

유비쿼터스 센서 네트워크 환경에서 감지대상의 이동성을 고려한 데이터 전달 프로토콜

학생회원 서유화*, 정회원 김기영**, 신용태*

Data Dissemination Protocol Considering Target Mobility in Ubiquitous Sensor Network

Yuhwa Suh* *Student Member*, Kiyoung Kim**, Youngtae Shin* *Regular Members*

요약

본 논문에서는 감지 대상과 싱크의 이동이 빈번한 유비쿼터스 센서 네트워크(USN) 환경을 위한 데이터 전달 프로토콜인 DDTM을 제안한다. 기존의 USN을 위한 대부분의 네트워크 프로토콜들은 감지 대상과 싱크의 이동을 고려하고 있지 않다. 따라서 이들의 이동 시마다 플러딩이나 경로의 재설정이 요구되며 이것은 에너지 보존이 우선되는 USN의 수명에 있어 치명적인 문제가 될 수 있다. DDTM은 TTDD를 기반으로 감지 대상의 이동성을 고려한 데이터 전달 프로토콜이다. TTDD는 그리드를 이용하여 효율적으로 싱크의 이동성을 제공하지만 감지 대상의 이동 시마다 감지 정보의 전달을 위한 그리드를 재구성해야 하기 때문에 그에 따른 많은 에너지 자원을 소비한다. DDTM은 감지 대상이 일정한 영역 내에서 이동할 경우 기존의 TTDD에서 생성한 그리드를 재활용함으로써 그리드 재구성에 요구되는 에너지 소비를 줄인다. 수학적 분석 모델을 이용하여 감지 대상이 이동 시 소비되는 DDTM과 TTDD의 전체 비용을 비교 분석하였으며, 분석 결과는 제안된 프로토콜이 TTDD보다 감지 대상의 이동성을 효율적으로 제공할함을 보여준다.

Key Words : USN, Target, Sensing Data, Sink, Mobility

ABSTRACT

This paper proposes DDTM for USN having end-point mobility. The existing network protocols did not consider target's and sink's mobility. So it requires flooding and path update whenever targets or sinks move. This can lead to drain battery of sensors excessively and decrease lifetime of USN.

DDTM is the protocol based on TTDD considering sink's mobility. TTDD provides sink's mobility efficiently by using the grid structure, but it requires the high energy because of reconstructing the grid structure whenever targets move. In this way, the proposed protocol can decrease a consumption of energy, since it reuses the existing grid structure of TTDD, if the target moves in local cell. We compare DDTM with TTDD under the total message and the energy consumption by using a discrete analytical model for cost analysis. Analytical results demonstrated that our proposed protocol can provide the higher efficiency on target's mobility.

* 숭실대학교 컴퓨터학과 통신연구실 (zzarara@cherry.ssu.ac.kr),

** 서일대학 소프트웨어전공 (ganet89@seoil.ac.kr)

논문번호 : KICS2005-11-466, 접수일자 : 2005년 11월 17일, 최종논문접수일자 : 2006년 3월 13일

I. 서 론

USN(Ubiquitous Sensor Network)은 환경에 대한 정보를 수집하기 위해 초소형·저비용·저전력의 센서 노드들이 넓은 지역에 임의로 배치되어 구성되는 무선 네트워크이다. USN은 종래의 무선 애드혹 형태로 동작을 하지만 네트워크의 규모, 에너지 효율, 노드 자원의 제약 등의 측면에서 무선 애드혹 네트워크와 기술적으로 다른 특성을 가진다. 기존의 무선 애드혹 네트워크는 통신 인프라가 없는 환경에서도 이동 노드들 간에 통신 서비스를 제공하기 위한 목적으로 구축되는 반면 USN은 환경에 대한 정보 정보 수집을 목적으로 구축된다. 따라서 노드의 이동성보다는 감지 대상과 싱크의 이동성이 중요한 요소이다. 감지 대상과 싱크의 이동은 감지 정보를 수집하기 위한 빈번한 플러딩이나 경로의 재설정을 필요로하며 이는 USN의 많은 에너지 자원을 소비시키기 때문이다⁵⁾.

USN의 네트워크 프로토콜 설계에 있어 이러한 특성을 반영하는 것은 매우 중요하다. 그러나 대부분 기존의 연구들은 다양한 감지 정보의 수집 방안을 제안하고 있지만 감지 대상과 싱크의 이동성을 고려하지 않는다^{4,6)}. 따라서 USN의 네트워크 계층은 에너지 소비를 최소화하면서 감지 정보의 이동성과 싱크의 이동성을 고려한 네트워크 프로토콜이 요구된다.

본 논문에서는 감지 대상의 이동성을 제공하는 네트워크 프로토콜인 DDTM(Data Dissemination Protocol considering Target Mobility in Ubiquitous Sensor Networks)을 제안한다. DDTM은 싱크의 이동성을 제공하는 프로토콜인 TTDD(Two-tier Data Dissemination in Large-scale Wireless Sensor Networks)⁵⁾를 기반으로 감지 대상의 이동성을 고려한 네트워크 프로토콜이다.

TTDD는 지역적인 플러딩과 그리드를 이용하여 기존의 프로토콜에서 고려되지 못한 싱크의 이동성을 제공하고 있지만 감지 대상의 이동시 마다 새로운 소스 노드가 그리드를 재구성해야 하는 단점을 가진다. DDTM은 그리드를 생성하는 소스 노드로부터 일정 거리 안에서 감지 대상이 이동할 경우 이를 감지한 새로운 소스 노드가 기존에 생성한 그리드를 재활용한다. 따라서 DDTM은 그리드 재구성에 따르는 메시지 부하를 줄임으로써 USN의 에너지 소비를 최소화한다.

본 논문의 2장에서는 싱크의 이동성을 제공하는

TTDD의 동작방식과 그 문제점을 분석하고 3장에서 이를 해결하기 위한 DDTM 프로토콜을 제안한다. 4장에서는 수학적 비용 분석을 통해 DDTM의 성능을 분석하고 마지막으로 5장에서는 본 논문의 정리와 향후 연구사항을 제시하면서 결론을 맺도록 한다.

