

텔레메트릭스 시스템에서의 효과적인 센서 데이터 전송 방식¹

김지홍, 이용일, 허혜선, 홍윤식
인천대학교
e-mail : riot999@incheon.ac.kr

An Efficient Transmission of Sensed Data in a Telemetry System

Ji-Hong Kim, Yong-Il Lee, Hye-Sun Hur, Youn-Sik Hong
University of Incheon

요 약

센서 네트워크에서 센서 노드의 전력 소모는 최대한 줄이면서, 원격 측정 결과에 대한 가동성을 높이기 위해 계측된 데이터의 신뢰도를 높이는 게 중요하다. 본 논문에서는 계측된 데이터와 임계값간 차가 커질수록 센서 노드의 데이터 전송 주기를 짧게 하는 센서 데이터 종속적인 비주기 전송 방식을 제안하였다. 기존에 제안된 비주기 전송방식과 비교해 본 결과 전체 전송 횟수는 비슷하지만, 데이터 변화량이 큰 구간에서는 최소 2 배 이상 전송 횟수가 증가함을 확인하였다. 한편, 패킷 오류율을 고려하지 않은 상태에서 대역폭, 센서 노드 수, 패킷 크기 및 전송 주기 등 4 가지 평가 조건에 따른 TCP 와 UDP 의 성능 비교 분석 결과, ACK 패킷을 제외했을 경우 두 프로토콜 간 전송 성능 차는 거의 없는 것으로 나타났다. 즉 낮은 PER 을 갖는 센서 네트워크인 경우에는 UDP 가 적합하며, PER 이 높을 경우에는 ACK 패킷에 대한 오버헤드를 부담하더라도 계측된 데이터의 신뢰도 보장을 위해 TCP 가 적합한 것으로 나타났다.

1. 서론

텔레메트릭스(Telemetrics)란 원격리(tele), 계측(metry), 전자공학(electronics) 등 3 단어의 합성으로 이루어진 신조어이다. 즉, 센서를 이용한 계측 및 계측된 데이터의 전송 기능이 포함된 원격 자동계측 기술에 첨단 전자기술이 접목된 융합 기술인 셈이다.

텔레메트릭스 시스템에서 핵심 구성 요소 중 하나가 센서 네트워크이다. 센서 네트워크는 원격지의 센서 노드로부터 계측된 데이터를 중앙의 서버(Data Operation Center, DoC)에 전송하기 위한 네트워크이다. 센서 네트워크에서 데이터 송·수신은 대부분 무선으로 이루어지기 때문에, 보통 센서 네트워크라 하면 무선 센서 네트워크를 말한다. 무선 센서 네트워크에서 가장 이슈가 되는 것은 센서의 효율적인 전력 소비이

다. 그 이유는 원격지의 센서에 주기적으로 전원을 공급하기가 사실상 불가능하기 때문이다.

본 논문에서는 스마트 센서 개념을 적용하여 센서의 전체 소비 전력 중 20%~60%를 차지하는 통신 모듈의 전력 소비를 줄이고, 계측 데이터의 신뢰도를 향상시킬 수 있는 전송 방식을 제안한다. 또한, 효과적인 센서 데이터 전송을 위해 TCP 와 UDP 를 대상으로 대역폭, 센서 노드 수, 패킷 크기 및 전송 간격 등 다양한 관점에서 전송 성능을 비교해 볼 것이다.

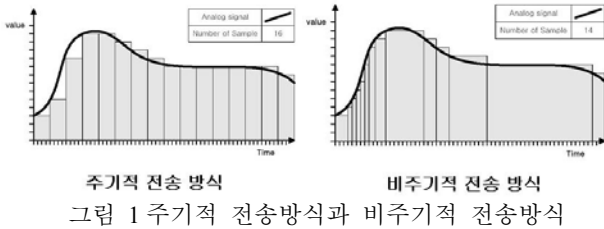
2. 관련 연구

2.1 센서 노드의 전력 소비

계측 대상의 각종 데이터를 측정하고 계측된 데이터를 전송하는 센서 노드의 경우 일단 설치를 하고

¹ 본 논문은 한국과학재단 지정 인천대학교 멀티미디어연구센터의 지원에 의한 것입니다.

