

서로 분리된 시스템의 정밀한 시간동기화

Precise Time-Synchronization for Separate Systems

이승하*
S. H. Lee

요 약

본 논문에서는 신체의 움직임을 측정하는 시스템에 있어서 여러 개의 분산형 시스템 간의 시간 동기화 방법을 제안한다. 분산형 시스템을 고려하는 이유는 피험자의 신체로부터 여러 가지 정보를 수집함에 있어서 하나의 집중된 시스템을 설계하게 되면 각 센서 시스템으로 배선이 연결되어야 하고 이는 피험자에게 크나큰 불편함을 주게 되기 때문이다. 제안된 동기화 방법은 단순한 키 스위치를 사용하고 스위치에 연결된 디지털 포트를 추가로 읽어 들이는 방식으로서 하드웨어가 매우 간단하여 잘 알려진 유비쿼터스 센서 네트워크 방식에 비해 추가적인 전력을 소모하지 않는다. 소프트웨어적으로는 데이터를 측정 후 오프라인 처리 방법을 사용하여 두 시스템간의 샘플링 시간 차이를 구하고 시간을 스케일링하여 보정하는 방식이다. 제안된 방법의 타당성을 실험을 통해 보인다.

ABSTRACT

In this paper, we present a novel time-synchronization method for distributed systems to measure the body motion. The distributed system scheme is considered because human data acquisition systems tend to have a centralized controller with sensors connected with a long range of electric wires running through the subject's body, which results in inconvenience. Utilizing simple key switches and digital input ports for reading the key, the proposed method requires a very simple hardware structure, which means less power consumption compared with the well-known ubiquitous sensor network. After measuring the motion data as well as the synchronization pulses, the proposed method compensates, in offline, the difference of the sampling instance between the two systems by scaling the time difference. The paper presents experimental results to show the validity of the proposed method.

Keyword : Signal Measurement, Time Synchronization, Hardware Design

1. 서론

신체 기능의 일부가 제한된 사람에게 도움을 주는 재활기기를 설계하기 위해서는 정상인의 움직임을 기록하고 평가하는 일이 필요하다. 또한, 질병의 진단을 위해서 다양한 생체신호를 비교적 오랜 시

간동안 측정해야 하는 경우도 있다. 심전도 (electrocardiogram) 신호를 제어 부정맥을 진단하는데 쓰는 Holter 모니터가 그 한 예이다.[1] 본 논문이 주목하는 것은 이와 같이 몸에 장착하고 오랜 기간 생체신호 혹은 활동량 데이터를 측정하는 기기 중에, 특히, 장착되는 시스템이 하나가 아닌 복수의 분산형 시스템에 대한 것이다.

몸에 장착되는 데이터 측정시스템은 가급적 소형일 수록, 경량일 수록 피험자가 느끼는 불편함이 감소할 것이다. 무게, 크기 외에도 만일 그 시스템이 복수의(multiple) 센서로 되어있고 그 센서와 데이터 수집장치를 연결하는 전선이 몸전체에 걸쳐 연결되어 있다면 매우 불편할 것이다.

접 수 일 : 2011.12.05

심사완료일 : 2011.12.21

게재확정일 : 2011.12.23

* 이승하 : 단국대학교 의과대학 교수

shalee@dankook.ac.kr (주저자, 교신저자)