II. TTDD

TTDD⁵⁾는 넓은 지역에 많은 동질의 센서 노드가 배치된 USN 환경에서 복수의 이동 싱크를 고려한 네트워크 프로토콜이다. 기존의 경로 설정을 기반으로 하는 센서 네트워크 프로토콜들은 센서 노드가 데이터의 보고를 위한 전달 방향을 알도록 싱크가 센서 필드 전역에 계속적으로 질의를 보내어 자신의 정보를 전파시켜야 했다^{4,6)}. 이러한 방식은 싱크가 이동할 경우 싱크의 빈번한 위치 정보의 갱신으로 인한 센서 노드의 빠른 배터리 소모를 야기한다. TTDD는 이러한 문제를 해결하기 위해 그리드와 지역적인 플러딩을 이용하여 싱크의 이동성을 제공한다. TTDD의 동작 과정은 ① 그리드 구성 ② 질의 전달 ③ 감지 정보 전달의 3단계로 수행된다.

2.1 그리드 구성

TTDD에서 소스 노드는 감지 정보를 생성하자마자 센서 필드를 자신을 중심으로 $a \times a$ 의 그리드로 구성한다. 이것은 소스 노드가 자신을 중심으로 4개의 전파 지점(dissemination point)⁵⁾을 선택하고 이 지점으로 데이터 알림(data announcement)⁵⁾ 메시지 보냄으로써 시작된다. 데이터 알림 메시지를 받은 전파 지점과 가장 가까운 위치의 센서 노드는 전파 노드(dissemination node)⁵⁾가 되고 이 메시지를 보낸 엽스트림의 이웃 전파 노드의 위치를 저장한다. 이 전파 노드는 소스와 같은 방식으로 이웃 전파 노드를 선택하고 이러한 과정을 반복하여 결국 센서 필드 전역이 그리드 구조로 구성된다.

2.2 질의 전달

감지 정보가 필요한 싱크는 그림 1과 같이 이동시마다 현재 자신으로부터 가장 가까운 전파 노드를 포함하는 일정 거리 내의 센서 노드들로 질의를 플러딩한다. 질의 내에는 싱크로부터 질의가 플러딩되는 최대 거리가 포함된다. 싱크의 로컬 셀의 내부에 위치한 전파 노드(immediate dissemination node)⁵⁾가 질의를 받았을 때 이 전파 노드는 데이터 알림 메시지를 받았던 이웃 전파 노드로 질의를 포워드

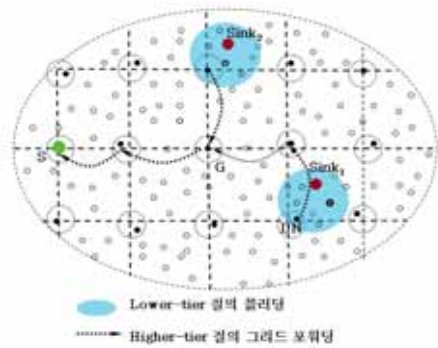


그림 1. 싱크로부터의 질의 전달

한다. 각 전파 노드는 질의를 보낸 다운스트림의 이웃 전파 노드의 위치를 저장하며 이로써 싱크로부터 소스로 향하는 양방향 경로가 확립된다. 만약 전파 노드가 그림 1의 G와 같이 다른 두 싱크로부터 같은 질의를 받을 경우 두 질의 중 한 질의 메시지만을 소스 노드로 전달한다.

2.3 감지 정보의 전달

그림 2와 같이 소스 노드 S가 질의를 받으면 질의를 보냈던 다운 스트림의 이웃 전파 노드로 감지 정보를 전달하고 이를 받은 전파 노드는 자신에게 질의를 보냈던 이웃 전파노드로 감지 정보를 전달한다. 이러한 과정을 반복하여 싱크 Sink1의 로컬 셀의 내부에 있는 전파 노드까지 감지 정보는 전달된다. 이때 다른 싱크 Sink2로부터 같은 질의를 받아 질의를 통합하여 보냈던 전파 노드 G는 감지 정보를 각각의 싱크로 향하는 이웃 전파 노드로 전달한다.

싱크는 자신이 어느 위치에 이동하더라도 전파 노드로부터 감지 정보를 전달 받을 수 있도록 그림 2와 같이 현재 위치의 로컬 셀 안에서 PA(primary agent)^[5]와 IA(immediate agent)^[5] 두 개의 에이전트를 이용하여 싱크의 이동이 그리드 상의 전파 노드에 투명하게 동작하도록 한다.

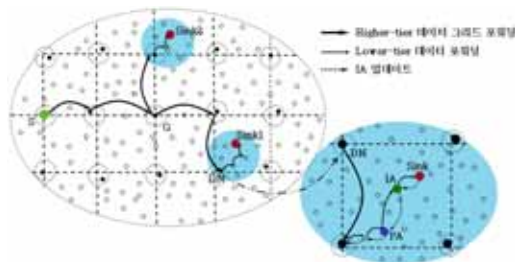


그림 2. 감지 정보의 전달

TTDD는 싱크의 이동성을 효율적으로 고려하고 있지만 감지 대상의 이동이 빈번할 경우 소스 노드 로써의 역할을 수행하는 센서 노드가 변하기 때문에 빈번한 그리드의 재구성이 요구되며 또한 감지 대상이 복수 개인 경우 그리드를 재구성을 위한 메시지 부하는 전체 센서 노드들에게 매우 많은 에너지를 소모시킨다.

III. DDTM

DDTM에서 가정하는 USN은 넓은 지역에 조밀하게 분포하는 고정된 센서 노드와 복수의 싱크로 구성된다. 각 센서 노드는 센싱 기능과 소스의 기능을 함께 가지는 동일한 노드이며 소스 노드는 TTDD와 같이 로컬한 지역의 감지 정보를 통합한 한 개의 노드임을 가정한다. 싱크는 센서 필드 내부에 위치하여 네트워크 프로토콜에 참여하고 이동성을 가진다. 센서 노드가 감지하고자 하는 감지 대상은 현상 혹은 물체이며 이동성을 갖는다. 감지 대상이 복수 개 존재 할 경우 각 감지 대상은 식별자에 의해 구분된다. 감지 대상에 대한 감지 정보는 감지 대상의 이동 차체이거나 이동하는 감지 대상의 어떠한 속성일 수 있다.