나면 오랜 기간 방치 상태에 놓이게 된다. 만약 센서의 배터리가 며칠에서 몇 주정도 밖에 버티지 못한다면, 잦은 배터리 교체나 충전 작업으로 인해 효율성이 크게 저하될 것이다. 센서 노드에 내장된 데이터 전송과 관련된 통신 모듈은 센서 노드 전체 소비 전력의 20%~60%를 차지한다. 그림 1에 보인 것처럼 일정한 간격으로 전송하는 것보다는 데이터 변화량에 따라 가변적으로 전송하는 것이 전송 횟수를 줄일 수 있으며(16 회 → 14 회), 이에 따라 센서 노드의 전력 소모도 줄일 수 있다.



주기적 전송 방식 비주기적 전송 방식
그림 1 주기적 전송방식과 비주기적 전송방식

2.2 휴리스틱을 이용한 비주기적 전송

이 방식은 휴리스틱(heuristic)을 사용해 측정치의 변화가 큰 경우에는 측정주기를 짧게 하고 변화가 작은 경우에는 측정주기를 길게 하는 방식으로 데이터를 측정한다[1]. 측정된 데이터가 이전 측정치와 기지국에서 명시한 형태의 양자화를 거쳤을 때 값이 다른 경우에만 신뢰성 있는 전송규약을 사용해 전달하는 방식이다.

이 방식은 센서의 측정값이 자주 변하는 계측 대상에서는 효율적이다. 그러나 변위, 변형 등을 포함한 건물이나 교량의 기울기, 해수면의 온도처럼 임계값을 기준으로 계측된 데이터간 차이가 판단의 중요한 근거가 되는 경우에는 오히려 부적합하다.

2.3 무선 데이터 전송 프로토콜

무선망에서의 TCP 성능 향상을 위해 제안된 방식으로는 I-TCP[3], Snoop[4], WTCP[5] 등이 있다. 그러나 이들은 중간 노드인 액세스 포인트에 버퍼를 만들거나 전송 도중에 ACK 패킷을 제어하는 방식이다. 따라서 ad-hoc 방식의 센서 네트워크에 이러한 방식을 적용하는 것은 부적합하다.

3. 센서 데이터 종속 비주기 전송

3.1 센서 데이터 종속 비주기 전송 방식

주기적인 데이터 전송 방식은 센서 노드의 비효율적인 에너지 소모와 네트워크 대역폭의 낭비를 초래한다. 이 문제를 해결하기 위한 방안으로 휴리스틱을 이용한 비주기적 전송 방식이 제안되었다[1].

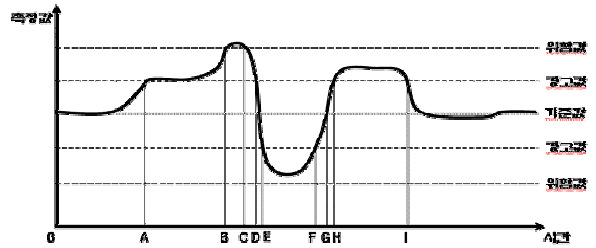


그림 2 센서 데이터의 예

그러나 이 방식은 그림 2와 같이 데이터의 급격한 변화가 발생하는 구간(C-D, D-E, F-G, G-H)에서는 전송 횟수가 증가하지만, 변화량이 작은 구간(0-A, A-B, B-C, E-F, H-I)에서는 전송 횟수가 오히려 감소한다. 사실상 이들 범위는 측정된 데이터가 기준값의 범위를 크게 벗어났기 때문에 정확한 판단을 위해 전송 횟수(즉 측정 간격)를 늘이는 것이 요구되는 구간이다. 따라서 단순히 이전 측정값과 현재 측정값의 차이, 즉 기울기만을 이용하여 전송 횟수를 결정하는 방식[1]은 계측 데이터의 신뢰도 측면에서 바람직하지 않다.

