

퍼스널 로봇 이종 네트워크 환경에서 실시간 통신에 관한 연구

A Research About Real-time Communication in Heterogeneous Network for Personal Robot

이 주 성*, 박 홍 성**

(Ju Sung Lee and Hong Seong Park)

* 강원대학교 전기전자정보통신공학부(전화:(033)251-6501, 팩스:(033)242-2059, E-mail : renige@control.kangwon.ac.kr)

** 강원대학교 전기전자정보통신공학부(전화:(033)251-6501, 팩스:(033)242-2059, E-mail : hspark@cc.kangwon.ac.kr)

Abstract : In this paper, we described a method to guarantee a real-time communication in the heterogeneous network for the personal robot. The heterogeneous network is composed of many kinds of network like IEEE1394, Ethernet, CAN, Bluetooth, Wireless Lan and so on. real-time data is transferred via those kinds of network . Those network have different characteristics as speed, bandwidth, priority. we used IEEE1394, Ethernet, CAN to study in this paper. To guarantee a real-time communication, a worst case response time must be scalable. In this environment to guarantee a real-time communication, we get a worst case response time of each network and a end-to-end worst case response time.

Keywords : IEEE1394, CAN, Ethernet, real-time, heterogeneous network, personal robot

I. 서 론

최근 로봇 산업은 차세대 성장 산업으로 많은 주목을 받고 있으며, 실생활에 사용될 수 있는 모듈 기반 퍼스널 로봇 분야에 많은 연구가 이루어지고 있다. 모듈 기반 로봇 시스템은 모듈간 통신을 통해 동작하는 일종의 분산시스템으로서 로봇의 성능은 모듈뿐만 아니라 모듈간 통신, 즉 모듈간 인터페이스에 따라 영향은 받는다. 실제로 퍼스널 로봇에 사용 가능한 인터페이스에는 IEEE1394[1], USB, CAN[2], Ethernet, Wireless Lan, Bluetooth 등과 같이 많은 종류가 있다. 이와 같은 네트워크들은 전송 속도, 대역폭 등의 각기 다른 특징을 가지고 있다.

퍼스널 로봇에서 사용되는 데이터는 비디오, 오디오, 제어 데이터등이 사용된다. 비디오, 오디오 데이터는 네트워크의 부하를 증가 시키며, 이는 제어 데이터의 전송을 지연 시킬 수 있다. 퍼스널 로봇이 실생활에 사용되기 위해서는 이러한 지연으로 인해 오동작이 발생하지 않도록 제어 데이터의 실시간 전송을 보장해 주어야 한다.

본 논문에서는 네트워크 디바이스로 IEEE1394, Ethernet, CAN을 사용하며, 퍼스널 로봇 이종 네트워크 환경에서 실시간 통신을 보장 할 수 있도록 최악 응답 시간을 계산 할 수 있는 방법을 제안한다. 퍼스널 로봇 이종 네트워크에서 실시간 전송을 보장하기 위해서는 이종 네트워크의 종단 노드간의 최악 응답 시간의 계산이 가능해야 한다. 이종 네트워크 환경에서 최

악 응답시간 계산을 위해서 각 네트워크에서의 최악 응답 시간을 이용한다.

앞으로 2절에서는 퍼스널 로봇 네트워크의 구조에 대하여 설명하고 3절에서는본 논문에서 사용되는 네트워크의 특징 및 전송 시간 계산 방법에 대하여 기술한다. 4절에서는 3절에서의 전송 시간을 바탕으로 각 네트워크와 이종 네트워크에서의 최악 응답시간 계산 방법에 대하여 설명하며, 마지막으로 4절에서 결론을 맺는다.

