

ITS용 무선센서네트워크에서 효율적인 TCP/IP 전송기술

Efficient TCP/IP Transmission Technology in Wireless Sensor Network for ITS Applications

오 종 택*
(Jong-Taek Oh)

요 약

ITS용 WSN과 같이 작고 건전지로 동작하는 송신 노드에서는 MCU의 성능이 낮고 메모리의 크기도 충분하지 않으며 소비전력을 줄이는 것이 매우 중요하다. 본 논문에서는 이런 환경에서 TCP/IP 통신을 할 때에 사용되는 TCP헤더 옵션 필드와 추가적인 체크섬 필드를 이용하여, 전송하는 데이터의 크기가 메모리의 크기에 제한을 받지 않고, 데이터 처리 시간과 소비전력을 감소시키는 방식이 제안되고 성능이 분석되었다.

Abstract

The transmitting node in WSN for ITS would be small and operated by battery, and the MCU in the node would be low speed with small sized memory and low power consumption. In this paper, the post-checksum method in which the checksum field is added to the tail of the TCP segment for ITS applications, is proposed to reduce data processing time and power consumption, and so there is no limitation of the transmitting data size.

Key words: TCP, WSN, checksum

I. 서 론

ITS 통신 응용과 같은 신뢰성 있는 인터넷 통신을 위해서 TCP (Transport Control Protocol) /IP (Internet Protocol) 통신이 대부분 사용되고 있으며, Wireless Sensor Network과 같이 초소형 센서 모듈에서도 TCP/IP 통신을 적용하기 위한 연구가 많이 진행되고 있다 [1]. 특히 WSN과 같이 무선 통신을 이용하고 건

전지로 작동하며 MCU (Micro-Controller Unit)의 성능이 떨어지는 열악한 환경에서 운용되는 경우에는 각별한 유의가 필요하다. 또한 일반적으로 센서 네트워크와 같이 소형 통신 노드에서는 사용되는 메모리의 크기가 작고 처리 속도가 빠르지 못하며 건전지 교체가 어려운 한계가 있다. 특히 ITS 응용 분야와 같이 일종의 기반시설로써 다량의 센서가 설치되는 경우에는 건전지의 교체가 어려워, 건전지의 수명이 해당

† 본 연구는 2007년도 한성대학교 교내연구비 지원과제임.

* 주저자 : 한성대학교 정보통신공학과 부교수

† 논문접수일 : 2009년 1월 5일

† 논문심사일 : 2009년 1월 22일

† 게재확정일 : 2009년 1월 23일

센서 노드의 수명과 일치하는 경우가 많다.

한 편, TCP 프로토콜에서는 전송되는 헤더와 페이로드에서의 오류 발생 여부를 판단하기 위한 체크섬 코드를 사용한다. 그런데 이 체크섬 코드는 TCP 세그먼트의 가장 앞부분인 헤더에 위치하므로, 송신 노드의 경우 체크섬을 계산하기 위해 모든 전송하려는 데이터를 메모리에 저장 시키면서 체크섬 계산을 수행하며, 최종 계산 결과 값을 TCP 세그먼트의 헤더 부분에 있는 체크섬 필드에 저장하고 최종적으로 완성된 TCP 세그먼트를 메모리로부터 읽어내어 전송한다. 컴퓨터의 메모리나 저장 장치가 충분히 크고, 데이터 처리 속도가 빠르며 안정적인 전원 공급이 가능한 경우에는 문제가 없지만, 예를 들어 WSN의 노드와 같은 경우는 매우 열악한 동작 환경이 될 수 있다. TCP/IP 프로토콜을 사용하는 노드에서는 전송하는 메시지의 길이가 길어질수록, 다른 데이터 처리에 사용되는 시간이 일정한 것에 비해 체크섬 처리와 데이터 이동에서 사용되는 시간은 선형적으로 증가한다 [2].

