

논문 2011-06-46

무선 센서 네트워크에서의 싱크노드 실패에 대비한 이중 싱크노드 장치

(Dual Sink Nodes for Sink Node Failure
in Wireless Sensor Networks)

김 대 일, 박 래 정, 박 성 욱, 이 형 봉, 문 정 호, 정 태 윤*

(Dae-Il Kim, Lae-Jeong Park, Sung-Wook Park, Hyung-Bong Lee, Jung-Ho Moon, Tae-Yun Chung)

Abstract : Since wireless sensor networks generally have the capability of network recovery, malfunction of a few sensor nodes in a sensor network does not cause a crucial problem paralyzing the sensor network. The malfunction of the sink node, however, is critical. If the sink node of a sensor network stops working, the data collected by sensor nodes cannot be delivered to the gateway because no other sensor nodes can take the place of the sink node. This paper proposes a TDMA-based wireless sensor network equipped with dual sink nodes, with a view to preventing data loss in the case of malfunction of a sink node. A secondary sink node, which synchronizes with a primary sink node and receives data from other sensor nodes in normal situations, takes the role of the primary sink node in the case of malfunction of the primary sink, thereby eliminating the possibility of data loss. The effectiveness of the proposed scheme is demonstrated through experiments.

Keywords : USN, WSN, Dual Sink, BiWSLP

1. 서 론

무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Network, WSN)는 일반적으로 그림 1과 같이 구성되며, 주로 환경 감시, 재해 감시 등과 같은 원격 모니터링 분야에 응용되고 있다[1]. 센서노드는 각종 센서를 통해 주변 환경 정보를 획득하고 이웃 센서 노드간의 다중홉(multi-hop) 경로를 통해 싱크노드(sink node)로 전달한다. 싱크노드에 수집된 정보들은 게이트웨이를 통하여 최종 목적지인 서버에 저장된다. 잦은 환경 변화에서도 안정적인 데이터의 전송을 위해 무선 센서 네트워크에서는 일반적으로

네트워크를 동적으로 형성하기 위한 프로토콜이 사용된다.

예를 들면, 라우팅 경로 상의 노드가 없거나 동작을 중지한 경우에도 주변의 다른 센서 노드와의 네트워크 형성을 통해 데이터를 보낸다. 이를 위해, 설치 시에 2개 이상의 노드들 간의 무선 영역이 중첩되게 위치시킨다. 하지만 데이터가 최종적으로

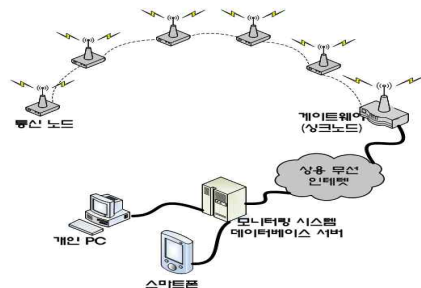


그림 1. 무선 센서 네트워크 구성도
Fig. 1 Configuration of a Wireless Sensor Network

* 교신저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2011. 6. 28., 수정일 : 2011. 08. 07.,
2011. 09. 14., 채택확정 : 2011. 9. 27.

정태윤, 문정호 : 강릉원주대학교 전자공학과

박래정, 박성욱 : 강릉원주대학교 전자공학과

이형봉 : 강릉원주대학교 컴퓨터공학과

김대일 : 강원임베디드 소프트웨어 연구센터

수집되는 싱크노드가 정상적으로 동작하지 않는 경우에는 네트워크의 모든 노드로부터의 측정 데이터가 서버로 전송되지 못하게 된다.

일반적으로 무선 센서 네트워크는 유선 사용이 용이하지 않거나 산악 지역과 같이 접근이 쉽지 않은 지역에 설치하므로, 싱크노드의 이상 동작 발생 시에 문제를 파악하고 현장에 도착하여 노드 교체 작업까지 상당한 시간이 소요됨은 물론 그 동안 사용자들에게 정보를 제공하지 못하는 기능적으로 불능 상태가 된다. 이러한 싱크노드 기능 실패 시 네트워크 동작 유지를 위한 방법으로서 게이트웨이에 이중(dual) 싱크노드를 장착하고 서로간의 동기화된 협력 동작을 통해 한 싱크노드의 동작 실패 시에 다른 싱크노드가 백업 작동하여 데이터의 손실 없이 네트워크의 정상 동작을 보장하는 방법을 제안하였다.

