

무선 센서 망에서 실시간 응용의 이벤트 이동성을 지원하기 위한 라우팅 기법

이 소연*, 이정철*, 박호성*, 공정욱**, 김상하^o

RREM : Multi-hop Information Based Real-Time Routing Protocol to Support Event Mobility in Wireless Sensor Networks

Soyeon Lee*, Jeongcheol Lee*, Hosung Park*, Jonguk Kong**, Sangha Kim^o

요 약

무선 센서 네트워크의 실시간 응용은 데이터 전송의 적시성이 보장되어야 한다. 제한적 멀티-홉 정보 기반의 라우팅 기법은 제한된 범위 내에서 멀티-홉 실시간 정보를 수집하고 데이터 전송 경로를 구성함으로써 실시간 데이터 전송 성공률을 높인다. 하지만 멀티-홉 정보가 점진적으로 수집되기 때문에 멀티-홉의 실시간 정보를 기반으로 한 데이터 전송 경로를 구성하기 위해서는 일정 수준의 초기화 시간이 필요하다. 따라서 발생 위치가 고정된 이벤트에서는 효과적이지만 이벤트가 연속적으로 이동한다면 단일 홉의 실시간 정보만 반영된 경로가 구성될 수 있기 때문에 이벤트 이동성을 효과적으로 지원할 수 없다. 본 논문에서는 리다이렉팅 기법을 활용한 라우팅 기법을 제안한다. 제안 기법은 이동한 이벤트를 감지한 새로운 노드에서 멀티-홉의 실시간 정보 수집이 완료된 지역의 노드로 데이터를 리다이렉팅함으로써 이벤트 이동성을 효과적으로 지원한다. 시뮬레이션 결과 제안된 방안이 기존 연구들과 비교하여 에너지 효율성 및 시간 내 전송 성공률 등이 우수함을 보인다.

Key Words : Event Mobility, Real-time Routing, Wireless Sensor Networks, Multi-hop Look-ahead

ABSTRACT

In wireless sensor networks, real-time applications have to ensure the timely delivery of real-time data. Recently, OMLRP (On-demand Multi-hop Look-ahead Routing Protocol) has been proposed to improve the timeliness of wireless sensor networks. The protocol needs initialization time to establish multi-hop information based routing path because it performs incremental look-ahead of the information. Consequently, the protocol deteriorates DDSR (Deadline Delivery Success Ratio) as an event moves because it takes little consideration of event mobility. In this paper, we proposed a Real-time Routing for Events Mobility (RREM) which exploits a data redirection in order to improve the DDSR of moving events. Instead of recollecting multi-hop look-ahead information, the RREM redirects the data to a sensor node holding the information collected in a previous round. We verify the timeliness and energy efficiency of RREM using various MatLab simulations.

• 주저자 : 한국과학기술정보연구원, soyeon.lee@kisti.re.kr, 정회원

^o 교신저자 : 충남대학교 컴퓨터 공학과 컴퓨터네트워크 연구실, shkim@cnu.ac.kr, 중신회원

* 충남대학교 컴퓨터 공학과 컴퓨터네트워크 연구실, jcleo@cclab.cnu.ac.kr, 준회원, hspark@cclab.cnu.ac.kr, 정회원

** 한국과학기술정보연구원, kju@kisti.re.kr, 정회원

논문번호 : KICS2013-07-275, 접수일자 : 2013년 7월 1일, 최종논문접수일자 : 2013년 7월 18일

I. 서 론

무선 센서 네트워크에서 방사선 누출 감지, 침입 감지 그리고 화재 정보 등과 같은 실시간 응용들의 사용이 확대되고 있다^[1]. 이와 같은 응용들은 메시지 전달의 적시성이 보장되어야 한다^[2-7].

최소제약전송속도 기반의 데이터 전송 경로 설정 기법인 SPEED^[8]는 실시간 데이터 전송의 적시성을 보장하기 위한 연구이다. 각 센서 노드는 1-홉 이웃 노드들의 위치와 전송 속도 등과 같은 실시간 정보를 수집한다. 센서 노드는 목적지에 근접하고 최소제약전송속도를 만족하는 중계 노드를 선택해 데이터를 전송한다. 중계 노드를 선택하는 과정을 반복하여 목적지까지 데이터를 전송함으로써 실시간 데이터 전송 성공률(deadline delivery success ratio, DDSR)을 향상시킨다. SPEED의 성능 향상을 위해 멀티-홉의 실시간 정보를 기반으로 하는 THVR^[9]가 제안되었다. THVR은 네트워크 제어 메시지가 홉 수에 비례하여 급격히 증가되는 것을 방지하기 위해서 수집 범위를 2-홉으로 제한하고 있다.

제어 메시지를 감소시키기 위해 제한된 범위에서 멀티-홉 실시간 정보 수집을 수행하는 OMLRP^[10]가 제안되었다. OMLRP는 멀티-홉 정보를 기반으로 최적의 데이터 전송 경로를 설정함으로써 DDSR을 향상시킨다. 하지만, 데이터의 전송 홉수에 따라 정보 수집 범위가 점진적으로 확대되기 때문에 멀티-홉 정보를 획득하기 위해서는 일정 수준의 초기화 시간이 필요하다. 이벤트가 고정된 위치에서 발생하는 경우, 초기화 시간 이후의 데이터는 멀티-홉의 실시간 정보가 반영된 경로로 전송된다. 하지만 이벤트가 이동성을 갖는 경우, 점진적 실시간 정보 수집이 빈번히 발생하므로 최악의 경우 단일 홉 정보에 의존해 경로가 구성되는 문제가 있다. 본 논문에서는 이 문제를 반복 초기화문제라고 명명한다. 반복초기화문제는 DDSR을 감소시킨다. DDSR은 이벤트의 이동 속도가 빠를수록 급격하게 감소된다.