본 논문에서는 체크섬 코드를 페이로드 끝부분에 추가하여 전송하는 기술에 관한 것으로, TCP 세그먼트의 헤더로부터 모든 페이로드 끝 까지 차례로 데이터를 전송하면서 동시에 체크섬을 계산하고, 최종적으로 계산된 체크섬 값을 페이로드 끝 부분에 첨부하여 전송한다. 이렇게 함으로써, 송신 노드에서는 전송할 데이터를 저장하지 않고 입력되는 데이터를 바로 전송하므로 전송 데이터의 크기가 송신 노드의 메모리 크기에 구애 받지 않게 되며, 메모리에 데이터를 쓰고 읽는 동작이 필요 없으므로 전송 시간과 사용 전력을 줄이는 효과가 있다.

II. 기존의 프로토콜

<그림 1>은 TCP 세그먼트의 헤더 형식이다. 점선 부분은 가 헤더 부분으로 실제로 전송되지 않고 체크섬 계산에만 사용된다 [3]. 체크섬이 계산되는 범위는 가 헤더 부분부터 데이터 끝부분까지 이다. 따라서 TCP 헤더 부분에 위치한 체크섬을 계산하기 위해서는 모든 헤더 정보와 데이터가 먼저 확보되어

source IP address			
destination IP address			
zero	protocol	length	
source port		destination port	
sequence number			
acknowledgement number			
h len	res	flags	window
check sum		urgent pointer	
options			padding
data			

<그림 1> TCP 헤더 형식
<Fig. 1> The header format of TCP

야 한다. 즉, TCP 프로토콜을 구현하기 위해서는 먼저 전송하려는 데이터가 송신 노드의 메모리에 기록되어야 한다. 체크섬이 모두 계산된 후에 헤더 부분부터 전송이 가능하다.

한 편, 체크섬의 계산은 16비트 단위로 1의 보수 덧셈으로 수행된다. 초기에는 체크섬 값은 0으로 설정되어 계산되고, 데이터 마지막 부분까지 계산이 끝난 후에, 최종 체크섬 값이 체크섬 필드에 저장된다. 수신 노드에서는 가 헤더 부분부터 데이터 끝 부분까지 동일한 방법으로 체크섬 계산을 수행하며, 최종 결과 값이 0이면 수신된 TCP 세그먼트에 오류가 없는 것으로 판정한다.

단순한 1의 보수 덧셈 방식의 체크섬은 데이터의 길이가 길어짐에 따라 오류를 검지 못할 확률이 증가한다 [4]. 따라서 다른 방식의 체크섬 계산 방법이 이미 제안되었으며 이 경우는 TCP 헤더의 옵션 필드를 활용한다. 즉, 옵션 필드의 첫 바이트는 옵션의 종류를 구분하는 값으로 예를 들어 '14'이면 체크섬 방식의 옵션에 관한 것으로, 체크섬의 계산 방식이나 체크섬 값의 길이에 대한 정보를 포함한다 [5]. 구체적으로 옵션 필드에 체크섬의 계산 방식을 구분하는 정보가 있으며, 체크섬 값의 길이에 따라 TCP 헤더의 체크섬 필드만을 이용하거나 헤더와 옵션 필드에 나뉘어 저장될 수 있다. 전형적인 TCP 체크섬 방식뿐만 아니라 다양한 체크섬 방식의 적용이 시도되고 있다.

kind=14	length=3(byte)	check sum type
---------	----------------	----------------

<그림 2> 다른 체크섬 방식을 위한 TCP 헤더의 옵션 필드 형식

<Fig. 2> Modified option field format in the TCP header

또한 무선 통신 환경과 같이 오류가 많이 발생하는 경우에 패킷 통신의 충돌에 의한 실패와 구분하기 위해 TCP 헤더에만 적용되는 체크섬 값을 별도로 옵션 필드를 통해 전송하는 TCP HACK 기술도 제안되었다 [6]. 이 프로토콜의 적용을 위해서는 초기 TCP 접속 시에 SYN 세그먼트 교환을 통해 송수신 노드들이 TCP HACK 적용 여부를 정한다.

III. 새로운 포스트 체크섬 방식

본 논문에서는 WSN에서와 같이 열악한 동작 환경에 있는 송수신 노드에서 효율적으로 TCP 세그먼트의 송신을 위해 체크섬의 위치를 TCP 세그먼트의 가장 끝 부분으로 변경하였다.