DDTM은 각 노드가 이웃 노드와의 적외선, 라디오 주파수 등을 이용해 일정 거리 내에서 통신이 가능하고 센서 노드들은 단일 현상만을 감지하는 것으로 가정한다. 또한 각 노드는 자신의 위치 정보를 알고 있는 것을 가정한다. 모든 센서 노드에는 한 센서 네트워크에서 고유한 임의의 식별자가 부여되어 있으며 한 센서 노드는 이웃 센서 노드의 리스트를 보유하고 있다.

3.1 용어 정의

• 그리드 재활용 영역 (Grid Reusing Zone)

새로운 소스 노드가 이전의 소스 노드가 생성한 그리드를 재활용하는 영역.

• 이동성 감지 영역 (Target Mobility Zone)

소스 노드가 현재 자신의 위치에 감지 대상이 있음을 주위의 센서 노드들에게 알리는 영역. 새로운 소스 노드와 이전 소스 노드 간에 경로를 설정하기 위해 사용된다.

3.2 메시지 및 캐시테이블 정의

DDTM은 1개의 제어 메시지를 사용한다. 감지

대상에 대한 정보를 생성한 소스 노드는 일정 거리의 센서 노드들에게 감지 대상의 존재를 알리기 위해 MZ_ADV 메시지를 일정 영역의 범위로 플러딩한다. 이 메시지는 표 1과 같이 정의한다. MZ_ADV 메시지를 받은 센서 노드들은 이 메시지의 정보를 캐시테이블에 저장하며 이 테이블의 각 필드의 속성은 표 2와 같다.

표 1. DDTM의 제어 메시지

메시지	메시지 내용	
MZ_ADV (Mobility Zone Advertisement)	Tgt_ID	감지 대상의 식별자
	Seq	sequence number
	Tgt_MZ_ID	현재 자신이 속한 이동성 감지영역 식별자
	Grd_src	그리드를 생성한 소스 노드의 식별자와 위치 정보
	Tgt_MZ_Src	이동성 감지 영역을 설정하는 소스 노드의 식별자와 위치정보
	Grd_RZ cell size	그리드 재활용 영역의 범위(반경 R)

표 2. 캐시테이블의 각 필드의 속성

속성	내용
Tgt_ID (Target ID)	감지 대상의 식별자
Prev_N (Previous Node)	처음 받은 MZ_ADV 메시지를 보낸 이웃 센서 노드의 식별자
Tgt_MZ_ID (Target Mobility Zone ID)	센서 노드가 속한 이동성 감지 영역의 식별자 이동성 감지 영역이 새로 생성될 때마다 1씩 증가
Grd_Src (Grid construction Source)	그리드를 생성한 소스 노드의 식별자와 위치정보
Grd_RZ (Grid Reusing Zone)	그리드 재활용 영역의 범위 (반경 R)

3.3 DDTM의 동작 절차

DDTM은 3단계의 동작 절차를 가지는데 1단계 현상 감지 및 그리드 재활용 영역 설정, 2단계 이동성 감지 영역 설정, 3단계 감지 영역 내에 이동성 처리, 4단계 감지 정보 전달 과정으로 수행된다.

3.3.1 감지 정보 생성 및 그리드 재활용 영역의 설정

감지 대상에 대한 정보를 생성한 소스 노드는 자신이 그리드를 생성할 소스 노드인지 그리드를 재활용할 소스 노드인지를 캐시테이블을 통해 판단한다. 소스 노드는 감지 대상에 대한 정보가 캐시테이블에 존재하지 않거나 존재하더라도 이전 소스 노

드가 생성한 그리드의 재활용 영역의 범위를 벗어난 경우 그리드를 재생성하고 새로운 그리드 재활용 영역을 설정한다. 전자의 경우는 그림 3의 (a)와

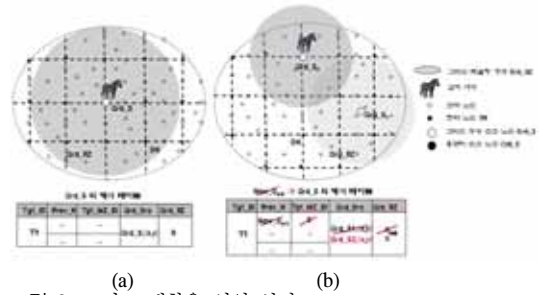


그림 3. 그리드 재활용 영역 설정

표 3. 그리드 재활용 결정 알고리즘

Algorithm Grid_Reusing_by_nodei

Variables

Tj : 감지 대상 Si : 소스 노드
 R0 : 그리드 재활용 영역의 초기 반경 값(캐시테이블에 존재)
 R : 그리드 재활용 영역의 반경 값
 x_{s_i}, y_{s_i} : 현재 소스 노드의 위치 좌표
 $x_{G,s}, y_{G,s}$: 그리드 생성 소스 노드의 위치 좌표
 Max_Tgt_MZ : 소스 노드가 포함 될 수 있는 이동성 감지 영역의 최대 개수
 Grd_RZ_Size : 현재 그리드 재활용 영역의 반경 값
 Num_of_Tgt_MZ : 감지 대상 T에 대한 이동성 감지 영역의 개수

Functions

Cache_init (Target T, Grd_src Si, Grd_RZ R)
 : 캐시테이블을 초기화, 각 인수 값을 해당 캐시 필드에 채움

Grd_RZ_Construct1 (Target T) {

$$R = \frac{c}{Num_of_Tgt_MZ} \times Rold$$
 Cache_init (T, Si, R) } ; c는 조정가능 상수

Grd_RZ_Construct2 (Target T) {
 Cache_init (T, Si, R0) }

Operation

Search Tj in Cache Table of Si
 if exist Tj
 then
 if ($\sqrt{(x_{s_i} - x_{G,s})^2 + (y_{s_i} - y_{G,s})^2} < R$)
 AND (Num_of_Tgt_MZ(Tj) < Max_Tgt_MZ)
 then Grid Reusing
 else Grid construct
 Grd_RZ_Construct1(Tj)

else Grid Construct
 Grd_RZ_Construct2(Tj)

같이 그리드 재활용 영역의 초기 반경 값 R 로 캐시 테이블을 초기화하여 그리드 재활용 영역을 설정한다. 후자의 경우 그림 3의 (b)와 같이 캐시테이블을 새로운 그리드 재활용 영역의 반경 값 R 로 캐시테이블을 초기화하여 Grd_S2와 같이 그리드 재활용 영역을 설정한다. 표 3은 감지 대상 T_j 에 대한 정보를 생성한 소스 노드 S_i 가 그리드 생성과 재활용을 결정하기 위한 알고리즘이다. 표 3의 알고리즘에서 그리드 재활용 영역의 반경 값 R 은 감지 대상의 이동 패턴에 따라 가변적일 수 있다.

