

웨어러블 통신 지원 디지털사 버퍼링 설계 및 실험

이태규*, 고명숙**, 정기수*

*한국생산기술연구원

**부천대학

e-mail : tglee@kitech.re.kr

Buffering Design and Experiment on Digital Yarn for Wearable Communications

Tae-Gyu Lee*, Myung-Sook Ko**, Gi Soo Chung *

*Korea Institute of Industrial Technology

**Bucheon University

요 약

디지털의류는 디지털 실을 통신소재로 사용하는 웨어러블 컴퓨팅의 주요한 요소이다. 디지털의류의 장점을 활용하기 위해 마이크로 디지털 사(digital yarn)를 데이터통신의 소재로 활용한다. 버퍼링은 두 통신기간 전송속도 차이와 단위 전송 데이터 손실을 복구하기 위한 요소이며, 본 연구는 디지털 사의 전송 성능 향상을 위한 통신단말 사이의 버퍼링 인터페이스와 규격을 제안한다.

1. 서론

근래 들어 유비쿼터스 컴퓨팅 시대에 접어들면서 컴퓨팅 정보기기들이 점차적으로 인간의 생활 속으로 확대되고 인간과 더욱 가까워지며 정보기기 활용시간은 더욱 증가하고 있다. 이러한 유비쿼터스 컴퓨팅을 위한 최적의 컴퓨팅 인터페이스 및 기기의 대안으로 웨어러블 컴퓨팅이 대두되고 있다[1][2][3].

디지털 의류는 웨어러블 컴퓨팅의 중심 요소를 차지하고 있다. 본 연구는 디지털 의류에 적용되는 디지털 실을 데이터 통신 소재로서 원활하게 활용하고자 하는데 목적을 둔다[4][5]. 이 디지털 사는 기존 통신선과 달리 마이크로 사로서 초경량 및 편직물로서 일반적인 의류 직조 공정과정에 적용할 수 있다. 디지털 원사는 개발되었지만, 아직 통신 소재로 활용되기 위해서는 표준 구성 및 전송 플랫폼에 미비한 상태이다 [5][6].

본 논문은 디지털 사(digital yarn)를 활용한 두개 이상 정보기간 디지털 통신을 위한 통신 접속 (communication interface) 버퍼링 규격 및 기법을 제안한다[9][10].

디지털 사의 물리채널은 랜 또는 광통신, 그리고 CPU 와 메모리간 전송과 같은 다른 데이터 전송채널보다 느리다. 전송처리 오버헤드 시간은 채널 전송성능의 효율성을 저하시킬 수 있다. 그러므로 전송 채널 속도와 효율성을 극대화시키기 위해 전송처리 오버헤드를 줄여야 한다. 버퍼 용량을 너무 크게 하면 할당된 메모리 자원을 효율적으로 사용하지 못하게 되고, 반대로 용량을 작게 하면 사용 가능한 디지털 사 통신채널 대역폭을 효율적으로 사용하지 못하여 네트워크 채널 자원을 낭비하는 문제를 안고 있다.

따라서 버퍼의 용량을 최적의 크기로 셋업하는 것이 필요하다[8].

본 연구는 먼저 버퍼 없는(un-buffered) P2P 전송 링크에 대한 실험과 분석으로 디지털 사의 전송 능력을 파악한다. 다음으로 디지털 사와 밴드(band)의 전송 성능을 극대화하기 위한 버퍼링 구성 및 규격을 제안한다[11].

일반적으로 버퍼는 FIFO(First In First Out) 구조로 되어 있다[7]. 본 논문에서 제시하려고 하는 버퍼 모델은 각 통신 시스템에서 범용적으로 사용하는 TCP/IP 에서 사용하는 송수신 버퍼로 가정한다.

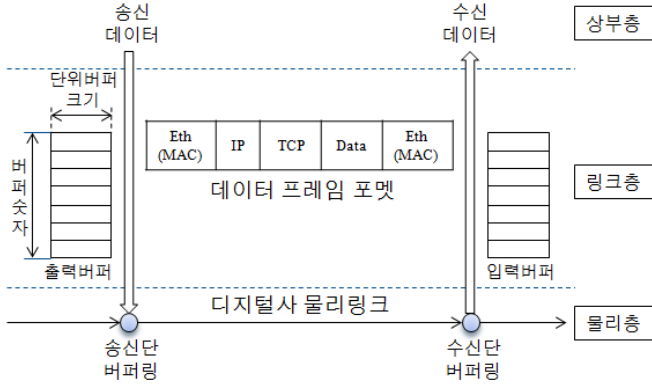
본 논문은 2 장에서 디지털 사 네트워크 버퍼링에 대해 기술하고, 3 장에서는 실험환경, 4 장에서는 실험 결과 및 평가를 수행하고, 마지막으로 5 장에서 결론을 맺는다.