복수개의 싱크노드에 관한 기존 연구의 대부분은 싱크노드의 배치를 통한 경로 최적화나 네트워크 수명 최대화를 다루었다. [2,3]은 복수개의 싱크노드를 전체 네트워크 영역에 효과적으로 배치하여 싱크노드에게 데이터를 전송하기 위한 최적의 경로를 찾는 방법을 제시하였다. 또한 [4]는 정적 싱크노드와 이동 싱크노드를 사용하여 전체 네트워크의 에너지 소모를 줄이는 방법을 제시하였다.

기존의 연구에서처럼 복수개의 싱크노드가 존재하는 센서 네트워크에서도 싱크노드 기능 실패가 발생할 경우에 노드는 다른 싱크노드에게로 데이터를 재전송해야하는 상황이 발생한다. 또한 각각의 싱크노드에는 수집된 데이터를 상용 통신망을 통해 서버로 전송하기 위한 게이트웨이와 모뎀이 연결되기 때문에 시스템 구축비용이 상승하는 단점을 가지고 있다. 따라서 기존의 복수개의 싱크노드를 갖는 센서 네트워크에서도 본 논문에서 제시하는 이중 싱크노드 방식을 적용한다면 하나의 싱크노드 기능이 실패하는 경우 다른 싱크노드로 데이터를 재전송하면서 정상동작하는 싱크노드에 트래픽이 증가되는 문제를 해결할 수 있다.

이 논문은 양방향 통신을 지원하는 시분할 기반 선형 네트워크용 프로토콜(Bi-directional Wireless Sensor Line Protocol, Bi-WSLP)[5,6]에 기반을 둔 무선 센서 네트워크에서 이중 싱크노드의 제어 방법을 제시하고 실제로 구현하여 그 효용성을 입증한다. 제 II 장에서 양방향 통신을 지원하는 시분할 기반 선형 무선 센서 네트워크용 프로토콜인 BiWSLP에 대해 간략하게 소개하고 제 III 장에서 이중 싱크노드 장치 구성 및 제어 방법에 대해 기

술한다. 그리고 제 IV 장에서는 이 논문에서 제안한 방법을 적용한 실험 결과를 제시하고, 마지막 제 V 장에서 결론으로 본 논문을 맺는다.

II 양방향 통신이 가능한 시분할기반 무선 센서 네트워크 프로토콜

본 논문에서 제안하는 이중 싱크노드 제어 방법은 양방향 통신을 지원하는 시분할(time-division multiple access, TDMA) 기반 선형 무선 센서 네트워크 프로토콜인 BiWSLP[5,6]을 가정하고 있다. 간략한 BiWSLP의 구조와 동작은 다음과 같다.

각 노드는 그림 2와 같이 수신 구간(R), 송신 구간(T), 수신확인 구간(A)의 연속된 세 시구간(time slot)을 할당받는다. 노드의 송신 구간은 상위 노드의 수신 구간과 일치하고 노드의 송신 구간은 하위 노드의 수신확인 구간과 일치한다. 이와 같은 동기화된 시구간을 이용하여 노드가 송신 구간에 데이터를 송신하게 되면, 상위 노드는 자신의 수신 구간에서 데이터를 수신하고 하위 노드는 자신의 수신확인 구간에서 직전에 송신한 데이터의 수신 확인 신호로 간주한다. 이와 같은 과정을 통해 단말노드로부터 싱크노드 방향으로 데이터가 전송되는 상향 링크가 형성된다. 상향 전송 링크 구간 이후에 각 노드의 시구간을 R-T-A로 할당하여 싱크노드로부터 단말노드로의 하향 링크를 형성한다. 이와 같이 BiWSLP는 노드와 노드사이에 정확히 동작 시간을 동기화하여 양방향 통신을 가능하게 한다.

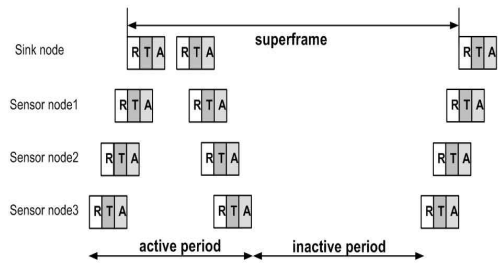


그림 2. BiWSLP의 시구간 구조
Fig. 2 Time frame structure of BiWSLP

BiWSLP에서는 상향 링크와 다음 상향 링크와의 시간을 슈퍼프레임(superframe)이라고 하는데 슈퍼프레임은 BiWSLP에서 통신 주기가 된다. BiWSLP 통신 주기는 시간 동기화에 맞게 데이터 전송이 이루어지는 활성 구간(active period)과 전력을 최소로

유지하는 휴지(sleep)상태를 유지하는 비활성 구간(inactive period)로 구성되어 있다. BiWSP는 시분할 방식 MAC을 기반으로 하므로 데이터 전송에 따른 지연이 짧고 전력소비가 낮은 장점이 있다. BiWSP에 대한 상세한 사항은 [5]와 [6]에 설명되어 있다.

