ISSN: 1226-7244 (Print)
ISSN: 2288-243X (Online)
논문번호 16-04-19

j.inst.Korean.electr.electron.eng.Vol.20,No.4,449~453,December 2016
http://dx.doi.org/10.7471/ikeee.2016.20.4.449

무선센서 네트워크의 클러스터 헤드노드 고장 복구 알고리즘 및 오류 정정코드

Fault Recover Algorithm for Cluster Head Node and Error Correcting Code in Wireless Sensor Network

이 중 호 *★

Joong-Ho Lee*★

Abstract

Failures would occur because of the hostile nature environment in Wireless Sensor Networks (WSNs) which is deployed randomly. Therefore, considering faults in WSNs is essential when we design WSN. This paper classified fault model in the sensor node. Especially, this paper proposed new error correcting code scheme and fault recovery algorithm in the CH(Cluster Head) node. For the range of the small size information (<16), the parity size of the proposed code scheme has the same parity length compared with the Hamming code, and it has a benefit to generate code word very simple way. This is very essential to maintain reliability in WSN with increase power efficiency.

요 약

열악한 자연환경에 무작위로 배포되는 무선센서 네트워크(Wireless Sensor Networks : WSNs)의 센서 노드(node)에서의 고장은 필수적으로 발생하며, 무선센서 네트워크의 설계시 고려되어야 할 핵심과제이다. 본 논문에서는 센서 노드에서 발생 가능한 고장모델을 분류하였다. 특히 CH(Cluster Head) 노드에 고장이 발생할 경우 고장을 복구 가능한 새로운 코드방식을 제안하고, 고장 복구 알고리즘을 제시하였다. 제안한 코드 방식은 기존 해밍코드대비 정보길이 16비트 이하에서 동등한 크기의 패리티 비트를 가지며, 코드 발생이 아주 간단한 장점을 가진다. 이것은 전력효율을 높이면서 WSN의 안정성을 유지하는 데 매우 중요하다.

Key words : Wireless Sensor Networks, Fault model, Fault detection, sensor node, cluster head node

*★ Dept. of Computer Science, Yongin University
joongho65@yongin.ac.kr TEL: 031-8020-2768
Manuscript received Nov. 29, 2016; revised Dec. 23, 2016 ; accepted Dec. 23, 2016
This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Ⅰ. 서론

무선센서 네트워크(WSN)은 광범위한 지역에 무작위로 배포되어 서로 간에 무선으로 통신할 수 있는 센서노드의 세트로 구성된다. 배포된 센서노드는 데이터 수집, 모니터링 및 추적의 역할을 수행하는데, 무인의 적대적 환경에 배포되어 다른 시스템보다 장애에 더 취약하다.[1] 또한 배포 후 센서노드의 결함 검사는 불가능하다. 따라서 신뢰성 확보를 위해 WSN은 고장 검출 기능이 필요하

다.[2] WSN의 가장 중요한 역할은 주변 환경으로부터 데이터를 수집하고 이를 보급하는 것이다. 따라서 WSN에서 발생 가능한 고장은 센서노드에서의 고장과, 데이터를 공급해주는 센서노드(source node)와 이를 최종 전달받는 싱크노드(sink node) 사이의 경로 상에서 발생하는 고장이 있다.[3] 센서노드와 싱크노드를 연결하는 경로 상에 클러스터(Cluster)집합들이 존재하고 클러스터 간의 연결 경로는 클러스터 헤드(Cluster Head : CH)가 존재하여 가능하도록 하였다. 이렇게 구성함으로서 센서 노드의 전력 소비를 최소화 할 수 있어서 WSN의 수명 연장이 가능하다.

대규모 센서 네트워크의 구현시 센서노드의 높은 신뢰성과 낮은 에너지 소모에 기초한 저가의 센서노드 구현이 관건이다.[4] 본 논문에서는 WSN의 신뢰도 증가를 위한 센서 노드와 네트워크 경로상의 고장 모델을 분류하고 이를 기반으로 고장을 검출 할 수 있는 알고리즘을 제시한다. 또한 CH 노드의 고장은 전체 네트워크의 경로에 심각한 손상을 주는데, CH 노드의 고장을 복구할 수 있는 알고리즘을 제안한다.

