Vol.5, No.11 pp.385~392 pISSN: 2287-5891 http://dx.doi.org/10.3745/KTCCS.2016.5.11.385

QoS Routing Protocol Based on Virtual Grids and MultiPaths for Mobile Sinks in Wireless Sensor Networks

Jinhyuk Yim† · Euisin Lee††

ABSTRACT

Recently, Expectation Area-based Real-time Routing (EAR2) protocol has been proposed to support real-time routing in wireless sensor networks. EAR2 considers the expectation area of a mobile sink and uses flooding within the expectation area. However, flooding leads to excessive energy consumption and causes long delay against real-time routing. Moreover, since EAR2 uses single path to the expectation area, it is difficult to support reliable routing in sensor networks with high link failures. Thus, to overcome these limitation of EAR2, this paper proposes a reliable and real-time routing protocol based on virtual grids and multipath for mobile sinks. To support real-time routing, the proposed protocol considers expectation grids belonged to the expectation area. Instead of flooding within the expectation area, the proposed protocol uses multicasting to the expectation grids and single hop forwarding in an expectation grid because the multicasting can save much energy and the single hop forwarding can provide short delay. Also, the proposed protocol uses multipath to the expectation grids to deal with link failures for supporting reliable routing. Simulation results show that the proposed protocol is superior to the existing protocols.

Keywords : Wireless Sensor Networks, Mobile Sinks, Virtual Grids, Multipath, QoS Routing, Energy-Efficiency

무선 센서 네트워크에서 이동 싱크를 위한 가상 그리드와 다중 경로 기반의 QoS 라우팅 프로토콜

임 진 혁† · 이 의 신††

요 약

최근에 무선 센서 망에서 이동 싱크를 위한 실시간 라우팅을 지원하기 위한 Expectation Area-based Real-time Routing(EAR2) 프로토콜이 제안되었다. EAR2는 이동 싱크의 예상 지역을 고려하여 예상 지역 내의 플러딩을 이용한다. 그러나, 플러딩은 센서 노드들의 과도한 에너지 소비를 야기하고 실시간 전송에 반하는 긴 전송 지연을 발생한다. 게다가, EAR2는 예상 지역까지 단일 경로만 사용하기 때문에 링크 손실이 많은 무선 센서 망에서 신뢰성 있는 전달을 지원하기 어렵다. 그러므로, 본 논문은EAR2의 이러한 문제들을 해결하기 위해 이동 싱크를 위한 그리드와 다중 경로 기반의 실시간성과 신뢰성 지원 방안을 제안한다. 실시간성을 지원하기 위해 제안 방안은 예상 지역에 추가로 예상 지역 내에 속한 예상 그리드를 고려한다. 제안 방안은 예상 지역 내의 플로딩 대신에 예상 그리드까지의 멀티캐스팅과 예상 그리드에서의 단일 홉 포워딩을 이용한다. 왜냐하면, 멀티캐스팅은 많은 에너지를 절약할 수 있고 단일 홉 포워딩은 적은 전송 지연을 가지기 때문이다. 또한, 제안 방안은 신뢰성을 지원하기 위해 예상 그리드까지 링크 손실에 대처가 가능한 다중 경로를 사용한다. 시뮬레이션 결과는 제안 방안이 기존 방안들보다 성능이 우수함을 보여준다.

키워드 : 무선 센서 네트워크, 이동 싱크, 가상 그리드, 다중 경로, QoS 라우팅, 에너지 효율

1. 서 론

무선 통신과 컴퓨팅 장치들의 발전은 다수의 저가 센서 노드들에 의해 구성된 무선 센서 네트워크의 개발을 가능하게 하였다[1]. 무선 센서 네트워크에서 전투 감시와 지진 탐지와 같이 임무에 민감한 응용분야는 실시간 제약을 필요로 한다[2]. 그러므로, 이러한 응용들에서 데이터 전송은 요구 시간 기한 이전에 도착해야 한다. 요구 시간 기한 내에 실시간 데이터 전달을 위해 실시간 라우팅 방안들이 제안되었다[3, 4]. 이러한 방안들은 소스와 싱크 사이의 거리와 요구 시간 기한을 통해 계산한 요구 전송 속도를 이용하여 실시간 데이터를 전송하는 시공간(Spatiotemporal) 패러다임[3]을 사용한다. 시

※ 이 논문은 2014학년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었음.
† 비 회 원 : 충북대학교 정보통신공학부 석사과정
†† 종신회원 : 충북대학교 정보통신공학부 조교수
Manuscript Received : May 12, 2016
First Revision : August 24, 2016
Accepted : September 7, 2016
* Corresponding Author : Euisin Lee(eslee@chungbuk.ac.kr)

공간 패러다임은 모든 중간 노드들이 자신보다 싱크에 더 가깝고 요구 전송 속도보다 빠른 데이터 전달 속도를 가지는 이웃 노드들 중에 하나를 다음 홉 노드로 선택할 수 있다면 실시간 데이터는 요구 시간 기한 내에 전달될 수 있다는 것이다. 이를 위해서 각각의 노드는 이웃 노드까지의 거리와 데이터 전송 시간을 통해서 자신의 이웃 노드들의 데이터 전송 속도를 관리한다.