III 이중 싱크노드 장치 및 제어

BiWSP 기반 무선 센서 네트워크에서의 데이터 흐름은 그림 3의 (a)와 같다. 하지만 이러한 구조에서는 서론에서 제기한 싱크노드 기능 실패에 따른 데이터 전달 단절 문제에 매우 취약하다. 따라서 본 논문에서는 그림 3의 (b)와 같이 추가로 싱크노드를 구성하고 서로간의 역할 제어를 통하여 싱크노드 기능 실패 시에도 데이터 손실을 방지하는 방법을 제시한다.

이중 싱크노드 장치를 구성함에 있어 중요한 두 부분은 두 개의 싱크노드와 게이트웨이 사이의 데이터 전송 경로를 싱크노드 전환 시에도 데이터 손실이 없도록 안전하게 제어하는 기술과 동일 주파수를 사용하는 두 개의 싱크노드가 주파수 간섭이 없도록 동작 시간 구간을 제어하여 데이터를 송수신하는 기술이다.

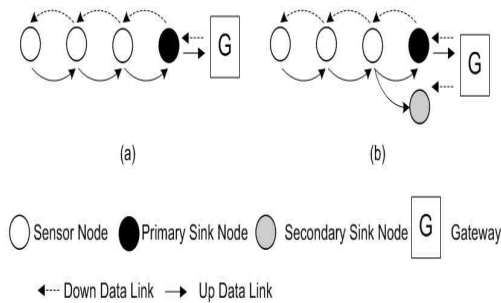


그림 3. (a) BiWSP에서의 데이터 흐름. (b) 이중 싱크노드를 사용하는 BiWSP에서의 데이터 흐름
Fig. 3 (a)Data flow under BiWSP (b) Data flow under BiWSP employing dual sink scheme

이중 싱크노드 장치는 센서노드와 게이트웨이 사이에서 데이터의 송수신 기능을 수행하는 주(primary) 싱크노드와, 센서 노드와 게이트웨이로부터 데이터 수신 기능을 수행하는 부(secondary) 싱크노드로 구성된다. 부 싱크노드는 주 싱크노드와 동일한 시구간에서 동작하는데, 수신 구간과 수신확

인 구간에서 수신 동작만을 수행하고 송신 구간에서 데이터 송신은 하지 않는다. 이는 주 싱크노드가 송신 구간에서 송신하는 데이터와 충돌을 회피하기 위함이다.

1. 하드웨어 구성

주 싱크노드 기능 실패 시에 부 싱크노드가 데이터의 손실 없이 싱크노드 기능을 수행하기 위해서 게이트웨이와 두 싱크노드와의 데이터 전송 경로를 제어하기 위한 제어 장치가 필요하다. 이를 위해 이중 싱크노드 장치는 주 싱크노드와 부 싱크노드가 서로의 상태를 모니터링하기 위한 물리적인 신호선이 연결되어 있다.

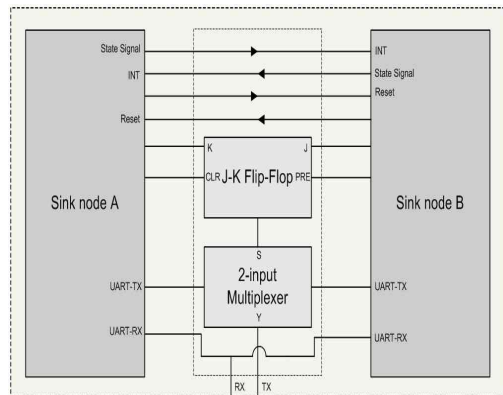


그림 4. 이중 싱크노드 장치의 하드웨어 구조.
Fig. 4 Hardware of a dual sink node

이중 싱크노드 장치의 하드웨어 구성은 그림 4와 같다. 각 싱크노드의 한 출력포트가 상대 싱크노드의 외부 인터럽트 포트에 연결되어 있다. 이는 주 싱크노드(부 싱크노드)가 일정한 시간 간격으로 포트의 신호 레벨을 변화시켜 부 싱크노드(주 싱크노드)의 인터럽트를 발생시키는 방식으로 자신이 정상 동작 중임을 알리기 위해서이다. 또한, 상대 싱크노드가 정상 상태가 아닌 경우에 리셋이 가능하게끔 또 다른 출력포트는 상대 싱크노드의 리셋 포트에 연결되어 있다. 두 싱크노드는 게이트웨이와 범용 비동기 송/수신 장치(Universal Asynchronous Serial Receiver and Transmitter, UART)를 통해 데이터 전송을 한다. 두 싱크노드의 게이트웨이로부터의 수신선은 공통으로 연결되어 있지만 데이터를 충돌 없이 전송하기 위해서 게이트웨이의 송신선은 분리되어 있다. 2입력 다중화기(2-input multi-

plexer)와 J-K 플립플롭을 사용하여 송신선을 분리하며 송신선의 경로를 제어하기 위해서 두 싱크노드는 서로의 상태 모니터링을 통해서 서로가 경로 제어에 관여한다.