II. 퍼스널 로봇 네트워크

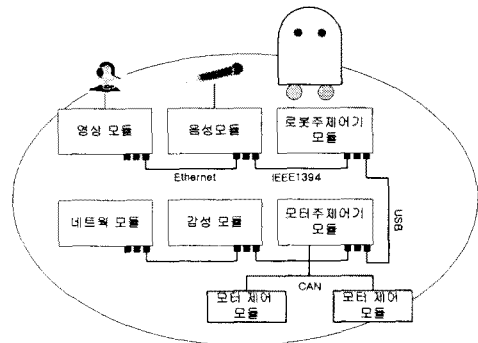


그림 1. 모듈 기반 퍼스널 로봇 네트워크

Fig. 1. module based personal robot network

모듈 기반 퍼스널 로봇 네트워크는 그림1과 같이 이 중의 네트워크 인터페이스로 이루어져 있으며 이를 지원하기 위한 모듈 기반 퍼스널 로봇의 미들웨어[3]는 트랜잭션을 관리하는 스트리밍 계층, 메시지 라우팅, 네이밍과 같이 다른 여러 네트워크를 수용하기 위한 서비스를 제공하는 네트워크 적용 계층, 이종 인터페이스들의 네트워크 의존적인 부분을 관리하고 수행하는 네트워크 인터페이스 계층으로 이루어진다.

III. 각 네트워크의 특징 및 전송 시간

1. IEEE1394

IEEE1394는 하나의 네트워크당 최대 63개의 노드를 수용할 수 있으며, 동기, 비동기의 두가지 전송방식을 갖는다. 트리 형태의 토폴로지를 가지며, 속도는 100 ~ 400Mbps를 지원한다. 본 논문에는 동기 전송 방식과 400Mbps를 사용한다. IEEE1394는 arbitration이라는 자체적인 매체제어를 통해 충돌을 방지하며, 루트에서 가장 가까운 노드가 데이터 전송의 기회를 가진다. 각 데이터의 전송은 125us의 주기로 실시되며, 한 주기 안에서는 fairness interval로 전송할 기회를 제공받는다. 그리고, IEEE1394에서는 데이터의 우선 순위 할당등이 불가능하기 때문에, 자체적으로 실시간 통신을 보장하지 못한다.

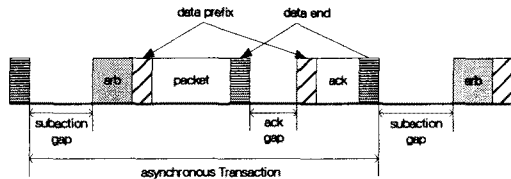


그림 2. 동기화 전송방식 트랜잭션
Fig. 2. asynchronous Transaction

그림2와 같이 IEEE1394의 동기 전송 방식의 하나의 트랜잭션은 arbitration phase, data transfer phase, acknowledgement phase, gap phase로 이루어지며, 전송시간[1]은 각 트랜잭션 phase의 합으로 계산할 수 있다.

- T_{arb} : arbitration phase time
- T_d : data transfer time
- T_{ack} : acknowledgement time
- T_{gap} : gap time
- C_{tr}^1 : IEEE1394 데이터 전송시간

$$C_{tr}^1 = T_{arb} + T_d + T_{ack} + T_{gap}$$

2. Ethernet

Ethernet은 스위칭 허브를 사용하여 통신하며,

100Mbps의 속도를 갖는다. 스위칭 허브를 사용하므로, Ethernet 네트워크에서 충돌을 방지할 수 있으나, 자체적으로 실시간 통신을 보장하지 못한다.

스위칭 허브를 거치는 Ethernet 구간의 전송 속도[4]는 multiplexer, FIFO queue, demultiplexer를 통과하는 시간과 매체에서의 전송 시간의 합으로 나타내어지며, demultiplexer delay는 출력이 무한하기 때문에 0으로 간주한다.

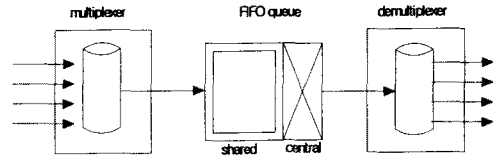


그림 3. 모듈 기반 퍼스널 로봇 네트워크
Fig. 3. module based personal robot network

- D_{max} : multiplex delay
- D_{queue} : queuing delay
- D_{buffer} : buffer delay
- D_{Link} : link propagation delay
- C_{tr}^E : Ethernet 데이터 전송시간

$$C_{tr}^E = D_{max} + D_{queue} + D_{buffer} + (D_{Link} \times 2)$$

3. CAN

125kbps ~ 1000kbps의 전송 속도를 지원하며 주기 전송을 지원하지 않는다. 메시지 포맷은 시작 비트, 11개 혹은 29개의 메시지 식별자, 원격 메시지 비트 데이터 길이코드, 데이터 식비트, 에러 발견 코드로 구성된다. 다음은 확장 메시지 포맷을 나타낸다.