그림 2에서는 기준 값과 계측된 데이터 간 차이에 따라 경고 값, 위험 값 등으로 구분하였다. 즉 구간 [B,C]에서는 데이터 변화량은 작지만, 기준값과의 차이로 인해 위험 상태임을 감지하고 전송 횟수를 증가시킬 것이다. 그러나 기준값에 거의 근접한 구간 [0,A]에서는, 경고 값 이상의 데이터가 측정된 구간 [A,B]에 비해, 상대적으로 전송 횟수가 감소할 것이다. 이러한 센서 데이터 종속적인 비주기 데이터 전송을 위해 식 (1)을 사용한다.

$$\alpha[n] = \alpha[n-1] + d_s \times \frac{C}{|M_{ref} - s[n]|} \quad (1)$$

$d[n]$ 은 $n-1$ 번째 측정 직후 n 번째 측정할 때까지의 전송 간격이다. $s[n]$ 은 센서 노드에서 n 번째 측정값이며, 이 측정값과 비교하기 위한 기준값이 M_{ref} 이다. C 는 주기를 결정하는 상수로써 이 값이 크면 측정값의 변동 폭이 커지더라도 전송 주기의 변화는 작지만, 값이 적으면 적은 변동 폭에도 주기는 크게 달라진다. d_s 는 주기를 결정하는 기준 시간이다.

3.2 센서 데이터 종속 비주기 전송 방식을 적용한 실험

식 (1)을 사용한 비주기 전송 방식에 대해 3 종류의 샘플 데이터를 생성하여 센서 노드의 전송 횟수를 측정하였다. 각 샘플 데이터는 아래 식을 사용하여 생성되었다. 여기서 M_{ref} 는 데이터 변동이 발생한 시점으로 1/100 초 단위를 사용하였다.

사례 1: 일정한 기울기를 가지고 증가하며, 증가 값에 -2 부터 +3 까지의 범위를 갖는 난수를 더한 값 : $(10+(M_T/2)) + (3-RAND()*5)$

사례 2: 기준값이 50 이고 진폭이 ±20 인 사인 곡선 : $50 + (\sin(M_T/10)*20)$

사례 3: 기준값이 50 이고 진폭이 ±20 인 사인 곡선

을 기준으로 -5 부터 +5 까지 범위의 난수를 더한 값 : $50 + (\text{SIN}(M_T/10) * 20) + (5 - \text{RAND}() * 10)$

사례 1 의 경우 센서 노드에 누적 값이 적용되는 사례를 시뮬레이션 한 것으로써, 교량의 변형률이나 변위를 측정하는 센서와 같이 측정된 데이터가 오랜 시간 변화량이 누적되고 있는 상태를 모델링 하고자 하였다. 사례 2 는 센서 노드에 이상이 감지되는 상태를 나타내고자 한 것이며, 사례 3 은 사례 2 와 같은 일정한 패턴을 나타내지 않고 주변 환경에 반응해 측정값이 불규칙하게 변화하고 있는 상태를 나타내고자 하였다.

3.3 최적 상수 설정을 위한 실험

식(1)에는 C, d_s 및 M_{ref} 등 모두 3 개의 상수가 존재한다. 먼저 M_{ref} 의 값은 1)초기값(혹은 기준값), 2) 전체 누적 평균값, 3) 최근 10 개의 측정 데이터의 평균값 등 3 가지 경우로 나눠 실험하였다. 한편, C 는 0.5, 1, 및 1.5 일 경우, d_s 는 1, 5, 및 10 일 경우로 각각 구분해 실험하였다. 사례 2 의 샘플 데이터 중 30%의 변화 범위를 갖는 경우에 대해 전송 횟수를 측정 한 결과를 그림 3 에 나타내었다(C=0.5).

