

다중 홉 센서 네트워크에서 신뢰성과 에너지 효율성을 고려한 동적 단일경로 설정기법

Dynamic Single Path Routing Mechanism for Reliability and Energy-Efficiency in a Multi Hop Sensor Network

최성용*, 김진수*, 정경용*, 한승진***, 최준혁****, 임기욱****, 이정현****
인하대학교 정보공학과*, 상지대학교 컴퓨터정보공학부**, 경인여자대학 정보미디어학부**,
김포대학 e-비즈니스과***, 선문대학교 컴퓨터정보학부****, 인하대학교 컴퓨터공학부****

Seong-Yong Choi(choisymail@gmail.com)*, Jin-Su Kim(kjspace@inha.ac.kr)*,
Kyung-Yong Jung (Jungkyjung@sangji.ac.kr)**, Seung-Jin Han(softman@kic.ac.kr)**,
Jun-Hyeog Choi(jhchoi@kimpo.ac.kr)***, Kee-Wook Rim(rim@sunmoon.ac.kr)****,
Jung-Hyun Lee(jhlee@inha.ac.kr)****

요약

센서 네트워크에서는 신뢰성 있는 데이터 전송, 각 노드의 에너지 효율성 그리고 노드의 부하 분산을 통한 네트워크 수명의 최대화가 중요하다. 본 논문에서는 무선 센서 네트워크에서 동적 단일 경로를 이용하여 이러한 내용을 고려한 동적 단일경로 설정기법(DSPR : Dynamic Single Path Routing)을 제안한다. 각 노드는 싱크까지의 홉 카운트와 평균 잔존 에너지로 계산된 최소 비용을 가지는 동적 단일 경로로 데이터를 전송한다. 이 때, 각 노드들은 자신의 전송 과정을 감시하고 경로 손상을 탐지한 노드는 코스트 테이블을 참조하여 손상된 경로를 동적으로 변경함으로써 네트워크의 신뢰성을 높이고 노드들의 에너지 소모를 균등하게 분산시킨다. 또한 네트워크 토폴로지 변화 발생시 전체 네트워크를 재구성하는 대신에 변화에 관련된 부분만을 동적으로 재구성하여 각 노드에서의 불필요한 에너지 소모를 최대한 억제함으로써 네트워크 수명을 증가시킨다. 실험결과 본 논문에서 제안하는 DSPR이 각 노드의 에너지 소모를 최소화하여 네트워크 수명을 증가시키고 신뢰성과 에너지 효율성에서 우수함을 보였다.

■ 중심어 : | 무선 센서 네트워크 | 신뢰성 | 에너지 효율성 | 네트워크 수명 연장 | DSPR |

Abstract

What are important in wireless sensor networks are reliable data transmission, energy efficiency of each node, and the maximization of network life through the distribution of load among the nodes. The present study proposed DSPR, a dynamic unique path routing mechanism that considered these requirements in wireless sensor networks. In DSPR, data is transmitted through a dynamic unique path, which has the least cost calculated with the number of hops from each node to the sink, and the average remaining energy. At that time, each node monitors its transmission process and if a node detects route damage it changes the route dynamically, referring to the cost table, and by doing so, it enhances the reliability of the network and distributes energy consumption evenly among the nodes. In addition, when the network topology is changed, only the part related to the change is restructured dynamically instead of restructuring the entire network, and the life of the network is extended by inhibiting unnecessary energy consumption in each node as much as possible. In the results of our experiment, the proposed DSPR increased network life by minimizing energy consumption of the nodes and improved the reliability and energy efficiency of the network.

■ keyword : | Wireless Sensor Network | Reliability | Energy Efficiency | Extend Network Lifetime | DSPR |

* 본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음
(NIPA-2009-C1090-0902-0020)

접수번호 : #090706-004

접수일자 : 2009년 07월 06일

심사완료일 : 2009년 07월 16일

교신저자 : 최성용, e-mail : choisymail@gmail.com

1. 서론

센서 네트워크는 다수의 스마트 센서들을 넓은 지역에 임의로 배치하여 특정 현상을 감시하거나 주변 상황을 인식하기 위한 목적으로 만들어진 무선 네트워크이다. 이러한 센서 네트워크에서는 특정 지역내에서 발생하는 정보를 실시간으로 획득하는 것이 가능하며, 스마트 센서가 소형화 저가화 됨에 따라 더욱 넓은 지역의 환경감시, 생태연구, 국방, 의료, 교통, 재난, 침입탐지 등의 여러 분야에서 적극 활용될 수 있다[1][2].

센서 네트워크에서 센서노드는 주변 환경을 감시하고, 무선 채널을 통해 데이터를 수집하는 싱크(sink)로 데이터를 전송한다. 센서노드는 수집된 데이터 처리보다는 데이터 송수신시에 대부분의 에너지를 소비하고, 정상적이지 못한 외부환경에 쉽게 노출되기 때문에 의도된 동작을 수행하지 못할 가능성이 높다. 또한 노드들은 저가, 초소형으로 제작되어 전파 송수신 범위가 매우 짧고 전력, 데이터 처리, 메모리 등의 자원이 제한되어 있다. 그러므로 배터리 방전이나 고장 등에 의한 노드의 소멸로 인해 토폴로지의 변화가 빈번하게 발생한다. 이러한 이유로 센서 네트워크에서는 신뢰성 있는 데이터 전송, 각 노드의 에너지 효율성, 토폴로지 적응성 그리고 노드의 부하 분산을 통한 네트워크 수명의 최대화가 중요하다[3].