이동 싱크는 전쟁 지역의 군인들과 재난 지역의 구조자들과 같은 응용들을 위해서 그리고 정적 싱크 주변에 집중(Hotspot) 문제를 해결하여 에너지 효율을 위해서 제시되었다[5]. 그러나, 기존의 실시간 라우팅 프로토콜들은 이동 싱크를 고려하지 않기 때문에 이동 싱크까지의 실시간 데이터 전송을 제공하기 어렵다. 이것은 이동 싱크가 계속적으로 이동하여 소스로부터 이동 싱크까지의 거리가 계속적으로 변화기 때문이다. 결과적으로, 요구 전송 속도를 계산할 수 없다. 대체적으로, 실시간 데이터가 싱크의 알려진 위치에 의해 계산된 요구 전송 속도를 통해서 이 위치까지 전송되고 이 위치로부터 이동 싱크의 새로운 위치까지 추가적으로 전송될 수 있다. 그러나, 이러한 추가적인 데이터 전달은 전송 지연을 발생하고 그러므로 실시간 데이터의 요구 전송 시간내의 전송을 실패할 것이다.

최근에 이동 싱크를 위한 실시간 라우팅을 지원하기 위한 Expectation Area-based Real-time Routing(EAR2) 프로토콜이 제안되었다[6]. EAR2에서 소스는 싱크의 이동 속도를 통하여 예상 지역을 계산하고 그때 자신으로부터 예상 지역에 가장 가까운 포인트(Closest Point(CP))까지 유니캐스트를 통해 실시간 데이터를 전송한다. CP 상에 센서 노드가 이 데이터를 수신하면 예상 지역 내로 이 데이터를 플러딩(Flooding)한다. 그러므로, 이동 싱크는 예상 지역 내의 어떠한 장소에서도 이 데이터를 수신할 수 있다. EAR2는 요구 시간 기한 $T_{setdeadline}$이 소스로부터 CP 까지의 포워딩 시간 $T_{forwarding}$과 예상 지역 내로의 플러딩 시간 $T_{flooding}$의 합보다 작도록 보장하는 것에 의해 실시간 데이터 전송을 제공한다. 그러나, EAR2는 예상 지역 내로의 플러딩을 사용하기 때문에 예상 지역 내의 센서 노드들의 과도한 에너지 소비를 야기한다. 또한, 예상 지역내의 플러딩 시간을 측정하는 것은 매우 어렵고 시간과 환경에 따라서 변화가 매우 크다. 이러한 플러딩으로 인한 문제는 싱크의 속도가 증가하면 예상 지역 크기의 증가로 플러딩 지역의 증가와 플러딩 시간의 증가로 더욱 심각해질 것이다. 게다가, 예상 지역까지의 실시간 데이터 전송은 단일 경로만 사용하기 때문에 링크 손실이 많은 무선 센서망에서 신뢰성 있는 전달을 지원하기 어렵다.

그러므로, EAR2에서 플러딩의 과도한 에너지 소비와 광범위한 시간 변화성의 문제와 단일 경로의 비신뢰성 문제를 해결하기 위하여 본 논문은 이동 싱크를 위한 그리드와 멀티 경로 기반의 실시간성과 신뢰성 지원 방안을 제안한다.

제안 방안은 이동 싱크의 예상 지역에 추가로 예상 지역 내에 속한 예상 그리드를 고려한다. 또한, 제안 방안은 예상 지역 내의 플러딩 대신에 예상 그리드까지의 멀티캐스팅과 예상 그리드에서 단일 홉 포워딩을 이용한다. 플러딩에 비해서 멀티캐스팅은 많은 에너지를 절약할 수 있고 단일 홉 포워딩 시간은 측정하기 쉽고 시간과 환경에 따른 변화가 크기 않다. 소스로부터 이동 싱크까지 요구 시간 기한 $T_{setdeadline}$ 내에 실시간 데이터를 전송하기 위해서 제안 방안은 각각의 다중 경로 포인트 MPi에 대하여 $T_{setdeadline}$이 소스로부터 MPi까지의 유니캐스팅 시간 $T_{unicast-MPI}$, MPi로부터 각각의 예상 그리드까지의 멀티캐스팅 시간 $T_{\mu lticast}$, 그리고, 예상 그리드 내에서의 단일 홉 포워딩 시간 $T_{one-hop}$의 총합 시간보다 크도록 보장한다. 시뮬레이션 결과는 제안 방안이 기존 방안들, SPEED와 EAR2보다 Deadline Miss Ratio와 Energy Consumption 관점에서 더 나은 성능을 가짐을 보여준다.

본문의 내용은 다음과 같이 진행한다. 먼저, 2장에서 제안 방안의 개요와 네트워크 모델을 설명한다. 3장은 제안방안의 세부 내용들 제시한다. 4장은 제안방안의 성능을 시뮬레이션 결과를 통하여 평가한다. 5장은 결론을 서술한다.

2. 제안 방안의 개요 및 네트워크 모델

실시간 데이터를 소스에서 고정된 싱크까지 요구 시간 기한($T_{setdeadline}$)내에 전송을 하기 위해서 기존방안[3, 4]은 요구 시간 기한과 소스에서 싱크까지의 거리 d(source, sink)를 통해 다음과 같이 계산되는 요구 전송 속도(Sspeed)를 이용한다.

$$S_{speed} = d(source, \sin k) / T_{setdeadline} \quad (1)$$

기존 방안이 소스에서 싱크까지 데이터를 전송할 때, 모든 중간 노드는 다음 노드를 선택함에 있어 자신의 이웃 노드들 중에 자신보다 싱크에 가깝고 요구 전송 속도보다 빠른 싱글 홉 전송 속도를 제공하는 노드를 선정한다. 그러므로, 매 홉마다 요구 전송 속도보다 빠른 데이터 전송 속도를 제공하는 중간 노드들을 통해서 데이터를 전송하는 것에 의해, 소스로부터 싱크까지 실시간 데이터 전송은 요구 시간 기한 내에 달성될 수 있다. 그러나, 만약 싱크가 움직인다면, 소스에서 싱크까지 거리 d(source,sink)가 증가 또는 감소된다. 그래서, 요구 전송 속도도 계속적으로 변한다. 게다가, 요구 전송 속도는 소스가 이동 싱크의 현재 위치를 알 수 없기 때문에 결정하기 어렵게 된다.