소스 노드가 포함된 이동성 감지 영역의 개수가 많다는 것은 감지 대상의 이동 범위가 좁거나 그 이동 빈도가 작음을 의미한다. 따라서 이 경우 그리드 재활용 영역의 범위를 좁게 설정하고 그 반대의 경우 크게 설정한다. 그러나 대부분의 감지 대상의 이동 패턴은 일정하다고 가정하기 때문에 새로운 그리드 재활용 영역의 크기는 이전 재활용 영역의 크기와 유사할 것으로 판단된다. 따라서 새로운 그리드 재활용 영역의 반경 R 은 이전 그리드 재활용 영역의 반경 값을 반영하여 설정된다.

3.3.2 이동성 감지 영역 설정

감지 대상의 정보를 생성한 소스 노드는 그리드 재활용 영역을 설정한 후 감지 대상의 이동성 처리를 위해 이동성 감지 영역을 설정한다. 이동성 감지 영역은 소스 노드가 감지 정보를 싱크로 전달하기 전에 일정 거리의 센서 노드들에게 그림 4의 Grd_S와 같이 MZ_ADV 메시지를 플래딩 함으로써 생성된다. 소스 노드는 표 4의 알고리즘에 따라 캐시테이블의 Tgt_MZ_ID 필드에서 해당 감지 대상에 대해 자신이 포함된 이동성 감지 영역이 존재하는지 검사한다. 만약 존재하지 않는다면 이 소스 노드는 그리드를 생성한 소스 노드이며 그림 4와 같이 캐시 테이블의 Tgt_MZ 필드 값을 1로, Prev_N 필드의 값을 NULL로 초기화 하며 이 캐시테이블의 정

보로 MZ_ADV 메시지를 생성하여 반경 r 의 거리 내의 센서 노드들에게 플래딩한다.

메시지를 받은 센서 노드들은 그림 4의 Cdt_S1과 Cdt_S2와 같이 Grd_S의 이동성 감지 영역 내에 속하게 되며 처음 도착한 MZ_ADV 메시지와 이 메시지를 보낸 이웃 노드의 정보를 캐시테이블에 저장한다. Tgt_MZ 내의 센서 노드들은 현재의 소스 노드로부터 감지 대상의 이동 시 새로운 소스 노드가 될 수 있는 후보자 소스 노드이다.

3.3.3 이동성 감지 영역의 교차를 통한 경로 설정

이 단계는 감지 대상의 이동 경로에 따라 새로운 소스 노드와 이전 소스 노드 간의 경로를 확립한다. 이것은 이동성 감지 영역의 설정이 반복되면서 생성되는 각 센서 노드의 캐시테이블을 통해 이루어진다. 만약 감지 대상을 감지한 소스 노드가 캐시테이블에 자신이 포함된 이동성 감지 영역이 존재한다면 그림 5와 같이 감지 대상이 이동하여 그림 4의 Grd_S의 이동성 감지 영역 내에 있던 후보자 소스 노드 Cdt_S2가 그림 5의 새로운 소스 노드 New_S가 된 것이다. 새로운 소스 노드는 그림 5의 New_S와 같이 캐시테이블에서 Tgt_MZ_ID 필드의 값을 현재 포함된 이동성 감지 영역의 식별자 중 가장 큰 값을 1 증가 시킨 값으로 Prev_N 필드의 값을 NULL로 하는 새로운 정보를 저장한다. 그리고 이 새로운 정보에 따라 MZ_ADV 메시지를 생성한다. 소스 노드는 이 메시지를 반경 r 의 거리에 센서 노드들에게 플래딩한다. 표 4의 알고리즘에 따

표 4. 이동성 감지 영역 설정 알고리즘

Algorithm Tgt_MZ_Construction_by_node;

Variables
 T_j : 감지 대상, S_i : 소스 노드
 Max_Tgt_MZ_ID : 현재 캐시테이블에 저장된 가장 큰 Tgt_MZ_ID

Operation
 Search Tgt_MZ info of T_j in Cache Table of S_i if not exist

then Initiate cache table (Prev_N:NULL, Tgt_MZ_ID:1)
 Generate MZ_ADV
 Flooding by r_0 cell size

else Cache (Prev_N : NULL, Tgt_MZ_ID :
 Max_Tgt_MZ_ID + 1)
 Generate MZ_ADV
 Flooding by r (in cache table) cell size

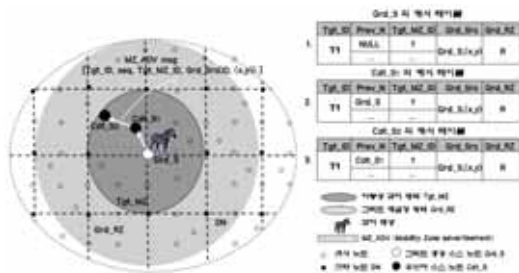


그림 4. 이동성 감지 영역의 설정

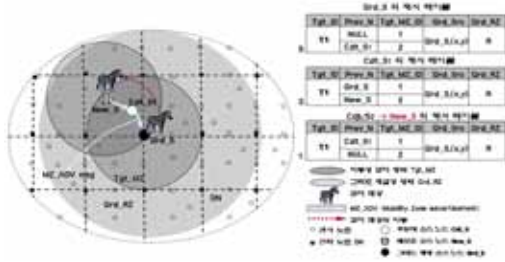


그림 5. 새로운 이동성 감지 영역의 설정

라 Tgt_MZ의 설정이 감지 대상의 정보를 생성하는 소스 노드마다 수행된다면 감지 대상의 이동에 따라 그림 5와 같은 이동성 감지 영역들이 생성되게 된다. 이때 새로운 소스 노드는 이전 소스 노드의 Tgt_MZ 내에 포함된 후보자 소스 노드 중에서 나타나게 되고 다시 Tgt_MZ를 설정한다. 이러한 과정에 의해 새로운 소스 노드와 이전 소스 노드의 이동성 감지 영역은 그림 5와 같이 교차하게 된다. 따라서 이동성 감지 영역을 설정하기 위해 플러딩한 서로의 MZ_ADV 메시지를 이전 소스 노드와 새로운 소스 노드가 수신함으로써 서로의 정보를 알게 되고 이 과정에서 생성된 캐시테이블에 의해 이전 소스 노드와 새로운 소스 노드는 경로를 설정하게 된다.