2. 동작 제어

그림 4의 J-K 플립플롭의 입력과 그에 따른 출력, 즉 다중화기의 선택신호 S와 출력 Y는 표 1과 같다.

표 1. 전송 경로 제어 장치 진리표

Table 1. Truth table on data-path controller

Sink node A		Sink node B		S	Y	주 싱크노드 동작 상태
K	CLR	J	PRE			
X	H	X	L	H	B-Tx	activate state
X	L	X	L			transmit/listen state
L	H	H	H	L	A-Tx	activate state
H	H	L	H			transmit/listen state

X : don't care H : high L : low
 A-Tx : UART-Tx of Sink node A
 B-Tx : UART-Tx of Sink node B

두 싱크노드가 정상적으로 동작하는 상태에서 송신선 경로는 각 싱크노드와 연결된 J-K 플립플롭의 J와 K핀의 입력 값으로 경로를 설정한다. 즉, J=L, K=H인 경우 싱크노드 A의 출력이, J=H, K=L인 경우 싱크노드 B의 출력이 게이트웨이로 연결된다. 이때 주 싱크노드는 전송/듣기 상태(transmit/listen state)로 동작한다. 하지만 한 싱크노드가 하드웨어적인 문제 또는 소프트웨어적인 문제로 인해 정상적인 상태 신호를 발생시키지 못하는 경우에는 상대 싱크노드가 동작 상태를 강제 활성화 상태(activate state)로 전환하고 J-K 플립플롭의 CLR 또는 PRE 신호선을 이용하여 강제로 경로 설정을 한다.

이중 싱크노드의 동작 상태는 그림 5와 같이 정의된다. 전송/듣기 상태(transmit/listen state)는 주 싱크노드로서 데이터 송신과 수신 동작을 수행하는 상태, 듣기 상태(listen only state)는 부 싱크노드로서 주 싱크노드로 전송되는 데이터의 백업을 위해 수신만하는 상태, 강제 활성화 상태(activate

state)는 상대 싱크노드 리셋 동작과 함께 주 싱크노드로서 데이터 송신과 수신 동작을 수행하는 상태를 나타낸다. 각 상태간의 전이는 상대 싱크노드의 상태 신호의 수신 여부에 따라 결정된다.

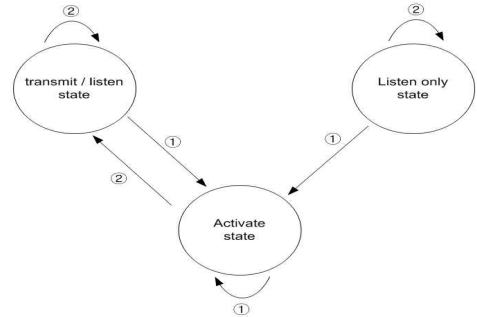


그림 5. 이중 싱크노드의 상태 전이도

- ① 상대 싱크노드의 상태신호를 수신 못한 경우
- ② 상대 싱크노드의 상태신호를 수신한 경우

Fig. 5 State transition diagram

- ① when it did not receive the other sink node's state signal
- ② when it received the other sink node's state signal

상세히 설명하면, 주 싱크노드는 전송/듣기 상태에서 부 싱크노드의 상태 신호를 모니터링하며, 부 싱크노드는 듣기 상태에서 주 싱크노드의 상태 신호를 모니터링하고 있다. 주 싱크노드는 정해진 시간 동안 부 싱크노드의 상태 신호를 수신하지 못하면(그림 5의 ①), 강제 활성화 상태로 바뀌어 동작하고 일정 시간동안 상태 신호를 수신하지 못하면 부 싱크노드를 리셋 시킨다. 이후 부 싱크노드가 정상 동작하여 상태 신호를 보내면 주 싱크노드는 송신/듣기 상태로 복귀한다.

