

진동 데이터의 무선 전송을 위한 푸리에 디스크립터의 활용

Application of Fourier Descriptor for Wireless Transmission of Vibration Signal

*이재철¹, 최유락¹, 권오석²
 *J. C. Lee(jclee2@kaeri.re.kr)¹, Y.R. Choi¹, O.S. Kwon²
¹ 한국원자력 연구원, ² 충남대학교

Key words : Wireless Sensor Network, Power Saving, Data Compression, Vibration, Fourier Descriptor

1. 서론

무선 센서망은 설치의 간편함과 설치 후의 불필요한 전선의 제거로 잘 정돈된 공간을 제공 하는 장점으로 인하여 점차 널리 사용되고 있다. 유선 센서망의 극단적인 단점의 예를 그림 1.에 보였다. 하지만 무선 센서망이 가지는 가장 큰 문제점 중의 하나는 무선 센서망을 가동하기 위한 전력의 공급이다. 이를 해결하기 위하여 무선망 노드의 활성 시간을 최소화 하는 프로토콜의 채용, 고성능 건전지의 개발, 무선전력 전송 및 에너지의 자급을 위한 에너지 하베스팅(Energy Harvesting) 등의 다양한 시도가 있어 왔다.[1] 본 논문에서는 전송 데이터의 압축을 통한 무선 센서망의 활성 시간 단축을 위한 방법을 연구하였다. 일반적으로 온도나 습도 등을 무선 센서망을 통하여 전송하는 경우가 많이 있으며 이와 같은 데이터는 비교적 전송량이 적기 때문에 소형의 건전지라도 20년 이상 사용되는 경우도 보고되고 있다.[2] 한편 회전기기 등의 진단을 위하여 진동 데이터를 측정하는 경우가 있는데 이와 같은 경우에는 샘플링 주파수도 높고 데이터 량도 많기 때문에 실제 데이터를 바로 전송하는 것이 전력 소비의 측면에서 매우 불리하게 된다. 본 논문에서는 영상처리에서 영상의 특징 추출 등에 많이 사용되는 푸리에 디스크립터 방법을 사용하여 2차원의 진동 측정데이터를 압축, 전송 및 복원하는 방법에 대하여 설명하였다.



그림 1. 유선 센서망의 신호선의 극단적인 예

2. 무선 센서망의 소비 전력

무선 센서망은 동작 상태에 따라 전류 소비량의 변화가 크다. 일반적으로 저전력 센서망의 동작 상태는 센서 신호를 취득하는 A/D 변환, 노드의 센서망에 대한 연결 및 관리를 위한 CPU 처리, 활성 시간 관리를 위한 타이머 및 무선 전송 등으로 나눌 수 있다. 표 1에 32bit CPU를 가진 무선 센서망 노드의 동작 상태에 따른 소비 전류를 나타내었다. 표 1에서와 같이 가장 많은 전류를 소비하는 동작은 무선 전송이며 이 시간을 줄일 경우 효과적으로 전류 소비를 줄일 수 있다.

표 1 센서 노드의 동작 상태에 대한 소비전류

동작 상태	소비 전류	단위
CPU processing	7.5	mA
RF transmit	38	mA
ADC	655	uA
Timer	65	uA
Sleep	1.2	uA

또한 A/D 변환이나 타이머 동작시의 전류소비는 CPU나 무선 전송에 비하여 무시할 수 있을 정도로 적기 때문에 다음과 같은 조건이 만족되는 범위에서 압축 후 전송이 유리하다.

$$I_C \cdot T_{Cn} + I_R \cdot T_{Rn} > I_C \cdot T_{Cc} + I_R \cdot T_{Rc} \quad (1)$$

여기에서 I, T 는 전류와 시간을 나타낸다.

I_C : CPU 처리 시 소비 전류
 I_R : 무선 전송 시 소비전류

이며, 시간 T 에 관련된 아래 첨자들의 의미는 다음과 같다.

Cn : 무 압축 시 CPU 처리
 Cc : 압축 시 CPU 처리
 Rn : 무 압축 시 무선 전송
 Rc : 압축 시 무선 전송

식 (1)에서 데이터를 압축하는 과정 없이 바로 전송하는 경우의 전력량을 나타내는 것이 좌측 항 이고, 압축 과정을 거친 후 전송하는 경우의 전력량이 우측 항이다. 데이터를 압축하기 위한 CPU 처리 시간을 Δt 라 하고 압축률을 η 라 하면 식 (1)의 우측 항은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$I_{Cc} \cdot (T_{Cn} + \Delta t) + I_R \cdot (T_{Rn} \cdot \eta) \quad (2)$$

여기에서 압축률

$$\eta = \frac{\text{databits after compression}}{\text{data bits before compression}} \text{ 이다.}$$

식 (1)과 (2)로부터 CPU가 압축 알고리즘 수행 알고리즘에 투입할 수 있는 최대의 시간은 식(1)의 좌변과 우변이 같아지는 시간이며 이는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} I_C \cdot (T_{Cn} + \Delta t) + I_R \cdot T_{Rn} \cdot \eta \\ = I_C \cdot T_{Cn} + I_R \cdot T_{Rn} \\ \therefore \Delta t = (1 - \eta) \frac{I_R}{I_C} T_{Rn} \end{aligned} \quad (3)$$

표 1에서와 같은 센서 노드의 경우 $\frac{I_R}{I_C} \approx 5.07$ 이며 압축률이 1 보다 작지만 하면 항상 양의 값을 가지게 된다.

