

WSN 환경에서 데이터 수집을 위한 에너지 효율적인 전송경로 설정 프로토콜

정회원 김보승*^o, 정기원**^o, 신용태*, 손영수***

An Energy-Efficient Routing Protocol for Data Collection in Wireless Sensor Network

Bo-Seung Kim*^o, Ki-Won Jung**^o, Yong-Tae Shin*, Young-Soo Son*** *Regular Members*

요 약

유비쿼터스 컴퓨팅을 위한 핵심기술 중의 하나는 WSN이다. WSN은 인간과 모든 사물의 인식 정보를 기본으로 주변의 환경정보까지 탐지하여 이를 실시간으로 네트워크에 연결하여 정보를 관리하는 것이다. 이러한 환경에서 기존의 연구는 RGF를 이용하여 목표영역 내 대부분의 센서 노드에게 전송경로를 설정할 수 있는 메커니즘을 제공한다. 그러나 목표영역과 상관없는 노드들까지 에너지 소비를 부담해야하는 문제가 발생한다. 따라서 본 논문에서는 WSN 환경에서 싱크로부터 설정된 특정 지역에서 데이터를 수집 할 수 있도록 고안된 프로토콜인 EEDCP를 제안한다. EEDCP는 WSN 지역에서 목표영역 내부에서만 데이터 수집을 위한 전송경로를 설정하는 프로토콜이다. 그리고 시뮬레이션을 통해 제안하는 기법이 기존 연구와 비교해 에너지 효율성 및 고립노드 발생 비율 측면에서 효율적임을 보였다.

Key Words : WSN, Ubiquitous, Sink, Target region, Data collection

ABSTRACT

The one of the core technologies for ubiquitous computing is WSN. WSN detects the information from the environment around them based on the information perceived from the human and all things and manages the information by connecting to the network in realtime. In this environment, the existing research provides the mechanism that most of sensor nodes in the target area can set the transmission path using RGF. However, unrelated to the target area will be responsible for the energy consumption of nodes that are the problem. In this paper, we propose EEDCP protocol. It is designed to collect data from the specific region on sinks in WSN. EEDCP is the protocol that sets the transmission path for collection data inside the target area in WSN. And this paper is shown that the proposed scheme is more efficient in the energy efficiency and the occurrence rate of isolated nodes by comparison with the previous studies through simulation.

1. 서 론

USN(Ubiquitous Sensor Network)은 기존의 통신 시스템과는 다르게 의사소통의 수단이 아니라 특정 환경이나 사물에 대한 정보수집을 그 목적으로

한다. 특히 센서 노드의 네트워크를 통해 원격지의 정보 수집이 가능하며 더 나아가 과학적, 의학적, 군사적, 상업적 용도 등 다양한 분야의 응용 개발에 활용될 수 있다^{1,2)}. Wireless Sensor Network(WSN)은 감지 기능을 갖는 초소형의 센서노드를 통해 사물

* 숭실대학교 컴퓨터학과 ({kdwon2002, shin}@ssu.ac.kr), (^o: 교신저자), ** 삼성전자 네트워크사업부 (kiwon.jung@samsung.com)
*** 정보통신산업진흥원 창의경영팀 (ysson@nipa.kr)

논문번호: KICS2010-11-547, 접수일자: 2010년 11월 18일, 최종논문접수일자: 2011년 1월 27일

이나 주변 환경에 대한 자료수집을 목적으로 한다. 센서 노드는 사물이나 주변 환경에 손쉽게 설치되어야 하며 소형화, 경량화 되어야한다. 또한 WSN은 매우 많은 센서 노드로 구성되고 배포 및 설치 후 회수하여 재사용 하는 것이 어렵기 때문에 저렴한 가격과 오랜 기간의 배터리 수명을 보장해야 한다¹⁾. 본 논문에서는 WSN 환경에서 현상을 감지하기 위해 목표(특정)영역을 설정하고 에너지 효율적인 데이터 수집을 위한 전송경로를 설정하는 EEDCP (Energy-Efficient Data Collection Protocol)를 제안한다. EEDCP는 기존의 목표영역 기반 질의 전송 프로토콜인 RGF와는 다른 방식으로 목표영역에서 전송경로를 설정하여 더 효율적으로 에너지를 활용할 수 있도록 고안된 프로토콜이다. 또한 EEDCP는 싱크로부터 데이터 수집을 위한 목표영역 설정 후 질의 전송을 위한 전송 경로 설정 시 목표 영역을 벗어나지 않으며 경로 설정 과정에서 중복 수신으로 인한 에너지 낭비를 방지한다. 또한 전송경로 설정 후 데이터 수집을 위한 취합 과정을 통해 에너지 효율적인 데이터 수집이 가능하다. 본 논문의 2장에서는 센서 네트워크의 구조를 분석하고 이를 통해 센서 네트워크 환경에서 프로토콜의 특성 및 고려사항을 기술한다. 또한 WSN의 대표적인 프로토콜들에 대한 여러 가지 특성 및 장단점에 대해 분석한다. 3장에서는 WSN에서 목표영역 내 에너지 효율적인 전송경로 설정 및 데이터 수집을 위한 프로토콜인 EEDCP를 제안하였다. 4장에서는 성능 분석을 위해 시뮬레이션 시행 방안을 제시하고 시뮬레이션 결과를 분석하였다. 마지막으로 5장에서는 본 논문의 정리와 향후 연구사항을 제시하면서 결론을 맺도록 한다.

II. 관련연구

2.1 무선 센서 네트워크의 특성

WSN 환경은 특정 현상을 감지하기 위한 센서 노드와 센서 노드로부터 수집한 데이터를 취합하여 사용자에게 제공하는 싱크로 구성된다. 센서 노드는 그 기능을 위해 마이크로프로세서, RF 트랜시버, 센서 및 ADC와 같은 장치들로 구성된다. 라우팅을 위한 연산이나 감지 데이터 처리와 같은 기능들은 마이크로프로세서에서 처리하고 센서 노드들 간의 감지 데이터 전송은 RF 트랜시버가 담당한다. 센서와 ADC는 현상을 감지하고 감지한 데이터를 마이크로프로세서가 처리할 수 있도록 디지털 데이터로 변환하는 기능을 한다. WSN 환경은 기존의 통신 시스템과 같이

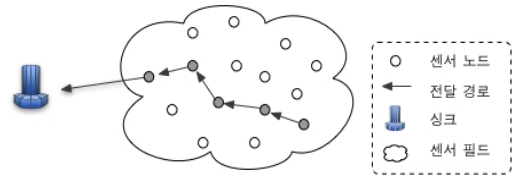


그림 1. 무선 센서 네트워크 구성

사용자간 의사소통이나 자료 전송을 위한 구조와는 매우 다르다. 그렇기 때문에 WSN에 있어 가장 기본 요소인 센서 노드는 기존의 통신 시스템과는 많은 차이가 있다. 센서 노드는 현상을 감지 하고자 하는 장소나 사물에 손쉽게 설치될 수 있기 위해 소형화, 경량화 되어야한다. 또한 WSN 환경은 매우 많은 수의 센서 노드로 구성되기 때문에 비용이 저렴해야 한다. 마지막으로 센서 노드는 사람의 접근이 용이하지 않은 환경에서 동작해야 하는 경우가 있기 때문에 일단 설치가 되면 오랜 시간동안 동작할 수 있도록 저 전력 설계가 매우 중요하다.