센서 네트워크는 한개 또는 소수의 싱크와 다수의 센서노드들로 구성되며, 센서노드로부터 싱크까지의 배치에 따라 직접 통신을 할 수 있거나 센서노드들을 중계노드로 하여 다중 홉을 경유하여 싱크로 데이터를 전달한다. 대규모 센서 네트워크는 소규모 센서 네트워크에 비해 상당히 많은 수의 홉을 통과하기 때문에 브로드캐스트(Broadcast) 기반의 데이터 전송방법을 적용하여 네트워크의 신뢰성을 증가시킬 수 있다[4][5]. 그러나 노드들의 에너지 소모량이 증가하여 네트워크가 분할되거나 정지되는 문제점이 발생한다. 이와 같은 문제를 해결하기 위해 기존의 방법에서는 데이터 전송시 홉수 또는 코스트 등과 같은 전송 매개변수를 적절하게 조절하여 다중 경로로 데이터를 전송하는 방법으로 네트워크의 신뢰성을 증가시켰다[6]. 그러나 다중경

로에 존재하는 모든 노드가 동작 불능인 경우 데이터 전송에 실패할 수 있고, 다중 경로로 인한 노드들의 추가적인 에너지 소모가 발생하기 때문에 전체 네트워크의 수명 연장이라는 측면에서도 바람직하지 못하다. 또한 제한된 자원을 사용하는 센서 네트워크에서는 노드의 소멸, 외부환경의 변화 등에 따른 토폴로지 변화가 빈번하게 발생하고, 이에 따른 네트워크 구성의 수정이 요구된다. 이와 같은 문제를 해결하기 위해 주기적으로 네트워크를 갱신하거나, 네트워크의 변화를 탐지하는 알고리즘을 적용하여 네트워크 변화가 탐지되었을 때만 네트워크를 갱신하는 방법을 사용한다. 그러나 네트워크 재구성시 전체 노드들이 참여하기 때문에 네트워크가 갱신될 때마다 소모되는 에너지량은 증가한다. 즉, 잦은 네트워크 갱신은 네트워크 수명을 단축시키고 갱신기간 동안 데이터 전송 지연의 문제점이 발생한다.

본 논문에서는 대규모 센서 네트워크에서 동적 단일 경로를 이용하여 신뢰성 있는 데이터 전송, 각 노드의 에너지 효율성, 토폴로지 적응성 그리고 노드의 부하 분산을 통한 네트워크 수명의 최대화를 목적으로 하는 경로설정기법을 제안한다. 제안기법에서는 홉 카운트(HC)와 평균 잔존에너지(ARE)로 계산된 최소 전송비용의 동적 단일 경로로 데이터를 전송한다. 각 노드들은 데이터 전송시 싱크와의 홉 수와 주변노드들의 에너지 잔존량을 고려하여 동적으로 최적의 단일 경로를 찾아 데이터를 전송하고, 자신의 전송과정을 감시한다. 전송 감시과정 중 손상된 경로를 탐지한 노드는 모든 센서노드들의 에너지 소모를 균등하게 분산시키도록 동적으로 경로를 변경하여 네트워크의 신뢰성을 높이고 네트워크의 생존시간을 증가시킨다. 또한 네트워크 토폴로지 변화발생 시 전체 네트워크를 재구성하는 대신에 변화에 관련된 부분만을 재구성하여 각 노드에서 불필요한 에너지 소모를 최대한 억제함으로써 네트워크 수명을 증가시킨다.

2장에서는 기존연구들에 대해 살펴보고 3장에서는 본 논문에서 제안하는 제안기법에 대해 기술하며 4장에서는 기존 방법들과의 비교실험 결과를 보이며 5장에서는 실험으로 나타난 결과를 분석하여 본다.