그러므로, Fig. 1과 같이 우리는 소스에서 이동 싱크까지 실시간성과 신뢰성을 지원하는 라우팅 프로토콜을 제안한

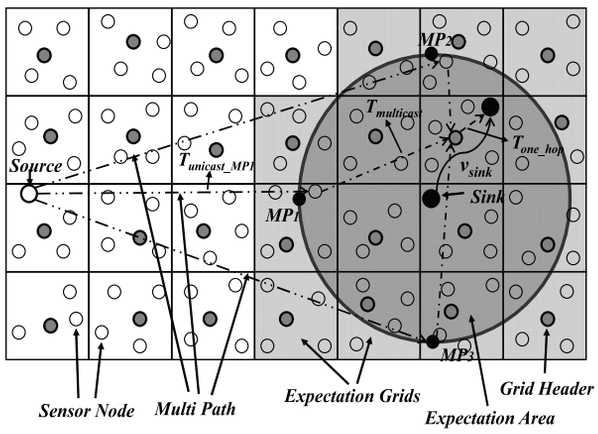


Fig. 1. Real-Time Data Delivery Based on Expectation Grids of a Mobile Sink

다. 제안 방안에서 센서 네트워크는 가상의 그리드 구조로 나뉘어 진다. 우리는 이동 싱크가 요구 시간 기한 내에 이동 할 수 있는 예상 지역(Expectation Area(EA))을 고려한다. 소스는 EA를 이동 싱크의 등록된 위치와 속도를 사용하여 계산한다. 그때, 소스는 EA에 속하는 그리드들을 결정한다. 우리는 이 그리드들을 이동 싱크의 예상 그리드들(Expectation Grids(EGs))라고 한다. 우리는 EA와 EGs를 계산하기 위한 방법을 3.1절에서 서술한다. 소스로부터 이동 싱크까지 실시간 데이터를 전송하기 위해 제안 방안은 3가지 단계로 구성된다: 1) 소스가 유니캐스트 포워딩[7]을 통해 자신으로부터 각각의 다중 경로 포인트(MPi) 상의 센서 노드에게 실시간 데이터를 전송한다. 2) 다중 패스 포인트 상의 센서 노드가 멀티캐스트 포워딩을 통해 EGs의 그리드 헤더들에게 실시간 데이터를 전송한다. 3) 이동 싱크가 위치한 EG의 그리드 헤더가 단일 홉 포워딩을 통해 이동 싱크에게 실시간 데이터를 전송한다. 3.3절에게 우리는 위의 3가지 단계를 자세하게 설명한다. 소스로부터 이동 싱크까지 요구 시간 기한 내에 실시가 데이터를 전송하기 위해, 제안 방안은 각각의 다중 경로 포인트 MPi에 대하여 $T_{setdeadline}$이 1) 유니캐스팅 시간 $T_{unicast-MPI}$, 2) 멀티캐스팅 시간 T_{m-cast}, 그리고, 3) 단일 홉 포워딩 시간 $T_{one-hop}$의 총합 시간보다 크도록 보장한다. 우리는 이러한 세 개의 포워딩 시간의 계산 방법을 3.2절에서 서술한다.

다음으로, 본 본문의 제안 방안을 실현하기 위한 네트워크의 모델을 설명한다. Fig. 1과 같이 우리는 센서 네트워크를 작은 가상의 그리드로 나눈다. 각각의 그리드는 자신의 그리드 ID를 가진다. 그리드의 크기는 $(a\times a)m^2$의 정사각형이다. 하나의 그리드 안에 센서 노드들이 다른 센서 노드들과 직접 통신이 가능하도록 하기 위해서 그리드 크기 a는 센서 노드들의 전송 범위가 R_{trans} 일때 $(1\ /\ \sqrt{2})R_{trans}$ 보다 작게 설정된다. 네트워크에 노드들은 GPS 시그널을 수신하거나 위치 인식 기술[7]을 사용하여 자신의 위치 (x, y) 정보를 인지한다. 그러므로, 각각의 센서 노드는 자신의 위치 정보를 이용하여 그리드 ID인 (a, b)를 $a=[(x-x_0)/\alpha], b=[(y-y_0)/\alpha]$ 에 의해 계산한다. (x_0, y_0)는 네트워크 구성 초기에 시스템 파라미터로써 제공되는 가상의 시작점이다. 또한, 우리는 각각의 그리드에 그리드 헤더를 선택한다. 그리드 헤더는 해당 그리드의 중심에 가장 가까운 센서 노드가 선택된다. 왜냐하면, 가장 중심에 센서 노드는 다른 센서 노드들보다 적은 전송 지연을 가지고 해당 그리드의 어떠한 장소에 위치한 이동 싱크에게 실시간 데이터를 전송할 수 있기 때문이다. 그리드의 가장 중심에 센서 노드를 그리드 헤더로 선정하기 위해서 해당 그리드의 모든 센서 노드들은 그리드 내로 자신의 위치 정보를 브로드캐스팅한다. 위치 정보의 브로드캐스팅에 의해 해당 그리드의 모든 센서 노드들은 그리드의 가장 중심에 위치한 센서 노드를 인지할 수 있고 그 노드를 그리드 헤더로 선정한다. 하나의 그리드 헤더가 손실되면 해당 그리드의 다음으로 중심에 가장 가까운 센서 노드를 새로운 그리도 헤더로 선택한다.