본 논문은 실시간 응용에서 이벤트 이동성을 지원하기 위해 OMLRP를 확장한 RREM (Real-time Routing for Events Mobility)를 제안한다. RREM은 OMLRP를 통해 수집된 멀티-홉 정보를 이용해 전송 경로를 설정함으로써 이동성을 갖는 이벤트에 대해서 DDSR을 향상시킨다. 기존 소스 노드의 위치 정보와 평균 데이터 전송 속도 정보는 비콘(beacon) 메시지를 이용해 브로드캐스팅 된다. 이벤트가 이동해 새로운 소스 노드가 선출되면, 데이터는 저장되어 있는 기존

소스 노드의 정보를 이용해 목적지로 리다이렉팅 된다. 이와 같이 이벤트가 이동하는 경우에 데이터를 리다이렉팅 함으로써 반복초기화문제를 해결하고 DDSR을 향상시킨다. MatLab^[16] 시뮬레이션을 이용하여 기존 연구와의 성능을 비교하고 우수함을 보인다.

논문의 구성은 2장에서는 실시간 응용에서의 데이터 전송에 대한 선행 연구들을 조사하고, 3장에서는 기존 연구의 문제점을 설명한다. 4장에서는 제안하는 라우팅 기법인 RREM를 제시하고 5장에서 시뮬레이션을 통한 성능 평가를 수행한다. 마지막으로, 6장에서는 결론 및 향후 연구 방향을 기술한다.

II. 관련 연구

무선 센서 네트워크의 실시간 응용에서 데이터 전송의 적시성을 보장하기 위한 많은 연구가 진행 중이다. 본 장에서는 선행 연구들을 소개한다.

최대 전송 파워 기반의 데이터 전송 프로토콜인 RPAR^[11]은 전송 파워를 증가시켜 통신 홉 수를 줄임으로써 전체 전송 지연 시간을 감소시킨다. 하지만 높은 전송 파워는 센서 망의 에너지 소비를 증가시켜 노드들의 수명을 단축시킨다.

SPEED^[8]는 최소제약전송속도 기반의 실시간 데이터 전송 기법이다. 최소제약전송속도는 소스 노드에서 목적지까지의 거리와 1-홉 중계 노드들의 지연시간을 고려하여 계산된다. 그리고 각 홉에서는 이 속도를 만족하는 노드를 중계 노드로 선택함으로써 목적지로 데이터를 전송한다. 하지만 SPEED는 1-홉 이웃 정보 기반의 지역적 결정(local decision)을 하기 때문에 최적의 경로가 설정되지 않을 수 있다.

MMSPEED^[12]는 데이터에 우선순위를 부여하고 지연 시간을 구분하여 다중 전송 속도를 제공함으로써 데이터 전송의 신뢰성을 향상시킨다. 또한 다양한 정보 보정 방식을 사용하여 지역적 정보만으로 전송 경로가 설정되는 문제를 해결한다. MMSPEED는 1-홉의 지역적 결정을 수행하기 때문에 SPEED와 동일한 문제가 발생한다.

THVR^[9]은 DDSR을 향상시키기 위해 멀티-홉의 실시간 정보를 이용하여 최적의 데이터 전송 경로를 설정한다. 네트워크 제어 메시지의 급격한 증가로 인한 에너지 소모를 막기 위해 수집 범위를 2-홉으로 제한하고 있다. SPEED와 같이 2-홉의 지역적 정보만 반영된 경로가 구성된다.

OMLRP^[10]는 실시간 정보 수집 범위를 제한하여 멀티-홉 실시간 정보를 수집함으로써 DDSR을 증가

시킨다. OMLRP는 소스 노드와 목적지 사이의 특정 제한 구역에 존재하는 노드들의 멀티-홉 전송 속도 정보를 공유한다. 그러므로 정보가 수집되는 홉 수가 증가해도 제어 메시지가 제한 구역 내에서만 발생한다. 하지만, 이동성을 갖는 이벤트에 대하여 반복초기화문제가 발생된다. 이 문제에 대해서는 다음 장에서 자세히 알아본다.

표 1. 선행 연구 비교
Table 1. Comparison of previous studies

라우팅 프로토콜	실시간 정보 수집 방법	정보 수집 범위 (홉 수)	에너지 효율성 고려 정도	이벤트 이동성 지원 여부
RPAR	X	X	Low	X
SPEED	proactive	1	Low	○
MMSPEED	proactive	1	Low	○
THVR	proactive	2	Low	○
OMLRP	on-demand	multi	Low	X
RREM	on-demand	multi	Moderate	○

선행 연구들을 <표 1>에 비교 정리한다. 표에서 보는 것과 같이, SPEED와 MMSPEED, 그리고 THVR은 1-홉 또는 2-홉의 정보를 상시적으로 수집한다. OMLRP와 RREM은 이벤트 발생시점에 멀티-홉의 정보를 수집한다. 이벤트가 이동성을 갖는 경우, OMLRP는 반복초기화문제가 발생되어 멀티-홉 정보를 이용하지 않은 경로로 데이터를 전송한다. RREM은 기존에 수집된 멀티-홉의 실시간 정보를 이용하여 최적의 경로를 설정한다. 반복초기화문제가 발생되지 않기 때문에 제어 메시지 수가 감소한다.