II. WSN에서의 고장 모델

WSN은 클러스터들로 구성되며 클러스터 내에는 센서 노드들로 구성되어있다. 센서 노드들 중에서 잔량 에너지가 가장 큰 노드가 클러스터 헤드(CH)노드가 되고 각 센서노드에서 전송한 데이터를 싱크노느로 전달하는 역할을 한다. 그림 1에 WSN에서 2-홉(2-Hop) 클러스터 기반의 네트워크 구조 예를 나타내었다.[5]

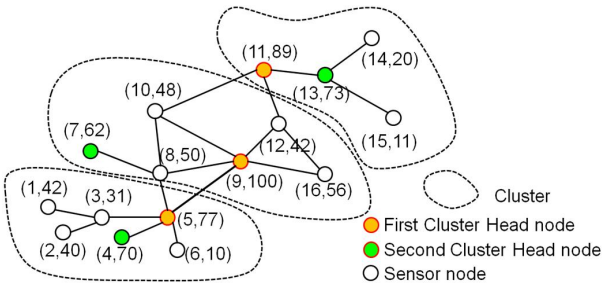

Fig. 1. example of 2-hop clustering network topology
그림 1. 2-홉 클러스터링 네트워크 구조 예

그림 1에서 각 노드의 에너지량을 가중치(ω)로 표기하고, E_{res}는 잔류에너지, E_{ini}는 초기값, deg_i 는 i 노드 전송 영역내에 존재하는 노드 수를 나타낸 i 노드의 확산 값 $f(i,\omega)$는 아래 식(1)에 표기하였다.

$$f(i,\omega)=\omega(E_{res}/E_{ini})+(1-\omega)\{deg_i/\max j\in S_i(deg_i)\} \quad (1)$$

WSN에서 발생 가능한 고장의 유형을 분류하면 아래와 같다. 먼저 각 센서 노드에서의 고장과 송수신 장치에서의 고장으로 분류 할 수 있다. 그렇지만 이러한 고장분류 중에서 센서 노드가 가장 기본적인 고장의 형태로 선정할 수 있다. 송수신 장치의 고장은 통신오류로 나타나며 센서 노드와 센서 노드간, 센서노드와 CH, CH와 CH 및 CH와 싱크 노드(SN : sink node) 간의 고장으로 분류 할 수 있다. 그림 2에 WSN에서 고장 모델을 나타내었다.

가. 센서노드 및 송수신 장치에서 고장유형

1) Stuck-at 고장 : 입/출력단 논리 '1'/'0' 고정

2) Transient 고장 : α 입자와 같은 우주선으로 인한 송수신장치의 일시적 오동작 현상

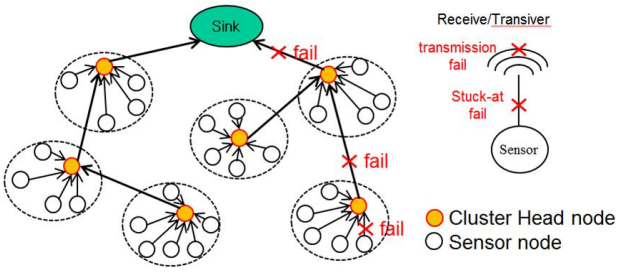

Fig. 2. fault models in a WSN
그림 2. WSN에서의 고장 모델

III. 고장 검출 알고리즘

1. 고장 검출 및 정정 코드

WSN에서 고장 발생시 효과적인 비용으로 고장을 제어하는 것이 중요하다. 그 전략중 하나로 FEC(For -ward Error Correction)를 들 수 있고, 이는 ECC(Error Correcting Code)에 기초한다. 데이터는 적정량의 리던던트(redundant) 정보를 사용하여 오류 비트를 검출 및 정정 할 수 있는 ECC를 포함하여 수신기에 보내어진다.[6][7]

기본적으로 무선센서는 방대하고 혹독한 자연환경에 무작위로 뿌려지므로, WSN에서 센서 노드의 고장은 사람이 직접 교체 할 수 없다. 각 센서 노드의 동작시 한정된 전력자원을 가지기 때문에

데이터의 신뢰성을 높이기 위한 방안 적용시에도 전력자원의 소모를 최소화하기 위한 고려가 필요하다.[1][8]

기존의 대표적인 오류검출 코드방식으로 ATM-8 HEC 코드를 들 수 있으며, 이는 오류를 검출만 할 수 있는 CRC(Cyclic Redundancy Check) 방식에 기초하며 WSN에서도 적용되어진다. 이 코드는 다항식 x^8+x^2+x+1 에 의해 코드워드가 발생되며, 64비트의 데이터에 대해 오류를 검출할 수 있다. 그러나 이 방식은 오류 검출범위(coverage) 대비 많은 오버헤드(overhead)가 요구된다.[9]

본 논문에서는 앞에서 언급한 문제점을 개선하면서 WSN에서의 고장을 제어하기 위한 효과적인 코드 방식을 제시하였다.