한편, 주 싱크노드의 상태를 체크하면서 듣기 상태에 있던 부 싱크노드는, 주 싱크노드가 상태 신호를 보내지 못하는 경우에 강제 활성화 상태로 바뀌어, 일정한 시간 이후에 주 싱크노드의 역할을 수행하게 된다. 이후 위에서 설명한 주 싱크노드와 동일하게 동작하고, 이전 주 싱크노드는 리셋 후 듣기 상태로 초기화되어 부 싱크노드로 동작하게 된다.

3. 버퍼 관리

주 싱크노드의 기능 실패 시에 센서노드들로부터 수신한 데이터가 손실 혹은 중복 없이 게이트웨이로 전달되기 위해서는 상호 연동하여 두 싱크노드의 버퍼 관리가 필요하다. 주 싱크노드는 센서노

드의 수신 데이터를 버퍼에 저장하고 게이트웨이로
의 데이터 전송을 위한 버퍼 시작주소 인덱스를 설
정한다. 듣기 상태에 있는 부 싱크노드도 동일한 시
간에 동일한 데이터를 버퍼에 저장하고 버퍼 시작
주소 인덱스를 설정한다. 주 싱크노드는 게이트웨이
에게 데이터를 전송한 후 버퍼 시작주소 인덱스를
다음 데이터 전송을 위한 위치로 변경하고 이를 부
싱크노드에게 상태 신호로 전송한다. 부 싱크노드가
이 상태 신호를 수신하면 주 싱크노드와 동일하게
버퍼 시작주소 인덱스를 변경한다. 만약 주 싱크노
드의 상태 신호를 수신하지 못하면 부 싱크노드는
다음 전송 주기에 데이터를 전송하기 위해서 버퍼
시작주소 인덱스를 변경하지 않는다.

4. 시간 동기화

BiWSP 기반 네트워크에서는 각 센서노드 마다
시구간이 할당되어 자신의 시구간에서 송수신을 수
행한다. 그림 6은 이중 싱크노드의 시구간 동기화
과정을 나타내며 상세한 동작 과정은 다음과 같다.

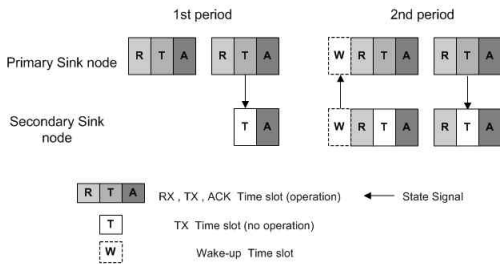


그림 6. 이중 싱크노드의 동기화 과정
Fig. 6 Synchronizing process of two sinks

주 싱크노드는 하향 링크의 송신 구간에 자신의
상태 신호를 전송한다. 주 싱크노드보다 슈퍼프레임
주기의 3배의 시간 지연을 두고 초기화를 시작하는
부 싱크노드는 주 싱크노드의 상태 신호의 수신 시
점부터 동기화를 시작한다. 다음 주기 때 주 싱크노
드와 정확하게 동기화된 시구간을 설정하고 상향
링크의 준비구간(W) 때 자신의 상태 신호를 전송한
다. 부 싱크노드가 주 싱크노드와 같은 동일한 시각
에 동일한 시구간으로 동작하기 때문에 센서노드
부터의 데이터를 손실 없이 수신할 수 있다. 또한
송신 구간에는 주 싱크노드만 데이터 송신을 하고
부 싱크노드는 송신하지 않기 때문에 동일한 주파
수 사용으로 인한 충돌 문제는 발생하지 않는다.

IV 실험

제안하는 방법의 동작을 검증하고 성능을 평가
하기 위하여 그림 7과 같은 실험 환경을 구축하였
다. 두 개의 싱크노드와 하나의 단말노드는 무선 환
경에서 흔히 나타나는 데이터 손실을 배제하기 위
해 RF 케이블을 연결 사용하였으나 두 싱크노드와
연결되어 있는 RF 케이블은 단말노드와 T-SMA
커넥터로 연결되어 있기 때문에 두 싱크노드와 단
말노드의 RF 신호는 모두 같은 물리적 매체를 통해
전송되고 있어 air 상황과 동일하다. 노트북 PC에
게이트웨이, 데이터베이스 서버, 관리 서버를 구현
하여 단말노드로부터 전송되는 데이터와 두 싱크노
드의 상태 정보를 수집하였다.