3.3.4 감지 정보 전달

이 단계에서는 현재의 소스 노드가 생성한 감지 정보를 그리드를 생성한 이전 소스 노드로 전달하고 그리드를 생성한 이전 소스 노드는 TTDD의 절차에 따라 싱크로 감지 정보를 전달한다.

감지 정보를 생성한 소스 노드는 캐시테이블에서 현재 자신이 속해 있는 이동성 감지 영역의 식별자인 Tgt_MZ_ID가 가장 작은 Prev_N 필드의 이웃 센서 노드로 감지 정보를 전달한다. 이것은 감지 대상이 한 지역을 계속 배회할 경우 발생할 수 있는 경로의 루프를 막고 그리드 생성 소스 노드까지 최

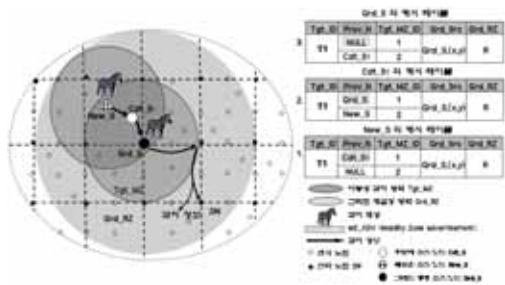


그림 6. 감지 정보의 전달

단 경로로 감지 정보가 전달되도록 하기 위한 것이다. 그림 6은 New_S로부터 그리드를 생성한 Grd_S 까지 감지 정보가 전달되고 Grd_S로부터 그리드 상의 노드로 감지 정보를 전달하는 과정을 나타낸다.

IV. 성능평가

본 논문에서는 감지 대상의 이동성 측면에서 DDTM과 TTDD의 성능을 비교 평가한다. 비교 평가를 위한 변수들은 TTDD의 것을 이용하였으며 DDTM을 위한 추가적인 변수들은 TTDD와 같은 방식에 의해 유도되며 표 6과 같다. 성능 분석을 위한 USN 환경은 정방형의 센서 필드에 센서 노드가 균일하게 배포됨을 가정하고 DDTM과 TTDD의 소스 노드가 이동하는 감지 대상에 대한 정보를 싱크로 전달 시 최악의 경우 발생하는 메시지 부하와 에너지 소비를 수학적으로 측정하였다. 이를 위해 TTDD가 기존의 프로토콜보다 우수한 성능을 보였

표 5. 성능 분석을 위한 변수

A	정방형의 센서 필드의 크기 (단위: m^2)
α^2	그리드의 한 셀의 크기($\alpha \times \alpha$) (단위: m)
N	전체 센서 노드 수
\sqrt{N}	센서 필드의 각 사이드의 센서 노드 수
$\sqrt{2}(c\sqrt{N})$	소스에서 싱크간의 경로 상의 노드 수 ($0 < c \leq \sqrt{2}$)
$n = N\alpha^2/A$	한 셀 내에 센서 노드 수
$m = 1 + (vT/\alpha)$	싱크의 이동 횟수(고정될 경우 $m = 1$)
\sqrt{n}	셀의 각 사이드의 센서 노드 수
k	싱크 수
v	싱크의 속도 (단위: m/s)
T	단위 시간 (단위: s)
d	T시간동안 소스 노드가 보내는 데이터 패킷 수 (unit size)
l	질의와 데이터 알림 메시지의 데이터 메시지에 대한 상대적 크기
v_t	감지 대상의 이동 속도(단위: m/s)
r	이동성 감지 영역의 크기 (반경 r , 단위: m)
R	그리드 재활용 영역의 크기 (반경 r , 단위: m)
k_t	감지 대상의 개수
e	평균 이웃 노드의 개수
$p\sqrt{2N}$	이전 소스 노드에서 새로운 소스 노드의 경로 상의 노드 수
$M = 1 + v_t T/r$	한 그리드 재활용 영역 내에서 감지 대상의 이동 횟수
$G = 1 + v_t T/R$	그리드 재활용 영역의 개수
mr^2/α^2	이동성 감지 영역 내의 노드 수

던 환경인 $A=2000 \times 2000m^2$, $N=10000$, $n=100$, $k=4$, $c=1$, $d=100$, $l=1$, $m=1$, $e=10$, $p=5$, $r=\alpha$, $G=1$, $k_r=1$ 인 환경에서 한 그리드 재사용 영역의 범위 내에서 성능을 측정한다.

4.1 DDTM와 TTDD의 메시지 부하

4.1.1 TTDD의 메시지 부하

TTDD는 싱크와 소스 노드 간에 데이터를 전달하기 위한 메시지 부하를 다음과 같이 정의한다. 수식 (1)은 싱크의 셀 사이즈를 α 로 가정할 때 싱크가 소스 노드로 질의를 전달하기 위한 메시지 부하이다.

$$enl + \sqrt{2}(c\sqrt{N})l \quad (0 < c \leq \sqrt{2}) \quad (1)$$

수식 (1)에서 enl 은 싱크가 질의를 자신의 셀 내에 플러딩하는 메시지 부하이며 $c\sqrt{N}$ 은 싱크로부터 소스 노드까지의 직선 경로 상의 평균 노드 수이고 $\sqrt{2}$ 는 최악의 경우를 위해 경로를 증가시키기 위한 변수이다. 이와 유사하게 데이터 패킷의 부하는 수식 (2)와 같이 정의한다. 수식 (2)에서 d/m 은 싱크가 m 번 이동시 한 셀에서 받는 데이터 패킷의 수이다.