<그림 3>은 제안된 포스트 체크섬 방식을 고려한 새로운 TCP 세그먼트 형식이다. TCP 세그먼트에서 데이터 부분에 연속되어 포스트 체크섬 필드가 추가되었다. 이 필드의 길이는 16 비트 또는 32 비트이고, TCP 헤더의 옵션 필드의 체크섬 타입 값에 따라

source IP address			
destination IP address			
zero	protocol	length	
source port		destination port	
sequence number			
acknowledgement number			
h len	res	flags	window
check sum		urgent pointer	
options			padding
data			post-check sum

<그림 3> 새로운 체크섬 방식을 고려한 제안된 TCP 세그먼트 형식

<Fig. 3> Proposed TCP segment format

체크섬 타입 값	체크섬 방식
4	포스트 체크섬 방식: 16 비트 1의 보수 덧셈
5	포스트 체크섬 방식: 32 비트 1의 보수 덧셈

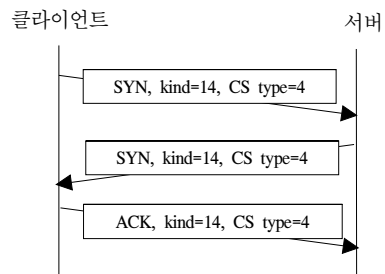
<그림 4> 포스트 체크섬 방식에 대한 체크섬 타입 값의 적용 예

<Fig. 4> Checksum type for the proposed method

체크섬 필드의 길이와 체크섬 계산 방법을 정의한다. <그림 4>는 제안된 방식에 대한 체크섬 타입 값의 적용 예이다. 또한 기존의 TCP 헤더의 16 비트 체크섬 필드는 0으로 채워져 전송된다. TCP 헤더 옵션 필드와 16 비트의 포스트 체크섬 필드가 추가적으로 사용되지만, 본 논문에서 제안된 방법은 전송하려는 데이터의 크기가 큰 경우를 가정하므로 무시될만하다.

<그림 5>는 제안된 방식에 대한 TCP 클라이언트와 서버 사이의 초기 접속 절차도이다. 통상적인 TCP 초기 접속 방식에서 TCP 옵션 필드에 포스트 체크섬 방식에 관련된 값들이 추가된 형태이다.

기존의 TCP 프로토콜 형식과 약간의 차이가 있으나, 체크섬 헤더를 제외한 모든 필드의 값들은 동일하게 운용된다. 다만, 가 헤더에 사용되는 길이 필드를 산정할 때에 포스트 체크섬 필드의 길이 값을 추가해야 한다. 특히 센서 네트워크와 같이 송수신 노드가 직접 공중 인터넷에 접속되지 않고 센서 데이터가 집중되는 싱크 노드가 별도로 있는 경우에는 센서 노드와 싱크 노드에만 제안된 TCP 포스트 체



<그림 5> 포스트 체크섬 방식에 대한 TCP 접속 절차도

<Fig. 5> Connection procedure for the proposed method

크섬 프로토콜이 적용되면 효율적인 네트워크 구축과 운용이 가능하다. 또는 ITS 네트워크의 경우, ITS 서버와 ITS 센서 또는 영상 검지기 사이에서 제안된 프로토콜이 적용될 수 있다.

TCP 프로토콜은 오류 발생에 의한 데이터의 재전송이 가능하므로, 제안된 방식의 경우 센서와 같은 데이터의 발생 장치에 버퍼가 존재하여 동일한 데이터를 다시 송신할 수 있는 경우를 가정한다. 또는 센서 네트워크의 특성상 측정된 데이터를 주기적으로 전송하는 경향이 있으므로 동일한 데이터를 재전송하는 것 보다 새로운 센서 데이터를 전송해도 무방한 경우도 있다. 송수신 노드가 TCP 프로토콜 대신에 UDP (User Datagram Protocol) 프로토콜을 사용하는 경우에도 포스트 체크섬 방식을 사용할 수 있다. 이 경우에는 송수신 노드사이에 별도의 접속 절차 없이 UDP 세그먼트의 끝에 포스트 체크섬 필드가 추가된 것으로 가정한다. 제안된 포스트 체크섬 방식이 실제로 사용될 때는 IP 프로토콜과 연계되어야 한다. 즉, IP 프로토콜 헤더까지 구성하여 MAC(Media Access Control) 모듈로 전달하여야 하며, IP 헤더의 체크섬 값 계산은 IP 헤더에만 적용되므로 전송 데이터의 크기가 메모리의 제한을 받지 않는다.