그림 7. 실험 환경
Fig. 7 Experimental environment

첫 번째 실험에서는 주 싱크노드가 소프트웨어
적으로 리셋 되는 상황에서 부 싱크노드가 백업 동
작을 성공적으로 수행하는지를 검증하였다. 단말노
드는 5초마다 데이터를 생성하여 싱크노드를 경유
하여 서버로 전송하도록 설정하였다. 서버에서 리셋
명령어를 1시간 주기로 주 싱크노드로 전송하여 주
싱크노드를 소프트웨어 리셋 시켜서 수행 중이던
싱크노드 기능을 일시 정지시키는 상황을 발생시켰
다. 이 경우 부 싱크노드는 주 싱크노드 역할을 수
행하였고 일정 시간 후 리셋된 싱크노드는 부 싱크
노드로 동작하였다. 그림 8을 통해 서버의 리셋 명
령어에 의해 주 싱크노드 역할을 수행하는 싱크노
드가 성공적으로 변경되었음을 확인할 수 있다.

V01 데이터의 마지막 숫자는 동작중인 싱크노
드의 ID를 나타내는데 이 숫자가 매시간 0→1, 1→
0로 변경되고 있는 것을 통해 두 싱크노드가 정상

No	GW	nodeID	V01	GetDate(GW)	RegDate(DB)
1514181	50	0	000001	2010/10/29 13:32:22	2010/10/29 13:32:24
1514059	50	0	000000	2010/10/29 12:32:17	2010/10/29 12:32:19
1513930	50	0	000001	2010/10/29 11:32:08	2010/10/29 11:32:10
1513816	50	0	000000	2010/10/29 10:31:58	2010/10/29 10:32:00
1513712	50	0	000001	2010/10/29 09:31:53	2010/10/29 09:31:55
1513602	50	0	000000	2010/10/29 08:31:33	2010/10/29 08:31:35
1513497	50	0	000001	2010/10/29 07:31:34	2010/10/29 07:31:36
1513389	50	0	000000	2010/10/29 06:31:29	2010/10/29 06:31:31
1513287	50	0	000001	2010/10/29 05:31:19	2010/10/29 05:31:21
1513183	50	0	000000	2010/10/29 04:31:09	2010/10/29 04:31:11

그림 8. 서버에 기록된 주 싱크노드 변동 기록.
(GetDate: 게이트웨이가 데이터를 수신한 시각,
RegDate: 서버에서 데이터를 수신한 시각)

Fig. 8 Primary sink id recorded in a server
(GetData: time when a gateway received a data, RegData: time when a server received the data)

적으로 주 싱크노드 역할을 수행하고 있음을 볼 수 있다. 단말노드가 전송한 데이터 총 개수와 서버에 수집된 총 데이터의 개수를 비교하여 싱크노드의 역할 체인지 동안 데이터의 손실 양을 측정하였다.

No	GW	nodeID	V01	GetDate(GW)	RegDate(DB)
20722836	50	1	18167	2010/10/29 10:59:55	2010/10/29 10:59:57
20722835	50	1	18166	2010/10/29 10:59:50	2010/10/29 10:59:52
20722834	50	1	18165	2010/10/29 10:59:45	2010/10/29 10:59:47
20722833	50	1	18164	2010/10/29 10:59:40	2010/10/29 10:59:42
20722826	50	1	18163	2010/10/29 10:59:35	2010/10/29 10:59:37
20722825	50	1	18162	2010/10/29 10:59:30	2010/10/29 10:59:32
20722824	50	1	18161	2010/10/29 10:59:25	2010/10/29 10:59:27
20722823	50	1	18160	2010/10/29 10:59:20	2010/10/29 10:59:22
20722822	50	1	18159	2010/10/29 10:59:15	2010/10/29 10:59:17
20722821	50	1	18158	2010/10/29 10:59:10	2010/10/29 10:59:12
20722820	50	1	18157	2010/10/29 10:59:05	2010/10/29 10:59:07
20722819	50	1	18156	2010/10/29 10:59:00	2010/10/29 10:59:02
20722818	50	1	18155	2010/10/29 10:58:55	2010/10/29 10:58:57

그림 9. 싱크노드가 정상 동작할 때, 서버에 수집된 단말노드의 데이터 패킷 관련 정보

Fig. 9 Node generated data packet related information stored in a server when a dual sink node operates in normal condition

그림 9의 V01은 단말노드가 발생한 패킷의 일련번호를 의미한다. 그림 9의 V01의 번호를 보면 싱크노드가 정상 동작 중에 단말노드의 데이터가 손실 없이 서버에서 수신되었음을 확인할 수 있다.