※ 이 연구는 2005년도 단국대학교 대학연구비의 지원으로 연구되었음

예를 들어, 자이로 센서를 장착하여 양팔, 양발의 움직임을 기록하는 장치를 가정해 보면, 시스템 설계자는 가슴이나 복부에 메인 시스템 역할을 하는 디지털 데이터 수집장치를 두고 각 센서는 이 수집장치와 전선으로 연결되어 팔, 다리에 장착되는 형태의 시스템을 생각할 수 있다. 그림 1(a)에 보인 집중형 시스템이 그것이다. 이 방법은 본체와 센서를 연결하는 전선 때문에 매우 불편하고 피험자가 작업을 하다가 연결된 전선을 손상시켜 올바른 데이터 수집이 되지 않는 경우도 발생할 수 있다. 이를 해결하는 방법으로, 그림 1(b)와 같이, 각각의 센서가 데이터 측정과 통신기능을 갖는 분산시스템을 고려할 수 있다. 이른바, 유비쿼터스 센서 네트워크 같은 무선센서 네트워크를 활용하는 것이다. 하지만, 이 방법은 모든 분산시스템이 각각 통신기능을 갖춰야 하고 베이스 스테이션에 해당되는 통신시스템이 피험자 주변에 설치되어 있어야 하는 등, 비용이 비교적 비싸고 전력소모도 커지며 무엇보다 무선 전파환경이 열악한 작업환경에서는 제대로 된 측정값을 보장하기 힘든 경우가 많다.

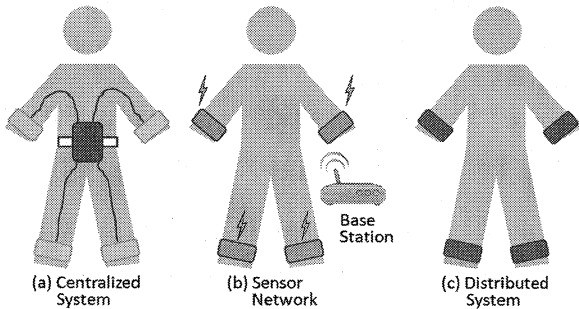


그림 1. 데이터 측정 시스템 구성방법

만일, 그림 1(c)와 같이 별개의 메인 시스템이 필요없고 센서가 장착되어야 하는 팔목, 발목 위치에서 개별적으로 동작할 수 있는 데이터측정시스템을 설계하고 그 시스템에서 각 팔, 각 다리의 해당 움직임 데이터를 직접 저장하는 방식이라면 피험자는 편하게 장착하고 작업 할 수 있을 것이다. 본 논문에서는 이와 같은 시스템을 분산형 데이터 측정 시스템이라 칭한다. 이렇게 하면 메인 시스템이나 유무선 통신기능이 필요없고 전선의 연결을 최소화하여 불편함을 줄이면서도 데이터 획득의 성공률도 높일 수 있다.

그런데, 이 경우 반드시 해결해야 할 문제가 바로 각 분산 시스템에 저장되는 측정데이터들 간의 시간동기화 문제이다. 이 문제의 원인은 다음과 같다.

디지털 시계가 오랜 시간이 가면 조금씩 빨라지

거나 느려지듯이 같은 회로, 같은 부품을 가진 두 시스템의 시간을 정확하게 동기시키기는 거의 불가능하다. 왜냐하면, 마이크로프로세서에 연결된 수정 발진자의 주파수가 정확히 일치할 수 없고 만의 하나 일치한다고 하더라도 배터리의 잔량에 따라, 온도나 환경에 따라 차이가 나고 같은 회사의 부품이라도 미세한 차이가 있어서 조금씩 메인 클럭의 시간적인 차이가 생기게 되고 이 작은 차이가 누적되어 각 시스템의 내부 시계는 조금씩 빠르거나 늦어지게 된다. 시간이 길어져 10시간, 24시간 측정할 수록 그 차이는 점점 벌어지게 되는 것이다. 이러한 시간동기화 문제는 센서 네트워크에 관해서는 선행연구가 많으나[2-4] 본 연구에서 제안하는 분산형 시스템에 관한 연구는 찾아보기 쉽지 않다.

본 논문에서는 동일한 설계 조건을 가지는 두 개 혹은 여러 개의 분산 데이터 측정시스템이 원 발과 오른 발처럼 여러 군데에 각각 장착되었을 때, 샘플링 간격의 미세한 차이로 인해 n번째 샘플링 데이터가 서로 다른 시점에서 데이터로 기록되는 경우, 각 시스템의 데이터로부터 정확하게 같은 시점에 측정된 데이터를 찾아내어 동기화 시키는 방법을 제안하고자 한다.