2. 디지털사 통신 버퍼링

범용 운용체제에서 네트워크 프로토콜 계층 사이와 네트워크 디바이스 드라이버간에 데이터를 송수신하기 위해 네트워크로 전송되는 패킷을 자료구조로 구성하여 소켓 버퍼 구조체를 제공한다. 이러한 버퍼 구조체를 네트워크 프로그래머가 직접 버퍼의 크기와 구조를 정의하여 네트워크 응용프로그램의 전송 성능 및 효율을 극대화시킨다. 또한 전송 구현자에게 네트워크 디바이스 API 를 통해서 기본 네트워크 버퍼링을 선택적으로 제공하는 것 역시 중요하다.

기본 네트워크 버퍼링 구조 및 용량은 다음과 같이 정의한다. 디지털사의 네트워크 송신단과 수신단은 그림 1 과 같이 대칭적으로 구성되어 동작한다. 네트워크 송신단 버퍼링은 상위로부터 수신한 패킷 데이

터를 저장하는 동시에 송신 채널 셋업타임에 송신 데이터를 준비하는 역할을 수행한다. 네트워크 수신단은 송신단으로부터 수신한 데이터를 일시적으로 보관하는 동시에 상위 계층으로 데이터를 릴레이하기 위해 일시적으로 보관하는 과정을 지원한다.



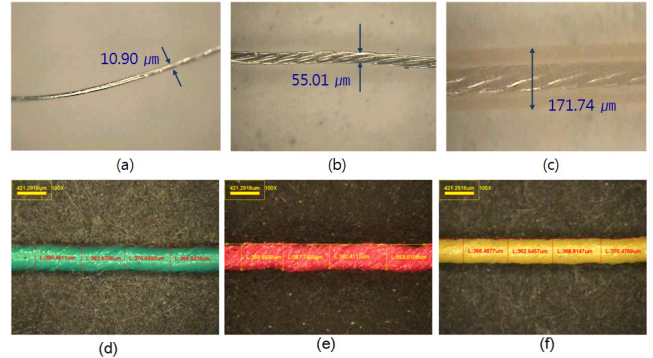
(그림 1) 디지털사 네트워크 구조

디지털 사 네트워크 구성은 기본적으로 P2P 통신에 기초하고, 이를 확장한 지역 멀티단말 통신을 구성한다. 디지털 사의 버퍼링은 디지털 사 전송링크의 송신단과 수신단 사이의 전송속도 차이(gap)를 완충하거나 데이터 전송실패를 복구하기 위해 송신단과 수신단 각각에 대칭적으로 네트워크 커넥터 또는 네트워크 카드에 물리적 버퍼를 구축한다. 디지털 사와 기존 OSI 7 계층과 호환성(예, LAN 과 호환)을 지원하기 위해 전송 프로토콜 스택(protocol stack)을 구축한다. 예를 들어, 디지털 사는 물리계층을 형성하고 2 계층인 링크계층은 이더넷망을 지원하는 CSMA/CD 프로토콜을 구성할 수 있다.