그림 3(a)는 전체 100 초간 전송 횟수를 나타낸 것으로써 주기적 전송 방식에 비해 M_{ref} 를 초기값으로 설정했을 경우 전체 전송 횟수는 20% 줄어든다. 그러나 그림 3(b)에 보인 것처럼 센서 데이터의 변화가 가장 심한 80.00 초~89.99 초 구간에서는 주기적 전송 방식에 비해 오히려 M_{ref} 를 초기값으로 설정한 경우가 3 배 이상 많은 데이터를 전송함을 알 수 있다($d_s=1$).

M_{ref} 를 최근 10 개의 평균값으로 설정한 경우 최근 데이터 변동 추이만을 반영하기 때문에 전송 횟수가 가장 작다. M_{ref} 를 평균값으로 설정한 경우 역시 누적된 계측 데이터의 평균값을 구한 것이기 때문에 급격한 데이터 변화에 덜 민감하게 반응한다. 큰 폭의 변화가 감지되는 경우라면 M_{ref} 를 초기값(즉 기준값)으로 설정하는 것이 바람직하다.

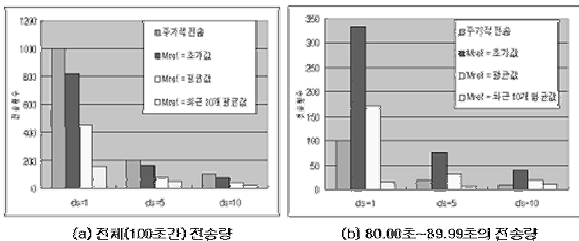


그림 3 30%의 변화량을 갖는 사인곡선(C=0.5)

C 는 변화의 폭이 길 경우 그 값을 크게 해야 한다. 즉 30%의 데이터 변화 범위일 경우 C 를 0.5 로 지정했다면, 60%의 변화 범위를 갖는 경우에는 C 를 1 로 증가시켜야 한다.

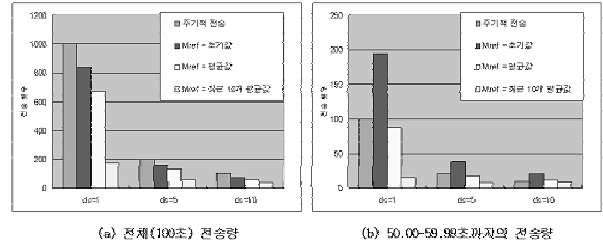


그림 4 60%의 변화량을 갖는 사인곡선(C=1)

60%의 데이터 변화 범위를 갖는 경우($M_T=40$ 초)의 샘플 데이터에 대해 C=1, $d_s=1$ 로 지정하여 측정 한 결과를 그림 4 에 나타내었다. 30%의 데이터 변화 범위를 갖는 경우와 비교했을 때, 전체 전송 횟수는 거의 변화가 없었다(그림 5(a)). 그러나 데이터 변화가 가장 심한 구간의 경우 30%의 데이터 변화 범위를 갖는 경우에 비해 데이터 변동률이 상대적으로 줄었기 때문에 전송 횟수가 감소했음을 알 수 있다(그림 5(b)).

3.4 휴리스틱을 이용한 비주기적 전송 방식과의 비교

이 절에서는 휴리스틱을 이용한 비주기적 전송 방식과 본 논문에서 제안하는 센서 데이터 종속 비주기 전송방식을 비교한다. 샘플 데이터는 20%의 변화 범위($M_T=80$ 초)를 갖는 사인곡선 데이터를 사용하였다. 실험 결과는 표 1 에 요약하였다.