No	GW	nodeID	V01	GetDate(GW)	RegDate(DB)
20721163	50	1	17113	2010/10/29 09:31:58	2010/10/29 09:32:00
20721162	50	1	17112	2010/10/29 09:31:53	2010/10/29 09:31:55
20721161	50	1	17111	2010/10/29 09:31:48	2010/10/29 09:31:50
20721160	50	1	17110	2010/10/29 09:31:43	2010/10/29 09:31:45
20721159	50	1	17109	2010/10/29 09:31:38	2010/10/29 09:31:40
20721158	50	1	17108	2010/10/29 09:31:33	2010/10/29 09:31:35
20721151	50	1	17107	2010/10/29 09:31:28	2010/10/29 09:31:30
20721149	50	1	17106	2010/10/29 09:31:23	2010/10/29 09:31:25
20721147	50	1	17105	2010/10/29 09:31:18	2010/10/29 09:31:20
20721146	50	1	17104	2010/10/29 09:31:13	2010/10/29 09:31:15
20721145	50	1	17103	2010/10/29 09:31:08	2010/10/29 09:31:10
20721144	50	1	17102	2010/10/29 09:31:03	2010/10/29 09:31:05
20721143	50	1	17101	2010/10/29 09:30:58	2010/10/29 09:31:00

그림 10. 싱크노드 역할 변경 때, 서버에서 수집된 단말노드의 데이터 패킷 관련 정보

Fig. 10 Node generated data packet related information stored in a server when a dual sink node switches the role of primary sink node

그림 8에서 2010년 10월 29일 9시31분에 이루어진 싱크노드 변경 상황에서도 5초 주기로 생성된 단말노드의 데이터가 손실 없이 서버에 전송되었음을 그림 10을 통해 확인할 수 있다. 주 싱크노드를 26시간동안 총 26번 소프트웨어 리셋을 하여 실험 시간을 늘려 보았다. 이 때 26번의 싱크노드 변경이 이루어 졌으며 단말노드는 총 18,808개의 데이터 패킷을 전송하였고 서버는 총 18,808개의 데이터 패킷을 수신하여 주 싱크노드의 소프트웨어 리셋에 의한 데이터 손실은 전혀 발생하지 않았다.

또 다른 실험으로서 1시간 동안 임의의 시간에 실험자가 동작 중인 주 싱크노드의 전원을 제거한 후 전원을 재공급하는 상황을 만들어 테스트하였다. 첫 번째 실험과 마찬가지로 서버에 수신되는 단말노드의 데이터 개수를 기준으로 싱크노드 전환 시의 데이터 손실량을 측정하였다. 1시간 동안 싱크노드 전원 on/off를 총 9번 수행하였고 단말노드는 총 730개 데이터 패킷을 전송하였으며 서버는 총 730개 데이터 패킷을 수신하였다. 그림 11(a)을 보면 2010년 11월 5일 17시 06분에 이루어진 싱크노드 전환이 이루어졌고, 이 시간에도 그림 11(b)과 같이 단말노드의 데이터가 손실 없이 순차적으로 서버에 전송된 것을 확인할 수 있다.

No	GW	nodeID	V01	GetDate(GW)	RegDate(DB)
1526898	50	0	000001	2010/11/05 17:06:59	2010/11/05 17:06:55
1526891	50	0	000000	2010/11/05 17:03:29	2010/11/05 17:03:25

(a)

No	GW	nodeID	V01	GetDate(GW)	RegDate(DB)
20888351	50	1	730	2010/11/05 17:07:09	2010/11/05 17:07:05
20888348	50	1	729	2010/11/05 17:07:04	2010/11/05 17:07:00
20888343	50	1	728	2010/11/05 17:06:59	2010/11/05 17:06:55
20888342	50	1	727	2010/11/05 17:06:59	2010/11/05 17:06:55
20888339	50	1	726	2010/11/05 17:06:49	2010/11/05 17:06:45
20888336	50	1	725	2010/11/05 17:06:44	2010/11/05 17:06:40
20888333	50	1	724	2010/11/05 17:06:39	2010/11/05 17:06:35
20888330	50	1	723	2010/11/05 17:06:34	2010/11/05 17:06:30

(b)

그림 11. (a) 서버에 기록된 주 싱크노드 변동 기록
(b) 싱크노드 역할 변경 때, 서버에서 기록된 단말노드의 데이터 패킷 관련 기록

Fig. 11 (a) Primary sink id recorded in a server
(b) Node generated data packet related information stored in a server when a dual sink node switches the role of primary sink node

V 결론

본 논문에서는 무선 센서 네트워크에서 싱크노드의 기능 실패 및 정지에 의한 센서 네트워크 기능 상실의 문제를 해결하기 위해서 백업용 싱크노드를 추가한 이중 싱크노드 장치 및 제어 방법을 제시하고 구현하여 그 효용성을 검증하였다.