2. 본론

2.1 동기화를 고려한 시스템 설계

본 논문에서는 그림 1(c)와 같이 분산형 시스템에서, 복잡하고 전력소비가 많은 무선통신 방식이 아닌, 매우 간단하게 데이터를 측정하면서도 정확한 동기화를 이룰 수 있는 방법을 제안한다. 데이터 측정 시스템을 간략하게 만들수록 전력소비를 줄이고 이는 배터리의 용량을 줄이게 되며 소형화를 이룩할 수 있기 때문이다. 이를 위해서 분산형 데이터 측정 시스템과 함께 오프라인 동기화 방식을 제안한다.

오프라인 동기화 방식이란 데이터를 측정할 때에는 여타의 시스템과의 전기적인 연결이나 동기화를 이루기 위한 하드웨어의 관여 없이 오로지 센서와 그에 따르는 데이터 저장 시스템이 자체적으로 동작하게 하며 모든 데이터가 측정된 후에 측정된 데이터의 후처리를 통해 두 개 혹은 여러 개 시스템의 시간차이를 검출하는 방식이다. 본 논문에서는 설명의 편의를 위해 두 개의 시스템, M_1 , M_2 의 경우에 동기화 하는 방법을 설명한다. 그러나 이 방법은 3개 이상의 시스템에도 쉽게 확장할 수 있다.

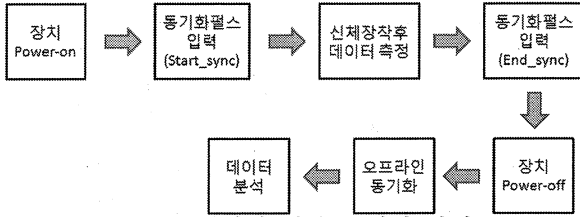


그림 2. 데이터 시간 동기화 방법

오프라인 방식으로 두 시스템 데이터를 동기화 하기 위해서는 시간의 차이를 추출하기 위한 근거가 필요한데, 이를 위해 매 샘플링 시간에 측정되는 데이터와 별도로 마이크로프로세서 디지털 포트 2 개 비트(bit)의 입력 데이터를 함께 기록한다. 본 논문에서는 이를 동기화 포트에 입력된 동기화 신호라 칭한다. 이 동기화 신호 중, 00, 01, 10, 11이 임의의 순서로 기록되는 동기화 펄스를 인가하여 사용하는 방식이다. 이 방식을 적용한 전체 데이터 측정 단계는 그림 2와 같다.

최초 전원공급 후 두 시스템의 동기화 포트에 동일한 동기화 펄스(이를 start_sync라 칭한다)를 동시에 입력하고, 모든 측정이 끝나고 데이터를 추출하기 직전에 또 다시 동기화 펄스(이를 end_sync라 칭한다)를 M_1, M_2 에 동시에 입력하는 방식이다. 이렇게 하여 시작시간, 마치는 시간에 동기화 펄스를 찾아내면 실제 동기화 펄스는 동일한 시점에 입력된 것이므로 두 데이터의 샘플링 시간의 차이를 계산할 수 있다.

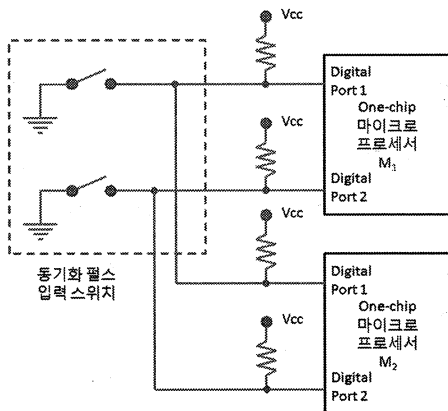


그림 3. 동기화 펄스 입력 스위치 회로

동기화 펄스는 그림 3과 같이 간단한 두 개의 스위치 회로를, 동기화 펄스를 입력할 때만 연결하여 한두 번 스위치를 눌러주는 동작이면 만들 수 있다. 이때 스위치에는 채터링 현상이 필연적으로 발생하는데 채터링 펄스를 오히려 주요한 동기화 펄스로 사용할 수 있다.