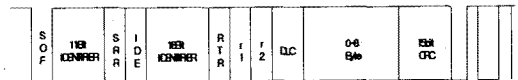


그림 4. CAN 프레임 포맷
Fig. 4. CAN frame layout

C_{tr}^c 은 메시지 m을 전송하는데 걸리는 가장 긴 시간을 나타낸다. CAN은 메시지가당 47비트 오버헤드와 5비트의 stuff width를 가지고 있다. 오버헤드의 47비트중 34비트만이 채워지게 된다.

- S_m : the number of data bytes
- τ_{bit} : the time taken to transmit a bit

$$C_{tr}^c = \left(\left\lfloor \frac{34 + 8 S_m}{5} \right\rfloor + 47 + 8 S_m \right) \tau_{bit}$$

IV. 최악응답시간.

퍼스널 로봇 이종네트워크에서 실시간 전송을 보장하기 위해서는 이종 네트워크의 종단 노드간의 최악 응답 시간의 계산이 가능해야 한다. 이종 네트워크에서 최악 응답시간 계산을 위해서는 각 네트워크에서의 최악 응답시간 계산을 이용하여, 이종 네트워크에서의 종단 노드간의 최악 응답시간을 얻는다. 우선순위는 실시간 데이터 전송을 요청한 순으로 할당된다고 가정한다.

각 네트워크에서의 블록킹 시간은 각 네트워크에서의 전송시간중 가장 긴 메시지의 전송시간으로 설정하였다. 각 전송 시간과 블록킹 시간들은 주기와 전송 시간을 이용하여 계산하였다.

IEEE1394 네트워크에서 각 메시지의 최악 응답시간은 아래와 같은 식으로 계산되어 진다. P는 IEEE1394의 주기인 125us를 나타내며 T_{ovr} 는 한 주기마다 나타나는 오버헤드 시간인 start time과 sync time의 합을 나타낸다. IEEE1394에서의 최악 응답시간은 매체를 통한 전송시간만을 계산하였기 때문에, 각 사이클에서의 오버헤드 시간을 고려해야 한다.

$$R_i^f = B^f + \sum_{j=1}^i \left[\frac{R_j^f}{T_j} \right] \times C_j^f + C_i^f + \left(\left[\frac{R_i^f}{P} \right] \times T_{ovr} \right)$$

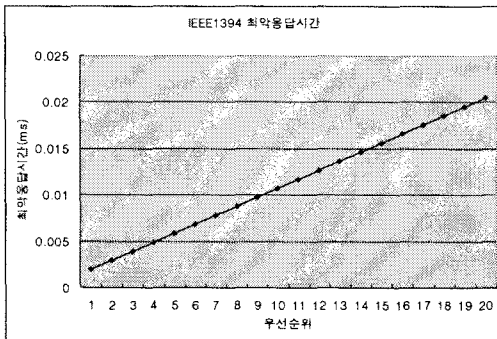


그림 4. IEEE1394 최악응답시간

Fig. 4. IEEE1394 worst case response time

Ethernet 최악 응답시간은 [5],[6]에 의해 다음과 같이 계산된다.

$$R_i^E = C_i^E + I_i^E$$

$$I_i^{n-1} = B_i^E + \sum_{j=1}^i \left[\frac{I_j^E}{T_j} \right] \times C_j^E$$

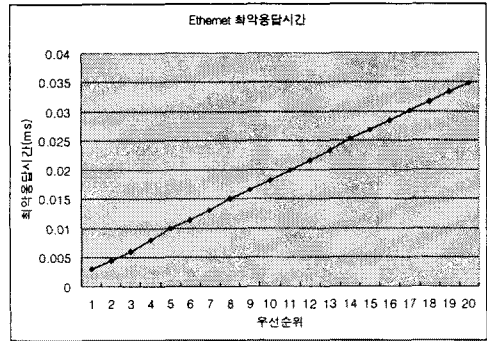


그림 5. Ethernet 최악응답시간

Fig. 5. Ethernet worst case response time

CAN 최악 응답시간은 [7]에 의해 다음과 같이 계산된다.