III. 반복초기화문제

OMLRP에서 멀티-홉 실시간 정보 수집은 그림 1과 같이 데이터 전송과 동시에 수행된다. 그림에서 실선 화살표는 데이터의 전송 경로를 의미하며, 점선 화살표는 실시간 정보를 담고 있는 응답 메시지이다. 소스 노드 Source는 응답 메시지를 포함한 데이터를 브로드캐스팅 한다. 데이터를 수신한 노드들은 자신의 1-홉 정보를 소스 노드로 전달한다.

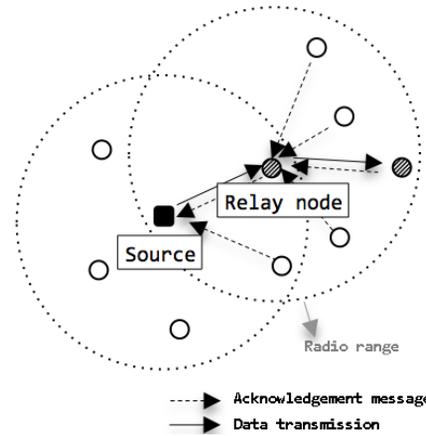


그림 1. 실시간 데이터 수집 방법
Fig. 1. The method to collect real-time information

소스 노드에서 획득하는 멀티-홉 정보의 개수는 데이터 전송 횟수에 비례한다. 예를 들어, k -홉의 실시간 정보는 $k-1$ 번의 데이터 전송이 이뤄진 후에 수집된다. k 번째 데이터를 전송할 때 k -홉의 실시간 정보를 이용하여 경로를 설정할 수 있다. 따라서 멀티-홉의 실시간 정보를 이용한 데이터 전송 경로의 구성을 위해서는 일정 수준의 초기화 시간이 필요하게 된다. 수집하는 홉 수가 증가할수록 초기화 시간도 증가하게 된다.

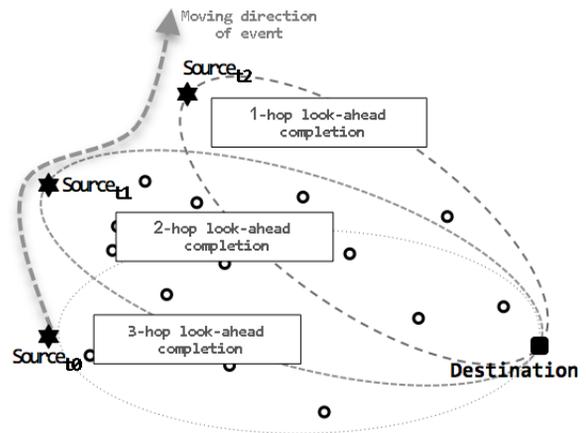


그림 2. 이벤트 이동에 따른 반복초기화문제
Fig. 2. Recollecting multi-hop look-ahead information problem

OMLRP는 초기화 완료 후 수집된 멀티-홉 실시간 정보를 이용하여 최적의 경로를 설정할 수 있다. 하지만 침입 탐지와 같이 이벤트가 이동하는 응용의 경로 구성 시 멀티-홉 실시간 정보 획득에 어려움이 있을 수 있다. 그림 2와 같이 이벤트가 이동함에 따라 인접

한 위치에 새로운 소스 노드가 연속적으로 선정된다. 수집되는 홉 수는 5-홉으로 가정한다. 소스 노드에서 5-홉 정보 수집이 완료되기까지 초기화 시간이 필요하다. 초기화 완료 전 이벤트가 이동함으로써 소스 노드 Source₀는 5-홉의 정보를 획득하지 못하고 3-홉의 정보만으로 경로를 설정한다. 소스 노드 Source₁과 Source₂ 에서도 초기화 완료 전에 이동한 이벤트로 인해 1-홉과 2-홉의 정보만 수집된다. 초기화 완료 이전에 이벤트 이동이 발생해 데이터는 5-홉의 정보가 아닌 지역적 정보만 고려된 경로로 전송된다. 이처럼 이벤트 이동성으로 인해 반복초기화문제가 발생되고 DDSR이 감소된다.

IV. RREM

제안하는 라우팅 기법이 적용되는 센서 망의 환경은 다음과 같다. 첫째, 목적지를 포함하는 모든 센서 노드는 GPS(Global Positioning System) 등을 통해 자신과 목적지의 위치 정보를 알고 있다^[13-15]. 둘째, 센서 노드들은 넓은 범위의 지역에 균일하게 배치되어 있다. 마지막으로 각 센서 노드들의 이벤트 감지 범위와 라디오 범위는 동일하다.