3. 제안 방안

3.1 이동 싱크의 예상 지역과 그리드

이동 싱크까지 데이터 전송을 위해 소스는 위치 서버로부터 싱크 위치 서비스[8]를 이용하여 싱크의 위치 정보를 얻어온다. 이동 싱크가 센서 필드에서 랜덤하게 움직이는 것을 고려하면 소스가 얻는 싱크의 위치는 현재의 정확한 위치가 아니다. 요구 시간 기한 전까지 이동 싱크에게 데이터를 전달하기 위해서 어느 시간 간격 동안 싱크가 이동할 수 있는 위치를 원의 형태로 예측하고, 이것을 예상 지역(EA)이라 한다. 이전 연구[9, 10]와 같이 EA는 싱크의 알려진 위치와 속도에 의해서 계산될 수 있다. 우리는 t_0은 싱크가 위치 서버에 자신의 위치 정보를 등록한 시간, t_1은 소스가 싱크의 위치 정보를 얻은 시간, t_2는 소스가 실시간 데이터를 이동 싱크에게 전달하기 위해 전송을 시작한 시간, 그리고 t_3는 싱크가 소스로부터 전송된 데이터를 받을 시간이라고 정의한다. $T_{setdeadline}$은 t_3-t_2이다. 이동 싱크의 최장 이동거리 r, 즉 EA의 반지름은 싱크의 이동속도 $V_{\sin k}$를 통해서 다음과 같이 계산된다.

$$r=(t_3-t_0\times V_{\sin k}) \tag{2}$$

Fig. 1과 같이 r이 싱크가 t_3-t_0동안 움직일 수 있는 최대 거리이므로 싱크는 t_3에서 EA안에 어떠한 위치에 존재할 것이다.

Fig. 1의 어두운 원은 이동 싱크의 EA를 나타낸다. 이동

싱크는 EA안에 속하는 그리드들 중에 하나에 위치할 것이기 때문에 우리는 EA안에 포함된 그리드를 고려한다. 우리는 EA에 그리드들을 이동 싱크의 예상 그리드(EGs)라 한다. 이동 싱크가 위치한 EGs의 그리드 헤더는 실시간 데이터를 단일 홉 포워딩을 통해 이동 싱크에게 전달한다. 그러므로, EGs의 그리드 헤더는 다중 경로 포인트(Multipath Points(MPs))의 각각으로부터 실시간 데이터를 받게 된다. Fig. 1의 어두운 그리드는 이동 싱크의 EGs를 나타낸다. 이동 싱크가 어떠한 새로운 EG로 들어오면 자신의 위치 정보를 이 그리드의 그리드 헤더에게 등록한다.

3.2 요구 전송 속도의 계산

소스로부터 이동 싱크까지 요구 시간 기한 내에 실시간 데이터를 신뢰성 있게 전송하기 위해서 제안 방안은 다중 경로 포인트들(MPs)을 사용한다. 따라서, 제안 방안은 각각의 다중 경로 포인트 MPi에 대하여 $T_{setdeadline}$이 1) 유니캐스팅 시간 $T_{uniucast-MPi}$, 2) 멀티캐스팅 시간 T_{m-cast}, 그리고, 3) 단일 홉 포워딩 시간 $T_{one-hop}$의 총합 시간보다 크도록 보장한다. 이를 위해서 우리는 이러한 3가지 포워딩 시간을 계산하기 위한 방법을 서술한다. 요구 시간 기한 $T_{setdeadline}$이 주어질 때 모든 MPi에 대해 다음의 조건이 만족되어야 한다.

$$T_{setdeadline} \geq T_{unicast\_MPi} + T_{m-cast} + T_{onehop} \quad (3)$$

Equation (3)을 만족하도록 하기 위해서 우리는 먼저 하나의 예상 그리드 안에 이동 싱크가 단일 홉 포워딩을 통해서 실시간 데이터를 수신할 수 있는 기대 시간 $T_{one-hop}$을 결정한다. 그러나, 소소는 이동 싱크가 위치한 예상 그리드와 이 그리드 안에서의 단일 홉 포워딩 시간을 알 수 없다. 비록, $T_{one-hop}$이 측정될 수는 있지만 측정된 값은 시간과 환경에 따라 큰 변화를 가질 것이다.

Table I. Observed One-Hop Forwarding Time

Case	Minimum	Average	Maximum
Value	0.003075 msec	0.003408 msec	0.003655 msec

그러므로, $T_{one-hop}$을 위해 우리는 QualNet Version4.0[10]을 사용한 시뮬레이션을 통해서 하나의 그리드에서의 관측 단일 홉 포워딩 시간을 이용한다. Table 1은 관측 단일 홉 포워딩 시간에 대한 시뮬레이션 결과를 보여준다. 다양한 환경(노드 밀도, 단일 홉 포워딩 노드, 데이터 패킷 크기 등)에서 다수의 실행을 통해서 시뮬레이션 결과를 얻었다. Table 1은 관측 단일 홉 포워딩 시간의 최소값, 평균값, 그리고 최대값을 보여준다. 그러므로, 하나의 그리드에서 단일 홉 포워딩 시간은 관측 단일 홉 포워딩 시간의 최소값과 최대값의 사이에 하나의 값을 가질 것이다. 우리는 $T_{one-hop}$을 위해 관측 단일 홉 포워딩 시간의 최대값을 이용한다. 왜냐하면, 실제 단일 홉 포워딩 시간은 관측 단일 홉 포워딩 시간의 최대값보다 크지 않은 값을 가질 것이기 때문이다.