IV. 제안된 기술에 대한 송신노드에서의 효과 분석

본 논문에서 제안된 포스트 체크섬 방식을 TCP 프로토콜에 적용했을 경우에 얻을 수 있는 효과들에 대해서 분석해 본다. 특히 수신 노드보다는 송신 노드에서의 효과가 있으며, 센서 노드와 같이 작은 규모의 장치에서 건전지로 동작하는 경우에는 큰 효과를 기대할 수 있다.

1. 메모리 크기 제약 없음

작은 규모의 통신 노드에서는 크기와 가격, 소모 전력을 줄이기 위해 프로그램을 저장하는 flash 메모리와 데이터를 저장하는 RAM이 포함된 MCU를 일반적으로 사용한다. 현재 주로 사용되는 MCU를 조

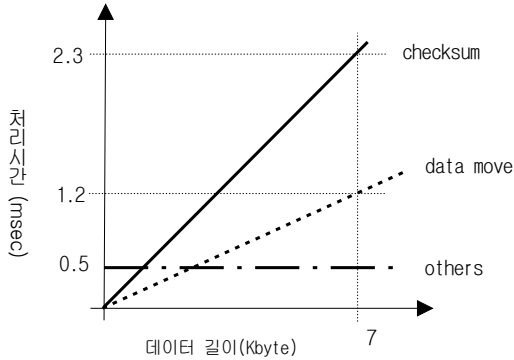
사해 보면, 내장된 RAM의 크기가 작게는 128 바이트에서 크게는 16K 바이트까지 다양하지만 보통은 4K 바이트 이내이다. 통신 노드에서 운용되는 OS (Operating System)나 프로그램들이 RAM의 일부분을 사용해야 하므로, 데이터를 송수신하기 위해서 사용할 수 있는 RAM의 크기는 제한을 받는다. 즉, 기존의 TCP 프로토콜과 같이 헤더의 체크섬을 계산하는 경우에는 전송하려는 모든 데이터를 RAM에 미리 저장해야 하므로 전송할 수 있는 최대 데이터 크기는 RAM의 남은 용량에 의해 정해진다. 이런 제한적 요소로 인해 시스템 SW의 이식성이 제약을 받기도 한다.

그러나 제안된 포스트 체크섬 방식의 경우 데이터 전송 전에 전송하려는 데이터의 크기만 미리 정의가 되면, TCP 세그먼트의 헤더를 구성할 수 있으며, 전송하려는 데이터를 송신 노드에서 입력 받으면서 즉시 전송할 수 있다. 전송하는 동안에 포스트 체크섬이 계산되며 TCP 세그먼트의 제일 후반부에 첨부되어 전송된다. 따라서 데이터가 RAM에 저장될 필요가 없으므로 RAM의 크기에 제약을 받지 않게 된다. 이런 기능은 특히 송신 노드에서 음향 신호나 영상 신호, 센서에 저장되었던 데이터와 같이 대용량의 데이터를 한 번에 전송할 경우에 매우 유용하다.