II. 기존 연구

센서를 통하여 주변 환경에서 발생하는 특정한 이벤트를 감지한 소스노드가 수집한 데이터를 하나의 싱크로 전송하는 연구들 중 Flooding[3][5]은 가장 신뢰성이 높은 방법이다. Flooding에서 소스노드는 자신으로부터 한 홉 거리의 주변노드들인 이웃노드들에게 수집된 데이터를 전송한다. 데이터를 수신한 이웃노드는 해당 데이터를 자신의 모든 이웃노드들에게 전송한다. 이와 같은 과정은 네트워크의 모든 노드들이 데이터를 수신할 때까지 반복되기 때문에 프로토콜이 단순하며, 빠르고 신뢰성 있는 데이터 전송이 가능하다. 그러나 각 노드는 이웃노드가 동일한 데이터를 수신하였는지의 여부와는 관계없이 이웃노드들에게 데이터를 전송하기 때문에 대량의 중복된 데이터 트래픽이 발생한다. 이러한 제한된 노드 자원의 급격한 소모는 네트워크의 수명을 단축시킨다. 또한 동일한 정보를 수집한 서로 다른 소스노드가 모두 데이터를 전송하기 때문에 중복된 데이터가 전송될 수 있으며, 노드들은 자원의 소모를 고려하지 않기 때문에 네트워크 수명이 단축되는 문제점이 있다. 또한 GRAB (GRADient Broadcast)[6]은 Cost field와 credit로 신뢰성 있는 데이터 전송이 가능한 라우팅 프로토콜이다. Cost field는 싱크로부터 구축, 유지되는 모든 노드의 코스트 집합을 의미하고, 각 노드는 싱크로 데이터 전달시 요구되는 비용인 코스트를 가진다. Cost field 구성 종료 후, 소스노드는 데이터를 전달할 다음 노드를 지정하지 않고, 단지 패킷에 자신의 코스트를 포함하여 자신의 이웃노드들에게 전송한다. 패킷을 수신한 노드는 자신의 코스트와 수신된 코스트와 비교하여 패킷의 전송여부를 독립적으로 판단한다. 결과적으로 소스노드에서 감지된 데이터는 코스트가 감소하는 방향으로 전달된다. GRAB에서는 신뢰성 있는 데이터 전송을 위해 다중경로를 사용하며, 다중경로의 폭을 조절하기 위해 credit를 사용한다. credit는 패킷 전송시 소모되는 추가 비용이다. GRAB에서는 Credit를 사용하여 다중경로의 폭을 조절하여 데이터 전송하기 때문에 신뢰성은 증가하지만, 단일 경로의 데이터 전송에 비해 네트워크의 에너지 효율이 감소한다. 또한

credit로 선택된 다중경로 상의 모든 이웃노드들이 동작 불능 상태라면 데이터 전송에 실패할 수 있다. 토폴로지 변화시 주기적인 cost field의 갱신이 아닌, 일정 수준 이상의 변화가 탐지될 때만 싱크는 ADV 패킷을 전송한다. 그러나 ADV 패킷의 전송으로 인한 코스트 필드의 재구성시 네트워크의 모든 노드가 참여하게 되므로 싱크가 ADV 패킷을 전송할 때마다 전체네트워크의 에너지 소모량은 증가한다. 즉, 네트워크의 변화가 빈번하게 발생한다면 네트워크 수명이 단축되는 문제점이 있다.

III. DSPR(Dynamic Single Path Routing)

본 논문에서는 무선 센서 네트워크에서 동적 단일 경로를 이용하여 신뢰성 있는 데이터 전송, 각 노드의 에너지 효율성, 토폴로지 적응성 그리고 노드의 부하 분산을 통한 네트워크 수명의 최대화를 목적으로 하는 라우팅 프로토콜인 DSPR을 제안한다. DSPR의 동작과정은 크게 네트워크 구축 초기과정인 INIT, 데이터 전송 과정인 Forwarding, 그리고 센서노드의 소멸 및 이동, 외부환경 변화 등에 대응하기 위한 Reconfiguration의 세 과정으로 구성된다. [표 1]은 DSPR에서 사용되는 패킷의 종류와 기능을 정의한 것이다.

표 1. DSPR에서 사용되는 패킷의 종류와 기능

패킷종류	기능
INIT	센서 네트워크 구축초기에 싱크가 네트워크에 브로드캐스팅하는 패킷
FWD	소스노드에서 데이터 발생시 또는 이웃노드에게 데이터 전달시 브로드캐스팅하는 패킷
ACK	FWD 패킷을 수신한 싱크가 루핑방지를 위해 브로드캐스팅하는 패킷
HELLO	노드의 추가 또는 기존 노드의 이동시 이웃노드들에게 자신의 존재를 광고하는 패킷

1. INIT

네트워크 구축 초기에 싱크는 INIT 패킷을 전송한다. INIT 패킷 전송시 싱크는 전송노드 ID를 자신의 ID로, HC, ARE를 각각 0으로 설정한다. INIT 패킷을 수신한

노드는 식 (1)에 의해 현재 자신의 정규화된 잔존 에너지량을 계산하고, 수신된 HC와 ARE를 이용하여 식 (2), (3), (4)에 의해 갱신된 HC, ARE, COST를 계산한다. 이 때, 갱신된 HC는 싱크와 수신 노드간의 홉 수 (Hop Count)이고, ARE는 수신노드에서 싱크까지의 경로에 존재하는 노드들의 평균 잔존 에너지(Average Remaining Energy)이고, COST는 수신노드부터 싱크까지의 홉수와 평균 에너지 잔존량으로 계산된 싱크까지의 전송비용이다. 수신된 INIT 패킷으로 계산된 COST가 기존의 값보다 작다면 이때의 경로가 싱크까지의 최적의 경로가 되며, 수신노드는 갱신된 HC, ARE, COST를 COST 테이블의 자신노드 항목에 기록한 후, 전송노드 ID를 자신의 ID로, HC, ARE를 각각 갱신된 HC, ARE으로 INIT패킷을 수정하여 자신의 이웃노드들에게 전송한다. 이러한 과정은 모든 노드가 최소 1번 이상의 INIT 패킷을 수신하여 자신과 싱크와의 최소 COST를 설정할 때까지 계속된다. 싱크노드에서 전송하는 INIT 패킷은 네트워크 동작 중 구축 초기에 단 한번의 전송만 요구된다. 식 (4)는 수신노드에서 싱크까지의 홉수와 평균 잔존 에너지량으로 계산되며, 홉수가 커지거나 평균 잔존 에너지량이 작아질수록 그 값이 증가한다.