4.1. OMLRP를 이용한 기본 경로 설정

RREM의 데이터 전송 경로 설정 방법은 OMLRP와 동일하다. OMLRP에서 멀티-홉의 실시간 정보는 첫 번째 데이터가 전송됨과 동시에 수집된다. 선정된 소스 노드는 자신과 목적지 사이의 거리를 이용하여 최소제약전송속도^[8]를 계산한다. 데이터 전송 경로 상 각 홉에서 최소제약전송속도를 만족하는 노드를 중계 노드로 선택한다. 멀티-홉 실시간 정보 수집은 제한된 범위에서 수행된다. 제한된 범위는 소스와 목적지를 장축의 양 끝으로 하는 타원의 형태를 띤다. 타원은 센서의 분산 배치 등에 따라 크기 변화가 용이하기 때문이다^[10]. 타원의 높이는 수식 (1)과 같이 계산된다. h_{set} 은 수집 범위의 크기를 정할 수 있는 시스템 값으로 센서 망의 환경에 따라 유동적으로 조절될 수 있다.

$$H_{ellipse} = \frac{D(s,d)}{2} \times \frac{1}{h_{set}}, h_{set} \geq 1. \quad (1)$$

소스 노드는 목적지에 인접하고 최소제약전송속도를 만족하는 노드를 중계 노드로 선택한다. 데이터는 센서 노드가 유지할 이웃 노드의 홉 수, 타원의 높이

그리고 위치와 같은 제어 정보와 함께 중계 노드를 포함한 이웃 노드들로 브로드캐스팅 된다. 데이터를 수신한 이웃 노드들은 제어 정보를 이용하여 제한 범위에 자신이 포함되는지를 판단한다. 만약 포함된다면, 자신의 1홉 이웃 노드들의 실시간 정보를 담아 소스 노드로 응답 메시지를 전송한다. 포함되지 않는 노드들은 응답하지 않는다. 제한 범위에 위치한 센서 노드들은 수집한 멀티-홉의 정보를 일정시간 동안 저장한다. 일정시간 동안 데이터가 전송되지 않는다면 최초의 1-홉 정보만 유지한다.

소스 노드는 수집된 멀티-홉 실시간 정보를 이용하여 평균 전송 속도 S_k 을 계산한다. S_k 은 수식 (2)과 같이 수집한 전체 진행거리의 합과 k -홉까지 전송 시 지연되는 시간의 합 D 로 계산된다.

$$S_k = \frac{\Delta d}{\Delta t} = \sum_{i=0}^{k-1} \frac{d(n_i, n_d) - d(n_{i+1}, n_d)}{D_i^{i+1}}, \quad (2)$$

수식에서 i 는 k -홉으로 수집된 경로의 순번이며, n_d 는 목적지를 의미한다. 소스 노드는 계산된 k -홉의 평균 전송 속도 S_k 을 이용하여 최적의 경로로 데이터를 전송한다. 경로에 위치한 각 노드들은 자신의 위치에서 1-홉 기반의 데이터 전송에 참여한다.

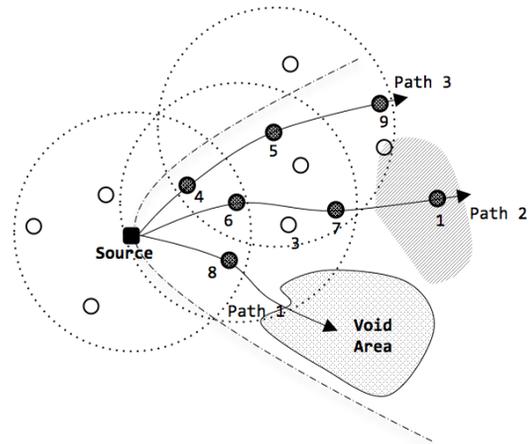


그림 3. 멀티-홉 정보를 이용한 전송 경로
Fig. 3. Routing path using multi-hop look-ahead information

그림 3은 멀티-홉 정보 기반의 데이터 전송 경로를 보여준다. 최소제약전송속도를 3으로 가정하고 데이터는 가장 빠른 경로로 전송한다. 평균 전송 속도는 거리는 고려하지 않고 그림의 노드 아래 적힌 전송 속도만 고려한다. 소스 노드 Source에서 1-홉 기반으로

데이터를 전송하는 경우, 8의 전송 속도를 가진 Path1이 선택된다. Path 1은 1-홉 이후에 빈 공간지역(void area)이 존재하여 더 이상 전송이 불가능하다. 그리고 2-홉의 정보를 고려하는 경우 평균 속도 $6.5((6+7)/2)$ 인 Path 2가 선택되지만 3-홉에서 데이터 전송 속도가 1로 느린 구간을 통과해야하기 때문에 DDSR이 감소한다. 3-홉의 정보가 고려된 경로 Path3은 1-홉에서 전송 속도 4로 느리지만 3-홉까지의 평균 속도가 $6((4+5+9)/3)$ 로 $4.667((6+7+1)/3)$ 인 Path2 보다 높아 DDSR을 향상시킨다. 이처럼 센서 망에 대한 넓은 뷰는 국소적으로 존재하는 빈 공간 지역과 저속 구간을 피해 최적의 중계 노드를 선택할 수 있도록 한다.