2. 데이터 처리 시간 감소

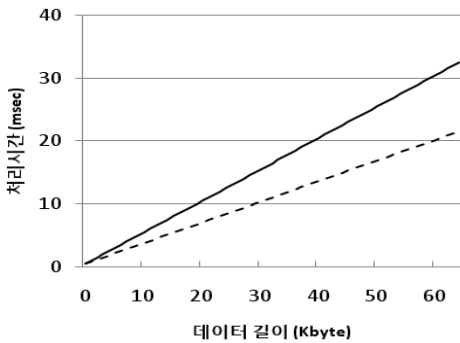
참고문헌 [2]의 실험 결과를 간략화 하여 <그림 6>과 같은 TCP 프로토콜에서의 전송 데이터 길이에 따른 노드에서의 처리 시간 모델을 만들었다. 체크섬 계산에 소요되는 시간과 데이터를 저장하고 읽는데 소요되는 시간, 그 이외의 데이터 처리에 소요되는 시간으로 구분된다. 이 모델을 이용하여 제안된 방식과 기존의 방식에 대한 처리지연시간을 비교한다.

제안된 포스트 체크섬 방식에서는 RAM에 전송 데이터를 저장하는 동작이 불필요하므로 데이터 이동에 소요되는 시간이 절약된다. 따라서 이를 고려하여, 전송하는 데이터의 길이에 대해 TCP 프로토콜을 처리하는 것에 소요되는 총 시간을 그린 것이 <그림 7>이다.



<그림 6> TCP 프로토콜에서 전송 데이터 길이에 따른 처리시간 모델 [2]

<Fig. 6> Processing time model according to the data length for the TCP



<그림 7> 데이터 길이에 따른 처리 시간 비교 (실선: 기존 방식, 점선: 제안된 포스트 체크섬 방식)
<Fig. 7> Comparison of processing time according to the data length

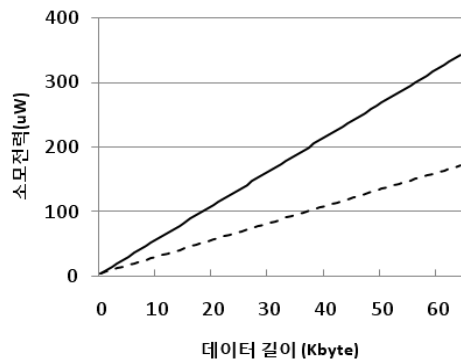
전송하는 데이터의 길이가 길수록 기존의 TCP 체크섬 방식에 비해 제안된 포스트 체크섬 방식에서 소요되는 시간이 짧아지는 것을 확인할 수 있다. 계산 결과에 의하면, 데이터의 길이가 32 Kbyte일 때, 제안된 방식이 5.5 msec 더 짧았으며, 64 Kbyte 일 때에는 약 11 msec 줄어드는 것을 확인할 수 있다. 처리 시간이 줄어드는 것은 더 많은 데이터를 더 빠르게 전송할 수 있다는 장점이 있어, 저렴하고 작은 MCU를 이용하여 많은 데이터를 처리할 수 있게 된다. 계산 시의 데이터 길이는 IP 프로토콜의 경우 최대 전송 가능 데이터 길이가 65 Kbyte인 것을 고려하였다.

3. 소모전력 감소

한 편, 작은 메모리를 운영하는 것과 데이터의 처리 시간이 감소되는 것은 MCU에서 사용하는 전력이 줄어드는 것을 의미한다. WSN의 센서 노드와 같이 건전지로 동작하는 경우에는 전원의 효율적인 사용이 매우 중요한 요소이고, 따라서 제안된 포스트 체크섬 방식을 사용하여 센서 노드의 수명을 연장되는 효과가 있다.

센서 노드에 제안된 방식을 적용하는 것이 가장 효과적이므로 여러 가지 구현 사례 중에 전형적인 한 가지 예를 들어 분석한다. 즉, ATmega128 MCU와 AT45DB041B flash 메모리 소자를 사용한 센서 노드를 기준으로 할 때, MCU 동작 시의 소모 전력은 8 mW이며, flash 메모리에 데이터를 쓰고 읽는데 소요되는 전력은 평균 7.5 mW이다 [7]. 기존의 TCP 프로토콜에서는 대용량 데이터를 전송할 때에 메모리를 사용해야 하고, 제안된 포스트 체크섬 방식에서는 메모리를 사용하지 않으므로 그 만큼의 전력이 절약된다. 이 때, 메모리에서의 대기전력은 무시하며, 포스트 체크섬 방식에서 절약된 시간만큼은 MCU가 대기 모드에 있다고 가정하고 이때의 MCU 대기 전력도 무시한다.