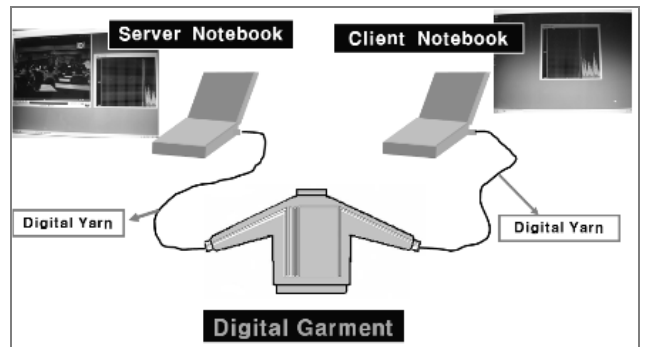
3. 실험 환경

한국생산기술연구원에서 개발된 전도사(conductive yarn)를 디지털 사(digital yarn)로 명명했다. 디지털 사는 코어부분(core part)과 외피부분(outer part)으로 구성된다. 코어부분은 그림 2-(a), (b), (c)와 구리 마이크로선(copper micro wire)과 레진(resin)이라는 절연체로 구성된다. 마이크로 사 한 가닥의 직경은 약 10 마이크로미터(μm)이다. 7 가닥 꼬임선의 직경은 약 55 마이크로미터이다. 이러한 마이크로 사는 전기나 전자기파로부터 절연하기 위해 레진으로 코팅된다. 그러므로 코어부분의 직경은 170 마이크로미터이다. 이 코어부분은 그림 2-(d), (e), (f)와 같이 디지털 사의 외피부분을 형성하는 일반 섬유사(normal yarn)로 덮여져워진다. 그리하여 디지털사의 전체 직경은 약 400 마이크로미터가 된다.

디지털 사 실험 모델은 그림 3 과 같이 디지털 의류를 직조한 디지털 사에 클라이언트 네트워크 컴퓨터와 서버 컴퓨터를 연결하여 클라이언트로부터 서버로 또는 서버로부터 클라이언트로 데이터를 전송하는 실험을 수행한다.



(그림 2) 디지털 사의 마이크로 현미경 사. (a) 마이크로 사 (b) 꼬임 7가닥 마이크로 사 (c) 레진 절연코팅 코어부분 (d) 청색 (e) 적색 (f) 황색 디지털 사



(그림 3) 디지털 사 실험 모델

디지털 사의 통신 성능을 분석하기 위해 1 미터에서 5 미터 길이의 디지털 사를 사용하여 파일 전송 테스트를 수행되었다. 데이터 전송 성능 및 전송량을 측정하기 위해 다음 전송 시스템이 구축되었다. 파일 단위 전송시험을 위해 FTP 서버(Serv-U)와 FTP 클라이언트(ALFTP v4.1)를 구축하였다. 서버, 클라이언트, 네트워크 등의 하드웨어 및 소프트웨어 자원에 대한 실험 세부명세는 각각 표 1 과 표 2 에 나타나있다.

<표 1> 실험 하드웨어 명세

Components	Specifications
Server	Intel Dual Core 2.0 GHz, 1 GB RAM, 80 GB HDD
Client	Intel Dual Core 2.0 GHz, 1 GB RAM, 80 GB HDD
Network Interface	Ethernet Compatible, Intel(R) PRO/1000 MT Mobile Connection
Network Bandwidth	10Mbps/100Mbps/1Gbps
Yarn Length	1m/3m/5m

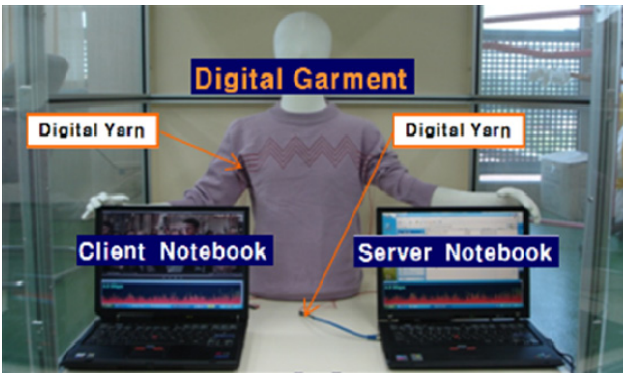
<표 2> 실험 소프트웨어 명세

Components	Specifications
Server	Windows XP
Client	Windows XP
Network Protocols	FTP/TCP/IP/CSMA-CD
Data Type	Text/Image/Video
Data Size	10MB/100MB/1GB

실시간 전송 프로세스의 전송품질을 체크하기 위해 서버측에서 1GB 의 동영상을 시연(play)하는 동시에 클라이언트측으로 데이터를 반복적으로 전송하는 실험을 수행하였다.

4. 결과 및 평가

본 실험은 초기 실험으로 새로운 네트워크 카드 인터페이스를 사용하지 않고 기존 범용 LAN 에서 활용하는 이더넷 카드 및 회선에 직접적으로 회선 대 회선으로 연결한 널카드(Null Card)인터페이스를 통해서 디지털 사에 데이터 로드를 전송했다. 그림 4 의 클라이언트 서버간 데이터 통신 테스트는 니트의류로 직조된 디지털 사를 통해서 통신이 가능한지를 검사하기 위해 수행되었다. 그 결과 통신이 원활하게 수행됨을 확인하였다.