4.2. RREM의 이벤트 이동성 지원

OMLRP를 통해 수집된 멀티-홉 실시간 정보는 각 센서 노드에서 일정 시간동안 저장된다. 정보 수집이 완료된 이후 소스 노드는 AS(Anchor Source) 노드로 설정된다. AS 노드는 일종의 대표 노드로 이벤트가 이동하는 경우 선정된 새로운 소스 노드로부터 데이터를 전달받아 최종 목적지로 전송한다. AS 노드는 주기적으로 보내는 비콘 메시지에 자신의 위치 정보, 목적지로의 데이터 평균 전송 시간을 담아 브로드캐스팅 한다. 비콘 메시지를 수신한 센서 노드들은 AS 노드 정보를 저장한다.

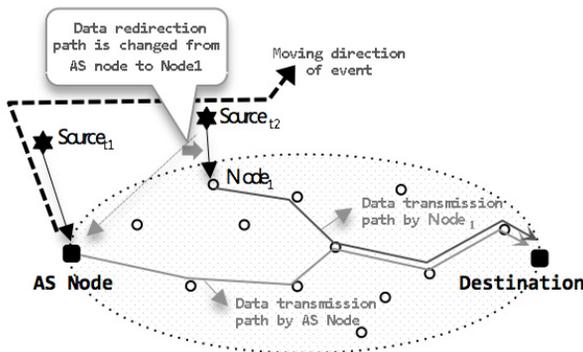


그림 4. RREM의 데이터 리다이렉팅 경로
Fig. 4. Data redirecting path

그림 4는 RREM의 데이터 리다이렉팅 경로를 보인다. RREM에서 소스 노드는 AS 노드까지의 경로에 존재하는 노드 중에서 AS 노드와 목적지 사이의 제한된 범위에 속한 노드가 있는지 검사한다. 속한 노드가 없다면 데이터는 그림의 소스 노드 Source₁과 같이 저장되어 있는 AS 노드로 전송된다. 데이터를 수신한 AS 노드는 저장되어 있는 멀티-홉 실시간 정보를 이

용하여 최적의 경로를 설정한다. 제한된 범위에 속한 노드가 있다면 소스 노드는 해당 노드를 통해 데이터가 리다이렉팅 되도록 수정한다. 그림 4의 소스 노드 Source₂와 같이, 데이터는 AS 노드로 리다이렉팅 되지 않고 소스 노드 Source₂의 제한된 범위에 있는 이웃 노드 Node₁로 전송된다. 노드 Node₁은 저장된 멀티-홉 실시간 정보를 이용하여 목적지로 데이터를 전송한다. RREM은 AS 노드보다 최적의 노드가 존재하는 경우 해당 노드로 리다이렉팅 되도록 전송 경로를 수정하기 때문에 DDSR을 더욱 향상시킨다.

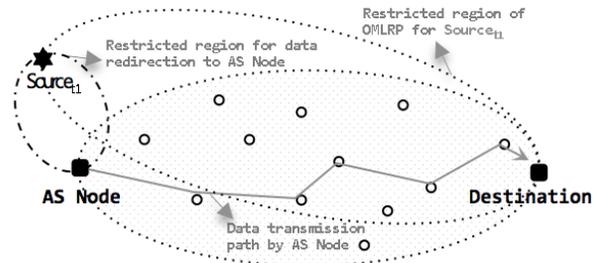


그림 5. RREM의 멀티-홉 정보 수집을 위한 제한 범위
Fig. 5. Restricted region in order to collect multi-hop look-ahead information

멀티-홉 정보 수집이 완료되기 전의 소스 노드는 단일-홉의 정보를 기반으로 데이터 전송 경로를 설정한다. RREM은 단일-홉 정보 기반의 경로를 줄이기 위해 그림 5와 같이 소스 노드 Source₁에서 목적지보다 지리적으로 인접한 AS 노드로 데이터를 전송한다. AS 노드부터는 멀티-홉 정보를 이용하여 데이터를 전송하므로 DDSR을 향상시킨다. 또한 소스 노드 Source₁에서 AS 노드까지 리다이렉팅을 위해 제한되는 범위는 목적지까지의 범위보다 좁다. 범위가 좁아짐에 따라 발생하는 제어 메시지가 감소하여 에너지 효율적이다.

RREM에서 새로운 소스 노드는 AS 노드까지의 거리 정보와 평균 전송 속도 정보를 기준으로 초기화 과정의 수행 여부를 판단한다. 다음은 수행 여부를 판단하기 위한 두 가지 결정 조건이다.

$$\text{cond. 1: } D(n_{src}, n_{as}) \geq D(n_{src}, n_{dst})$$

$$\text{cond. 2: } T(n_{src}, n_{as}) \geq T(n_{as}, n_{dst})$$

첫 번째 조건은 소스 노드와 AS 노드 사이의 거리 $D(n_{src}, n_{as})$ 가 목적지 사이의 거리 $D(n_{src}, n_{dst})$ 보다 멀거나 같은 경우이다. 이 경우는 소스 노드에서

AS 노드까지의 거리 $D(n_{src}, n_{as})$ 가 멀어짐으로써 AS 노드까지의 경로 설정에 더 많은 시간이 소요되어 DDSR이 감소하게 된다.