2.2 무선 센서 네트워크 프로토콜

2.2.1 플러딩(Flooding)

WSN 환경에서 플러딩은 제어 및 데이터 패킷을 브로드캐스팅하기 위해 주로 사용되고 있는 라우팅 기술이다. 플러딩은 패킷의 수신 노드가 중착 노드가 아니거나 패킷의 최대 홉 수에 도달하지 않았을 경우 자신의 모든 이웃 노드들에게 포워딩을 반복하며 패킷을 전달하는 기술이다³⁾. 인터넷에서는 호스트의 IP 주소를 통해 해당 호스트가 속해있는 네트워크 정보를 알 수 있기 때문에 주소는 호스트를 식별하는 용도뿐만 아니라 네트워크의 물리적인 위치를 판단할 수 있는 기준이 된다. 그러나 WSN 환경은 센서 노드의 위치가 외부 환경 요건에 의해 변할 수 있기 때문에 센서 노드의 주소는 단지 노드를 유일하게 식별하는 용도로만 사용되며 토폴로지나 네트워크 정보를 포함하고 있는 것은 아니다. 이와 같은 환경에서 플러딩은 특정 노드로의 루트를 탐색할 경우에 유용하게 사용할 수 있다. 플러딩은 WSN 환경에서 사용될 수 있는 다른 프로토콜들에 비해 동작 방식이 비교적 간단하기 때문에 쉽게 적용할 수 있는 장점이 있다. 그러나 플러딩은 감지 영역의 중복이나 중복 메시지에 대한 처리방안이 없기 때문에 노드의 불필요한 에너지 소모를 유발시킨다^{3,4)}.

2.2.2 SPIN^[4]

SPIN은 기존의 플러딩 프로토콜이 가지고 있던

데이터 중복, 감지 영역 겹침과 같은 문제들을 해결한다. 데이터 중복은 스스로부터 전송된 데이터가 다른 여러 센서 노드를 통해 중복 전송되는 문제를 말하며 감지 영역 겹침은 센서 노드간의 감지 영역이 겹침으로 인해 결과적으로 중복 데이터를 포함하게 되는 문제를 말한다. SPIN에서는 플러딩의 이러한 문제들을 해결하기 위해 감지 정보를 전송하기 이전에 센서 노드간 데이터 협상과정을 수행한다. 이는 센서 노드가 수집한 데이터에 대한 요약 데이터 즉, 데이터를 전송하기 이전에 수집한 데이터를 요약할 수 있는 간단한 자료를 만들어 이것을 미리 교환하는 것이다. 이러한 요약 정보들을 메타 데이터라 하며 메타 데이터의 교환 및 협상을 통해 중복 데이터를 제외한 각 노드가 필요로 하는 데이터만 전송하거나 수신할 수 있다. SPIN의 데이터 협상 과정은 3단계 (ADV-REQ-DATA)로 구성되며 ADV, REQ, DATA 메시지에 의해 데이터 협상 과정이 수행된다. SPIN의 또 다른 특징은 센서 노드 스스로 에너지 상태에 따라 전송경로 설정이나 데이터의 감지 활동을 조절할 수 있다는 것이다. 이러한 동작은 자원 관리자에 의해 수행되는데 센서 노드의 에너지 자원이 충분하지 못할 경우 자원 관리자는 센서 노드의 활동을 제한하게 된다. 그림 2는 SPIN에서 자원관리자의 역할을 나타낸다.

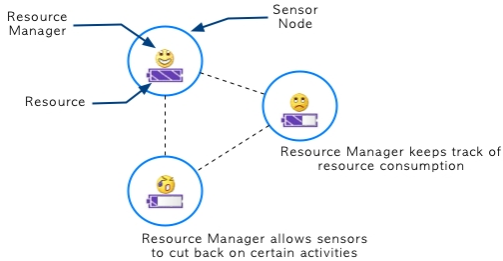


그림 2. 자원 관리자에 의한 감지활동 조절

2.2.3 Rumor⁽⁵⁾

Rumor Routing은 이벤트를 알리기 위한 에이전트와 질의를 통해 감지정보를 싱크에게 전달할 수 있다. 기존의 센서 네트워크 라우팅 프로토콜들은 싱크로부터 질의가 발생하면 이를 전달하고 수집한 감지 정보를 보고하기 위해 전송경로를 설정하는 과정으로 이루어지는데 반해 RR(Rumor Routing)은 질의뿐만 아니라 에이전트를 통해 감지 대상의 변화를 알리고 경로 정보를 제공하게 된다. 그림 3은 RR이 에이전트와 질의를 통해 감지정보를 전달하는 동작을

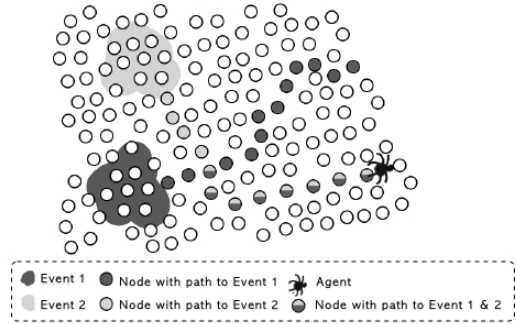


그림 3. 에이전트와 질의를 통한 감지정보 전달

나타낸다.

Rumor Routing에서 센서 노드는 특정 이벤트에 대한 내용을 기록하고 유지하게 된다. 이벤트는 감지 대상의 이동이나 현상의 변화에 의해 발생하고 다수의 이벤트가 존재할 수 있다. 이러한 이벤트 정보가 기록된 센서 노드에 질의가 도착하게 되면 이벤트 지역으로 전송하기 위한 처리를 수행하게 된다. 이러한 동작을 위해 각 센서 노드는 이벤트 테이블과 이웃노드 리스트를 유지하게 된다. 센서 노드가 이벤트의 존재를 알아차리면 자신의 이벤트 테이블에 새로 알게 된 이벤트에 대한 정보를 기록하게 된다. 또한 센서 노드는 이벤트 정보를 기록 후 이웃 노드에게 이벤트의 존재를 알리기 위해 에이전트라 불리는 이벤트 정보 패킷을 생성하고 전송한다. 에이전트는 이벤트 지역으로부터 생성되고 네트워크상에 이벤트의 존재를 알리는 것에 그 목적이 있다.

2.2.4 GEAR⁽⁶⁾

GEAR는 센서 네트워크 환경에서 특정 지역에 대한 감지정보를 수집할 수 있도록 전송경로를 설정하는 방법을 제안한다. 싱크는 감지정보 수집을 위한 목표영역을 설정하고 목표지역으로의 질의 전달을 위한 두 가지 패킷 전송방식을 사용한다. 싱크로부터 목표영역 부근까지 패킷을 전송하기 위한 방식으로써 'Forwarding'을 하게 되고 목표영역내의 모든 센서 노드에게 패킷을 전달하기 위한 'Disseminating'을 하게 된다. 목표지역으로 패킷을 전송하기 위한 'Forwarding'과정에서 센서 노드는 이웃 노드와의 에너지 소비에 관한 밸런스를 유지하게 된다. 이를 위해 센서 노드는 전송경로 설정을 위해 다음 노드를 선택하는 과정에서 이미 학습된 전송비용을 고려하게 된다. 그림 4는 전송비용을 고려하여 목표지역 R로 향하기 위한 다음노드 선택과정을 나타내는데 노드 3



그림 4. 전송비용을 고려한 다음노드 선택 과정

에서는 전송비용이 더 적은 노드 4를 선택하게 된다.