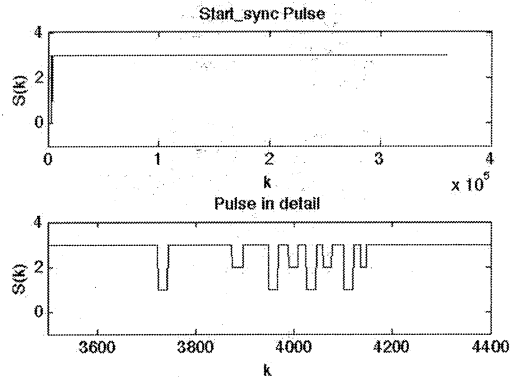


그림 4. 실제 측정된 동기화 펄스의 모양

이렇게 하면 복잡한 회로를 쓰지 않고 간단히 동기화 정보를 추가하는 것이 가능하다.

2.2 오프라인 동기화 방법

그림 4에 보이는 것이 실제로 측정된 start_sync 동기화 펄스이다. 마이크로프로세서의 디지털 포트는 아무 입력이 없을 때, high(1)로서 입력되므로 두 동기화 비트는 이진수 11(10진수 3)이 입력되다가 전원 입력 직후, 그리고 전원 오프 직전에만 동기화 펄스가 입력되는데 그 때에만 0과 1이 번갈아가며 입력된 형태가 존재하므로 쉽게 찾을 수 있다.

두 측정시스템 M_1, M_2 에서 k 번째 샘플링 순간에 얻은 동기화 포트 신호를 각각 $S_1(k), S_2(k)$ 라 하자. $S_1(k), S_2(k)$ 에서 start_sync가 기록되기 시작한 샘플링 순간이 각각 $k = k_{s_1}, k = k_{s_2}$ 라고 하고 end_sync 패턴이 입력되는 샘플링 시점이 각각 $k = k_{e_1}, k = k_{e_2}$ 라고 하면 두 샘플링 데이터의 시간 차이 Δ 는 다음과 같이 계산될 수 있다. 여기서 $k_{e_1} - k_{s_1}$ 값이 $k_{e_2} - k_{s_2}$ 값보다 크다고 가정해도 일 반성을 잃지 않는다.

$$\Delta = (k_{e_1} - k_{s_1}) - (k_{e_2} - k_{s_2}) \tag{1}$$

$$\delta = \Delta / (k_{e_1} - k_{s_1}) \tag{2}$$

$$t_1(k) = T \cdot (k - k_{s_1}) \tag{3}$$

$$t_2(k) = T \cdot (k - k_{s_2})(1 + \delta) \tag{4}$$

여기서 $t_1(k), t_2(k)$ 는 M_1, M_2 의 k 번째 샘플링 순간의 보정된 시간 값이다. T 는 공칭 샘플링 주기이다.



그림 5. 두 발목에 시스템을 장착한 사진

따라서 M_2 측정데이터의 실제 시간을 위 수식처럼 스케일링해서 늘이면 두 시스템의 샘플링 시간의 미세한 차이를 보정한 시간 정보를 얻을 수 있다. 이렇게 하면 M_2 에서 시간 정보를 M_1 에 맞게 보정한 것인데 만일 완전히 동일한 시점에서의 M_1 , M_2 측정 데이터를 얻으려면 선형 보간 방법(linear interpolation)으로 측정된 데이터를 보정할 수도 있다.

2.3 실험

본 연구에서는 그림 5와 같이 양 발목에 장착되어 발바닥에 가해지는 압력을 측정하는 시스템을 구성하였다. 각 시스템의 모양과 함께 동기화 펄스를 가하는 장치의 모양이 그림 6에 나타난 바와 같다. 한편, 그림 6의 상단에 보이는 케이스는 초기 회로 설계보다 더 장시간 기록할 필요가 있어 외부에 대용량 배터리를 추가로 장착한 것이다.