$$RE_n = \frac{E_{residual}(n)}{E_{initial}(n)} \quad (1)$$

$$HC_n = HC_{n-1} + 1 \quad (2)$$

$$ARE_n = \frac{ARE_{n-1} \cdot HC_{n-1} + RE_n}{HC_{n-1} + 1} \quad (3)$$

$$COST_n = \frac{(HC_{n-1} + 1)^2}{ARE_{n-1} \cdot HC_{n-1} + RE_n} \quad (4)$$

, 여기서

RE_n : 노드 n의 정규화된 잔존 에너지량

HC_{n-1} : 노드 n에 INIT 패킷을 발송한 노드의 HC

ARE_{n-1} : 노드 n에 INIT 패킷을 발송한 노드의 평균잔존 에너지

또한 모든 노드는 싱크까지의 최적의 경로를 유지하기 위해 자신의 이웃노드들이 설정한 최소 COST와 그

때의 HC, ARE를 알고 있어야 한다. 각 노드가 INIT 패킷을 전송할 때, 패킷에 포함된 HC, ARE는 전송시점에서 전송 노드가 최소 COST로 설정할 때의 값이다. 즉, INIT 패킷을 수신한 노드는 수신된 패킷으로 자신의 최소 COST를 설정할 수 없더라도 패킷을 전송한 자신의 이웃노드가 설정한 최소 COST값과 HC, ARE를 수신된 INIT패킷의 HC, ARE로 알 수 있다. 센서 네트워크내의 모든 노드는 자신과 자신의 이웃노드들이 싱크까지의 최적 경로로 설정할 때의 HC, ARE와 그로부터 계산된 COST를 COST 테이블로 기록한다.

```

Procedure INIT(SID, HC, ARE)
/* RID(recv_node) receives an INIT packet from
SID(send_node)
HC : a hop count which SID transmits
ARE : a average remain energy which SID transmits
cost_table[,n,m] : a table including node_id, HC,
ARE, COST ,where n is an own_node, m is
a NID(neighbor_node) */
// calculate RE, HC, ARE, COST

if ( init_set[RID] = False )
    COSTold = ∞;
if ( COSTnew < COSTold ) {
    cost_table[HC, RID, RID] = HCnew ;
    cost_table[ARE, RID, RID] = AREnew ;
    cost_table[COST, RID, RID] = COSTnew ;
    Flood INIT(RID, HCnew, AREnew) ;
}
cost_table[HC, RID, SID] = HC ;
cost_table[ARE, RID, SID] = ARE ;
cost_table[COST, RID, SID] = HC / ARE ;
    
```

그림 1. DSPR의 INIT 알고리즘

2. Forwarding

동일한 데이터를 감지한 노드 그룹은 데이터 중복과 노드의 자원 소비를 방지할 목적으로 그룹을 대표하여 데이터를 전송할 대표노드인 소스노드를 선출한다. 동일한 데이터가 감지된 각 노드들 중에서 최소 COST의 노드가 소스노드가 된다. 소스노드 또는 소스노드로부터 수신된 데이터를 싱크로 전달하는 전송노드는 특정한 노드가 아닌, 한 홉 거리의 모든 이웃노드들에게 브로드캐스트 방식으로 데이터를 전송한다. 소스노드 또는 전송노드는 자신의 COST 테이블에서 자신의 최소

COST를 설정할 때의 HC, ARE와 그리고 COST 테이블에서 자신을 제외한 COST 중에서 최소 COST로 구성된 FWD 패킷을 전송한다. FWD 패킷을 수신한 노드는 수신된 패킷의 전송 여부를 독립적으로 판단한다. 즉, COST 테이블에 기록된 자신의 최소 COST가 수신된 COST보다 크다면 FWD 패킷 수신노드는 자신이 최적의 경로상에 있지 않다고 보고 FWD 패킷을 전송하지 않는다.