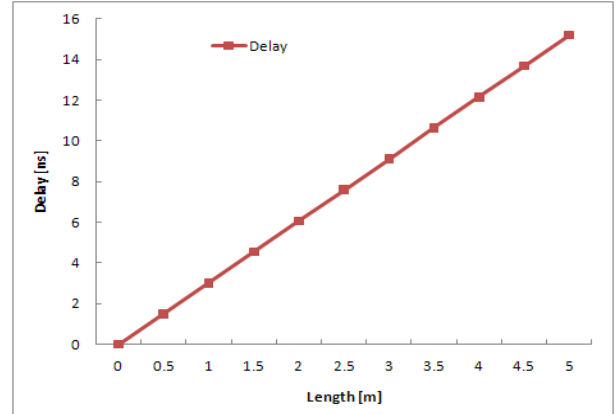
(그림 4) 디지털사 통신 실험

디지털 사를 인터페이스카드 없이(null card) LAN 케이블에 직접 연결하여 10 회 반복 전송하여 그 결과에 기초한 평균값을 얻었다. 송신단 서버측(Serv-U)의 평균 송신 비트율은 77.640Mbps 를 얻었고, 수신단 클라이언트측(ALFTP)의 평균 수신 비트율은 72.896 Mbps 를 얻었다. 여기서 송신측의 평균 비트율보다 수신측의 평균 비트율 차(77.640 - 72.896 = 4.744Mbps)가 존재한다. 따라서 초단위 송수신 속도 차를 개선하기 위한 전송 응용버퍼는 최소 4.744Mbps 가 요구된다는 것을 의미한다.

디지털사도 일종의 전선이기 때문에 저항 성분을 갖는다. 이러한 저항 성분은 송신부로부터의 신호를 감쇄시키는 주된 원인이다. 의복으로 제작함에 있어서 180cm 신장의 사람을 가정하였을 때, 필요한 디지털 실은 최대 5m 의 길이와 1m 당 6.6 옴의 저항을 갖는 디지털 의류에 적용되었다.

디지털 사는 디지털 전기 신호를 전송할 수 있으며, 입력신호와 출력신호 사이에 일정한 지연시간을 갖는다. 디지털 사의 단위 길이 당 전송지연 시간은 다음 그림 5 와 수식(1)로 표현된다.

수식 (1)은 디지털 사의 송신단과 수신단 사이의 전송시간지연을 디지털 사의 송신단과 수신단 사이의 링크 길이의 상관관계를 나타낸다.



(그림 5) 디지털사 전파지연시간

$$y = 3.05x - 0.04$$

x = 디지털 사의 길이(미터단위)

(1)

y = 입력단과 출력단 사이의 전송시간지연(나노초 단위)

이 디지털 사는 이러한 전송시간지연 외에도 잡음 (noise) 및 신호 충돌 등의 외부환경 요인에 의해 신호 손실을 발생할 수 있다. 이러한 신호손실을 극복하기 위한 대안으로 버퍼링(buffering)이 요구된다. 버퍼링의 효과 및 성능을 극대화하기 위해 최적의 단위 버퍼 크기를 할당해야 한다. 단위 버퍼 크기(S_buf)는 다음 수식(2)와 같이 디지털 사의 전송지연시간 (Delay)과 비트율(BW)에 의존한다.

$$S_buf = Delay(ns) * 2 * BW(bps) \quad (2)$$

수식(2)의 “Delay*2”는 이더넷 호환 통신선로에서 임의의 신호 전송에 대한 성공 또는 실패에 대한 검출이 CSMA/CD 프로토콜에 의존한다는 것을 의미한다.

다음 예제들은 디지털 사 3m 와 5m 의 전송실험에 기초한 버퍼 크기 요구량이다.

예제 1) 길이 3m 와 대역폭 10Mbps 인 경우

$$\begin{aligned} S_buf &= 9.11ns * 2 * 10Mbps \\ &= 9.11 * 0.000000001 * 2 * 10000000 \\ &= 0.1822 \text{ bit} \end{aligned}$$

신호 손실이 전송 bit frame 단위로 발생할 가능성이 존재하기 때문에 최소 한 단위프레임 크기의 버퍼가 준비되어야 한다.

예제 2) 길이 5m 와 대역폭 100Mbps 인 경우

$$\begin{aligned} S_buf &= 15.21ns * 2 * 100Mbps \\ &= 15.21 * 0.000000001 * 2 * 100000000 \\ &= 3.042 \text{ bit} \end{aligned}$$

신호 손실이 전송 bit frame 단위로 발생하기 때문에 최소 한 단위프레임 크기의 버퍼가 준비되어야 한다.