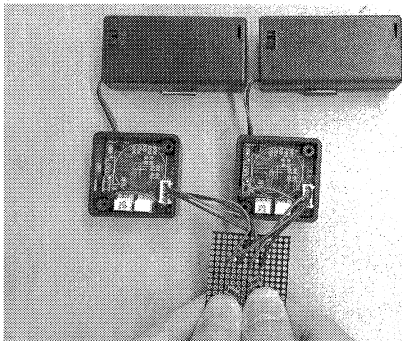


그림 6. 동기화 스위치 및 시스템 연결

그림 6의 손가락 부분에 간단히 제작된 동기화 스위치 장치가 나타나 있다. 두 개의 스위치가 동기화 펄스의 각 비트를 의미하며 누르면 0이 입력되는 장치이다.

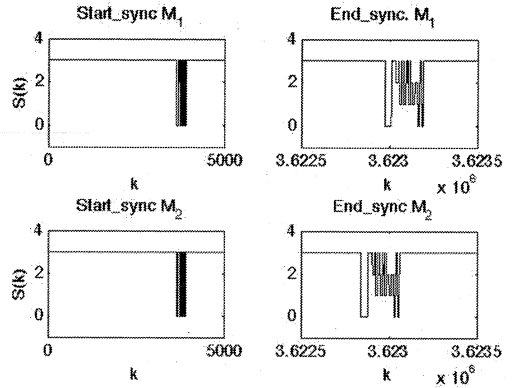


그림 7. 동기화하기 전 동기화 펄스

두 시스템 M_1 , M_2 의 동기화신호는 그림 7과 같다. 이 데이터는 100Hz 샘플링주파수로 약 11시간 동안 측정된 데이터로 전체 데이터의 개수가 매우 많아 최초 50초, 그리고 마지막 10초 동안을 표시하였다. 동기화 펄스가, 입력이 없을 때와 비교하여 확연히 드러남을 알 수 있고 실제 $k_{e_1} = 3,622,976$ 와 $k_{e_2} = 3,622,842$ 의 차이를 그래프에서 확인할 수 있다.

측정된 Δ 는 150이었고 이는 두 시스템 간에 11시간이 흐르면 같은 k 값을 가지는 두 데이터가 1.5초의 차이가 나타남을 의미한다. 두 신호를 시간 보정한 결과가 그림 8과 같다. 두 시스템의 시간이 정확하게 일치함을 알 수 있다.

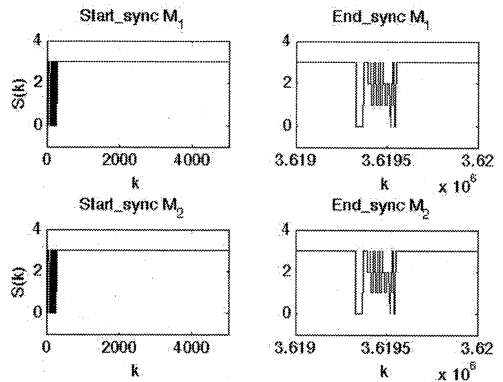


그림 8. 주어진 방법을 활용해 동기화 한 동기화 데이터

그림 9에 M_1 , M_2 시스템에서 걷는 상태에서의 실제 몸체 움직임을 측정된 데이터의 일부를 보여주고 있다. 각 발에 걸리는 2개의 압력 센서가, 발바닥의 앞쪽, 뒤꿈치 쪽에 각각 설치되었다.

