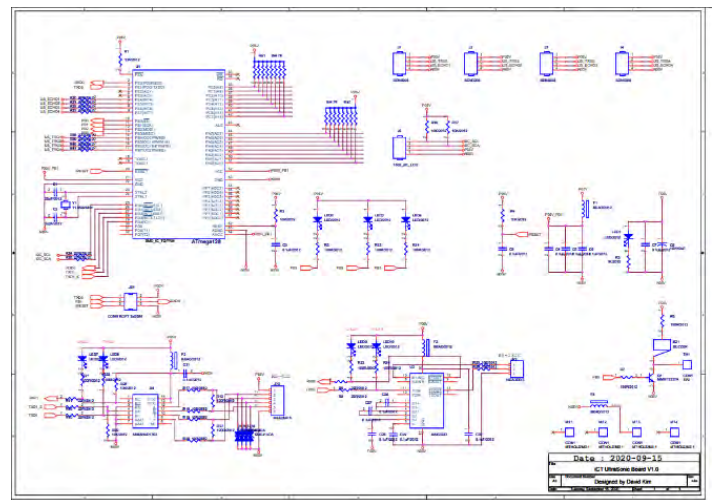
	Reader	Lidar	Vision	Infrared	Ultrasonic
distance	Long distance	Long distance	Medium distance	Short distance	Short distance
Longitudinal accuracy	Great	Great	usually	Great	Great
Weather	stolidity	sensitive	sensitive	sensitive	sensitive
Roughness	stolidity	stolidity	sensitive	sensitive	stolidity
Price	high price	high price	Moderate price	low price	low price

초음파 센서는 그림 6 처럼 iCT 전면부 하단부 4 곳에 배치한다. 전방과 측면에 있는 장애물과의 거리를 측정하여 이벤트 데이터로 저장하고, OpenCV 라이브러리를 이용하여 전방 모니터링 화면에 색상 별 이미지를 오버레이하여 충돌 위험을 표시한다. 사용자가 색상 별 이미지를 통해 시각적으로 인지할 수 있도록 한다.



(그림 6)충돌 방지 센서 위치

초음파 센서 감지에 의한 충돌방지 컨트롤러 설계는 GPIO 확장성과 안정성, 메모리 용량, 처리 속도 및 UART 통신포트 등을 고려하여 ATMEL 사 ATMEGA128 를 선정하여 그림 7 과 같이 설계한다.



(그림 7) 초음파 감지 충돌방지 컨트롤러 회로도

초음파 센서의 거리 측정을 위해 송신부에서 짧은 트리거 신호를 생성시켜 40KHz 초음파 펄스를 방출

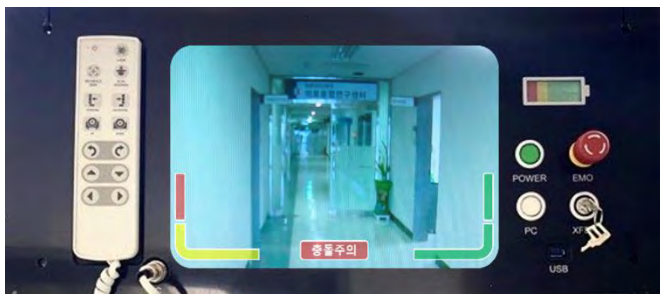
하고 감지된 물체에 부딪혀서 돌아온 신호를 수신부에서 에코 신호를 받는다. 에코 신호는 AVR 의 외부 인터럽트 포트에 할당하고 인터럽트 서비스 루틴에서 계산한다. 초음파 속도는 340m/s 이고 1cm 왕복시간(s)은 58.8us 이므로 아래의 수식으로 계산된다.

$$\text{물체감지거리}(cm) = \frac{\text{에코신호 소요시간}(us)}{58.8(us)}$$

거리 측정은 20ms 간격으로 획득하고 물체 감지 거리를 계산하며 모니터 화면에 물체를 감지한 센서의 위치를 100ms 간격으로 디스플레이 하였다. 이 때, 장애물과의 거리가 50cm 이상일 경우에는 초록색, 30cm 이상이고 50cm 미만일 경우에는 노랑색, 30cm 미만일 경우에는 빨강색으로 나타내고, 충돌 경고 메시지는 초음파 센서가 위치한 4 곳들 중에서 30cm 미만일 경우가 하나라도 있으면 충돌 경고 메시지를 표시하였다.