따라서 최소 이더넷 프레임 크기가 64 바이트이므로 최소 버퍼링을 위한 단위버퍼의 크기는 64 바이트가 준비되어야 한다. 디지털 사의 개별 단말의 전송 성능을 극대화시키기 위해서 최대 이더넷 단위프레임 크기인 1522 바이트를 단위버퍼 크기로 호환되게 설정할 수 있다.

디지털 사의 신호손실이 반복적으로 발생하는 경우

에 대한 대응으로 데이터 전송시간 지연이 길어진다. 이 반복 실패에 대한 복구 버퍼링을 지원하기 위해서 버퍼크기(SR_buf)는 다음 수식(3)과 같이 정의된다.

$$SR_buf = S_buf * F_count \quad (3)$$

S_buf 는 수식(2)의 기본 버퍼크기이고, F_count 는 디지털 사의 단위 전송실패 허용횟수 즉, 단위전송 재시도 횟수(retry count)를 의미한다.

5. 결론

본 연구는 디지털 사의 전송 성능과 효율을 높이기 위해 버퍼링의 필요성과 실험을 기술했다.

디지털 사의 물리적 전송 환경 오류를 극복하기 위해 3 장 실험결과에서 보듯이 최소한 버퍼 크기로 한 전송프레임의 버퍼공간이 요구되었다. 따라서, 최소 버퍼 크기는 64 바이트이고, 최대 버퍼 크기는 1522 바이트를 셋업해야 하는 평가 결과를 얻었다. 그리고 단위 전송실패를 복구하기 위해 복구 재전송 시도 횟수에 따른 버퍼크기를 정의했다.

물리계층을 구성하는 디지털 사의 전송에러에 의한 데이터 손실을 극복하는 동시에 전송효율을 극대화하기 위해서는 최소한 한 전송프레임 크기의 버퍼공간이 준비되어야 한다.

특히, 본 연구는 기존 LAN 에 호환적으로 구성된 실험환경에서 디지털 사 전송 실험을 수행하였다. 이는 독립적 디지털사 망을 구축하기 위해 새로운 네트워크 카드를 개발하고 이에 대한 독립적인 실험 구성이 요구된다. 또한 현재까지 5m 길이의 디지털 사에 대한 연구를 10m 길이까지 확장하는 연구가 요구된다.

참고문헌

- [1] J. Krumm, *Ubiquitous Computing Fundamentals*, CRC Press, pp.1-35, 2010.
- [2] S. Poslad, *Ubiquitous Computing-smart devices, environments and interactions*, John Wiley & Sons Press, pp.343-378, 2009.
- [3] J. McCann and D. Bryson, *Smart clothes and wearable technology*, CRC Press, pp.3-24, pp.205-213, 2009.
- [4] T. Linz, C. Kallmayer, R. Aschenbrenner, and H. Reichl, "Embroidering Electrical Interconnects with Conductive Yarn for The Integration of Flexible Electronic Modules into Fabric", IEEE The 9th ISWC(International Symposium on Wearable Computers), pp.86-89, Oct. 2005.
- [5] G. S. Chung, "Digital Garment for Data Communication using Digital Yarn", 2009 Korean-German Smart Textile Symposium, pp.57-67, Sep. 2009.
- [6] S. Vassiliadis, C. Provatidis, K. Prekas, and M. Rangussi, "Novel Fabrics with Conductive Fibres", Intelligent Textile Structures - Application, Production & Testing International Workshop, GREECE, May. 2005.
- [7] "Application Programmer's I/O Guide", Chapter 8, Cray Inc., S-3695-35, pp.79-85, Jan. 2001.
- [8] A. Cohen and R. Cohen, "A Dynamic Approach for Efficient TCP Buffer Allocation", IEEE Transaction on Computers, Vol. 51, No.3, Mar. 2002.
- [9] W. C. Feng, K. G. Shin, D. D. Kandlur, D. Saha, "The BLUE active queue management algorithms", IEEE/ACM Transactions on Networking, Vol. 10, No. 4, pp.513-528, Aug. 2002.
- [10] G. Fox, "Peer-to-peer networks", IEEE Computing in Science & Engineering, Vol. 3, No. 3, pp.75 -77, May-Jun. 2001.
- [11] Tae Gyu Lee and Gi Soo Chung, "Buffering Interface on Digital Yarn for Wearable P2P Communications," International Conference on Intelligent Textile (ICIT'2010), pp.63-64, Jun.2010.