두 번째 조건은 AS 노드까지의 데이터 전송 시간 $T(n_{src}, n_{as})$ 이 AS 노드에서 목적지까지의 데이터 전송 시간 $T(n_{as}, n_{dst})$ 보다 크거나 같은 경우이다. 소스 노드는 AS 노드로 전송된 데이터의 응답 메시지로 AS 노드까지의 평균 전송 시간을 계산한다. 소스 노드에서 AS 노드까지의 데이터 전송 시간이 증가하면 DDSR이 감소된다.

V. 성능 검증

MatLab^[16] 시뮬레이션을 이용해서 RREM를 구현하고 기존 선행 연구들과의 성능을 비교·분석한다. 테스트 환경은 다음과 같다. 센서 망의 필드 크기는 $200 \times 200m^2$ 이며 300개의 노드가 랜덤하게 배치되어 있다. 각 센서의 라디오 반경은 10m이고, 소스 노드는 0.05초마다 데이터 패킷을 하나씩 전송한다. 제한 범위를 결정하는 h_{set} 의 값은 0.5로 가정한다.

5.1. 실시간 데이터 전송 성공률

본 실험에서는 DDSR을 종단간 거리, 임계 속도 그리고 이벤트 이동 속도에 따른 변화를 알아본다. SPEED와 THVR은 가장 빠른 경로로 데이터가 전송 되도록 설정하였다. OMLRP와 RREM은 5-홉 이웃의 실시간 정보를 수집한다. 소스 노드는 이벤트를 감지한 노드들 사이에서 선출된다. 무인 침입 감지나 이동 객체 추적 시스템과 같이 객체가 이동하는 경우에 이동 속도나 노드의 센싱 주기에 따라서 하나의 소스 노드에서 다수의 데이터가 발생되기도 한다. 실험에서는 이와 같은 응용을 모델로 한다.

그림 6은 소스 노드와 목적지 사이의 거리에 따른 DDSR을 보여준다. 이벤트 이동 속도는 15m/s로 고정한다. 이동 속도 15m/s인 이벤트는 소스 노드의 라디오 반경에서 여러 번 감지되고 하나의 소스 노드에서 다수의 데이터 전송이 발생되기 때문에 OMLRP는 멀티-홉 정보를 수집할 수 있다. SPEED와 THVR은 미리 수집된 단일-홉의 정보를 이용하여 데이터의 전송 경로를 설정한다. 하지만 경로 설정 시에 단일-홉의 정보만 고려되기 때문에 거리가 멀어질수록 DDSR이 감소된다. 실험 환경에서 OMLRP는 수집한 멀티-홉 정보를 이용하여 경로를 설정하기 때문에 단일-홉 정보를 이용하는 SPEED나 THVR보다 향상된 성능

을 보인다. OMLRP는 거리가 약 85m까지는 90% 이상의 DDSR을 보이나 거리가 멀어질수록 DDSR이 감소한다. 그러나 RREM은 기존에 수집된 멀티-홉의 실시간 정보를 이용하기 때문에 85m 이후에서도 OMLRP보다 10% 이상 향상된 DDSR을 보인다.

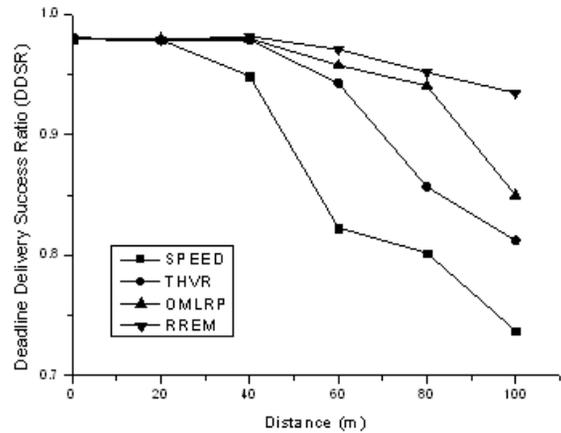


그림 6. 거리 변화에 따른 실시간 데이터 전송 성공률
Fig. 6. End-to-end distance

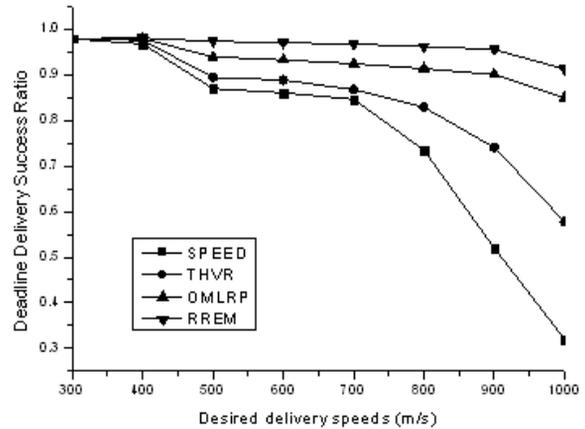


그림 7. 임계 속도와 실시간 데이터 전송 성공률
Fig. 7. Desired delivery speeds

그림 7은 종단거리를 100m, 이벤트 이동 속도를 15m/s로 고정한 경우 임계 속도에 따른 DDSR을 보여준다. SPEED와 THVR은 임계 속도가 증가할수록 DDSR이 급격하게 감소한다. 하나의 소스 노드에서 다수의 데이터 전송이 발생하는 실험 환경에서 OMLRP는 멀티-홉 정보를 획득할 수 있다. 수집된 멀티-홉 정보를 이용하여 데이터 전송 경로가 설정되기 때문에 임계 속도가 증가하여도 SPEED나 THVR보다 향상된 DDSR을 보인다. RREM은 800m/s의 임계

속도에서 20% 가량 향상된 DDSR을 보인다. 이벤트가 이동하는 환경에서 RREM는 리다이렉팅을 통해 멀티-홉 정보를 이용하기 때문에 점진적으로 멀티-홉 정보가 수집되는 OMLRP보다 7% 가량 향상된 DDSR을 보인다.