우리가 $T_{one-hop}$을 결정하였기 때문에 $T_{uniucast-MPi}$ t와 T_{m-cast}는 다음과 같이 재정의된다.

$$T_{setdeadline} - T_{one-hop} \geq T_{uniucast-MPi} + T_{m-cast} \quad (4)$$

다음으로, 우리는 $T_{uniucast-MPi}$i에 대한 거리 $d_{unicast_MPi}$와 T_{m-cast}에 대한 거리 d_{m-cast}를 계산한다. 두 거리 $d_{unicast_MPi}$와 d_{m-cast}가 계산될 수 있다면 우리는 $T_{uniucast-MPi}$와 T_{m-cast} 모두를 위한 요구 전송 속도 S_{speed_MPi}를 계산할 수 있다. 우리는 먼저 소스로부터 이동 싱크의 예상 지역의 CP까지의 거리 $d_{unicast_MPi}$를 다음과 같이 계산한다.

$$d_{unicast\_MPi} = d(src, MPi) \quad (5)$$

우리는 다음으로 MPi로부터 하나의 예상 그리드의 그리드 헤더까지의 거리인 d_{m-cast}를 계산한다. MPi로부터 하나의 예상 그리드의 그리드 헤더까지의 거리는 예상 그리드의 위치에 따라서 다르다. 그러므로, d_{m-cast}를 위해서 우리는 MPi로부터 MPi에서 가장 먼 예상 그리드의 그리드 헤더까지의 거리를 고려한다. 우리는 이 거리를 $d_{m-cast_fastest}$t라고 한다. MPi로부터 다른 예상 그리드의 그리드까지의 거리는 $d_{m-cast_fastest}$보다 짧을 것이기 때문에 가장 먼 예상 그리드의 그리드 헤더를 위한 데이터 전송 속도는 더 짧은 예상 그리드의 그리드 헤더를 위한 데이터 전송 속도보다는 더 빠를 것이다. 그러므로, 가장 먼 예상 그리드의 그리드 헤더가 자신의 데이터 전송 속도에 의해 실시간 데이터 전송을 지원받는다면 이 데이터 전송 속도는 더 짧은 예상 그리드의 그리드 헤더들을 위한 실시간 데이터 전송을 지원할 수 있다. 그러나 가장 먼 예상 그리드의 그리드 헤더를 위한 $d_{m-cast_fastest}$t는 해당 그리드 내에서 그리드의 헤더의 위치에 따라서 달라진다. Fig. 2와 같이 $d_{m-cast_fastest}$를 위하여 우리는 예상 지역이 가장 먼 예상 그리드의 하나의 꼭지점과 만나고 이 가장 먼 예상 그리드의 그리드 헤더가 자신의 그리드에서 앞에 꼭지점에 반대편 꼭지점에 위치한 상

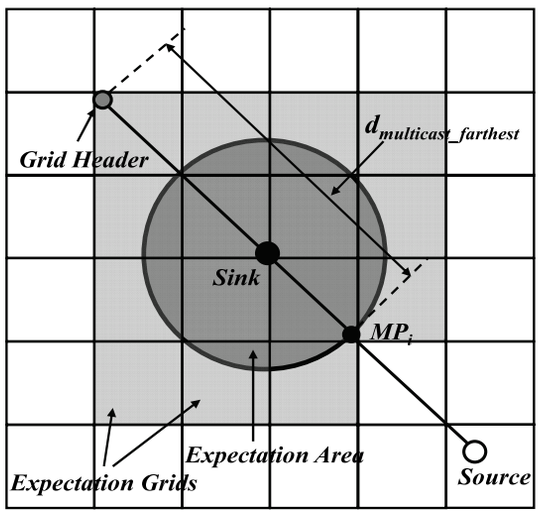


Fig. 2. An Example for Dmulticast_Farthest

황을 고려한다. 그러므로, $d_{m-cast_fastest}$는 다음과 같이 계산된다.

$$d_{m-cast\_fastest} = 2r+ \sqrt{2}\ a \quad (6)$$

따라서, $d_{unicast_MPi}$와 $d_{m-cast_fastest}$의 합은 다음과 같이 재 정의된다.

$$T_{uniucast-MPi} + d_{m-cast\_fastest} = d(src, MPi) + 2r + \sqrt{2a} \quad (7)$$

그러므로, 소스로부터 MPi를 통하여 가장 먼 예상 그리드의 그리드 헤더까지의 요구 전송 속도는 다음과 같이 계산된다.

$$S_{(speed_{MPi})} = \frac{d(src, MPi) + 2r + \sqrt{2R}}{T_{setdeadline} - T_{one\_hop}} \quad (8)$$

위와 같은 방식에 의해 소스는 다중 경로 포인트들의 각각을 통한 요구 전송 속도를 계산한다.