오류 검출을 위한 코드를 구성하기 위한 구성을 표 1과 같이 구성한다. 표 1은 8비트 정보(d0~d7)길이에 대한 검사비트(p0~p3)의 구성을 나타낸 것이다. 각각의 행과 열을 검사할 수 있도록 검사비트를 두고 대각선에 위치한 비트오류를 검출할 수 있도록 p3비트를 추가하였다. 대각으로 검사하는 비트는 d0와 d4비트로 제한하였다. 예를 들어 데이터 d1에 대해서 행 방향으로 패리티 p0가 검사하고, 열 방향으로 패리티 p1이 검사하여 행과 열 방향에서 각각 오류를 검출할 수 있고, p0와 p1에 의해 오류 비트의 위치 확인이 가능하므로 오류를 정정할 수 있다. 만약 d0비트에 오류가 발생하였다면 행과 열방향 검사비트가 모두 p0로 동일하다. 그러나 대각 방향으로도 오류를 검출할 수 있으며, p0와 p3에 의해 오류를 정정할 수 있다. 표2에 16비트 정보로 확장시 검사비트 구성을 나타내었다.

Table 1. Configuration for the 8 bits information
표 1. 8 비트 정보에 대한 코드 구성

	8 bits			
	data	data	data	parity
data	d0	d1	d2	p0
data	d3	d4	d5	p1
data	d6	d7	-	p2
parity	p0	p1	p2	p3

8비트 정보에 대한 검사비트를 추가한 신드롬(syndrome)은 식 (2)와 같으며, S0~S3는 정상 데이터에 대해 논리값 '0'을 가지도록 구성한다.

$$\begin{aligned} S0 &= d0 \oplus d1 \oplus d2 \oplus d3 \oplus d6 \oplus p0 \\ S1 &= d1 \oplus d3 \oplus d4 \oplus d5 \oplus d7 \oplus p1 \\ S2 &= d2 \oplus d5 \oplus d6 \oplus d7 \oplus p2 \\ S3 &= d2 \oplus d4 \end{aligned} \quad (2)$$

Table 2. Configuration for the 16 bits information
표 2. 16비트 정보에 대한 코드 구성

	16 bits				
	data	data	data	data	parity
data	d0	d1	d2	d3	p0
data	d4	d5	d6	d7	p1
data	d8	d9	d10	d11	p2
data	d12	d13	d14	d15	P3
parity	p0	p1	p2	p3	p4

16비트 정보에 대한 검사비트를 추가한 신드롬은 식 (3)에 나타내었다.

$$\begin{aligned} S0 &= d0 \oplus d1 \oplus d2 \oplus d3 \oplus d4 \oplus d8 \oplus d13 \oplus p0 \\ S1 &= d1 \oplus d4 \oplus d5 \oplus d6 \oplus d7 \oplus d9 \oplus d13 \oplus p1 \\ S2 &= d2 \oplus d6 \oplus d8 \oplus d9 \oplus d10 \oplus d11 \oplus d14 \oplus p2 \\ S3 &= d3 \oplus d7 \oplus d11 \oplus d12 \oplus d13 \oplus d14 \oplus d15 \oplus p3 \\ S4 &= d0 \oplus d5 \oplus d10 \oplus d15 \oplus p4 \end{aligned} \quad (3)$$

2. CH노드 고장 검출 및 고장 복구 알고리즘

제안한 코드를 바탕으로 WSN에서의 고장을 검출하고 정정하기 위한 알고리즘은 아래와 같다.