$$\sqrt{2}(c\sqrt{N})\frac{d}{m} \quad (2)$$

따라서 m 번 이동하는 k 개의 싱크로 소스 노드가 질의와 데이터를 보내기 위한 메시지 부하는 수식 (3)과 같으며 이때 그리드를 생성하는 메시지 부하를 더하여 감지 대상이 이동하지 않았을 경우 ($M=1$) 감지 정보를 전달하는데 발생하는 전체 메시지 부하는 수식 (4)와 같이 정의한다.

$$km \left\{ (enl + \sqrt{2}(c\sqrt{N})l + \sqrt{2}(c\sqrt{N})\frac{d}{m}) \right\} = km enl + kc(ml+d)\sqrt{2N} \quad (3)$$

$$U = \frac{4N}{\sqrt{n}}l + km enl + kc(ml+d)\sqrt{2N} \quad (4)$$

TTDD에서 정의한 수식 (4)에 따라 k_i 개의 감지 대상이 M 번 이동할 경우 소스 노드가 싱크까지 감지 정보를 전달하기 위한 전체 메시지 부하는 수식 (5)와 같이 정의한다. 이 때 이동 횟수 M 은 이동성 감지 영역의 개수와 같다.

$$CO_{TTDD} = k_i G \left\{ \left[\frac{4N}{\sqrt{n}}l + kc(ml+d)\sqrt{2N} \right] M + km enl \right\} \quad (5)$$

4.1.2 DDTM의 메시지 부하

k_i 개의 감지 대상이 M 번 이동할 때 이동성 감지 영역을 설정하기 위해 플러딩하는 메시지 부하는 $e(r^2/\alpha^2)nLM$ 으로 정의할 수 있다. 이전 소스 노드와 현재 소스 노드 사이의 경로 상에 센서 노드의 개수는 $(pr/\alpha)\sqrt{n}$ 로 정의할 수 있으며 이때 p 는 경로 상의 노드 수를 증가 시키는 변수이다. 현재의 소스 노드로부터 그리드를 생성한 이전 소스 노드까지 전달되는 감지 정보 메시지 부하는 $(pr/\alpha)\sqrt{n}(M-1)$ 이며, 따라서 DDTM에서 새로운 소스 노드가 발생한 감지 정보를 그리드를 생성한 이전 소스 노드까지 전달하기 위한 메시지 부하는 $e(nr^2/\alpha^2)lM + p\sqrt{2n}(M-1)$ 과 같이 정의할 수 있으며 소스 노드가 싱크로 감지 정보를 전달하는데 발생하는 전체 메시지 부하는 수식 (6)과 같이 정의할 수 있다.

$$CO_{DDTM} = k_i G \left[U + \left\{ e \frac{nr^2}{\alpha^2} lM + \frac{pr}{\alpha} \sqrt{n}(M-1) \right\} \right] = k_i G \left[U + \{ enlM + p\sqrt{n}(M-1) \} \right] \quad (r = \alpha) \quad (6)$$

4.1.3 DDTM와 TTDD의 메시지 부하 비교

수식 (5)과 수식 (6)에 따라 TTDD와 DDTM의 메시지 부하를 비교하면 수식 (7)과 같다. 가정한 USN 환경을 수식 (7)에 적용하면 그림 7과 같은 그래프로 나타난다.

$$\frac{CO_{DDTM}}{CO_{TTDD}} = \frac{k_i G \{ U + \{ enlM + p\sqrt{n}(M-1) \} \}}{k_i G \left\{ \left[\frac{4N}{\sqrt{n}}l + kc(ml+d)\sqrt{2N} \right] M + km enl \right\}} \quad (7)$$

그림 7의 그래프에서 DDTM/TTDD의 값은 감지 대상의 이동이 시작되면 그 횟수가 36회에 이르기까지 급격하게 감소한다. 이것은 감지 대상의 이동으로 인한 TTDD의 그리드 재생성의 메시지 부하가 DDTM의 지역적 플러딩에 따른 메시지 부하에 비하여 매우 크다는 것을 의미한다. 감지 대상이 36회 이상 이동할 경우 원만한 감소를 하는데 이것은 감지 대상의 이동 횟수가 증가하면 DDTM도 지역적인 플러딩의 횟수가 증가하기 때문이다. 그러나 감지 대상의 이동 횟수가 계속 증가하여도 일정한 수준의 메시지 부하를 유지하고 있다는 것에서 지역적인 플러딩의 증가가 감지 정보를 싱크로 전달하는데 필요한 전체 메시지 부하에 큰 영향을 미치지 않는음을 알 수 있다.

그림 7의 그래프에서 감지 대상이 정지 상태에 있을 경우($M=1$) DDTM/TTDD의 값은 1보다 큰

값을 가진다. 이것은 DDTM의 경우 감지 대상이 정지 상태에 있더라도 그리드의 재활용을 위해 이동성 감지 영역을 설정하기 위한 한 번의 지역적인 플러딩을 수행하기 때문이다. 그러나 DDTM/TTDD의 메시지 부하가 1의 값에 가까운 값을 유지하기 때문에 감지 대상이 정지 상태에 있을 경우에도 TTDD와 유사한 성능을 가지며 이 값은 지역적인 플러딩의 범위인 α 값을 조정함으로써 더 감소시킬 수 있다. 또한 감지 대상의 이동이 시작되면 점차 TTDD의 메시지 부하가 증가하여 약 4회 이상 이동 시에는 TTDD의 메시지 부하가 DDTM의 메시지 부하보다 커진다. 따라서 이동성이 있는 감지 대상의 경우 일정한 시간 내에 감지 대상의 이동 횟수가 적은 경우라 하더라도 시간이 지남에 따라 전체 이동 횟수는 증가하게 됨으로 이동성이 있는 감지 대상을 감지하는 USN의 경우 DDTM이 TTDD보다 우수한 성능을 보임을 확인할 수 있다.