실험을 통하여 이중 싱크노드 장치가 동작중인 싱크노드에 이상이 발생한 경우 시간 지연 없이 센서노드들의 데이터를 손실 없이 서버에 전송함을 확인하였다. 제안한 장치 및 방법은 무선 센서 네트워크에서의 데이터 수집의 안정성을 높이고 이상 상황 발생 시 보다 강건한 센서 네트워크를 구성하는데 효과적이고 유용한 역할을 할 것이다. 향후 이중 싱크노드와 연동되는 게이트웨이 이중화 장치를 개발할 예정이다.

참고문헌

[1] 장성호, 이민경, 김재준, "유비쿼터스 센서 응용 서비스 및 개발동향," IT Soc magazine 통권 13호, pp9-22 2006.
[2] A. Egorova-Forster and A. L. Murphy, "Exploiting Reinforcement Learning for

Multiple Sink Routing in WSNs," Proc. of IEEE Int. Conf. on Mobile Adhoc and Sensor Systems, pp. 1-3, Oct. 2007.

[3] Z. Vincze, R. Vida, and A. Vidacs, "Deploying Multiple Sinks in Multi-hop Wireless Sensor Networks," Proc. of IEEE Int. Conf. on Prevasive Services, pp. 55-63, July 2007.
[4] X. Wu and G. Chen, "Dual-Sink: Using Mobile and Static Sinks for Lifetime Improvement in Wireless Sensor Networks," Proc. of 16th Int. Conf. on Computer Communications and Networks, pp. 1297-1302, 2007.
[5] 이형봉, 박래정, 문정호, 정태윤, "양방향 통신을 지원하는 시분할 기반 무선 센서 네트워크의 구현," 한국정보과학회논문지, vol. 14, no. 4, pp. 341-351, 2008.
[6] 정한수, 문정호 "양방향 데이터통신이 가능한 선형구조를 갖는 무선 센서 네트워크 및 방법," 특허 10-0902873, 2009.

저 자 소 개

김 대 일



2001년 강릉원주대학교 전자공학과 학사.
2003년 강릉원주대학교 전자공학과 석사.
2003년~2006년 이너텍 전임연구원.

2006년~현재 강원 임베디드 소프트웨어 연구센터 선임 연구원.

관심분야: 임베디드 소프트웨어, 센서 네트워크
Email : daeilkim@gwnu.ac.kr

박래정

1991년 서울대학교 전기공학과 학사.
1993년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사.
1997년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사.

1997년~2000년 LG 종합기술원 선임연구원.
2000년~현재 강릉원주대학교 전자공학과 교수.
관심분야: 기계학습, 최적화, 임베디드 시스템, 센서 네트워크

Email : ljpark@gwnu.ac.kr

박성욱

1993년 연세대학교 전자공학과 학사.
1995년 연세대학교 전자공학과 석사.
1998년 연세대학교 전자공학과 박사.

1998년~2009년 삼성전자 DM연구소 수석연구원.
2009년~현재 강릉원주대학교 전자공학과 조교수
관심분야: 임베디드 소프트웨어, 센서 네트워크, 영상 부호화.

Email : swpark@gwnu.ac.kr

이형봉

1984년 서울대학교 계산통계학과 학사.
1986년 서울대학교 계산통계학(전산과학)과 석사.
2002년 강원대학교 컴퓨터과학과 박사.

1986~1994년 LG전자 컴퓨터연구소 선임연구원.
1999년~2003년 호남대학교 조교수.
2004년~현재 강릉원주대학교 컴퓨터공학과 부교수
관심분야: 임베디드 소프트웨어, 센서 네트워크, 운영체제

Email : hblee@gwnu.ac.kr

문정호

1991년 서울대학교 제어계측공학과 학사.
1993년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사.
1998년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사.

1998년~2002년 삼성전자 중앙연구소 및 휴맥스 연구소 책임연구원.

2003년~현재 강릉원주대학교 전자공학과 부교수.
관심분야: 임베디드 시스템, 센서 네트워크, 디지털 제어.

Email : itsmoon@gwnu.ac.kr

정태윤

1987년 연세대학교 전기공학과 학사.
1989년 연세대학교 전기공학과 석사.
2000년 연세대학교 전기컴퓨터공학과 박사.

1989년~1996년 삼성종합기술원 선임연구원.
1996년~2001년 삼성전자 중앙연구소 책임연구원.

2001년~현재 강릉원주대학교 전자공학과 부교수, 강원 임베디드 소프트웨어 연구센터 센터장.
관심분야: 임베디드 시스템, 센서 네트워크, 영상 부호화.

Email : tychung@gwnu.ac.kr