가. CH노드 Fault Detection Algorithm

```
S1 CH1 노드 ping check
S2 If CH1 노드 ping == NULL
S3   { FAULT = CH1 }
```

나. CH노드 Fault Recovery Algorithm

```
S1 Ethi=CH1th ; CH1의 에너지 저장
S2 If Ethi > Eth_SNj > Eth_SN(0,1,j-1,j+1, ... ,n) {
     CH2th = Eth_SNj ; }//2'nd 클러스터 헤드 선정
S3 If FAULT=CH1 {
    If Row_Paritybit(Pr) == 1 {
     If Col_Paritybit(Pc) == 1 {
      If Pr == Pc {
       If Diagonal_Paritybit(Pd) == 1 {
       //Diagonal Cell Single Bit Correction
       ErrorData = MatchedData(Pr, Pc);
       Data(Pr, Pc) = /ErrorData; }
       else{ }
      else{
       //Non-Diagonal Cell Single Bit Correction
       ErrorData = MatchedData(Pr,Pc);
       Data(Pr, Pc) = /ErrorData; }
     }//Single Bit Error
    else{
     cout<<"Double Bit Error Detected"<<endl;}
```

```
    else{
     cout<<"Double Bit Error Detected"<<endl;}
S4 If Eth2 > Eth {
     CH1th = Eth2 }//클러스터 헤드 변경
S5 Stop.
```

3. 고장 검출 및 정정 범위(Coverage)

제안한 코드는 모든 단일비트(single bit)의 고장과 모든 이중비트(double bit) 고장을 검출할 수 있다. 예를 들어 표 1에서 d0, d1에서 이중고장이 발생시 행 방향과 열 방향 검사비트 p0에서는 고장 검출이 불가능하나 대각방향의 검사비트 p3에서 d1의 고장을 검출 할 수 있다. 또한 d1, d4에서 이중고장이 발생시 열 방향 p1에서 고장검출이 불가능하나, 행 방향 p0에서 고장 검출이 가능하다. 따라서 유사한 모든 종류의 이중고장에 대해 검출이 가능하다.

삼중(triple)비트의 모든 고장에 대해서 오류 검출이 가능하다. 예를 들어 d0~d2에 삼중고장이 발생하면 행 방향 p0에서 오류 검출이 가능하다. 만약 d0,d1 및 d3에서 삼중고장이 발생하면 행 방향과 열 방향 p0에서 오류 검출이 가능하다.

사중(quadruple)비트 고장에 대해서는, d0~d3에서 발생할 경우 행 방향 p0에서는 검출이 불가능하나 열 방향 p1~p2에서 오류 검출이 가능하다. 그러나 d0, d1, d3 및 d4에서 사중고장이 발생할 경우 p0, p1에서 고장검출이 불가능하고 대각방향의 p3도 검출 불가능하여 일부 사중고장에 대해서는 고장 검출이 불가능하다.

제안한 코드는 단일 비트 고장에 대해서 정정이 가능하다. 예를 들어 d1에서 고장 발생시 검사비트 p0과 p3이 모두 논리값 '1'이고, d1의 위치를 확인할 수 있으므로 d1의 고장을 정정할 수 있다. d1의 정보를 반전시켜 원래의 데이터로 정정하여 보내고, d1에서 고장이 발생하지 않을 때에는 원래의 d0 정보를 보낸다. 대각에 위치하지 않은 데이터의 경우 행 방향과 열 방향으로 검사 비트가 모두 논리값 '1'을 가지므로 오류 비트의 위치를 확인할 수 있고 앞에서와 동일한 방식으로 정정하여 보낸다.

4. 제안코드의 특성 비교

제안한 코드의 특성에 대해 기존의 코드 방식과 비교하여 표 3과 그림 3에 나타내었다. 제안한 코드의 패리티 비트 크기는 정보비트의 길이가 16비트 이하에서는 기존의 해밍 코드 대비 동등한 수준의 특성을 가진다.

Table 3. Parity Bits Comparison for SEC-DED
표 3. SEC-DED에 대한 패리티 비트 비교

Number of Information Bits	Number of Parity Bits for SEC-DED	
	Hamming Code	Proposed Code
4	3	3
8	4	4
16	5	5
32	6	7
64	7	8