그림 7의 그래프는 DDTM에서 이전 소스 노드와 새로운 소스 노드의 경로 상의 노드 수를 증가시키는 변수인 p 값을 5로 고정하고 측정한 그래프이다. 이것은 이전 소스 노드와 새로운 소스 노드의 경로가 최단 경로의 5배 길다고 가정한 것과 같다. 따라서 보다 정확한 분석을 위해 p 값이 전체 메시지 부하에 미치는 영향을 알아보면 그림 8의 그래프와 같다. 그래프는 p 값이 증가함에 따라 DDTM의 메시지 부하가 증가하고 이에 따라 DDTM/TTDD의 값도 증가함을 보여준다. 그러나 감지 대상이 이동했을 경우($M \neq 1$) p 값이 증가하여도 DDTM/TTDD의 메시지 부하가 1이하의 값을 보이는 것은 이전 소스 노드와 현재 소스 노드의 경로 길이가 DDTM의 전체 메시지 부하에 큰 영향을 주지 않음을 의미한다. 또한 p 값이 30까지 증가 할 때까지 DDTM/TTDD는 1보다 작은 값을 나타내는데 새로운 소스 노드에서 이전 소스 노드로 감지

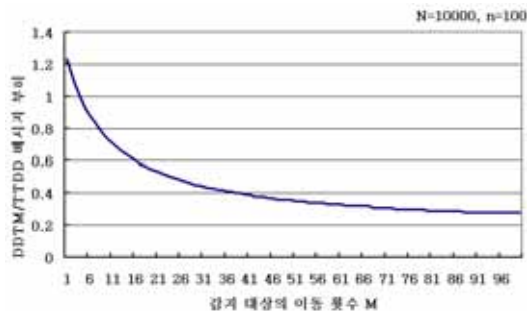


그림 7. 감지 대상의 이동 횟수에 따른 메시지 부하

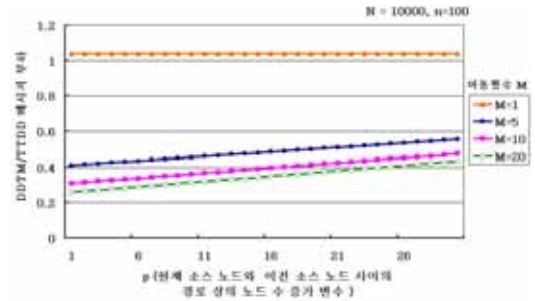


그림 8. 경로 길이 증가에 따른 메시지 부하

정보가 전달될 때 최단 경로로 감지 정보가 전달되기 때문에 p 값이 크게 증가하여도 직선 경로의 30 배 이상의 차이를 갖지는 않을 것이다. 따라서 그림 7과 그림 8의 그래프를 통해 TTDD가 기존의 프로토콜보다 우수함을 보인 예시의 USN 환경에서도 감지 대상이 이동할 경우에는 기존의 우수한 성능을 보이지 못함을 확인할 수 있다.

4.2 DDTM과 TTDD의 에너지 소비

감지 대상의 이동 속도에 따른 DDTM과 TTDD의 에너지 소비량을 비교하기 위해, $\alpha = 200m$ 인 USN 환경을 가정한다. 이때 α 는 TTDD의 성능 분석에서 $A = 2000 \times 2000m^2$ 의 USN 환경에서 싱크의 이동 속도 $v = 4$ 일 때 최소의 메시지 부하를 보인 셀 사이즈이다. 이 가정을 표 5에 적용하면 $n = N/100, m = 2, M = 1 + 0.3v_i$ 이며 다른 변수들은 그림 8 그래프의 가정과 같다. 센서 노드의 초기 에너지량은 $26kJ$ 로 가정하며 전송거리가 20m일 때 전송에 소비되는 에너지는 $E_t = 0.47\mu J/bit$, 수신에 소비되는 에너지는 $0.31\mu J/bit$ 로 가정한다^[8]. 질의 메시지와 그리드 생성을 위한 데이터 알람 메시지와 MZ_ADV 메시지는 $l = 36byte$, 데이터 메시지는 $D = 64byte$ 로 가정한다^[5]. 이때 DDTM과 TTDD가 감지 대상의 이동이 없을 때 한 번의 감지 정보를 싱크로 전송하기 위해 소비되는 에너지 소비량은 수식 (8)과 같다. 감지 대상이 이동시 감지 대상의 이동 속도에 따라 소비되는 에너지 량은 수식 (9)와 (10)과 같다. 수식 (9)과 수식 (10)에 의해 DDTM과 TTDD가 소스 노드로부터 싱크까지 감지 정보를 전달하는데 소비되는 에너지 량은 그림 10과 같다.

$$E_U = \left[\frac{4N}{\sqrt{n}} l + km \left\{ (ent + \sqrt{2}(c\sqrt{N})l + \sqrt{2}(c\sqrt{N})\frac{d}{m}D) \right\} \right] (E_t + E_r) \quad (8)$$

$$= \left\{ \frac{4N}{\sqrt{n}} l + kmnl + kc(ml + Dl) \sqrt{2N} \right\} (E_t + E_r) \quad (M=1)$$

$$E_{DDTM} = k_t G [E_U + \{enlM + p\sqrt{n}(M-1)Dd\}(E_t + E_r)]$$

$$= k_t G [E_U + \{enl(1 + 0.3v_t) + 0.3vpDd\sqrt{n}\}(E_t + E_r)] \quad (9)$$

$$E_{TTDD} = k_t G \left[\left(\frac{4N}{\sqrt{n}} l + kc(ml + Dd)\sqrt{2N} \right) (1 + 0.3v_t) + kmnl \right] (E_t + E_r) \quad (10)$$

그림 9의 그래프는 감지 대상의 이동 속도가 증가할수록 TTDD는 그 에너지 소비가 급격하게 증가하여 100m/s의 속도에 이를 경우 DDTM의 에너지 소비보다 약 3.5배 이상 큰 폭으로 증가한다. 이것은 TTDD가 우수한 성능을 보인 USN 환경에서도 감지 대상의 이동 속도가 높을수록 DDTM이 TTDD보다 우수한 성능을 보임을 확인할 수 있다. 그래프는 가정한 USN 환경에서는 감지대상의 속도가 18m/s 이하의 경우 TTDD보다 많은 에너지를 소비한다. 그러나 감지 대상의 이동이 빈번하지 않을 경우에는 셀 사이즈 α 값을 조정하여 지역적인 플러딩의 범위를 줄임으로써 에너지 소비를 최소화할 수 있으며 이에 대한 고려가 필요하다.