계산 결과를 분석하면, 32 Kbyte의 데이터 세그먼트



<그림 8> 데이터 길이에 따른 MCU와 메모리에 의한 소모 전력 비교 (실선: 기존 방식, 점선: 제안된 포스트 체크섬 방식)

<Fig. 8> Comparison of power consumption according to the data length

트를 한 번 전송 시에, 제안된 포스트 체크섬 방식은 기존 방식에 비해 49%의 전력이 감소된 85 μ W의 전력 절약이 있으며, 64 Kbyte를 전송 시에는 170 μ W의 전력 소모가 감소하였다. 소모 전력의 비율도 절반으로 감소하였으며, 센서 노드의 특성상 동일한 크기의 데이터 전송을 지속적으로 반복하므로 센서 노드의 전체 동작 시간을 고려하면 절약되는 총 전력량은 매우 커진다. 예를 들어 10분에 1회의 빈도로 64 Kbyte의 데이터를 전송할 경우, 일당 약 25 mW의 전력 절약 효과가 있으며, 한 달 동안에는 약 730 mW의 전력이 절약된다. 즉, 센서 노드의 동작 수명이 연장되는 효과가 있다.

V. 결론

본 논문에서 제안된 포스트 체크섬 방식은 TCP 세그먼트를 전송할 때, 헤더에 체크섬 값을 계산하여 저장하지 않고, 세그먼트의 끝 부분에서 전송하므로 미리 전송해야 할 모든 데이터를 메모리에 저장할 필요가 없다. 따라서 전송 노드의 메모리 크기에 제한을 받지 않고 데이터를 메모리에 쓰고 읽을 필요가 없어 처리 시간과 전력 소모를 감소시키는 효과가 있다. ITS 응용 분야에서 사용되는 WSN와 같이 성능이 제한된 다수의 센서 노드를 건전지를 사용하여 운영하는 환경에서는 센서 노드의 제작 가격을 낮출 수 있고 노드의 수명을 연장시키는 효과가 있다.

참고 문헌

- [1] C. Wang, K. Sohraby, and B. Li, "Issues of transport control protocols for wireless sensor networks," *Int. Conf. Comm., Circuits & Systems*, vol. 1, pp. 422-426, 2005.
- [2] J. Kay and J. Pasquale, "Profiling and reducing processing overheads in TCP/IP," *IEEE Trans. Networking*, vol. 4, no. 6, pp. 817-828, Dec. 1996.
- [3] W. R. Stevens, *TCP/IP Illustrated*, Vol. 1, Addison Wesley, 1994.
- [4] T. C. Maxino, *The Effectiveness of Checksums for Embedded Networks*, Thesis of MS degree in Carnegie Mellon University, 2006.
- [5] J. Zweig and C. Partridge, "TCP alternate checksum options," Network Working Group Request for Comments (RFC) 1146, Mar. 1990.
- [6] R. K. Balan, B. P. Lee, K. R. R. Kumar, L. Jacob, W. K. G. Seah, and A. L. Ananda, "TCP HACK: TCP header checksum option to improve performance over lossy links," *Proc. IEEE 20th Annual Joint. Conf. Computer and Communications Soc.*, vol. 1, pp. 309-318, April 2001.
- [7] J. Polastre, R. Szewczyk, and D. Culler, "Telos: enabling ultra-low power wireless research," *Proc. Int. Symp. Info. Proc. Sensor Network*, pp. 364-369, April 2005.

저자소개



오 종 택 (Oh, Jongtaek)

2000년 3월 ~ : 한성대학교 정보통신공학과 부교수
 1993년 12월 ~ 2000년 2월 : 한국통신 무선통신연구소 ITS연구실장
 1989년 3월 ~ 1993년 2월 : 한국과학기술원 전기및전자공학과 박사 과정 졸업
 1987년 2월 ~ 1989년 3월 : 한국과학기술원 전기및전자공학과 석사 과정 졸업
 1982년 3월 ~ 1986년 2월 : 한양대학교 전자통신공학과 학사 과정 졸업