그렇지 않은 경우라면 FWD 패킷 수신노드는 COST 테이블에서 최소 COST를 가지는 자신을 제외한 이웃노드를 탐색한다. 탐색된 HC, ARE와 자신의 정규화된 현재 에너지양으로부터 자신의 HC, ARE, COST를 갱신하고 COST 테이블의 자신노드 항목에 기록한다. 그리고 자신의 갱신된 HC, ARE와 탐색된 자신을 제외한 최소 COST로 FWD 패킷을 수정한 후 이웃노드에게 전송한다. 결과적으로 소스노드에서 감지된 데이터는 COST가 감소하는 즉, 싱크까지의 홉수가 작고 평균 잔존 에너지량이 큰 방향으로 전달된다.

```

Procedure FWD(SID, HC, ARE, COST, DATA)
/* RID receives an DATA packet from SID
watch_table[i,j] : a table including Flag, DATA for
surveillance ,where j is a node.id */
if ( cost_table[COST, RID, RID] = COST ) {
  HC = HC_minCOST(cost_table[COST, RID, NID]) ;
  ARE = ARE_minCOST(cost_table[COST, RID, NID]) ;
  // calculate RE, HC, ARE, COST

  cost_table[HC, RID, RID] = HCnew ;
  cost_table[ARE, RID, RID] = AREnew ;
  cost_table[COST, RID, RID] = COSTnew ;
  FWD_SEND(RID, HCnew, AREnew,
  minCOST(cost_table[COST, RID, NID]), DATA) ;

  // temporarily saving DATA for surveillance
  temp = NODE_minCOST(cost_table[COST, RID, NID]) ;
  watch_table[Flag, temp] = True ;
  watch_table[DATA, temp] = DATA ;
}
else
  if ( watch_table[Flag, SID] = True) {
    watch_table[Flag, SID] = False ;
    watch_table[DATA, SID] = ϕ ;
  }
cost_table[HC, RID, SID] = HC ;
cost_table[ARE, RID, SID] = ARE ;
cost_table[COST, RID, SID] = HC / ARE ;
    
```

그림 2. DSPR의 FWD 알고리즘

이 때, 정상적이지 못한 외부환경이나 전송노드의 고장으로 데이터가 싱크까지 전달될 수 없는 상황이 발생할 수 있기 때문에 데이터 감시과정이 필요하다. 소스노드(전송노드)는 자신의 COST 테이블 검색 후, 최소의 COST로 패킷을 수정하여 이웃노드들에 전송하기 때문에 이웃노드들 중 한 노드만이 전송노드가 된다. 최소 COST로 선택된 전송노드의 상태가 정상이라면 소스노드는 FWD 패킷 전송 후, 이웃노드중 하나인 전송노드가 전송한 COST가 감소된 형태의 FWD 패킷을 수신하게 되고 소스노드의 감시과정은 종료된다. 그러나 소스노드가 COST가 감소된 FWD 패킷을 일정시간 후에도 수신하지 못했다면, 해당 전송 노드로의 경로가 손상된 것으로 볼 수 있다. 경로손상이 탐지된 경우, 소스노드는 COST 테이블에서 손상된 전송노드 레코드를 삭제하고 COST 테이블의 자신노드 항목을 갱신하고 FWD 패킷을 수정 후 전송한다. FWD 패킷이 싱크까지 전송되어 온 경우, 싱크는 Looping 방지를 위해 ACK 패킷을 전송한다.

3. Reconfiguration

네트워크 동작시 모든 노드의 전력 소모량은 동일하지 않다. 노드들은 싱크까지 최적의 경로로 사용되는 COST를 가장 최근의 최소값으로 유지하고 이를 이웃노드들에게 알려주어야 한다. 한 노드의 잔존 에너지 감소는 다른 노드들의 최소 COST 설정에 영향을 줄 수 있다. 그러나 잔존 에너지량의 변화 발생시마다 이웃노드들에게 알리는 것은 전체 네트워크의 에너지 소모량을 증가시켜 네트워크의 수명을 단축시킨다. 또한, 데이터 전송은 수신에 비해 더 많은 에너지를 소비하기 때문에 노드의 전송횟수를 최소화한다면 네트워크의 수명 증가에 도움이 된다. DSPR에서는 패킷을 전송해야만 하는 경우에만 COST 테이블을 갱신한다.

또한 노드가 고장이나 방전 등의 사유로 소멸하는 경우, 데이터 감시기능으로 문제를 해결할 수 있다. 이 때, 소멸된 노드가 전송노드인 경우와 전송노드가 아닌 경우로 나누어 볼 수 있다. 소멸된 노드가 전송노드인 경우, 즉 최소의 COST를 가지는 노드라면 소멸된 노드에

패킷을 전송한 노드는 감시과정을 수행 중이며, 일정 시간 후에 소멸된 노드의 레코드를 자신의 COST 테이블에서 삭제 후, 동적으로 경로변경을 수행한다. 그러나 소멸된 노드가 전송노드가 아닌 경우, 즉 FWD 패킷에 설정된 COST보다 큰 값을 가지는 노드라면 소멸된 노드의 상태는 이웃노드의 COST 테이블에 기록될 수 없고 소멸 직전의 상태로 남아있게 된다. 그러나 소멸된 노드의 이웃노드들은 소멸된 노드가 전송노드가 되는 시점에서 데이터 감시과정을 통해 소멸된 노드가 동작하지 않음을 알 수 있다.