감지 대상의 이동 속도가 빠르다는 것은 감지 대상이 빈번하게 이동한다는 것을 의미하고 TTDD의 경우 빈번한 그리드 재활용 영역의 설정을 요구하기 때문에 매우 많은 에너지를 소비시킨다. 따라서 감지 대상의 이동이 빈번할수록 기존의 그리드를 재활용하는 DDTM은 TTDD 보다 좋은 에너지 효율을 보이는 것을 확인할 수 있다.

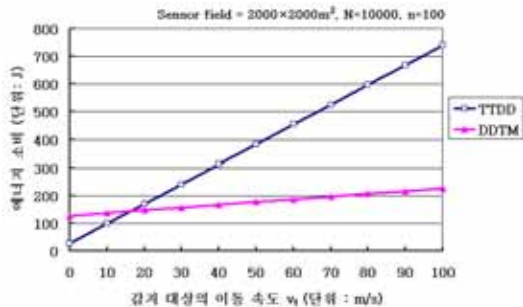


그림 9. 감지 대상의 이동 속도에 따른 에너지 소비량

V. 결론

USN을 위한 기존의 네트워크 프로토콜들은 감지 정보를 송수신하는 종단 지점의 위치 변화를 고려하지 않기 때문에, 감지 대상이나 싱크가 이동하는 USN 환경에 기존의 네트워크 프로토콜들을 적용하기 위해서는 빈번한 경로의 재설정이나 플러딩을

수행해야 했다. 또한 기존의 네트워크 프로토콜 중에서 종단 지점의 위치 변화를 가장 효율적으로 고려하고 있는 TTDD의 경우도 싱크의 이동성만을 고려하였기 때문에 감지 대상이 이동하는 USN에 적용하기 위해서는 감지 대상이 이동 시마다 그리드의 재구성으로 인한 많은 에너지가 요구되었다. 이러한 경로 재설정과 그리드 재구성, 플러딩에 따른 과도한 메시지 부하는 센서 노드의 많은 에너지 자원을 소비시켜 USN의 수명을 단축시킨다.

본 논문은 감지 대상과 싱크의 이동이 빈번한 USN 환경에 적합하도록 고안된 네트워크 프로토콜인 DDTM을 제안하였다. 이를 위해 본 제안은 싱크의 이동성을 제공하는 TTDD를 기반으로 감지 대상이 이동 시 TTDD가 생성한 그리드를 재활용하기 위한 방안을 제안하였다. DDTM의 성능을 평가하기 위해 감지 대상의 이동성 측면에서 DDTM과 TTDD의 수학적 비용 분석을 하였으며 그 결과 DDTM이 감지 정보의 전달 시 적은 에너지 소비와 메시지 부하를 보이며 감지 대상의 이동 속도가 빠를수록 더 우수한 성능을 보임을 확인하였다. 향후에는 보다 가변적인 감지 대상의 이동성을 가정한 USN 환경에서 DDTM의 실험적인 성능 결과의 보완이 필요하며 감지 대상의 이동 패턴에 따라 지속적인 성능을 유지하기 위한 요소인 셀 사이즈에 대한 고려가 필요하다.

참고 문헌

- [1] I. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, "A survey on Sensor Networks," *IEEE Communications Magazine*, vol. 40, Issue: 8, pp. 102-114, August 2002.
- [2] Qiangfeng Jiang, D. Manivannan, "Routing Protocols for Sensor Networks," *CCNC 2004*, Jan, 2004.
- [3] M. Tubaishat, S. Madria, "Sensor Networks: An Overview," *IEEE Potentials*, April/May 2003.
- [4] Wendi Rabiner Heinzelman, Joanna Kulik, Hari Balakrishnan, "Adaptive Protocols for Information Dissemination in Wireless Sensor Networks" *Fifth ACM/IEEE MOBICOM Conference*, Seattle, WA, August 1999.
- [5] F. Ye, H. Luo, J. Cheng, S. Lu, and L. Zhang, "A Two-tier Data Dissemination

Model for Large-scale Wireless Sensor Networks,” in Proc. of the 8th Annual International Conf. on Mobile computing and networking, pp. 148-159, September 2002.

- [6] C. Intanagonwiwat, R. Govindan, D. Estrin, J. Heidemann, and F. Silva, “Directed Diffusion for Wireless Sensor Networking,” *IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol. 11, pp. 2-16, February 2003.
- [7] TAEK JIN KWON, MARIO GERLA, VIJAY K. VARMA, T. RUSSELL HSING, “Efficient Flooding with Passive Clustering- An Overhead-Free Selective Forward Mechanism for Ad Hoc/Sensor Networks”, *PROC. OF THE IEEE*, Vol. 91, No. 8, August 2003.
- [8] David W.Carman, Peter S.Kruus, Brian J. Matt, “Constraints and Approaches for Distributed Sensor Network Security(Final)”, *NAI Labs Technical Report #00-010*, September 2000.

서 유 화 (Yuhwa Suh)

학생회원



2003년 2월 숭실대학교 컴퓨터 학부 졸업
 2005년 8월 숭실대학교 컴퓨터학 과 공학석사
 2006년 3월~현재 숭실대학교 컴 퓨터학과 박사과정
 <관심분야> 애드혹/센서 네트워 크, 모바일 IP, 멀티캐스트, 휴대인터넷

김 기 영 (Kiyong Kim)

정회원



1996년 2월 상지대학교 전자계 산학과 졸업
 1997년 삼보정보통신 연구원
 1999년 2월 숭실대학교 컴퓨터 학과 공학석사
 2003년 8월 숭실대학교 컴퓨터 학과 공학박사

2004년 3월~현재 서일대학 소프트웨어전공 조교수
 <관심분야> 멀티캐스트, 이동컴퓨팅, 실시간 프로토콜, 네트워크 보안

신 용 태 (Yongtae Shin)

정회원



1985년 한양대학교 산업공학과 졸업
 1990년 Univ. of Iowa 전산학과 석사
 1994년 Univ. of Iowa 전산학과 박사
 1994년~1995년 Michigan State

Univ. 전산학과 객원 교수

1995년 3월~현재 숭실대학교 컴퓨터학부 부교수
 <관심분야> 멀티캐스트, 실시간 프로토콜, 이동통신, DRM