3. 푸리에 디스크립터

푸리에 디스크립터는 영상처리 분야에서 특징 추출을 위하여 주로 사용되는 방법이다.[2] 주기적인 임의의 1차원 함수를 푸리에 급수 전개로 나타낼 수 있는 것과 같이 푸리에 디스크립터 이론에 의하면 시작점과 끝점이 일치하는 임의의 도형은 다양한 크기와 주기를 가지는 원들의 조합으로 모두 표현이 가능하다. 본 논문에서는 푸리에 디스크립터의 이러한 성질을 회전체의 진동 데이터를 표현하는데 사용하였다. 일반적인 3차원 진동 데이터의 측정이 주로 행해지지만 본 논문에서는 축방향의 진동을 제외한 2차원 데이터의 압축에 적용하였다. 2차원 평면에 x축 과 y축의 진동 형상(가속도 데이터)을 매핑 시키면 임의의

시간 t 에서의 센서값은 복소수 $z_t = x_t + iy_t$ 로 표현할 수 있다. 이와 같이 시간에 대한 함수 z_t 로부터 k 번째 푸리에 계수를 구하면 다음과 같다.

$$Z_k = \sum_{t=0}^{N-1} z_t e^{-2\pi i k t / N}, \quad t = 0, 1, 2, \dots, N-1.$$

여기서 Z_0 는 축을 중심으로 회전하는 이상적인 회전체의 경우에는 0에 가깝게 되며 이론적으로는 0이다. Z_1 은 기본적인 회전체의 중심축으로 부터의 변위를 나타낸다. 즉, 가속도 센서의 경우에는 회전 속도에 비례하는 값이 될 것이다. 나머지 Z_2 부터의 계수는 진동체의 1회전 중에 이상적인 회전 이외의 요인에 의하여 발생하는 변형을 나타내는 계수이다. 따라서 일반적인 영상처리에서와 같이 Z_2 이후의 값에서 진동의 특징이 나타난다고 할 수 있다. 이에 대한 푸리에 디스크립터는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$C_k - 2 = |Z_k| / |Z_1|, k = 2, 3, \dots, N-1.$$

아래의 그림에 이들에 대한 간단한 시뮬레이션을 보였다. 실제로는 이보다 훨씬 단순한 형태의 원에 가까운 형태를 가지겠지만 이와 같은 극단적인 진동 형태의 경우에도 적용이 가능함을 알 수 있다.

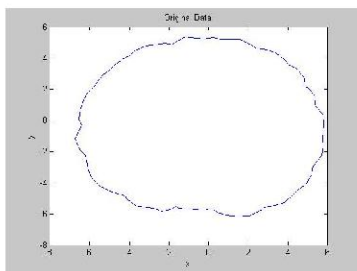


그림 2. 원래의 진동 데이터

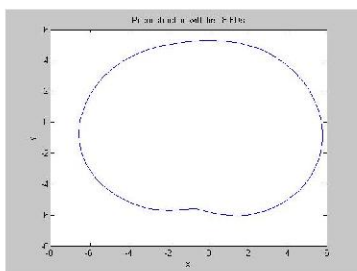


그림 3. 8 개의 계수로부터 복원

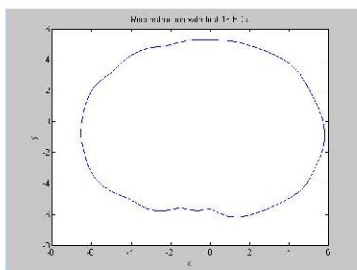


그림 4. 16 개의 계수로부터 복원

4. 결론

본 논문에서는 영상처리 분야에서 먼저 연구된 특징 추출 기법 중 하나인 푸리에 디스크립터를 무선 센서망에 적용하여 전력 소비의 절감을 위한 진동 데이터 압축 알고리즘의 방법으로 사용할 수 있음을 설명하였다. 이를 통하여 진동 데이터의 압축이 가능함을 보였다. 또한 전력 손실을 줄일 수 있는 압축을 위한

알고리즘의 최대 허용 수행시간을 구하였다. 실제 무선 센서망에 적용하기 위해서는 한정된 적은 전력으로 동작하는 센서망 CPU에서 푸리에 디스크립터 알고리즘의 효율적인 수행 방법이 연구되어야 할 것이다. 또한 2차원 진동이 아닌 3차원 진동을 표현하기 위하여 하나의 복소수와 하나의 실수로 푸리에 계수를 구하는 방법이나 보다 높은 수학적 연구를 통하여 복소수 평면이 아닌 3차원의 공간에서 적용되는 푸리에 디스크립터와 같은 알고리즘이 만들어 질 수도 있을 것이다.

후기

본 연구는 지식경제부에서 지원하는 원자력기술개발사업 중 원전기술혁신 과제를 통해 수행된 것으로 연구를 진행할 수 있게 도와주신 관계자 분들께 깊은 감사의 말씀을 드립니다.

참고문헌

1. Internet Web-site, "www.zigbee.org"
2. E.R Davis : Machine Vision : Theory, Algorithms, Practicalities , Academic Press, London 1997.