표 1 전송 방식에 따른 전송 횟수 비교

	주기적 전송	휴리스틱	M_{ref} = 초기값	M_{ref} = 평균
전체 전송횟수 (0~100 초)	200	105	120	71
변화 부분의 전송 횟수 합	40	26	62	29

전체 전송 횟수의 경우 휴리스틱 방식(105 회)이 본 논문에서 제안하는 방식(120 회)에 비해 15 회 적다. 그러나 실제 데이터의 변화가 발생하고 있는 구간 (80.00 초~99.99 초)에서는 본 논문에서 제안하는 방식 (62 회)이 휴리스틱 방식(26 회)에 비해 2 배 이상 많은 36 회 전송하고 있다.

4. 센서 데이터 전송 프로토콜 성능 비교

무선 센서 네트워크에서 2 개의 전혀 다른 프로토콜인 TCP 와 UDP 가 센서 데이터 전송에 어떠한 영향을 미치는지 알아보기 위해 대역폭, 센서 노드 수, 패킷 크기 및 전송 주기 등의 관점에서 전송 성능을 비교·분석해 보았다. 센서 데이터 전송 성능 분석을 위해 NS-2 시뮬레이터[6]를 사용하였다. NS-2 의 응용 프로그램인 nam 을 이용하여 실험 환경을 그림 5 에 도식화하였다. 노드 ②에서 노드 ⑦까지 모두 6 개의 센서 노드가 있으며, 노드 ⑤ 은 각 센서 노드에서 전송한 데이터를 수신하여 유선으로 연결된 노드 ①로

전송한다. 본 논문에서는 연구 범위를 적절히 제한하기 위해 패킷 오류 발생률(PER, Packet Error Rate)에 대해서는 다루지 않았다.

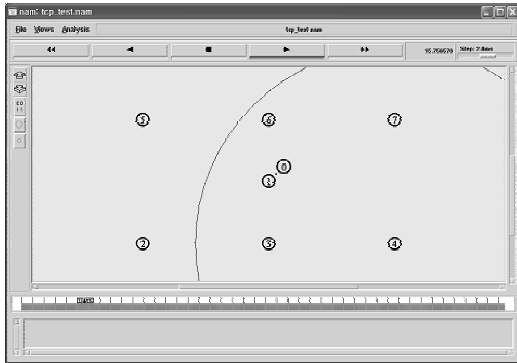


그림 5 nam 상에서의 시뮬레이션 환경

4.1 대역폭에 따른 네트워크의 효율성

본 실험은 센서 네트워크에서 사용 가능한 WLAN, Bluetooth, ZigBee 등을 모델로 네트워크의 대역폭을 조절하여 TCP 와 UDP 의 성능을 측정하였다. ACK 를 포함한 데이터의 전송과 ACK 패킷을 제외했을 경우 데이터 전송량을 구분하여 실험하였다. ACK 패킷을 제외한 TCP 와 UDP 의 데이터 전송량을 비교할 경우 대역폭의 크기에 상관없이 그 차이가 거의 없음을 알 수 있다.

4.2 센서 노드 수에 따른 네트워크의 효율성

센서 노드의 수를 2 개에서 단계별로 2 개씩 증가시켜가며(최대 10 개까지 지정) 전송 성능을 측정한 결과 센서 노드 수에 상관없이 ACK 패킷을 제외한 TCP 와 UDP 가 비슷한 전송 성능을 보였다.

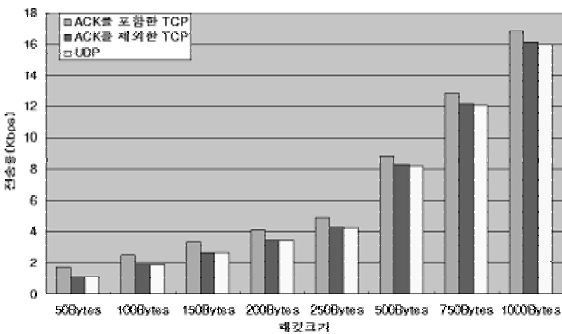


그림 6 패킷 크기에 따른 데이터 전송 성능 비교

4.3 데이터 패킷의 크기에 따른 네트워크의 효율성

6 개의 센서 노드에 대해 초당 2 회의 전송을 하면서, 데이터 패킷 크기만을 그림 6 과 같이 50 바이트에서 최대 1000 바이트까지 변화시켜가며 전송 성능을 측정하였다. 데이터 패킷 크기에 비례해 전송률은 증가하지만, 패킷 크기에 상관없이 ACK 패킷을 제외한 TCP 와 UDP 가 거의 비슷한 성능을 보였다.