3.3 데이터 전달

센서 노드들을 배치하기 전에 프로그램 모듈을 통해서 우리는 센서 노드들이 단일 홉 포워딩 시간 $T_{one-hop}$을 알 수 있도록 한다. 제안 방안에서 모든 소스는 요구 시간 기한 $T_{setdeadline}$ 안에 실시간 데이터를 전송하기 위해 $T_{one-hop}$을 이용한다. Equation (8)에 의해 각각의 다중 경로 포인트 MPi까지의 요구 전송 속도 S_{speed_MPi}를 계산한 후 소스는 싱크 ID와 S_{speed_MPi}의 정보를 포함하는 실시간 데이터를 그 다중 경로 포인트 MPi로 전송한다. 실시간 데이터 전송을 지원하기 위해 실시간 데이터는 MPi를 통해서 예상 그리드의 그리드 헤더들까지 S_{speed_MPi} 보다 빠른 속도로 매 단일 홉마다 전송이 되어야 한다. 소스를 포함한 모든 중간 노드드들은 실시간 데이터를 전송하기 위한 다음 홉 노드로써 자기 자신보다 MPi에 더 가깝고 S_{speed_MPi} 보다 더 빠른 단일 홉 전송 속도를 가지는 이웃 노드들 중에 하나를 선택한다. MPi 상의 센서 노드들 중에서 예상 지역 내에 위치하고 실시간 데이터를 처음으로 수신한 센서 노드는 실시간 데이터를 전송하는 것을 멈춘다. 그때, 이 센서 노드는 섹션 2.1에 방법을 통해서 예상 그리드들을 계산하고 S_{speed_MPi}를 지원할 수 있는 중간 노드들을 통해서 각각의 예상 그리드의 그리드 헤더에게 실시간 데이터를 전송한다. S_{speed_MPi}는 단일 홉 전송 시간의 최대값을 고려하여 계산되어졌기 때문에 예상 지역 내에 위치한 이동 싱크는 자신이 현재 위치한 예상 그리드의 그리드 헤더로부터 실시간 데이터를 $T_{setdeadline}$안에 수신할 수 있다.

4. 성능 평가

우리는 제안방안과 이전 방안 SPEED[3], EAR2[6]를 시뮬레이션을 통해 비교하였다. 시뮬레이션 도구로 Qualnet ver 4.0[11]을 사용했다. 시뮬레이션의 네크워크는 1개의 이동 싱크와 500m×500m의 영역에 균일하게 배치된 5,000개의 센서 노드로 구성하였다. 센서의 에너지 모델은 MICA[12]의 특징을 따른다. 센서의 무선 범위는 15m로 지정하였다. 센서의 전송, 사용은 각각 0.66W과 0.39W이다. 싱크 위치 서비스는 네트워크 중심에 위치한 위치 서버에 의해 지원받는다. 매 0.5초 마다 이동 싱크는 자신의 위치 정보를 위치 서버에게 등록한다. 센서 노드는 임의적으로 소스로 선택된다. 그리고 싱크 위치 서비스를 통해 0.5초 단위로 싱크의 위치를 알게 된다. 소스는 매 5초마다 1초의 요구 시간 기한을 가지는 실시간 데이터를 발생하여 이동 싱크에게 전송한다. SPEED가 싱크의 이동성을 지원하지 않기 때문에 우리는 footprint chaining[4] 기법을 추가한다. 제안 방안의 그리드 크기 a는 10m이다. 시뮬레이션은 100초 동안 진행하였다. 수신 에너지

Fig. 3은 이동 싱크의 속도에 따른 Deadline Miss Ratio (DMR)를 나타낸다. SPEED의 경우 속도가 증가하게 되면 DMR은 더욱 급격하게 증가한다. SPEED가 소스에서 현재까지 알고 있는 싱크까지의 거리를 이용하여 계산된 속도를