3. 결과

본 연구에서는 모바일 iCT 의 촬영과 이동을 위한 통합 임베디드 컨트롤러를 개발하였다. 그림 8 에서 보이는 것과 같이 임베디드 컨트롤러는 리모트 컨트롤러의 사용자 입력 처리, 메카넘 휠 이동제어, 회전 갠트리의 이동제어를 담당하도록 개발되었다. 또한 iCT 이동 조작 보조와 충돌 방지하는 전방 카메라 영상을 출력하였고, 초음파 센서를 통해 장애물과의 거리 값을 모니터 상에 색상으로 표시되도록 구현하였다.



(그림 8) 통합 임베디드 컨트롤러 실제 구현 사진

4. 결론

본 연구에서 개발한 iCT 시스템의 통합 임베디드 컨트롤러는 iCT 이동을 위한 리모트 컨트롤러, 전방 시야 확보를 위한 실시간 전방 모니터링, 모니터링만으로 확인할 수 없는 사각지대의 충돌 방지를 위한 경고 표시 기능을 제공한다. 또한 리모트 컨트롤러를 통한 이동 제어는 보행속도의 절반 이하인 0.3m/s 의 속도로 하향 제어함으로써 사용자가 초음파센서 충돌 경고 정보와 이동방향의 시야를 확보하여 수술실의 혼잡한 공간에서 충돌 회피가 충분히 가능하다. 이는 CT 촬영 시 사용자 조작이 용이하고 이동 중에 발생할 수 있는 충돌을 방지하여 사용자의 안전성을 증가시킨다. 통합 임베디드 컨트롤러는 수술 중 환자의

CT 촬영에 있어서 사용자 조작의 편리성 제공을 통한 신속한 촬영 및 이동 중 충돌 방지에 유용하게 활용될 것이라고 기대된다.

참고문헌

- [1] J.H. Ryu, T.H. Kim, C.W. Jeong, H.Y. Jun, D.W. Heo, J. Lee, K.W. Kim and K.H. Yoon, "Dedicated mobile volumetric cone-beam computed tomography for human brain imaging: A phantom study", in J Xray Sci Technol, vol. 23, 473-480(2015).
- [2] Tae-Hoon Kim, Jong-Hyun Ryu, KilHwan Jeong, Kyu Gyeom Kim, Chang-Won Jeong, Kwon-Ha Yoon, and Dae-Won Kim, "Development of mobile intraoperative computed tomography imaging system and assessment of its performance in a brain and body phantom study" in J Xray Sci Technol, vol. 27, 907-918(2019).
- [3] T.H. Kim, J. H. Ryu, K.H. Jeong, K. G. Kim, C. W. Jeong, K. H. Yoon, D. W. Kim, "Development of mobile intraoperative computed tomography imaging system and assessment of its performance in a brain and body phantom study", *Journal of X-Ray Science and Technology*, 2019
- [4] 김세정, 라즈베리 파이 기반 수술 중 CT 서브 컨트롤러 개발, 대한의용생체공학회, 인천, 2019, pp. 1-3
- [5] Pil-sang Byun, Myeong-hwan Kim, Deok-jin Kim, Se-hyun Park, Yeon-sik Park, "The implementation of home network using the RS422 Multi-drop mode serial communication", *Journal of Korea Information and Communication Society*, 9(7), pp. 1445-1451, 2005.
- [6] Beom-Jin Park, Young-Shin Kang, Chang-Sun Yoo, Cho-Am, "Development of FCC Redundancy System for Tiltrotor UAV", *Journal of the Korean Society for Aeronautical & Space Sciences*, 45(2), pp. 133-139, 2017.
- [7] 홍정완, 수술 중 CT 모바일 이동 및 촬영을 위한 통합 리모트 컨트롤러의 구조 및 구현, 대한의용생체공학회, 인천, 2019, pp.1-3
- [8] Bong-Sub Song, "Perception Technology for Intelligent Safety Vehicle", *Auto Journal*, 34(6), 35-40(2012).