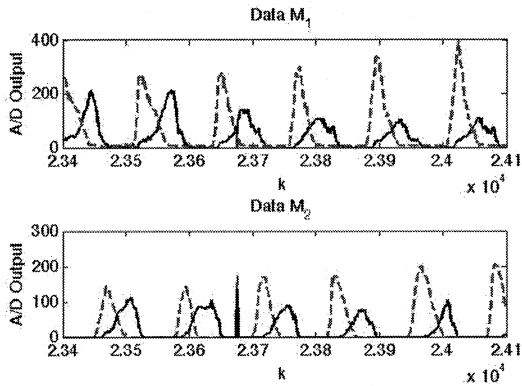


그림 9. 주어진 방법을 이용해 동기화 한 측정 데이터

그림 9는 센서의 출력값을 A/D변환한 값으로서 점선은 뒤꿈치쪽 센서, 실선은 앞쪽센서 값인데, 일정한 속도로 양발을 번갈아 가며 걷는 것을 볼 수 있다.

3. 결론

본 논문에서는 시간 동기화가 되지 않은 두 개의 독립적인 시스템에 샘플링 시간의 차이를 오프라인 방법으로 보정하는 방법을 제안하였다. 방법의 특징은 동기화 포트를 두고 여기에 동기화 펄스를 두 번 입력하고 측정이 끝난 후 오프라인 방법으로 계산에 의해 시간차이를 구하는 것이다. 이 방법을 쓰면 분산형 시스템으로 구성하여도 전체 데이터의 시간차이를 알 수 있기 때문에 시스템이 간단해져서 무선 데이터 전송 방식일 때 보다 소요되는 전력소모도 줄일 수 있으며 시스템을 더 작게 만들 수 있는 장점이 있다. 또한, 피험자의 불편을 최소화하여 다양한 작업, 다양한 상황에서 데이터를 얻을 수 있다. 이는 피험자의 동의를 구하고 데이터를 측정하는데 있어서 실제로 매우 중요한 요소이다.

제안된 방법은 양발의 압력 센서를 장시간 동안 측정할 시스템에 적용하여 그 유용성을 보였다.

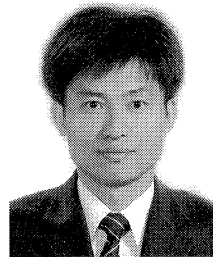
한편, 본 논문이 제안하는 방법을 쓰면 두 시스템 간의 동시성은 보장하지만, 절대시간의 정확성은 보장하지 못하는 문제가 있는데 이는 11시간 측정 데이터가 수초 대에서 오차를 보이므로 큰 문제가 되지 않을 것이다. 만일 더 오랜 시간을 두고 측정해야하고 절대적인 시간이 중요한 경우에는 이에 대한 고려도 필요할 것이다.

본 논문에서는 k_s , k_e 값을 연구자가 전체 데이터를 살펴보고 수동으로 추출 하였는데, 추후 연구로

는 동기화 신호를 자동으로 찾아내는 알고리즘에 관한 연구도 필요하다.

참 고 문 헌

[1] Holter Monitor - http://en.wikipedia.org/wiki/Holter_monitor accessed by 2011. 11. 25.
 [2] F. Sivrikaya and B. Yener, "Time Synchronization in Sensor Networks: A Survey", *IEEE Network*, vol.18, issue.4, pp.45-50, 2004. 7.
 [3] 노진홍, 홍영식, "무선 임베디드 환경에서의 시간 동기화", 정보과학회 논문지: 정보통신 제32권, 제6호, 정보과학회, 2005. 12.
 [4] 양도, 이형봉, "USN을 위한 시간 동기화 프로토콜의 구현 및 평가", 한국 컴퓨터정보학회 논문지, 제13권, 제7호, 한국컴퓨터정보학회, pp.213-220, 2008. 12.



이 승 하

1988년 2월 경북대학교 전 자공학과 졸업 (학사)

1990년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업 (석사)

1995년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업 (박사)

1995년 3월 - 1996년 2월 한국과학기술원 위촉 연구원 (Post-Doc.)

1996년 3월 - 2005년 2월 경북대학교 전자전기 공학부 BK21 교수

2005년 3월 - 현재 단국대학교 의과대학 의공학 교실 부교수

관심분야 : 의공학시스템 설계, 임베디드시스템, 자동화시스템