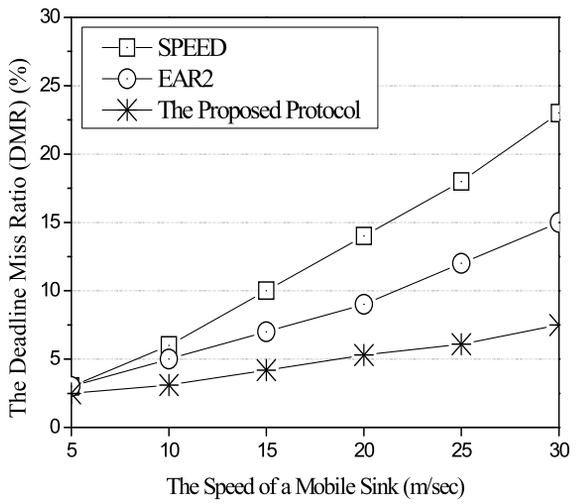


Fig. 3. The Deadline Miss Ratio for the Speed of a Mobile Sink

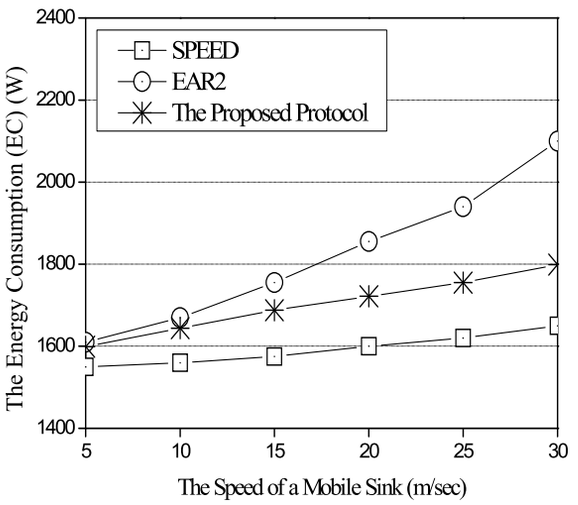


Fig. 4. The Energy Consumption for the Speed of a Mobile Sink

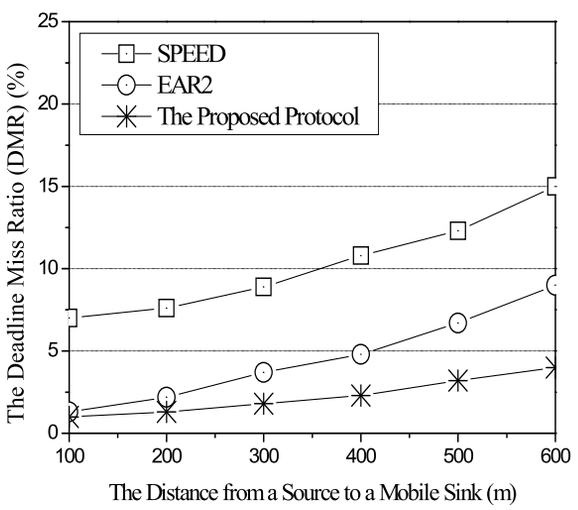


Fig. 5. The Deadline Miss Ratio for the Distance from a Source to a Mobile Sink

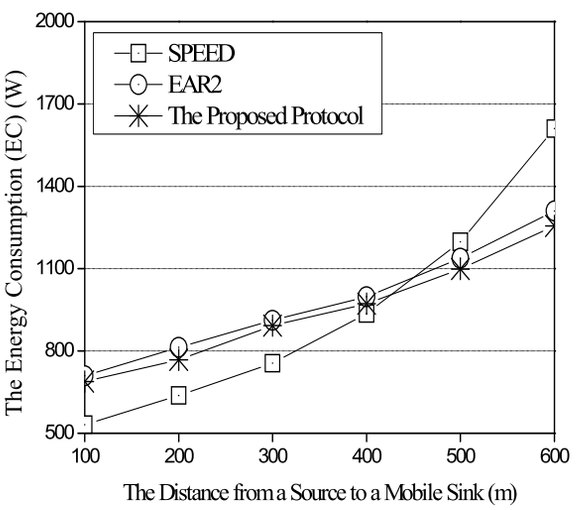


Fig. 6. The Energy Consumption for the Distance from a Source to a Mobile Sink

요구 전송 속도로 이용하기 때문에 데이터가 알고 있는 싱크로 제 시간에 전송되었을지라도 이동하는 싱크는 요구 시간 기한 전까지 패킷 수신이 어려울 것이다. 만약 속도가 증가한다면 EZ의 크기가 증가하기 때문에 EAR2와 제안방안은 DMR이 같이 증가할 것이다. EAR2에서 불안정하고 큰 플러딩을 하는 반면에, 제안 방안은 작고 안정적인 단일 홉 포워딩을 이용하기 때문에 EAR2가 제안 방안보다 DMR의 증가가 크다.

Fig. 4는 이동 속도에 따른 Energy Consumption(EC)를 비교한다. 만약 속도가 증가하게 되면, SPEED는 알고 있는 이동 싱크의 위치와 실제 이동 싱크의 위치의 차이가 커지기 때문에 EC가 크다. EAR2와 제안방안의 경우에도 모두 속도가 증가할 수록 이동 싱크의 위치가 예상되는 지역의 면적이 넓어진다. 제안방안은 EZ안에서 플러딩 대신에 multicast 를 사용하기 때문에 EAR2보다 적은 에너지를 소비한다.

Fig. 5는 소스와 이동 싱크 사이의 거리에 따른 DMR을 나타낸다. 만약 소스에서 이동 싱크까지의 거리가 멀어진다면, SPEED의 DMR은 EAR2과 제안방안 의 DMR보다 훨씬 더 많이 증가한다. 센서 노드가 요구 전송 속도를 보장하지 못하고, 이동 싱크의 움직이는 위치로 데이터를 전송을 위해 높은 딜레이를 갖기 때문이다. 그러나 EAR2와 제안 방안의 경우 만약 거리가 멀어진다면 오직 소스와 CP까지의 거리만 증가하게 된다. 결과적으로, 센서 노드가 요구 전송 속도를 보장하지 못할 확률이 DMR증가에 크게 작용하지 않아 DMR은 천천히 증가하게 된다. EAR2의 불안정한 플러딩때문에 작고 안정적인 단일 홉 포워딩을 이용하는 제안 방안보다 DMR이 더 많이 증가한다.

Fig. 6은 거리에 따른 EC를 나타낸다. 만약 거리가 증가

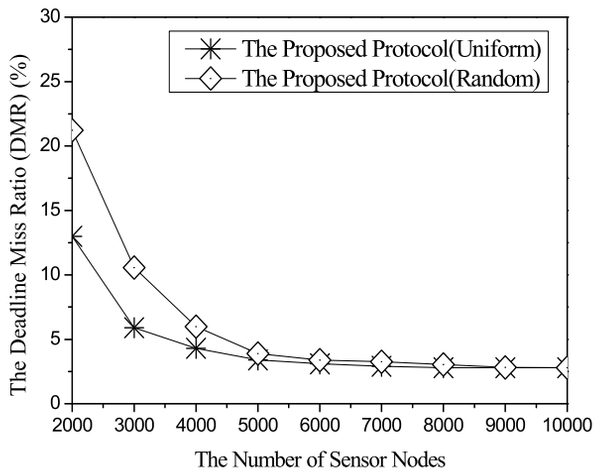


Fig. 7. The Deadline Miss Ratio of the Proposed Protocol for the Number of Sensor Nodes and the Node Deployment Types

하게 되면 싱크의 움직임 때문에 더 긴 거리로 데이터를 전송 하기 때문에 세 가지 방안 모두 더 많은 에너지를 소비한다. SPEED의 경우 움직이는 싱크에 따라 거리가 증가하게 되어 에너지 소비가 커진다. EAR2와 제안방안의 경우에도, 거리가 증가하게 된다면 소스와 CP의 거리도 증가하기 때문에 총 에너지 소비 또한 증가 하지만, EZ안에서 플러딩을 수행하는 EAR2가 EZ안에서 그리드 헤더에게 multicast 하는 제안 방안 보다 에너지 소비가 더 크다.