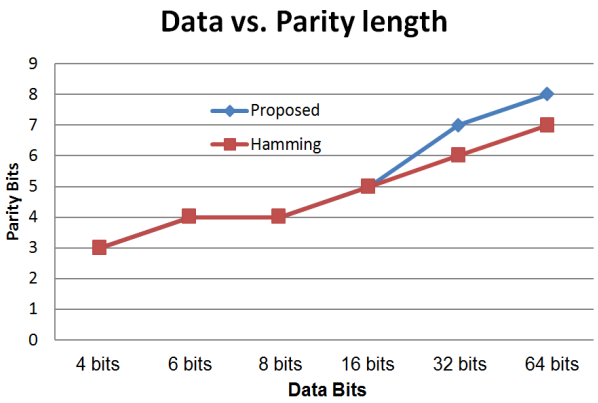

Fig. 3. Parity Bits Comparison Graph for SEC-DED
그림 3. SEC-DED에 대한 패리티 비트 비교 그래프

IV. 결 론

본 논문에서는 무선센서 네트워크에서의 고장 모델을 분석하여 분류하였으며, 특히 WSN에서 클러스터내 센서노드와 클러스터 헤드노드(CH)의 고장으로 분류하여 CH노드에서 고장을 복구하기 위한 알고리즘을 제시하였다.

센서에서 측정한 데이터는 아주 적은 데이터 패킷을 가진다. 이에 제안한 코드 방식은 센서노드 사이에서 소량의 데이터 전송시 발생하는 고장을 검출 및 정정하기에 적합하도록 제안하였으며 기존의 해밍 코드 방식대비 등등한 수준의 패리티 비트 길이를 가지면서 코드 발생이 매우 간편한 장점을 가진다. 이러한 장점은 무선센서 네트워크에 구현시 오버헤드(overhead)를 최소화 할 수 있으며, 제한된 전력 환경에서 데이터의 신뢰도를 증가 시킬 수 있는 방안으로써 필수적 요소이다.

References

[1] G. Werner-Allen, K. Lorincz, M. Ruiz, O. Marcillo, J. Johnson, J. Lees, and M. Welsh, "Deploying a Wireless Sensor Network on an Active Volcano," *IEEE Internet Computing,* vol. 10, no. 2, pp. 18-25, 2006.

[2] A. Munir and A. Gordon-Ross, "Markov Modeling of Fault-Tolerant Wireless Sensor Networks," *Proceedings of IEEE International Conference on Computer Communication Networks,* pp. 1-6, 2011.

[3] M. Hla Yin and Z. Win, "Fault Management Using Cluster-Based Protocol in Wireless Sensor Networks," *International Journal of Future Computer and Communication,* vol. 3, no. 1, pp. 36-39, 2014.

[4] M. Roshanzadeh and S. Saqaeeyan, "Error Detection & Correction in Wireless Sensor Networks By Using Residue Number Systems," *I. J. Computer Network and Information Security,* vol. 2012, no. 2, pp. 29-35, Feb. 2012.

[5] I. Shin, M. Kim, M. Mutka, H. Choo, and T. Lee, "MCBT: Multi-Hop Cluster Based Stable Backbone Trees for Data Collection and Dissemination in WSNs," *Sensors*, vol. 9, no. 8, pp. 6028-6044, 2009.

[6] R. Logapriya and J. Preethi, "Efficient Methods in Wireless Sensor Network for Error Detection, Correction and Recovery of Data," *International Journal of Novel Research in Computer Science and Software Engineering*, vol. 3, no. 2, pp. 47-54, 2016.

[7] O. Eriksson, "Error Control in Wireless Sensor Networks: A Process Control Perspective," *UPTEC F*, pp.1-32, 2011.

[8] S. Mukhopadhyay, D. Panigrahi, and S. Dey, "Model Based Error Correction for Wireless Sensor Networks," *Proceedings of IEEE International Conference on Sensor and Ad Hoc Communications and Networks*, pp. 4-7, 2004.

[9] Kibong Koo et al., "A 1.2V 38nm 2.4Gb/s/pin 2Gb DDR4 SDRAM with Bank Group and x4 Half-Page Architecture," *Proceedings of IEEE International Solid-State Circuits Conference*, pp. 40-41, 2012.

BIOGRAPHY

Joong-Ho Lee (Life Member)

1988 : BS degree in Electronics & Computer Engineering. Ulsan University.

1990 : MS degree in Electronics & Computer Engineering, Ulsan University.

1994 : PhD degree in Electronics & Computer Engineering, Ulsan University.

1994~2012 : SK-Hynix Semiconductor (Memory Design)

2012~Present : Professor, Computer Science, Yongin University