4.4 전송 주기에 따른 네트워크의 효율성

6 개의 센서 노드에 데이터 패킷 크기는 100 바이트로 고정한 상태에서, 데이터 전송 주기를 1 초에 1

회, 2 회, 10 회, 20 회, 및 25 회로 변화시켜가며 전송률을 측정하였다. 표 2 에 나타난 것처럼 초당 전송 횟수가 증가함에 따라 TCP 의 ACK 패킷이 전체 데이터에 포함되는 비율이 상대적으로 증가하는 모습을 보인다. 데이터 전송 주기 역시 ACK 를 제외한 경우에는 TCP 와 UDP 의 전송량의 차이는 없었다.

표 2 전송 주기에 따른 데이터 전송량(단위: Kbps)

전송 횟수	TCP			UDP
	ACK 포함	ACK 패킷	ACK 제외	
1	1.265845	0.318256	0.947589	0.946211167
2	2.542753333	0.637444	1.905309333	1.883746667
10	12.51638333	3.1309	9.385483333	9.384631667
20	25.0168	6.25612	18.76068	18.7606
25	31.26748333	7.818776667	23.44870667	23.44878333

5. 결론

본 논문에서는 임계값과 예측된 데이터간 차이를 이용하여 전송 주기를 결정하는 방식을 제안하였다. 이 방식은 임계값과 측정값간 차가 클수록 예측된 데이터의 신뢰도를 위해 전송 간격을 최대한 짧게 해 전송 횟수를 늘인다. 기존에 제안된 휴리스틱 방식과 비교해 본 결과 전체 전송 횟수는 비슷하지만, 데이터 변화가 급격히 발생하는 구간에서는 최소 2 배 이상 전송 횟수가 증가함을 확인하였다.

한편, 패킷 오류율(PER)을 고려하지 않은 상태에서 대역폭, 센서 노드 수, 패킷 크기 및 전송 주기 등 4 가지 평가 조건에 따른 TCP 와 UDP 의 성능 비교 분석 결과, ACK 패킷을 제외했을 경우 두 프로토콜 간 전송 성능 차는 거의 없는 것으로 나타났다. 다시 말해 낮은 PER 을 갖는 센서 네트워크인 경우에는 UDP 가 적합하며, PER 이 높을 경우에는 ACK 패킷에 대한 오버헤드를 부담하더라도 예측된 데이터의 신뢰도 보장을 위해 TCP 가 적합한 것으로 드러났다.

참고 문헌

[1] 임근수, 박정태, 고건, “무선 센서 네트워크를 위한 네트워크 환경에 적응하는 신뢰성 있는 전송규약”, 한국정보과학회 춘계학술발표대회, Vol. 30 No.1, 2003.
 [2] Stevens W. R., *TCP/IP Illustrated: Volume 1*, Addison-Wesley, 1994.
 [3] Barke A., Badrinath B. R., “I-TCP: Indirect TCP for Mobile Hosts”, IEEE ICDCS 1995, pp. 136-143, 1995.
 [4] Balakishnan H., Seshan S., Katz R. H., “Improving Reliable Transport and Handoff Performance in Cellular Wireless Networks”, ACM Wireless Networks, Vol. 1 No. 4, 1995.
 [5] Ratnam K., Matta I., “WTCP: An Efficient Mechanism for Improving TCP Performance over Wireless Links”, IEEE ISCC '98, 1998.
 [6] NS-2 웹 사이트, <http://www.isi.edu/nsnam/ns>.