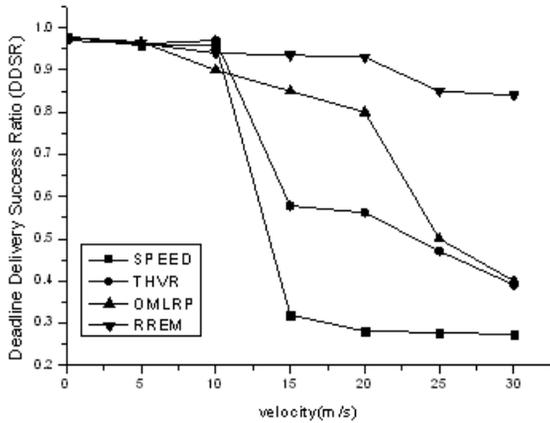


그림 8. 이동 속도와 실시간 데이터 전송 성공률
Fig. 8. Velocity

그림 8은 이벤트 이동 속도에 따른 각 프로토콜의 DDSR을 보여준다. 중단거리는 100m이다. SPEED나 THVR은 이벤트 이동 속도가 빨라질 경우 DDSR이 급격하게 감소한다. 실험 환경에서 이벤트 이동 속도가 증가하면 하나의 소스 노드에서 전송되는 데이터 전송 횟수가 감소된다. OMLRP에서 데이터 전송 횟수가 감소되면 실시간 수집되는 멀티-홉 정보가 줄어든다. 멀티-홉 정보가 수집되지 못한 OMLRP는 극단적인 경우 SPEED나 THVR과 같이 단일-홉 정보를 기반으로 경로가 설정되어 DDSR이 감소한다. 그림에서 보는 것과 같이 이동 속도 20m/s 이상에서 점차 감소하여 30m/s에서는 THVR과 비슷한 DDSR을 보인다. 하지만 본 논문에서 RREM는 데이터를 리다이렉팅함으로써 이벤트 이동 속도 30m/s에서도 OMLRP보다 50% 향상된 90% 이상의 데이터가 전송 성공됨을 확인하였다.

5.2. 에너지 소비량

그림 9는 단위 시간당 소모되는 총 에너지양을 보여준다. 각 센서 노드에서 개별 데이터의 송수신에 소비되는 에너지를 25mW로 가정한다. 단위 시간당 전체 에너지 소비량을 측정하기 위해 센서 노드의 최대 수명은 설정하지 않았다. 이벤트는 시뮬레이션 시간 50ms에서 최초 발생되며 15m/s의 속도로 이동한다.

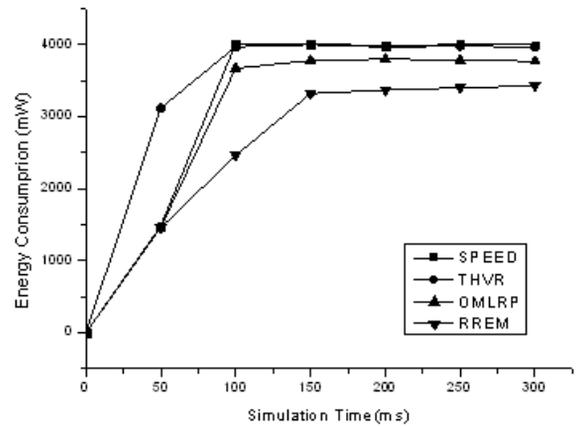


그림 9. 단위 시간당 에너지 소모량
Fig 9. Energy consumption per unit time

SPEED와 THVR은 초기 이웃 정보를 수집하기 위한 제어 메시지가 센서 망 전체에 발생되기 때문에 소모되는 에너지가 급격하게 증가된다. RREM와 OMLRP는 이벤트 발생시점에 제한된 범위에서 제어 메시지가 발생되기 때문에 에너지가 SPEED나 THVR보다 적게 소모된다. 이벤트가 이동하는 경우 RREM은 AS 노드까지의 좁은 제한 범위에서 제어 메시지가 발생되기 때문에 SPEED와 THVR보다 평균 15%, OMLRP보다 평균 10% 정도 낮은 에너지가 소모된다.

VI. 결론

본 논문에서는 무선 센서 네트워크의 실시간 응용에서 발생하는 이벤트 이동성을 지원하기 위한 라우팅 기법을 제안한다. 제안된 기법은 이동성 있는 이벤트를 감지한 노드와 멀티-홉의 실시간 정보를 수집한 노드와의 연결성을 제공하여 실시간 데이터의 전송 성공률을 향상시킨다. 시뮬레이션 결과, 이벤트의 이동 속도와 중단간 거리 그리고 임계 속도가 증가함에도 기존 선행 연구들에 비해 실시간 전송 성공률이 향상되었음을 보였다. 또한, 각 센서 노드에서 중단 간 전송에 소모되는 에너지양이 감소함을 확인하였다.