Fig. 7은 센서 노드의 수와 노드의 분포(균등과 랜덤)에 따른 제안 방안의 DMR을 보여준다. 랜덤하게 분포된 상황에서 제안 방안은 노드가 적게 분포된 그리드의 리더의 생존 시간이 균일하게 분포된 상황보다 적기 때문에 데이터 전송의 문제를 가지기 때문에 DMR이 더 높다. 그리고, 균등과 랜덤 분포 모두에서 센서 노드의 수 적으면 노드가 분포되지 않는 그리드가 증가하여 DMR이 매우 높다. 하지만, 센서 노드의 수가 증가하면 그리드 내의 센서 노드의 분포가 증가하여 DMR을 감소시킨다. 그리고, 센서 노드의 수가 7,000개 이상이 되면 센서 노드의 수의 증가의 효과가 더 이상 나타나지 않는다.

5. 결 론

본 논문에서 우리는 무선 센서 네트워크에서 이동 싱크를 위한 가상 그리드와 다중 경로 기반의 QoS 지원 방안을 제안한다. 플러딩의 높은 에너지 소비와 불안정적이고 큰 규모의 포워딩 문제를 해결하기 위해 제안 방안은 적은 에너지를 사용하는 multicast와 작고 안정적인 단일 홉 포워딩 시간을 이용하였다. 제안 방안은 요구 기한 시간 $T_{setdeadline}$ 내에 실시간 데이터를 신뢰성 있게 전달하기 위해 각각의 다중 경로 포인트 MPi에 대하여 $T_{setdeadline}$이 1) 유니캐스팅 시간 $T_{unicast\_MPi}$, 2) 멀티캐스팅 시간 T_{m_cast}, 그리고 3) 단일 홉 포워딩 시간 $T_{one-hop}$의 총합 시간보다 크도록 보장한다. 시뮬레이션 결과는 제안방안이SPEED와 EAR2보다 deadline miss ratio와 energy consumption의 관점에서 더 효율적임을 보여준다.

References

[1] I. Akyildiz, W. Su, and E. Cayirci, “A Survey on Sensor Networks,” *IEEE Communications Magazine*, Vol.40, No.8, pp.102-114, Aug., 2002.

[2] S. Rachamalla1 and A. Kancharla, “A Survey of Real-Time Routing Protocols for Wireless Sensor Networks,” *International Journal of Computer Science & Engineering Survey*, Vol.4, No.3, pp.35-44, 2013.

[3] T. He, J. A. Stankovic, T. F. Abdelzaher, and C. Lu, “A Spatiotemporal Communication Protocol for Wireless Sensor Networks,” *IEEE Trans. Parallel and Distrib. Syst.*, Vol.16, No.10, pp.995-1006, Oct., 2005.

[4] S. Park, E. Lee, J. Jung, and S. Kim, “Real-Time Routing Based on On-Demand Multi-Hop Lookahead in Wireless Sensor Networks,” *IEICE Transactions on Communications*, Vol.E94-B, No.2, pp.569-702, Feb., 2011.

[5] S. Yu, B. Zhang, C. Li, and H. Mouftah, “Routing Protocols for Wireless Sensor Networks with Mobile Sinks: A Survey,” *IEEE Communications Magazine*, Vol.52, No.7, pp.150-157, 2014.

[6] S. Park, E. Lee, H. Park, J. Jung, and S.-H. Kim, “Strategy for Real-time Data Dissemination to Mobile Sinks in Wireless Sensor Networks,” in *Proc. IEEE PIMRC*, Sep., 2010.

[7] F. Cadger, K. Curran, J. Santos, and S. Moffett, “A Survey of Geographical Routing in Wireless Ad-Hoc Networks,” *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, Vol.15, No.2, pp.621-653, 2013.

[8] E. Lee, F. Yu, S. Park, S. Kim, Y. Noh, and E. Lee, “Design and analysis of novel quorum-based sink location service scheme in wireless sensor networks,” *Springer Wireless Networks*, Vol.20, No.3, pp.493-059, 2014.

[9] S. Basagni, I. Chlamtac, V. R. Syrotiuk, and B. A. Woodward, “A Distance Routing Effect Algorithm for Mobility (DREAM),” in *Proc. ACM MOBICOM*, Oct., 1998.

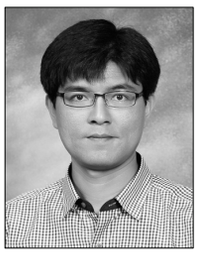
[10] Y.-B. Ko and N. H. Vaidya, “Location-Aided Routing (LAR) in Mobile Ad Hoc Networks,” *Springer Wireless Networks*, Vol.6, No.4, pp.307-321, 2000.

[11] Scalable Network Technologies, Qualnet [Internet], http://www.scalable-networks.com.

[12] J. Hill and D. Culler, “Mica: a wireless platform for deeply embedded networks,” *IEEE Micro*, Vol.22, Iss.6, pp.12-24, 2002.

임 진 혁

e-mail : hjyim@chungbuk.ac.kr
2015년 충북대학교 정보통신공학부(학사)
2015년～현 재 충북대학교 정보통신공학부 석사과정
관심분야 : Wireless Sensor Networks, Vehicular Ad-hoc Networks, Routing, Multipath



이 의 신

e-mail : eslee@chungbuk.ac.kr
2005년 충남대학교 컴퓨터공학과(학사)
2007년 충남대학교 컴퓨터공학과(석사)
2012년 충남대학교 컴퓨터공학과(박사)
2014년～현 재 충북대학교 정보통신공학부 조교수
관심분야 : Wireless Sensor Networks, Vehicular Ad-hoc Networks, Information-Centric Networking, Mobile Cloud Computing, Routing, Mobility, Multicasting