새로운 노드가 추가되는 경우, 추가된 노드는 자신의 노드 ID와 잔존 에너지량만을 가지고 있다. 네트워크에 참여하기 위해 COST 테이블을 구축하고, HELLO 패킷을 전송한다. 추가된 노드가 발송한 HELLO 패킷을 수신한 모든 이웃노드는 COST 테이블에 설정된 자신의 HC, ARE를 포함한 응답을 요구하지 않는 ACK 패킷을 전송한다. 이 때, ACK 패킷을 수신한 노드는 HELLO 패킷을 발송한 추가된 노드이거나 ACK 패킷 전송노드의 이웃노드이다. HELLO 패킷을 발송한 추가된 노드는 이웃노드로부터 수신된 HC, ARE를 식 (1), (2), (3)에 의해 COST, HC, ARE를 계산한다. 만약 계산된 COST가 COST 테이블의 자신의 최소 COST 이하인 경우에만 COST, HC, ARE를 모두 갱신한다. 그러나 COST 테이블의 갱신여부와는 별도로 수신된 ACK 패킷에는 전송노드의 전송시 최소 COST가 되는 HC, ARE이 포함되기 때문에 수신노드는 COST 테이블에 ACK 패킷 전송노드와 수신된 HC, ARE를 기록한다. ACK 패킷을 수신한 추가된 노드 이외의 이웃노드들은 COST 테이블에 ACK 패킷 전송노드와 수신된 HC, ARE를 기록한다.

만약 기존 노드가 다른 지역으로 이동하였다면, 이동노드는 자신의 COST 테이블의 정보가 더 이상 유효하지 않기 때문에 COST 테이블을 초기화 하고, 이동을 멈춘 즉시 HELLO 패킷을 전송한다. 이동노드가 이동을 멈추었을때 연관된 이웃노드에서 탐지되는 변화는 이동노드의 소멸, 이동노드의 위치 변화, 이동노드의 추가의 경우이다. 이동노드가 소멸한 경우는 노드가 소멸한 경우와 같은 방식으로 동작하고, 이동노드의 위치가

변화되었거나 이동노드가 추가된 경우는 새로운 노드가 추가된 경우와 같은 방식으로 동작한다.

```

Procedure Reconfiguration(self_node)
for(i=0; i<cntNeighbor(self_node); i++)
if ( watch_table[Flag][i] = True ) {
delete(self_node,i);
HC = HC_minCOST(cost_table[COST, RID, NID]) ;
ARE = ARE_minCOST(cost_table[COST, RID, NID]) ;
// calculate RE, HC, ARE, COST
cost_table[HC,self_node, self_node] = HCnew ;
cost_table[ARE, self_node, self_node] = AREnew ;
cost_table[COST, self_node, self_node] = COSTnew ;
COST=minCOST(cost_table[COST, self_node, NID]) ;
FWD(self_node, HCnew, AREnew,
COST,watch_table[data, i]) ;

// temporarily saving data for surveillance
temp = NODE_minCOST(cost_table[COST,
self_node, NID]) ;
watch_table[Flag, temp] = True ;
watch_table[data, temp] = data ;
}
    
```

그림 3. DSPR의 Reconfiguration 알고리즘

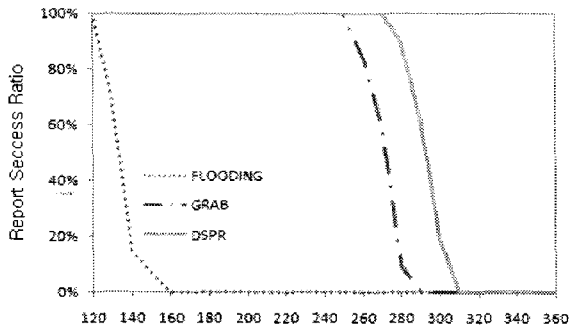
IV. 실험 및 성능평가

모의실험을 위해 300x300m²의 사각 센서필드와 반경 150m의 원형 센서필드를 구축하였다. 센서필드 내의 센서노드는 싱크를 포함하여 각 100개이고, 싱크는 사각 센서필드의 경우 좌측하단부에, 원형 센서필드의 경우 원의 중심에 배치하였다. 싱크는 일반 PC와 같은 대용량 시스템으로 가정하며 모든 노드는 WIN NG[8]와 같이 10kbps의 송수신율로 비트당 각각 21μJ과 14μJ의 에너지를 소비하므로 128byte의 데이터를 송신시 0.021J, 수신시 0.014J을 소비한다. 대기모드시의 소비전력은 고려하지 않았다.

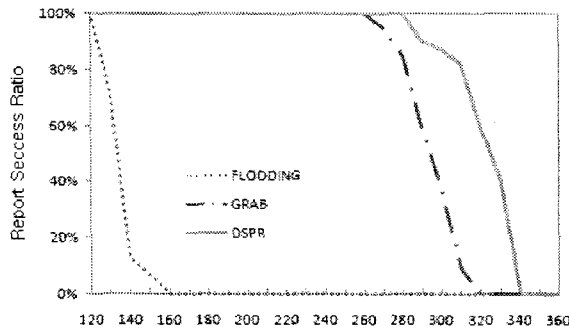
표 2. 모의실험 설정값

요소	설정값
노드수	100
노드의 전송범위	30m
전송시 소비전력	0.021J
수신시 소비전력	0.014J
전체시뮬레이션시간	300초
노드의 초기에너지	10J
단위 패킷 크기	128 Byte

모의실험을 위해 1초마다 임의로 소스노드를 선택하여 센싱 이벤트를 발생시켰다. 총 500초의 모의실험 중 싱크를 포함한 각 노드들의 전파 송수신 범위는 30m로 모두 동일하게 설정하였다. 제안된 DSPR의 성능 평가를 위해 위와 같은 모의실험을 10회 실시하여 Flooding, GRAB과 비교분석하였다.