$$R_i^C = B_i^C + \sum_{j \in hp(i)} \left[\frac{R_j^C}{T_j} \right] \times C_j^C + C_i^C$$

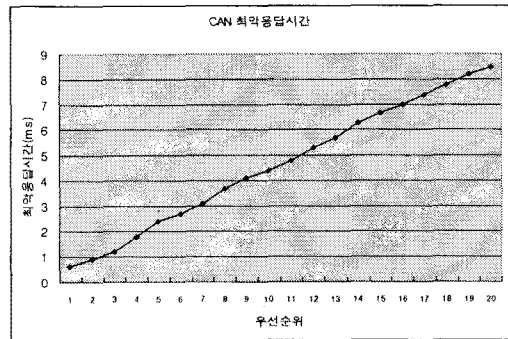


그림 6. CAN 최악응답시간

Fig. 6. CAN worst case response time

퍼스널 로봇 이종 네트워크에서 메시지의 최악 응답 시간은 위에서 구한 IEEE1394, CAN, Ethernet의 최악 응답시간의 합으로 다음과 같이 나타낸다.

$$R_i^T = R_i^f + R_i^E + R_i^C$$

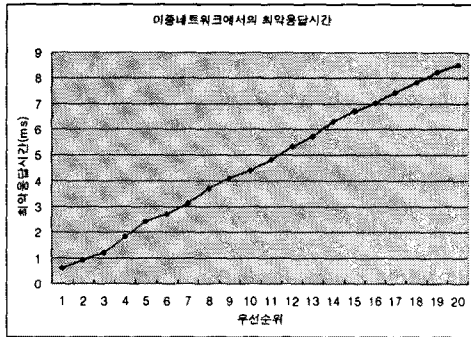


그림 7. 이종네트워크에서의 최악응답시간

Fig. 7. heterogeneous network worst case response time

V. 결 론

본 논문은 퍼스널 로봇 이종 네트워크 환경에서 실시간 전송을 보장하기 위한 최악 응답시간을 계산할 수 있는 방법에 대하여 기술하였다.

IEEE1394, Ethernet의 경우 실제 미들웨어에서의 측정된 평균 응답시간과 많은 차이를 보였다. 본 논문에서 계산된 최악 응답 시간은 중단간 전송 시간이므로 실제 평균 응답시간과 비교할 경우, 미들웨어나 어플리케이션에서의 계산시간과 큐잉 지연시간등이 계산에서 제외되었기 때문이다.

앞으로 각 네트워크간의 전송속도의 차이로 인한 실시간 데이터의 최악 응답 시간을 줄이기 위해 이종 네트워크간의 동적 우선 순위 할당과 매핑에 대하여 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

- [1] IEEE standard for a High Performance Serial Bus "IEEE std 1394-1995, IEEE1394 std 1394a-2000"
- [2] CAN Specification 2.0, "Part-A and Part-B. CAN in Automation"
- [3] Gun Yoon, Hyoung Yuk Kim, Ju Sung Lee, Hong Seok Kim, Hong Seong Park "Middleware structure for Personal Robot" Proceeding of the 2002 International Conference on Control and Automation, June 2002
- [4] K. Tindell, H. Hansoon, A. Wellings, "Analyzing Real-time Communications : Controller Area Network", RTSS'94, pp.259-263, 1994
- [5] Georges J.-P, Rondeau E., Divoux T. "Evaluation of switched Ethernet in an industrial context by using the Network Calculus", Factory Communication Systems, 2002. 4th IEEE internal workshop, aug. 2002, pp.19-26

- [6] Yeqiong Song, "Time Constrained communication over switched ethernet", 4th IFAC International Conference on Fieldbus Systems FeT'2001
- [7] Jun Woo Park, Young Shin Kim, Seongsoo Hong, Manas Saksena, Sam H.Noh, Wook Hyun Kwon, "Network conscious design of distributed real-time system", Journal of systems Architecture 45, 1998, pp.131-156