목표지역으로 패킷을 전송하기 위한 'Disseminating' 과정에서는 RGF (Recursive Geographic Forwarding) 방식을 사용하여 목표영역 내에 존재하는 센서노드에게 패킷을 전송하게 된다. 이렇게 목표영역을 분할하여 패킷을 전송 후 각각의 분할 지역에서 다시 영역을 분할하여 패킷을 전송하는 과정을 반복하게 되는데 이러한 과정은 영역을 분할하는 과정에서 서브영역 내에 센서 노드가 더 이상 존재하지 않음이 판단될 때까지 반복하게 된다.

III. 제안하는 데이터 수집 프로토콜

3.1 EEDCP(Energy-Efficient Data Collection Protocol)

WSN을 위한 네트워크 프로토콜 중 RGF(Recursive Geographic Forwarding)는 데이터 수집을 위해 목표 영역이 설정된 상황을 고려한 네트워크 프로토콜이다. RGF가 목표영역 내에서 질의를 전송하기 위해 영역을 순환적으로 분할하는 과정에서 불필요한 전송을 하게 되어 전체 네트워크의 에너지 불균형을 초래하게 되는 문제가 발생할 수 있다. 그림 5는 RGF의 전송경로 설정방식과 본 논문에서 제안하는 EEDCP의 전송경로 설정방식의 비교를 나타낸다.

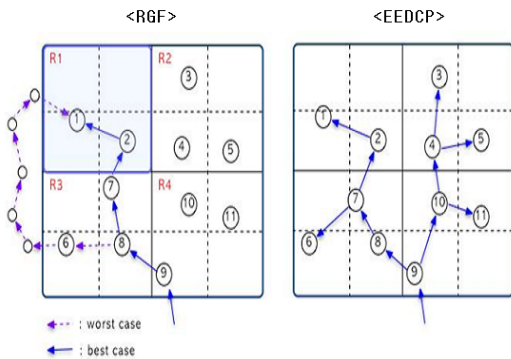


그림 5. RGF와 EEDCP의 비교

EEDCP(Energy-Efficient Data Collection Protocol)는 목표영역 내에서 데이터 수집을 위한 전달 경로를 설정하고 역 경로를 통해 수집한 데이터를 싱크에 전송한다. 전달 경로는 목표영역을 벗어 날 수 없으며 이를 위해 싱크는 목표영역에 대한 좌표정보를 질의패킷에 기록하여 센서 노드들에게 알린다. 또한 EEDCP는 1-홉 이웃노드 정보를 이용하여 센서 노드들 간의 전달 경로 중복을 방지하여 불필요한 에너지 소모를 줄인다. EEDCP는 그림 6과 같은 WSN 구성을 가정한다.

싱크로부터 발생한 질의패킷은 임의의 데이터 전송 프로토콜을 통해 목표영역 근방에 도달하게 되고 목표영역 내에서 최초로 질의패킷을 수신한 노드는 목표영역 내 전달경로 설정을 위한 과정을 수행하게 된다. EEDCP는 각각의 센서 노드가 이웃노드와의 적외선, 라디오 주파수 등을 이용해 일정 거리 내에서 통신이 가능하고 센서 노드들은 단일 현상만을 감지하는 것으로 가정하였다. 또한 각 노드는 자신의 위치 정보를 여러 가지 방법(예- 위성 등을 이용한 위치정보 제공, 지역 기반 위치정보 제공 등)에 의해 알고 있는 것을 전제하였다. 모든 센서 노드들은 한 센서네트워크에서 고유한 임의의 식별자가 부여되어 있으며 한 노드는 이웃 노드의 리스트 정보를 보유하고 있는 것으로 가정한다.

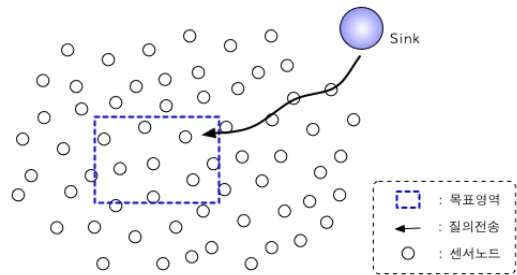


그림 6. EEDCP의 WSN 구성 환경

3.1.1 센서 노드 초기화 및 목표영역 설정

싱크는 센서 노드들에게 목표영역을 알리고 목표영역 내에서만 전달경로를 설정하기 위해 목표영역 좌표정보를 질의 패킷에 기록하여 전송하게 된다. EEDCP는 이러한 프로토콜 동작을 위해 제어 메시지를 사용하는데 표 1은 EEDCP의 제어 메시지를 나타낸다.

EEDCP는 프로토콜 동작 과정에서 제어 메시지와 함께 센서 노드의 정보 및 이웃노드 정보를 참조하게 된다. 이러한 정보들은 초기 설정에 의해 센서

표 1. EEDCP 제어 메시지

메시지	설명
INIT	전송경로 설정 메시지. 목표영역을 알리고 전송경로 설정을 위한 다음노드 선출을 지시한다.
ACT	전송경로 중복 설정 방지 메시지. INIT 메시지에 의한 전송경로 설정 후 경로 중복설정 방지를 위한 통지메시지.
DATA	데이터 수집 메시지. 전송경로 설정 완료 후 경로의 종단노드로부터 전송되며 노드들에게 데이터 전송을 알린다.

노드 스스로 유지하거나 주변의 이웃노드와의 주기적인 정보 교환을 통해 유지하게 된다. 표 2는 각 센서노드가 유지해야할 정보 유형과 그의 설명을 나타낸다.

각 센서노드가 유지하는 정보유형중 이웃노드 리스트[L(n)]은 각 센서 노드와 1-홉 거리에 있는 이웃노드들에 관한 정보를 포함한다. 표 3은 각 센서노드가 유지하는 정보유형중 이웃 리스트 정보유형을 나타낸다.

싱크에 의해 설정된 목표영역 좌표정보는 질의패킷에 기록되어 목표영역에 위치하는 센서 노드들에게 전송된다. 목표영역 내에 위치하는 센서 노드들 중 질의패킷을 최초로 수신한 노드부터 자신의 위치가

표 2. 각 센서노드가 유지하는 정보유형

정보 유형	표기	설명
센서 노드 식별자	[ID]	가정하는 WSN에서 고유한 센서 노드 식별자
좌표 정보	[C(x, y)]	각 센서 노드의 위치 정보
이웃 리스트	[L(n)]	각 센서노드가 유지하고 있는 이웃 노드 정보
부모노드 식별자	[PID]	센서 노드에게 패킷을 전송한 노드

표 3. 홉 이웃노드 정보유형

정보 유형	표기	설명
이웃노드 식별자	[NID]	이웃노드의 식별자
이웃노드 좌표	[Nx(x, y)]	목표영역내의 포함 여부를 판단하기 위한 이웃노드의 좌표
이웃노드 상태정보	[State] = {P, E, D}	전달경로 설정 여부를 판단하게 되는 이웃노드의 상태 정보
데이터 수신 플래그	[Rcv_flag]	전달경로를 통해 데이터 수신 시 데이터 취합을 위한 정보

목표영역 내에 위치하는지 판단하게 된다. 목표영역에 위치할 경우 전달경로 설정을 위한 다음노드를 선출하게 된다.

센서 노드가 유지하고 있는 이웃노드 정보를 통해 목표영역 내에 위치하는 이웃 노드들을 가려내고 전달경로 설정을 위한 다음노드로 마킹한다. 전달 경로 설정을 위한 다음노드 표기는 이웃노드 정보 테이블의 상태정보 즉, 'State' 항목에 기록한다. 'State' 항목은 Sensing- Enable을 나타내는 'E', Sensing-Disable을 나타내는 'D' 값이 설정될 수 있으며 부모노드 임을 나타내기 위한 'P' 값이 설정될 수 있다. 이웃노드 정보유형의 데이터 수신 플래그 항목 즉, 'Rcv_flag' 항목은 전달경로 설정 완료 후 수집한 데이터를 역경로를 통해 싱크로 전송할 경우 데이터 취합을 위한 장치이다. 전달경로 설정을 위해 Sensing-Enable 상태로 설정된 모든 노드로부터 데이터를 수신했을 경우에만 데이터를 취합하여 부모노드에게 데이터를 전송할 수 있다.

3.1.2 목표영역 내 전송경로 설정

질의패킷은 목표영역 내의 임의의 노드에게 전송되며 목표영역 내에서 가장 먼저 질의패킷을 수신하게 되는 노드부터 전송경로 설정 과정을 시작하게 된다. 그림 7은 목표영역 내에서 전송경로 설정을 나타낸다.

노드들은 제어 메시지에 의해 동작이 결정 되는데 INIT 메시지는 노드들 에게 목표영역을 알리고 전송 경로를 설정한다. 목표영역 내에서 경로가 설정 되면서 다른 이웃 노드에 의해 부모 노드를 두개 이상 갖게 되는 경로 중복 설정 문제가 발생할 수 있다. 이를 방지하기 위해 이미 전송 경로가 설정이 되어 하

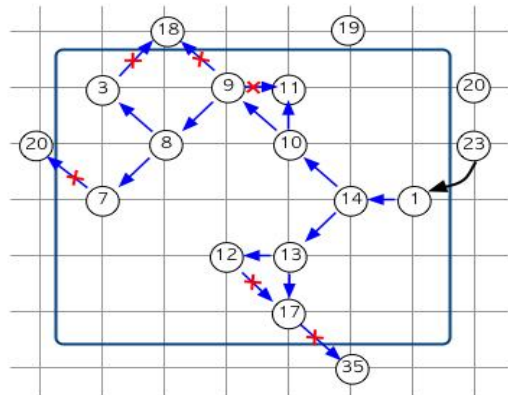


그림 7. 목표영역 내 전송경로 설정

나의 부모 노드 식별자를 획득한 노드에게 다른 이웃 노드로부터 경로 설정을 위한 INIT 메시지가 전송된다면 이를 거부하기 위해 ACT 메시지가 전송된다. 이웃 노드 리스트에서 목표영역에 속하는 이웃 노드가 존재 하지 않을 경우 노드는 경로 설정 과정을 종료하고 데이터 수집을 알리는 DATA 메시지를 부모 노드에게 전송한다. 그림 8은 노드가 전송경로 설정을 위해 INIT 메시지를 수신할 경우 수행하게 되는 알고리즘을 나타낸다.

목표영역 내에 위치하는 센서 노드에게 전송경로를 설정하기 위해 INIT 메시지를 수신한 센서 노드는 자신의 이웃노드 중에서 경로를 설정하기 위한 다음 노드를 선출해야 한다. 이웃노드 리스트 중 경로 설정을 위한 다음 노드가 되기 위해서는 두 가지 조건을 만족해야 한다. 첫째, 자신의 이웃 노드 중 부모 노드의 이웃이 아니면서 경로설정을 위한 패킷을 수신하지 않은 노드여야 한다. 둘째, 센서 노드는 목표영역 내에 위치하여야 한다. 전송경로를 설정하는 과정은 다음노드를 선출하기 위한 과정의 반복이며 전송경로 설정 알고리즘은 이 두 가지 조건을 만족하는지 여부를 판단하게 된다. 그림 8은 다음노드 선출을 위한 두 가지 조건(①, ②)을 나타낸다.

```

[정의]
L(n) : 노드 n 의 이웃노드 집합
L(P) : 부모노드의 이웃 리스트
PID : 노드 n 에게 패킷을 전송한 부모 노드
F : 전달 경로 설정을 위한 다음 노드들의 집합
TARGET : 데이터 수집을 위한 목표영역
Num_of_Candidates(Fx) : 전달 경로 설정을 위한 다음 노드들의 갯수 반환

[알고리즘]
Procedure FloodingPath_Set()
IF (n.parent == null)Then
Begin
    n.parent = PID;
    {F} = L(n) - L(P) - {P}; -----①
    IF ({F} != {∅})Then
        Begin
            i := 0;
            x := Num_of_Candidates(F);
            Loop
                IF (Fi.coordinate C TARGET) Then -----②
                    Fi.setState('E');
                Else Fi.setState('D');
                    i++;
            Until (i < x)
        End
    End
End
    
```

그림 8. 전송경로 설정 알고리즘

(1) 전송경로 설정을 위한 다음노드 선택 조건1

그림 8의 다음노드 선택 알고리즘①에서는 전송 가능한 다음노드들의 리스트를 반환한다. 즉, 현재

노드의 이웃 리스트에서 부모노드를 포함한 부모 노드의 이웃 리스트와 중복되는 노드를 리스트에서 제외하면 전송경로를 설정하기 위한 다음노드들의 리스트가 반환된다.

(2) 전송경로 설정을 위한 다음노드 선택 조건2

그림 8의 다음노드 선택 알고리즘②을 통해 얻은 전송 가능한 다음 노드들에게 모두 INIT 메시지를 전송하는 것은 아니다. 이 노드들 중 목표영역을 벗어난 노드 역시 전송경로에서 제외되어야 한다. 그렇기 때문에 선출된 다음노드들의 개수만큼 루프를 반복하며 센서 노드의 위치정보를 확인한다.

3.1.3 데이터 취합 및 전송

전송경로를 형성하는 과정에서 센서 노드는 자신의 이웃노드 정보를 참조한다. 이웃노드 정보에 부모 노드를 제외한 더 이상의 다른 이웃 노드가 존재하지 않거나 목표영역에서 벗어나는 노드만이 존재 한다면 노드는 전송경로 설정 과정을 종료한다. 그리고 데이터 수집과 전송을 알리기 위해 DATA 메시지를 부모 노드 즉, 경로의 역방향으로 전송한다. 수집한 데이터와 함께 부모 노드에게 DATA 메시지를 전송하기 위해서는 DATA 메시지 전송조건을 만족해야 한다. DATA 메시지의 전송조건은 노드의 이웃노드 정보 테이블에서 State 항목에 Sensing Enable을 뜻하는 값인 'E'로 설정된 노드의 개수만큼 DATA 메시지를 수신해야 부모노드에게 다시 DATA 메시지를 전송할 수 있는 것이다. 센서 노드는 전송경로를 설정한 노드로부터 DATA 메시지를 수신하면 이웃노드 정보 테이블의 Rcv_flag 항목을 SET 하게 된다.

그림 9는 전송경로 설정 완료 후 데이터 전송과 취합을 위한 DATA 메시지 전송 조건을 적용하는 모습을 나타낸다.

노드 10의 경우 이웃노드 정보 테이블에서 State 'E' 값으로 설정된 노드는 노드 9와 노드 11이다. 그래서 노드 10은 노드 9와 노드 11에게 전송경로를 설정했다. DATA 메시지 전송 조건에 의해 노드 10이 부모노드인 노드 14에게 데이터를 전송하기 위해서는 전송경로를 설정한 노드 9와 노드 11로부터 DATA 메시지를 수신해야 하는데 Rcv_flag 항목은 노드 11로부터 DATA 메시지 수신을 기다리고 있음을 나타낸다. 노드 10이 부모노드인 노드 14에게 DATA 메시지를 전송하기 위해서는 이웃노드 정보 테이블에서 노드 9와 노드 11의 Rcv-flag 항

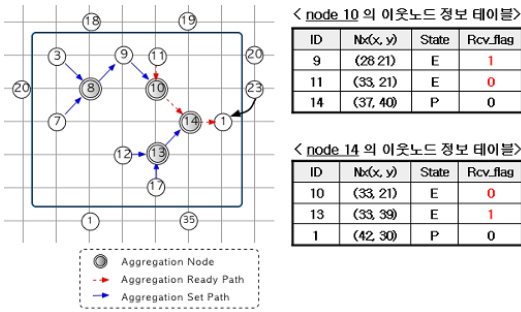


그림 9. DATA메시지 전송 조건

목이 둘다 모두 SET 되어야 한다. 노드14의 경우 이웃노드 중 노드 10과 노드 13에게 전송경로를 설정했지만 노드 10으로부터 아직 DATA 메시지를 수신하지 못한 상태이다. 따라서 노드 10으로부터 데이터를 수신하기 전까지 부모노드인 노드 1에게 수집한 데이터를 전송하지 못하게 된다.

IV. 성능분석

4.1 EEDCP 성능실험 결과

3장에서 제안한 데이터 수집 프로토콜의 성능분석을 위해 Java 언어를 이용해 시뮬레이터를 구현하였고 이를 통해 성능분석을 하였다. 시뮬레이터는 본 논문에서 제안하는 EEDCP와 비교대상으로서 RGF, Flooding 프로토콜들의 경로설정 과정을 수행하고 각 프로토콜별 성능데이터를 출력하여 EEDCP의 성능을 선행연구와 비교·분석하였다. WSN의 구성은 정사각형의 좌표공간에 N개의 센서 노드로 구성되는 것을 가정하고 노드 이동성은 고려하지 않았으며 각 노드는 임의의 방법을 통해 자신의 위치 정보를 취득하고 있는 것으로 가정하였다.

표 4와 같이 토폴로지와 에너지 모델, 가변값을 고정하여 각 프로토콜당 총 다섯가지 목표영역 크기에 대해 실험을 하게 되며 각 목표영역 크기별로 50회

표 4. 시뮬레이션 설정 값

실험 파라미터		실험값
토폴로지	노드 개수	300, 400, 500, 600, 700
	영역 크기	500 x 500 좌표, 단위 1
에너지 모델	초기 에너지	100 unit
	송·수신 에너지	송신 : 1unit 수신 : 1unit
실험 가변값	목표영역 크기	1x1, 2x2, 3x3, 4x4, 5x5(x100)
	노드 개수	300, 400, 500, 600, 700

의 반복실험을 통해 실험 평균값을 산출하였다. 또한 동일 목표영역 크기에 대한 반복 실험과정에서 매 회 시작단계에서 전체 센서노드의 배치를 재설정 하여 다양한 네트워크 환경에 대한 더욱 정확한 실험 결과를 산출하도록 하였다.

4.1.1 에너지 효율

(1) 목표영역의 크기변화에 의한 에너지 소모량

본 논문에서 제안하는 EEDCP는 목표영역 내에서만 전송경로를 설정하는 프로토콜이다. 목표영역의 크기변화에 따른 에너지 소모량을 분석하기 위해 동일한 크기의 목표영역에서 EEDCP와 RGF, Flooding 프로토콜의 동작을 실험하였다. 그림 10의 (a)는 EEDCP의 경로설정 알고리즘에 의해 목표영역 내에 전송경로가 설정된 모습이다. EEDCP는 전송경로 설정 시 에너지를 효율적으로 활용하기 위해 센서 노드간 전송경로 중복설정을 방지한다. 그림 10의 (b)는 기존의 Flooding 프로토콜에 의해 목표영역 내에 전송경로가 설정된 모습이다. 그림 10의 (a)EEDCP와 동일한 네트워크 환경에서 시뮬레이션하였지만 EEDCP와는 달리 다수의 중복경로가 설정되어 있음을 확인할 수 있다. 기존의 Flooding 프로토콜은 이러한 중복경로 설정으로 인해 센서노드의 에너지 자원을 효율적으로 활용하지 못하는 문제를 안고 있다.

그림 11은 RGF의 목표영역 내 전송경로가 설정되는 과정을 나타낸다.

RGF는 목표영역 내에 패킷을 전송하기 위해 목표영역을 분할하여 경로를 설정하는 과정을 여러 번 반복하게 된다. 그림 11의 'RGF 단계 1'에서는 최초의 목표영역을 분할하여 각 분할된 서브영역에 전송경로를 설정하는 모습을 나타낸다. 각 서브영역에 전송경로를 설정하기 위해 목표영역을 벗어난 우회경로를 설정한 모습이다. 'RGF 단계 2'와 'RGF 단계 4'의 경우 서브영역을 벗어나지 않은 경로를 설정하였지만 'RGF 단계 3'과 'RGF 단계 5' 역시 서브영

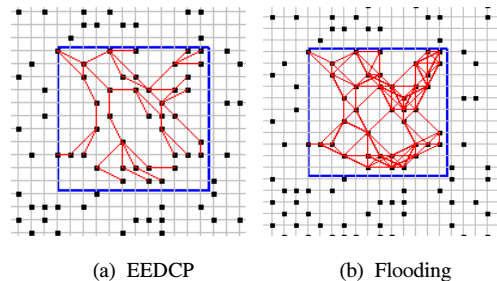


그림 10. EEDCP와 Flooding의 목표영역내 경로설정 모습

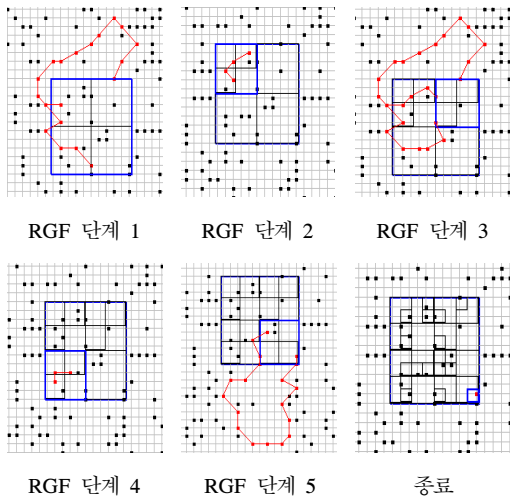


그림 11. RGF의 각 단계별 전송경로 설정 모습

역을 훨씬 벗어난 경로를 설정하고 있는 모습이다. 위 그림에서 보느냐와 같이 RGF는 패킷을 전송해야 할 지역에 실패 없이 전송경로를 설정하는 대신 목표 영역과 상관없는 센서노드를 경로설정에 참여시키기 때문에 전체 센서노드의 불필요한 에너지 소모를 유발 할 수 있다. RGF의 이러한 특징은 목표영역 내 고립노드 발생비율을 줄일 수는 있지만 결과적으로 전체 네트워크의 에너지 소모를 유발하여 더 많은 고립노드가 발생하게 되는 원인이 될 수 있다.

그림 12는 위 시뮬레이션상의 각 프로토콜별 동작을 기반으로 하여 동일한 네트워크 환경에서 목표영역의 크기별 평균 에너지 소모량을 나타낸 그래프이다. 이 실험을 위해 전체 센서노드는 400개로 설정하였고 목표영역의 크기조건을 달리 할 경우 각 프로토콜 당 매번 50회의 반복실험을 통해 실험결과 값을 산출하였다. 목표영역의 크기가 커짐에 따라 경로설

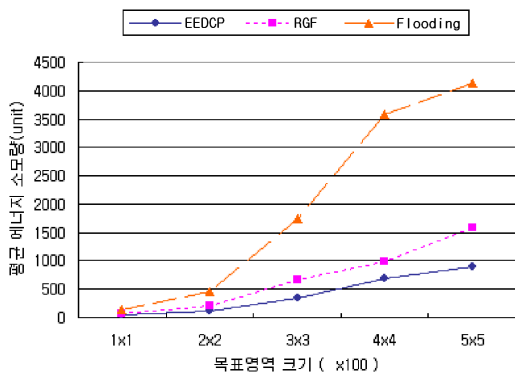


그림 12. 목표영역의 크기변화에 의한 에너지 소모량

정에 참여하게 되는 센서노드의 수가 증가하게 되고 따라서 평균 에너지 소모량 역시 증가하게 된다. EEDCP와 RGF의 경우 목표영역의 크기가 증가할 수록 평균 45% 정도의 에너지 소비 증가율을 보이고 있는데 모든 구간에서 EEDCP의 에너지 소모량이 RGF보다 더 적게 나타나고 있음을 알 수 있다.

(2) 전체 센서노드의 개수변화에 의한 에너지 소모량

그림 13은 전체 센서노드의 개수변화에 의한 에너지 소모량을 나타낸 그래프이다.

이 실험에서는 목표영역의 크기를 300x300으로 설정 후 센서노드의 개수 조건을 달리하여 각 프로토콜 당 50회의 반복실험 후 실험결과 값을 산출하였다. 그래프 상에서 센서노드의 개수가 300개 일때 EEDCP와 Flooding 보다 RGF의 평균 에너지 소모량이 많은 것으로 나타나는데 이는 세 프로토콜의 고립노드 발생비율을 도출한 시뮬레이션 결과와 비교해야 할 부분이다. 시뮬레이션에서 센서노드의 개수 조건을 300개에서 700개로 설정하였는데 센서노드의 개수가 적을수록 센서노드간의 배치가 조밀하지 않은 상황을 나타낸다. 이렇게 센서노드 간 밀집도가 낮은 상황에서는 제한적인 센싱 범위의 한계로 인해 주변노드를 인식할 확률이 상대적으로 낮아지게 되고 이는 고립노드를 발생시키는 원인이 된다.

EEDCP와 Flooding은 고립노드를 발견하기 위한 추가적인 동작을 하지 않지만 RGF는 목표영역을 멀리 벗어나는 경로를 탐색해서라도 목표영역 내 대부분의 센서노드에게 경로를 설정하게 된다. RGF의 이러한 동작은 목표영역 내 고립노드의 발생비율을 낮추는 역할을 하지만 상대적으로 전체 센서노드의

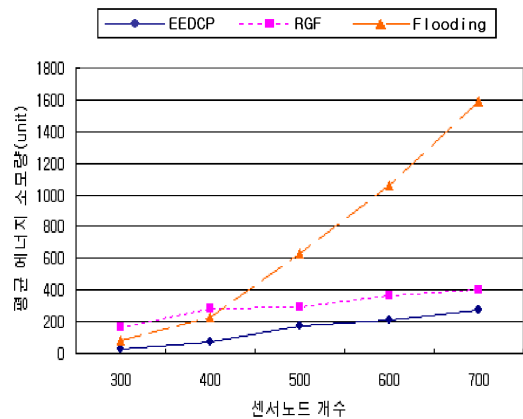


그림 13. 센서노드 개수변화에 의한 에너지 소모량

에너지를 더 많이 소비하게 된다. 그림 13의 그래프에서 센서노드의 개수가 300개, 400개 일 때 RGF의 에너지 소비율이 EEDCP와 Flooding보다 더 높게 나타난 이유는 RGF의 이러한 특징 때문인 것으로 분석된다.

4.1.2 고립노드 발생비율

(1) 목표영역의 크기변화에 의한 고립노드 발생비율
 센서노드간의 밀집도가 낮은 환경에서 목표영역 내에 경로설정을 하게 되면 그림 14에서와 같이 패킷전송을 위한 경로설정에 참여하지 못하는 노드가 발생할 수 있다. 이러한 고립노드의 발생 비율은 각 전송경로 설정 프로토콜의 성능을 나타내는 지표로 활용될 수 있다.

그림 15는 목표영역의 크기변화에 의한 고립노드의 발생 비율을 나타낸다

그래프를 보면 대체로 RGF가 다른 두 프로토콜에 비해 고립노드의 발생 비율이 낮게 나타난다. RGF는 이렇게 고립노드의 발생 비율은 낮지만 그림 12, 13에서 나타난 것처럼 전체 센서노드의 에너지

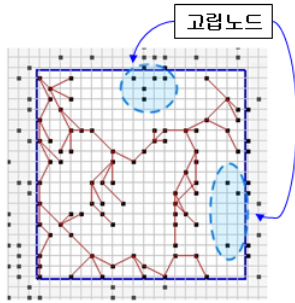


그림 14. 목표영역내의 고립노드

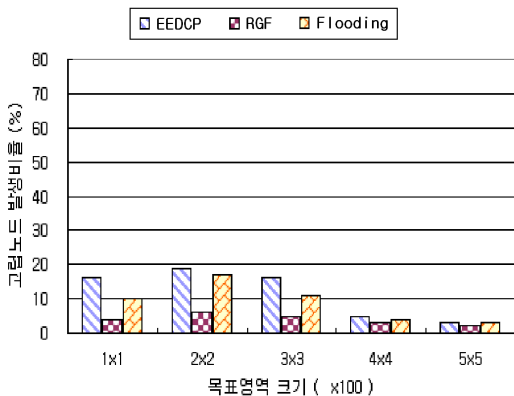


그림 15. 목표영역의 크기변화에 의한 고립노드 발생 비율

소모량은 EEDCP보다 높은 것으로 나타났다.

그림 15의 그래프는 고립노드에 관한 또 다른 분석 가능한 데이터를 제공하고 있다. 바로 목표영역의 크기가 커질수록 각 프로토콜별 고립노드 발생비율이 대체로 줄어들고 있지만 고립노드의 크기가 1 x 1 일 때, 2 x 2보다 오히려 더 적은 발생 비율을 보이고 있다는 점이 그것이다. 이는 목표영역의 크기가 증가할수록 반드시 고립노드의 발생 비율이 낮아지는 것이 아님을 나타낸다.

그림 16은 EEDCP가 시뮬레이션 상에서 이러한 상황을 나타내고 있는 모습이다.

목표영역의 크기가 1 x 1에서 2 x 2로 증가하였지만 고립노드는 오히려 증가하였다. 그러나 다시 목표영역의 크기가 3 x 3으로 증가한 후 전에 고립노드로 존재했던 노드들까지 모두 전송경로를 형성하고 있는 모습을 나타낸다. 이는 센서노드의 밀집도가 낮은 환경에서 고립노드를 포함하는 목표영역의 크기가 일정 비율 증가 후 고립노드와의 사이에서 중계역할을 할 수 있는 노드를 포함하지 못했기 때문에 고립노드가 더 증가하게 되는 것이다. 그러나 목표영역의 크기를 다시 확장하여(3x3노드중계역할을 할 수 있는 센서노드를 포함하게 되면 목표영역 내 대부분의 노드들이 전송경로를 형성하게 되어 고립노드의 발생이 줄어드는 것을 나타낸다. 이 실험은 센서노드 간 밀집도가 낮은 환경에서 고립노드의 발생 비율을 줄이기 위해 목표영역의 크기를 설정하는 기준자료로 활용될 수 있다.

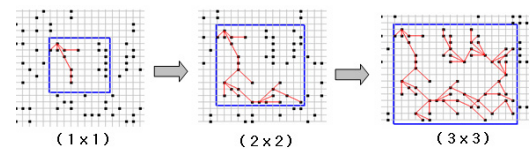


그림 16. 목표영역의 크기증가에 의한 고립노드 발생비율의 변화

(2) 전체 센서노드의 개수변화에 의한 고립노드 발생비율

그림 17은 전체 센서노드의 개수 변화에 의한 고립노드의 발생 비율을 나타낸다.

그림 17의 그래프에 의하면 고립노드의 발생 비율은 목표영역의 크기조건 보다 네트워크의 상태 즉, 전체 센서노드의 개수에 의한 영향이 더 큰 것으로 나타난다. 또한 이 그래프에서 역시 RGF의 고립노드 발생비율이 EEDCP 보다 훨씬 적게 나타나고 있

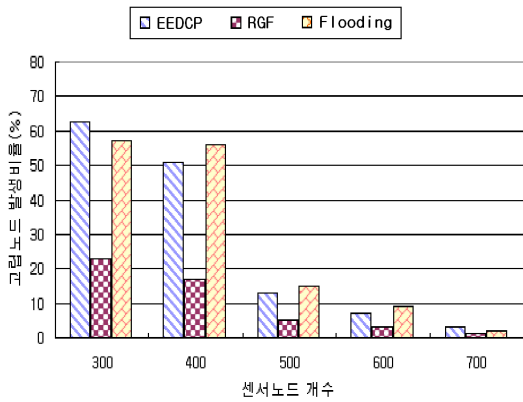


그림 17. 센서노드의 개수변화에 의한 고립노드 발생 비율

지만 센서노드의 개수가 많아질수록 차이가 줄어들고 있음을 알 수 있고 또한 그림 17과 같이 목표영역의 크기 설정 값에 의해 EEDCP와 RGF의 고립노드 발생비율을 비슷한 수준으로 조절 할 수 있을 것으로 보인다.

4.2 EEDCP 성능분석 결과

WSN 환경을 위한 데이터 수집 프로토콜인 EEDCP는 센서지역의 일부 영역에 대한 정보 수집을 목적으로 하는 응용프로그램에서 활용 될 수 있다. 이러한 동작을 위해 데이터를 수집하고자 하는 목표영역에서 에너지를 효율적으로 활용하는 전송경로 설정 알고리즘을 제안하고 목표영역 내 감지정보를 수집 및 취합하여 싱크로 전송하기 위한 메커니즘을 제안하였다. EEDCP의 목표영역 내 전송경로 설정 과정에 있어 센서노드의 에너지 효율적 활용성을 실험하기 위해 선행연구인 RGF, Flooding 프로토콜과 시뮬레이션을 통하여 성능을 비교 분석하였다. 4.1절의 실험은 목표영역 내 전송경로 설정 시 EEDCP와 RGF, Flooding 프로토콜의 에너지 소모율과 고립노드의 발생비율을 나타내며 이에 대한 분석을 통해 몇 가지 결과를 도출할 수 있다.

첫째, WSN 환경에서 목표영역 내 평균에너지 소모량은 목표영역의 크기와 전체 센서노드의 개수에 비례하여 증가하였다. 목표영역의 크기가 증가하게 되면 목표영역 내에서 전송경로 설정에 참여하게 되는 센서노드의 개수가 증가하기 때문에 전체 네트워크의 에너지 소모량도 증가하였다. 또한 전체 센서노드의 개수가 증가하게 되면 역시 전송경로 설정에 참여하게 되는 센서노드의 증가로 인해 전체 네트워크의 에너지 소모량이 증가하였다. 제안하는 EEDCP와 선행연구인 RGF, Flooding 프로토콜의 경우 전

체 센서노드의 평균 에너지 소모량을 측정된 실험에서 EEDCP가 RGF와 Flooding 프로토콜에 비해 에너지를 효율적으로 활용하는 것을 확인 할 수 있었다.

둘째, WSN 환경을 위한 목표영역 내 전송경로 설정 및 감지정보 수집 효율을 위해서는 목표영역 내 고립노드 발생 비율을 최소화해야 한다. 고립노드의 발생 비율은 목표영역의 크기가 증가 하거나 전체 센서노드의 개수가 증가 하는 것에 의해 비례적으로 가감 하지 않는 것으로 확인 되었다. 고립노드의 발생 비율은 목표영역의 크기가 증가할수록 높아지는 경향을 보이기도 하고 낮아지는 경향을 보이기도 하는데 이는 목표영역의 크기가 변동되는 상황에서 고립노드를 감지할 수 있는 중계노드의 포함여부에 의해 결정되는 것으로 확인 되었다. 전체 센서노드의 개수 변화에 의한 고립노드 발생비율을 나타낸 실험에서 EEDCP, RGF, Flooding 세 프로토콜 모두 센서노드의 개수가 증가할수록 고립노드의 발생비율이 줄어드는 것으로 나타났다. 이는 목표영역 내 센서노드 간 밀집도가 증가하여 서로 충분한 감지범위 내에 위치함으로써 인해 고립노드의 발생 확률이 줄어드는 것으로 분석된다.

V. 결 론

유비쿼터스 컴퓨팅을 위한 핵심기술 중의 하나는 WSN이다. WSN이란 인간과 모든 사물의 인식 정보를 기본으로 주변의 환경정보까지 탐지하여 이를 실시간으로 네트워크에 연결하여 정보를 관리하는 것을 말한다. 이러한 WSN은 현재 활발히 연구가 진행되고 있으며 주로 데이터 수집을 위한 효율적인 경로 설정 메커니즘이나 에너지의 효율적 활용과 관련된 부분이다. WSN은 데이터 수집이라는 목적을 위해 한번 배치가 되고 나면 에너지를 보충하거나 수거가 불편하다. 따라서 시간이 지남에 따라 에너지가 고갈되는 노드가 발생하게 되고 네트워크 전반적으로는 노드 간 배치가 조밀하지 않게 위치하는 상황이 될 것이다. 이러한 환경에서 기존의 연구는 RGF를 이용하여 목표영역 내 대부분의 센서 노드에게 전송경로를 설정할 수 있는 메커니즘을 제공하지만 목표영역과 상관없는 노드들까지 에너지 소비를 부담해야하는 문제가 발생한다.

본 논문에서는 WSN 환경에서 싱크로부터 설정된 특정 지역에서 데이터를 수집 할 수 있도록 고안된 프로토콜인 EEDCP를 제안한다. 이를 위해 센서 네트워크 지역에서 데이터 수집을 위한 목표영역을 설

정하고 목표영역 내부에서만 데이터 수집을 위한 에너지 효율적인 전송경로 설정 프로토콜을 제안하였다. 제안한 EEDCP의 성능분석을 위해 RGF, Flooding 프로토콜들의 경로설정 과정을 수행하고 전체 센서노드의 개수 변화에 의한 각 프로토콜별 평균 에너지 소모량과 고립노드 발생비율을 측정하였다. 측정 결과, EEDCP가 RGF와 Flooding 프로토콜에 비해 센서노드의 개수가 증가할수록 고립노드의 발생 확률을 낮추면서 에너지를 효율적으로 활용하는 것을 확인 할 수 있었다.

참 고 문 헌

[1] Jamal N. Al-karaki, Ahmed E. Kamal, "Routing Techniques in Wireless Sensor Networks : A Survey," IEEE Wireless Communications, December 2004.

[2] I. Akyildiz, "A Survey on Sensor Networks," IEEE Commun. Mag., Vol.40, No.8, pp.102-114, Aug. 2002.

[3] H. Lim and C. Kim, "Flooding in Wireless Ad Hoc Networks," Computer Communications Journal, Vol.24, No.3, pp.353-363, Feb. 2001.

[4] J. Kulik, W. R. Heinzelman, and H. Balakrishnan, "Negotiation-Based Protocols for Disseminating Information in Wireless Sensor Networks," Wireless Networks, Vol.8, pp.169-185, 2002.

[5] D. Braginsky and D. Estrin, "Rumor Routing Algorithm for Sensor Networks," in Proc. 1st Wksp. Sensor Networks and Apps. Atlanta, GA, Oct. 2002.

[6] Y. Yu, D. Estrin, and R. Govindan, "Geographical and Energy-Aware Routing: A Recursive Data Dissemination Protocol for Wireless Sensor Networks," UCLA Comp. Sci. Dept. tech. rep., UCLA-CSD TR-010023, May 2001.

[7] C. Schurgers and M.B. Srivastava, "Energy Efficient Routing in Wireless Sensor Networks," in MILCOM Proc. Commun. for Network-Centric Ops.: Creating the Info. Force McLean, VA, 2001.

[8] 정윤수, 이상호, "무선 센서 네트워크에서 효율

성을 향상시킨 위치기반 라우팅 알고리즘," 한국통신학회논문지, 제32권 제1호, pp.31-39, 2007.

[9] 정필성, 윤찬영, 오영환, "무선 센서 네트워크에서 중앙 관리 방식을 통한 에너지 효율 개선 라우팅 프로토콜," 한국통신학회논문지, 제34권 제6호, pp.156-163, 2009.

[10] 이성주, 김성천, "무선 센서 네트워크에서의 에너지 효율적인 불균형 클러스터링 알고리즘," 정보처리학회논문지, 2009.

[11] 백장운, 남영진, 정승완, 서대화, "무선센서네트워크에서 신뢰성있는 데이터수집을 위한 고장감내형 데이터 병합 기법," 한국통신학회논문지, 제35권 제9호, pp.1295-1304, 2010.

[12] 손태식, 한규석, "센서 네트워크에서 이동성이 있는 센서 노드의 효율적인 인증 방안," 한국통신학회논문지, 제35권 제5호, pp.833-839, 2010.

[13] Qiang Gao, Yi Zuo, Jun Zhang, Xiao-Hong Peng, "Improving Energy Efficiency in a Wireless Sensor Network by Combining Cooperative MIMO With Data Aggregation," Vehicular Technology, IEEE Transactions on, Vol.59, pp.3956-3965, 2010.

[14] Bouabdallah, F., Bouabdallah, N., Boutaba, R., "On Balancing Energy Consumption in Wireless Sensor Networks," Vehicular Technology, IEEE Transactions on, Vol.58, pp.2909-2924, 2009.

[15] Chi-Tsun Cheng, Tse, C.K., Lau, F.C.M., "An Energy-Aware Scheduling Scheme for Wireless Sensor Networks," Vehicular Technology, IEEE Transactions on Vol.59, pp.3427-3444, 2010.

[16] Riaz, N., Ghavami, M., "An Energy-Efficient Adaptive Transmission Protocol for Ultrawideband Wireless Sensor Networks," Vehicular Technology, IEEE Transactions on Vol.58, pp.3647-3660, 2009.

김 보 승 (Bo-Seung Kim)

정회원



2002년 2월 영동대학교 컴퓨터
공학과 공학사
2004년 8월 숭실대학교 컴퓨터
학과 공학석사
2005년 3월~현재 숭실대학교
컴퓨터학과 박사과정

<관심분야> 멀티캐스트, IPTV, 센서네트워크, IPv6,
DNS, 홈네트워크

신 용 태 (Shin Yong Tae)

정회원



1985년 2월 한양대학교 산업공
학과 공학사
1990년 12월 Iowa대학교 전산
학과 공학석사
1994년 5월 Iowa대학교 전산
학과 공학박사
1995년 3월~현재 숭실대학교
컴퓨터학부 교수

<관심분야> 멀티캐스트, IPv6, RFID/USN, 네트워
크 보안

정 기 원 (Ki-Won Jung)

정회원



2004년 2월 대전대학교 컴퓨터
공학과 공학사
2006년 2월 숭실대학교 컴퓨터
학과 공학석사
2006년 3월~현재 삼성 전자
네트워크사업부

<관심분야> USN, WiMAX/WiBro, 네트워크 보안

손 영 수 (Young-Soo Son)

정회원



1978년 2월 한양대학교 전자공
학과 공학사
2004년 2월 한양대학교 경영대
학원 전략벤처 경영학 석사
2007년 2월 숭실대학교 컴퓨터
학과 공학박사
1998년 3월~현재 정보통신 산
업진흥원 수석 연구원

<관심분야> 기술경영, 평가, 컨설팅, 감리, IT홍보,
정책개발