(a) 사각 센서필드

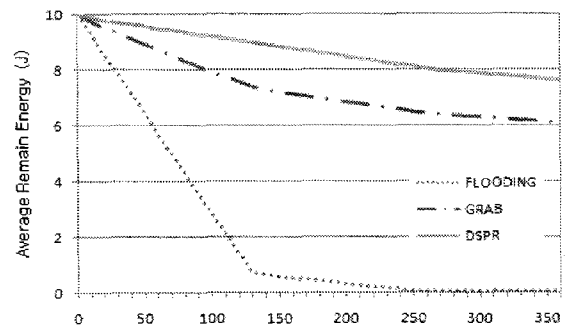


(b) 원형 센서필드

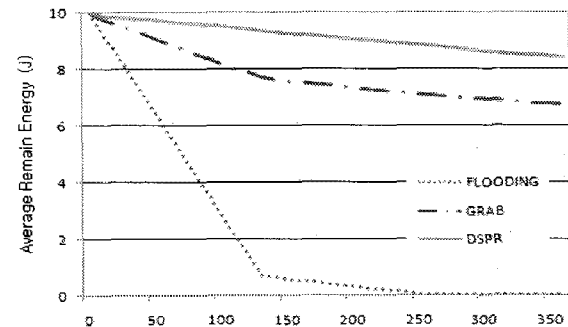
그림 4. 시간에 따른 리포트 성공비율

[그림 4]는 전체 시뮬레이션동안 10초마다 임의로 선택된 10개의 소스노드가 전송한 10개의 패킷 중 싱크가 정상적으로 수신한 패킷의 평균비율이다. 사각 센서필드에서 Flooding의 경우 120초까지 100%의 패킷을 싱크가 모두 수신하였다. 그러나 130초에는 89%, 140초에는 14%의 패킷을 싱크가 수신하였다. GRAB의 경우 250초까지 100%의 패킷을 싱크가 모두 수신하였으나, 260초에는 39%의 패킷을 싱크가 수신하였다. 반면 본 논문에서 제안하는 DSPR의 경우 270초까지 100%의 패킷이 모두 정상적으로 수신되었으며, 280초에 21%의 패킷만이 수신되었다. 또한 원형 센서필드에서 Flooding의 경우 120초까지 100%의 패킷을 싱크가 모

두 수신하였으나 130초에는 71%, 140초에는 13%, 150초에는 7%의 패킷을 싱크가 수신하였다. GRAB의 경우 260초까지 100%의 패킷을 싱크가 모두 수신하였으나, 310초까지 수신율이 감소하였다. 반면 본 논문에서 제안하는 DSPR의 경우 280초까지 100%의 패킷이 모두 정상적으로 수신되었으며, 330초까지 수신율이 감소하였다. 비교결과 DSPR의 네트워크 동작시간이 증가되었음을 알 수 있다.



(a) 사각 센서필드



(b) 원형 센서필드

그림 5. 시간에 따른 에너지 감소량

[그림 5]는 전체 시뮬레이션동안 10초마다 싱크를 제외한 모든 센서노드의 잔존에너지를 평균하여 그 변화를 나타낸 것이다. Flooding의 경우 노드들의 잔존에너지가 130초까지 급격히 소모된 이후 완만한 소모율을 보이는 것은 센서필드의 중앙부에 위치한 노드들의 에너지가 가장 먼저 고갈되어 해당 노드들이 불능상태가 되었기 때문이다. 반면 GRAB과 DSPR의 경우 싱크까지의 데이터전달시 Flooding과 같이 모든 노드가 참여하지 않고 경로 상에 선택된 노드만이 참여하기 때문에 급격한 에너지 감소는 발생하지 않는다. 또한 GRAB의

경우 네트워크의 변화에 대응하기 위해 50초마다 모든 노드가 참여하는 ADV패킷을 전송하고, 신뢰성을 위한 다중경로 사용으로 DSPR에 비해 잔존에너지들의 평균이 감소하였다. 비교결과 DSPR의 에너지효율이 GRAB과 비교시 약 16.5% 증가함을 확인하였다.

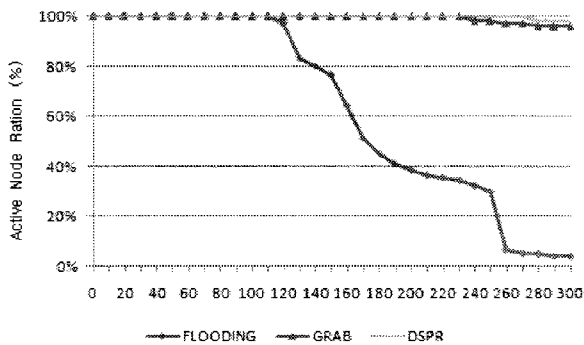


그림 6. 시간에 따른 노드 생존율

[그림 6]은 시간 변화에 따른 센서노드의 생존율을 나타낸 것이다. 시뮬레이션 종료시 에너지가 고갈되어 소멸한 노드가 싱크를 제외한 전체 99개중 GRAB의 경우 5개, DSPR의 경우 2개로 나타났다. 이와 같이 GRAB과 DSPR에서 대부분의 노드가 활동 상태임에도 불구하고 네트워크가 동작하지 않는 이유는 싱크 주변 노드들의 에너지 소모량이 다른 노드들에 비해 많아서 싱크까지 패킷을 전달할 수 없기 때문이다.

V. 결론

본 논문에서는 무선 센서 네트워크에서 동적 단일 경로를 이용하여 신뢰성 있는 데이터 전송, 각 노드의 에너지 효율성, 토폴로지 적응성 그리고 노드의 부하 분산을 통한 네트워크 수명의 최대화를 목적으로 하는 라우팅 기법을 제안한다. 손상된 경로를 탐지한 노드는 모든 센서노드들의 에너지 소모를 균등하게 분산시키도록 동적으로 경로를 변경하여 네트워크의 신뢰성을 높임과 동시에 네트워크의 생존시간을 증가시켰다. 또한 네트워크 토폴로지 변화 발생시 전체 네트워크를 재구성하는 대신에 변화에 관련된 부분만을 동적으로 재구성하는 방법을 적용하고, 각 노드에서 불필요한 에너

지 소모를 최대한 억제하여 네트워크 수명을 증가시켰다. 그러나 싱크 주변 센서노드들의 에너지 소모량이 다른 센서노드들보다 크기 때문에 네트워크의 수명이 싱크 주변 노드에 의존하는 문제점이 있다.

향후 연구과제로 센서노드의 이동성과 위의 문제점을 해결하기 위해 최적의 싱크 배치방법 및 다수의 싱크를 포함하는 다중 싱크 센서네트워크에 대한 연구가 필요하다.

참고 문헌

- [1] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, "A Survey on Sensor Networks," *IEEE Communications Magazine*, Vol.40, No.8, pp.102-114, 2002.
- [2] R. Szwedczyk, E. Osterwil, J. Polastre, and M. Hamilton, "A Mainwaring Habitat Monitoring With Sensor Networks," *Communications of the ACM* Vol.47, No.6, pp.34-40, 2004.
- [3] N. Al. Karaki and E. Kamal, "Routing techniques in wireless sensor networks: A survey," *Wireless Communications, IEEE* Vol.11, No.6, pp.6-28, 2004.
- [4] W. Heinzelman, J. Kulik, and H. Balakrishnan, "Adaptive Protocols for Information Dissemination in Wireless Sensor Networks," *Proc. 5th ACM/IEEE Mobicom Conference*, pp.174-85, 1999.
- [5] C. Intanagonwiwat, R. Govindan, and D. Estrin, "Directed diffusion: a scalable and robust communication paradigm for sensor networks," *Proc. of ACM MobiCom*, pp.56-67, 2000.
- [6] F. Ye, G. Zhong, S. Lu, and L. Zhang, "Gradient Broadcast: A Robust Data Delivery Protocol for Large Scale Sensor Networks," *Springer Science, Wireless Networks* Vol.11, pp.285-298, 2005.

최 준 혁(Jun-Hyeog Choi)

정회원



- 1990년 2월 : 경기대학교 전자계산학과 학사
- 1995년 2월 : 인하대학교 전자계산공학과 석사
- 2000년 8월 : 인하대학교 전자계산공학과 박사

- 1997년 ~ 현재 : 김포대학 e-비즈니스과 부교수
- 2001년 ~ 2002년 : 한국전자통신연구원 컴퓨터소프트웨어연구소(초빙연구원)
- 2003년 ~ 현재 : 특허청 특허출원 심사자문위원
- 2003년 ~ 현재 : 김포발전연구소 소장
- <관심분야> : 정보검색, 유전자 알고리즘, 신경망, USN, 임베디드 시스템, 전자상거래 보안

이 정 현(Jung-Hyun Lee)

정회원



- 1977년 2월 : 인하대학교 전자과(공학사)
- 1980년 9월 : 인하대학교 전자공학과(공학석사)
- 1988년 2월 : 인하대학교 전자공학과(공학박사)

- 1979년 ~ 1981년 : 한국전자기술 연구소 시스템 연구원
- 1984년 ~ 1989년 : 경기대학교 전자계산학과 교수
- 1989년 1월 ~ 현재 : 인하대학교 컴퓨터공학부 교수
- <관심분야> : 자연어처리, HCI, 음성인식, 정보검색, 고성능 컴퓨터구조

임 기 욱(Kee-Wook Rim)

정회원



- 1977년 2월 : 인하대학교 전자공학과(공학사)
- 1987년 2월 : 한양대학교 전자계산학(공학석사)
- 1994년 8월 : 인하대학교 전자계산학(공학박사)

- 1977년 ~ 1988년 : 한국전자통신연구원 시스템소프트웨어 연구실장
- 1989년 10월 ~ 1996년 12월 : 한국전자통신연구원 시스템연구부장, 주전산기(타이컴)Ⅲ,Ⅳ 개발사업 책임자
- 2001년 7월 ~ 1999년 12월 : 한국전자통신연구원 컴퓨터소프트웨어 연구소장
- 2000년 ~ 현재 : 선문대학교 컴퓨터정보학부 교수
- <관심분야> : 실시간데이터베이스시스템, 운영체제, 시스템구조