References

[1] U. Prathap, D. P. Shenoy, K. R. Venugopal, and L. M. Patnaik, "Wireless sensor networks applications and routing Protocols: survey and

- research challenges,” in *Proc. IEEE ISCOS*, pp. 49-56, Mangalore, India, Dec. 2012.
- [2] P. Chennakesavula, J. Ebenezer, and S. A. V. Satya Murty, “Real-time routing protocol for wireless sensor networks; a survey,” in *Proc. WIMO*, pp. 141-158, Coimbatore, India, Oct. 2012.
- [3] S. Bansal, D. Juneja, and S. Mukherjee, “An analysis of real time routing protocols for wireless sensor networks,” *Int. J. IJEST*, vol. 3, no. 3, pp. 1797-1801, Mar. 2011.
- [4] R. S. Oliver and G. Fohler, “Timeliness in wireless sensor networks: common misconceptions,” in *Proc. RTN*, Brussels, Belgium, July 2010.
- [5] R. S. Oliver and G. Fohler, “A proposal for a notion of timeliness in wireless sensor networks,” in *Proc. RTN*, Dublin, Ireland, June 2009.
- [6] J. A. Stankovic, T. F. Abdelzaher, C. Lu, L. Sha, and J. C. Hou, “Real-time communication and coordination in embedded sensor networks,” *Proc. IEEE*, vol. 91, no. 7, pp. 1002-1022, July 2003.
- [7] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, “A survey on sensor networks,” *IEEE Commun. Mag.*, vol. 40, no. 8, pp. 102-114, Aug. 2002.
- [8] T. He, J. A. Stankovic, T. F. Abdelzaher, and C. Lu “A spatiotemporal communication protocol for wireless sensor networks,” *IEEE Trans. Parallel Distrib. Syst.*, vol. 16, no. 10, pp. 995-1006, Oct. 2005.
- [9] Y. Li, C. S. Chen, Y.-Q. Song, Z. Wang, and Y. Sun, “Enhancing real-time delivery in wireless sensor networks with two-hop information,” *IEEE Trans. Ind. Informat.*, vol. 5, no. 2, pp. 113-122, May 2009.
- [10] J. Jung, S. Park, E. Lee, S. Oh, and S.-H. Kim, “OMLRP: Multi-hop information based real-time routing protocol in wireless sensor networks,” in *Proc. IEEE WCNC*, pp. 1-6, Sydney, Australia, Apr. 2010.
- [11] O. Chipara, Z. He, G. Xing, Q. Chen, X. Wang, C. Lu, J. Stankovic, and T. Abdelzaher, “Real-time power-aware routing in sensor networks,” in *Proc. IEEE IWQoS*, pp. 83-92, New Haven, U.S.A., June 2006.
- [12] E. Felemban, C.-G. Lee, and E. Ekici, “MMSPEED: multipath multi-SPEED protocol for QoS guarantee of reliability and timeliness in wireless sensor networks,” *IEEE Trans. Mobile Comput.*, vol. 5, no. 6, pp. 738-754, June 2006.
- [13] B. Karp and H. T. Kung, “GPSR: greedy perimeter stateless routing for wireless networks,” in *Proc. ACM/IEEE MobiCom*, pp. 243-254, Boston, U.S.A., Aug. 2000.
- [14] N. Bulusu, J. Heidemann, and D. Estrin, “GPS-less low cost outdoor localization for very small devices,” *IEEE Personal Commun.*, vol. 7, no. 5, pp. 28-34, Oct. 2000.
- [15] H. Park, D. Hwang, J. Park, D.-O. Seong, and J. Yoo, “A positioning scheme using sensing range control in wireless sensor networks,” *J. KCS*, vol. 13, no. 2, pp. 52-61, Feb. 2013.
- [16] MathWorks, *MatLab*, Retrieved July, 10, 2012, from <http://www.mathworks.co.kr/products/matlab/>.

이 소 연 (Soyeon Lee)



2009년 2월 국민대학교 전자공학과 (학사)
 2011년 2월~현재 충남대학교 컴퓨터공학과 석사과정
 2010년 2월~현재 한국과학기술정보연구원 연구원
 <관심분야> 무선 센서 네트워크, 오버레이 네트워크, 사용자 정의 네트워크 등

이 정 철 (Jeongcheol Lee)



2008년 2월 충남대학교 컴퓨터공학과 (학사)
 2010년 8월 충남대학교 컴퓨터공학과 (석사)
 2010년 9월~현재 충남대학교 컴퓨터공학과 박사과정
 <관심분야> Internet Routing, Wireless Sensor Networks, MANET 등

박 호 성 (Hosung Park)



2008년 2월 충남대학교 컴퓨터
공학과 (학사)
2010년 2월 충남대학교 컴퓨터
공학과 (석사)
2010년 3월~현재 충남대학교
컴퓨터공학과 박사과정
<관심분야> Internet Routing,
Wireless Sensor Networks, MANET 등

김 상 하 (Sangha Kim)



1980년 서울대학교 (학사)
1984년 University of Houston
(석사)
1989년 University of Houston
(박사)
1992년~현재 충남대학교 컴
퓨터공학과 교수
<관심분야> Internet Routing, