

유비쿼터스 센서 네트워크 환경에서 노드의 효율적인

에너지 활용을 고려한 데이터 수집 프로토콜

전진영⁰, 서유화, 강정호, 신용태
충실대학교

{nurnady⁰, zzarara, kjho80, shin}@cherry.ssu.ac.kr

Energy Efficient Data Collection Protocol in Ubiquitous Sensor Network

Jinyoung Jeon⁰, Yuhwa Seo, Jungho Kang, Youngtae Shin
Dept. of Computing, Soongsil University

요 약

최근의 전자기술은 다기능 센서노드들로 구성된 유비쿼터스 센서 네트워크의 실현을 가능케 하고 있다. 이러한 USN은 여러 가지 특성이 있지만 그 중에서도 효율적인 에너지 활용 능력에 대한 요구사항은 매우 중요시 된다. 본 논문에서는 이러한 USN의 특성을 고려한 네트워크 계층의 프로토콜들을 살펴보고 이를 바탕으로 USN 환경에서 노드의 효율적인 에너지 활용을 고려한 데이터 수집 프로토콜인 IELDCP를 제안한다.

1. 서 론

최근의 무선통신 및 전자 기술은 작고 짧은 거리에서 통신이 가능한 저비용, 저전력, 다기능 센서 노드들의 개발을 가능케 하고 있다. 일반적으로 현상감지부, 데이터 처리부, 무선 통신부로 이루어진 이 작은 센서노드들은 유비쿼터스 센서네트워크(USN: Ubiquitous Sensor Network)에 대한 현실화를 앞당기고 있다. 센서네트워크는 특정 현상을 감지할 다수의 센서노드들이 넓은 지역에 임의로 배치되어 구성된 무선 네트워크이다. 이러한 센서네트워크는 국방분야, 건강분야, 일기예보, 교통지역, 재난지역, 핵발전소 등에서 위급한 현상을 감지하거나 주변 상황을 인식하기 위한 여러 어플리케이션에서 적극 활용될 수 있다.

USN이 구성되기 위해서 센서노드들은 필수적으로 네트워크 프로토콜과 자신의 상태를 운용하는 알고리즘을 구현해야 한다. 이 프로토콜과 알고리즘을 설계할 때 센서네트워크는 전통적인 네트워크와는 다른 특성들이 몇 가지 있기 때문에 이들을 파악하고 설계에 반영하는 것은 매우 중요한 일이다. 본 논문에서는 이러한 센서네트워크의 특성에 적합하도록 고안된 데이터 수집 프로토콜인 IELDCP를 제안한다.

본 논문은 2장에서 유비쿼터스 센서 네트워크의 특성을 파악한 후 이와 관련된 네트워크 계층의 프로토콜들을 소개한다. 3장에서는 노드의 정보 요구도와 에너지의 수준차를 이용한 데이터 수집 프로토콜인 IELDCP를 제안한다. 마지막으로 4장에서는 결론 및 향후 연구방향으로 구성되어 있다.

2. 관련 연구

2.1 유비쿼터스 센서 네트워크의 특징

유비쿼터스 센서 네트워크의 일반적인 특징은 그 성향이 비슷한 애드혹(Ad-hoc) 네트워크에 비해 상대적으로 그 규모가 크고 많은 센서노드들이 조밀하게 배치될 수 있다는 점이다. 센서노드는 열악한 환경 속에서 쉽게 그 기능을 못할 수 있고 네트워크 토폴로지가 매우 빈번하게 변경될 수 있다. 기존의 네트워크는 일대일 통신이 고려대상이었지만 이 네트워크에서는 브로드캐스팅 패러다임이 주로 이용된다. 센서노드들은 전

원, 메모리를 비롯한 하드웨어 자원뿐만 아니라 계산능력 또한 매우 제한되는 것이 일반적이다. 그리고 센서노드들은 그 수가 대단히 많기 때문에 IP 주소와 같은 국제적인 식별자를 갖는 것이 매우 어려울 수 있다.[1]

기존의 무선 네트워크가 추구하는 일차적인 목적은 노드의 이동성이 보장되는 상태에서 유선망(Wired Network)과 유사한 수준의 높은 성능(Throughput)과 낮은 지연(Delay)의 서비스를 제공하고 효율적으로 대역폭을 활용하는데 있었다. 그러나 센서 네트워크는 네트워크 전체의 수명(Lifetime)을 연장시키는 것에 더 큰 관심을 가지며 이를 위해 대역폭 최적화나 높은 성능, 낮은 지연 등을 위한 네트워크 운용 알고리즘을 각 노드의 에너지 보존을 위해 양보할 수도 있다. 이렇게 에너지의 효율적인 활용이 중요하기 때문에 센서네트워크를 위한 프로토콜들은 에너지를 고려한 경우가 많다.[2]

2.2 USN 환경에서 네트워크 계층 프로토콜

(1) 플러딩(Flooding)

플러딩은 가장 널리 알려진 전통적인 네트워크 계층의 프로토콜이다. 노드가 자신의 센싱 정보를 모든 이웃노드에게 전달하는 방식으로 구성된 플러딩은 간단한 동작방식이지만 센싱 정보가 반드시 목적지에 도착하고 라우팅 패스(Path) 설정이나 토폴로지 구성을 위한 추가 비용이 들지 않는다는 장점이 있다.

그러나 노드의 에너지 활용이 중요한 센서 네트워크에서 불필요한 통신을 유발해 에너지 낭비가 큰 플러딩은 그대로 적용되기 어려워 있다. [1]

(2) LEACH

LEACH(Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy)는 일정 범위의 클러스터를 구성하고 클러스터 구성 노드들은 자신의 감지 데이터를 임의로 선출된 클러스터 헤드로 전송하여 이렇게 취합된 감지 데이터들을 클러스터 헤더는 직접 사용자 노드에 전달하는 방식으로 운용된다. 이는 불필요한 통신을 줄여 플러딩에 비해 월등히 높은 에너지 보존을 할 수 있는 장점이 있다.

LEACH의 단점은 모든 노드가 사용자 노드와 통신이 가능해야 한다는 가정이 비현실적이고 클러스터 헤더로 선출된 노드의 에너지가 빠르게 소모될 가능성이 있다. [1]

(3) Direct Diffusion

DD(Direct Diffusion)는 역방향 라우팅 패스를 설정하기 위해 인터레스트(Interest)라고 불리는 특정 지역의 센싱 데이터에 대한 요청 메시지를 만들어 네트워크 전체에 플러딩 한다. 이를 통해 요청 노드로부터 특정 지역까지의 임시 패스에 해당하는 여러 개의 그라디언트(Gradient)들이 생성되고 해당 지역의 노드들로부터 역방향으로 특정 그라디언트를 선택해 하나의 패스를 선택하는 보강단계(Reinforcement)를 거쳐 결정된 하나의 패스로 데이터를 전달하는 방식이다. 이는 비교적 간단한 방법으로 패스를 설정하기 때문에 많은 에너지를 보존할 수 있다.

그러나 해당 지역 노드들에 대한 데이터 수집 방법이 없고 센서 노드들 간의 시간 동기화를 가정하고 있는데 이는 USN에서 쉽게 구현이 어렵다. [3]

앞서 살펴본 USN 환경에서의 네트워크 프로토콜들의 주요 관심사는 에너지의 효율적인 활용에 있음을 알 수 있다. 본 논문에서는 이러한 에너지의 효율적인 활용을 고려한 데이터 수집 프로토콜을 제안한다.

3. 제안하는 데이터 수집 프로토콜

3.1 IELDCP

IELDCP(Information and Energy Level Data Collection Protocol)는 물리 중력에 의해 높은 곳에서 낮은 곳으로 흐르는 것과 유사하게 USN에 정보 요구도와 에너지 수준에 대한 수준차를 생성하여 이 차이를 통해 특정 지역에 대한 센싱 데이터들을 취합해 사용자 노드에 전달하는 방식이다. IELDCP는 각 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 전제하였고 모든 노드에는 한 센서 네트워크에서 고유한 임의의 식별자(identification)가 부여되어 있으며 한 노드는 이웃 노드의 리스트를 보유하고 있는 것을 가정하였다.

(1) 센서 노드간 수준차 생성

가. 에너지 레벨 수준차 생성

노드 N은 에너지 레벨 업데이트 메시지(ELevelUpdate)를 통해 자신의 에너지 레벨을 이웃 노드들에게 주기적으로 전송하여, 이웃 노드들에게 자신의 에너지 수준을 알린다. 이렇게 공유된 각각의 노드에 대한 에너지 레벨은 네트워크 전체적으로 노드 간 에너지의 고저차(高低差) 지도를 생성한다.

노드 N이 얼마나 자주 이웃노드들에게 에너지 레벨값을 전송할 것인가는 네트워크 전체의 성능과 수명에 영향을 미칠 수 있기 때문에 최적화가 필요한 요소이다. 이렇게 공유한 에너지 레벨은 각 노드마다 에너지 레벨 테이블로서 저장하게 된다.

나. 정보레벨 수준차 생성

정보의 레벨은 정보의 요구도를 표현한 값으로 어떠한 노드가 특정 지역의 현상에 대한 정보를 취득하고자 하는 경우에는 그 지역에 대한 정보 레벨을 0값으로 설정하게 된다. 정보 레벨은 1단계 정보 요구 메시지(Phase1-DREQ)가 사용자 노드

로부터 네트워크 전체로 플러딩 되면서 생성된다. 감지 정보는 이 값이 큰 쪽에서 작거나 같은 쪽으로 전달되며 각 노드는 특정 지역의 정보(예-2차원 평면의 좌표값 혹은 좌표 영역), 송신노드 식별자, 레벨값, IL-TTL(Information Level-TTL)값, 이웃 노드들의 식별자와 레벨값들을 유지하게 된다. 예를 들어 임의의 노드 N_i 가 가지는 이러한 정보를 테이블로 나타내 보면 [표-1]과 같이 2중 테이블 구조로 표현될 수 있다.

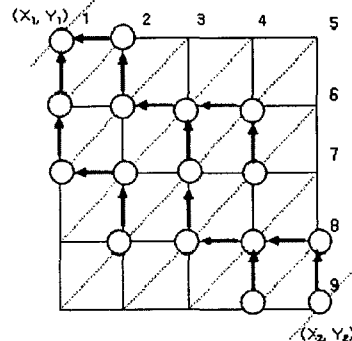
위치정보 $x,y-x',y'$	송신노드 식별자	레벨값	IL-TTL	외부 인덱스
0,3-3,0	n0	3	4	1
4,3-3,4	n2	8	2	2
인덱스 \ 이웃노드식별자	n5	...		n_i
1	4	...		L_{1i}
2	3	...		L_{2i}

[표-1] 정보 레벨 테이블(L_{1i} , L_{2i} 은 정보 레벨을 나타내는 자연수)

레벨 값이 0인 노드부터 홉수(hop count)마다 레벨값이 1씩 증가하고 네트워크의 모든 노드는 IL-TTL 시간동안 특정 지역에 대한 정보레벨값을 유지하게 된다. 목표 영역 안에 있는 노드들은 같은 정보레벨값을 갖게 된다. 모든 노드는 자신의 이웃노드의 정보레벨값을 알고 있으며 이는 1단계 데이터 요구 메시지(Phase1-DREQ)가 전체 네트워크로 플러딩 될 때를 통해 알 수 있고 자신의 상태에 변동이 생겼을 경우(예-에너지 레벨이 임계치에 도달했을 때) 능동적으로 정보 레벨 업데이트 메시지(LevelUpdate)를 이용해 이웃노드에게 자신의 정보 레벨값을 알려 이웃노드와 레벨값을 공유한다.

(2) 목표 영역 내 데이터 취합

목표 영역 내에 있는 노드들이 각자의 감지 정보를 전달하기 위해 사용자 노드로의 복수 개 데이터 패스를 설정하는 하는 것은 에너지 활용 관점에서 효율적이지 않다. 대신 이들의 감지 정보를 취합하여 하나의 대표 노드가 사용자 노드로 전달하면 에너지 소모를 줄일 수 있다. 이를 위해 IELDCP에서는 2단계 데이터 요구 메시지(Phase2-DREQ)를 통해 대각선 레벨을 설정하고 데이터 취합 메시지(DA)를 통해 감지 정보를 하나의 노드로 취합한다. [그림-1]은 이러한 과정을 나타내고 있다.



[그림-1] 목표 영역 내 데이터 취합 예

목표 영역 내 어떠한 노드가 어떤 대각선 레벨에 포함되는지 판

만하는 기준과 데이터 취합을 위한 감지 정보 전달 규칙은 [그림-2]와 같다.

[가정]
 목표 영역 좌표: $(X_1, Y_1)-(X_2, Y_2)$
 대각선의 개수: $|X_2 - X_1| + |Y_1 - Y_2|$
 노드 Ni의 좌표: (X_i, Y_i)

1) 어떠한 노드의 대각선 레벨을 판단하는 알고리즘

$-V_i \leq Y_i - X_i - D_n \leq +V_i$ -----(1)

만약 Ni의 좌표가 (X_i, Y_i) 라고 했을 때
 부등식 (1)을 만족하면 Ni의 대각선 레벨은 D_n 으로 판단
 (단, $0 \leq V_i \leq 0.5$, V_i 는 조정 가능한 판단 임계값,
 D_n 는 $|Y_1 - X_1|$ 에서 $|Y_2 - X_2|$ 까지 1씩 증가하는 정수,
 n 은 1부터 대각선 개수까지의 정수)

2) 데이터 취합을 위한 감지 정보 전달 규칙

① 데이터 취합을 위해 노드들은 자신의 대각선 레벨 값과 반비례 하는 $1/D_n \times T$ 시간동안 대기
 (단, T는 조정 가능한 상수)

② 자신의 센싱 정보를 Phase2-DREQ 메시지를 보낸 이웃 노드 중 자신보다 작은 대각선 레벨에 있는 노드를 선택해 감지 정보 전달

[그림-2] 목표 영역 내 데이터 취합 메커니즘

(3) 정보 전달

센서 네트워크에 목표영역에 대한 정보 레벨과 에너지 레벨의 고차자가 생성되고 목표 영역 내 데이터 취합이 이루어진 후에는 취합된 데이터를 사용자 노드에 전달하기 위해 패스를 설정해야 한다. 이 패스는 취합 노드로부터 사용자 노드까지 역방향 패스 (Reverse Path)를 설정하여 취합 데이터들을 전달한다. 패스를 설정할 때 한 노드 Ni가 다음 노드를 결정하는 알고리즘은 [그림-3]과 같다.

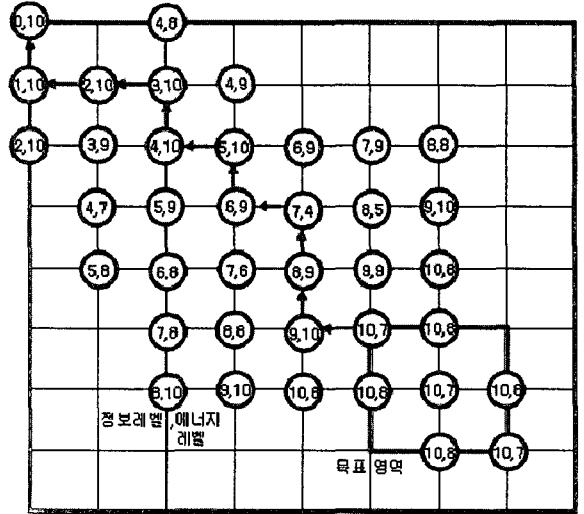
```

Next Node = Min(Cost(N))
Cost(N) = 1 / {  $\alpha \times ELevel(LowerLevel(N)) + (1-\alpha) \times ILevel(LowerLevel(N))$  }
LowerLevel (Node N) {
loop
if iLevel(N) > iLevel(Nx)
then Lower_Level_List.Add(Nx)
x++
until Number_of_Neighbors(N)
return Lower_Level_List
}
//Nx: N의 x 번째 이웃 노드
//ELevel: 에너지 레벨 반환
//ILevel: 정보 레벨 반환
    
```

[그림-3] 패스 설정을 위한 다음 노드 선택 알고리즘

N의 이웃 노드 중에 자신의 정보레벨보다 작은 값을 가지는 노드들이 있다면 이 노드들 중 Cost(N)값이 가장 작은 노드를 다음 노드로 선택하게 된다. Cost(N)값은 이웃 노드들 중 패스 설정을 위한 다음 노드의 비용을 의미하는 값으로 각 노드의 정보 레벨과 에너지 레벨에 의해 결정되는 값이다. α 값은 변경이 가능한 조정

상수로서 에너지 레벨이나 정보 레벨 중 가중치를 둘 수 있다. 본 논문에서는 α 를 1로 가정하여 다음 노드를 선택하는데 자신보다 정보 레벨이 낮은 이웃 노드들 중 에너지 레벨이 가장 큰 노드가 다음 노드로 선택되게 된다. [그림-4]는 이렇게 설정된 패스에 의해 정보가 전달되는 과정을 나타낸다.



[그림-4] 역방향 패스 설정을 통한 정보 전달

이렇게 설정된 패스에 속한 노드들은 자신의 라우팅 테이블을 지역정보, 송신노드, 수신노드, 다음노드 단위로 저장해 관리한다. 이러한 정보 전송이 일어날 때 각 노드는 자신의 정보 레벨과 에너지 레벨을 정보 패킷에 첨부해 다음 노드에게 전송한다. 이는 추가적인 제어 패킷 없이 자신의 상태를 이웃 노드에게 알려 패스의 신선도를 유지한다.

4. 결론 및 향후 연구 방향

본 논문은 유비쿼터스 센서 네트워크 환경의 특성을 살펴보고 이를 고려한 네트워크 프로토콜들을 알아보았다. USN에서는 무엇보다도 노드의 에너지 활용이 중요하기 때문에 각 프로토콜들은 에너지의 소모를 줄이기 위한 메커니즘을 제공한다. 본 논문에서는 노드의 효율적인 에너지 활용을 고려한 데이터 수집 프로토콜인 IELDCP를 제안하였다. IELDCP는 목표 영역 내 데이터를 취합한 감지 정보들을 정보 요구도와 에너지 레벨의 수준차를 이용해 사용자 노드로 전달할 수 있는 데이터 수집 프로토콜이다.

향후 IELDCP에 대한 시뮬레이션을 도구를 생성하여 에너지 효율과 목표 영역 내 데이터 취합을 위한 지연시간, 정보 및 에너지 수준차 생성을 위한 추가 비용 등을 분석하고자 한다.

참고문헌

[1] Akyildiz, I.F., W. Su, Y. Sankarasubramaniam, E. Cayirci, "A Survey on Sensor Networks", IEEE Communications Magazine, pages: 102-114, August 2002.
 [2] Qiangfeng Jiang and D. Manivannan, "Routing Protocols for Sensor Networks," In Proceedings of CCNC 2004, Jan. 2004.
 [3] Chalermek Intanagonwiwat, Ramesh Govindan, Deborah L. Estrin, John Heidemann, and Fabio Silva, "Directed Diffusion for Wireless Sensor Networking," IEEE/ACM Transactions on Networking, vol. 11, no. 1, pp. 2-16, February 2003.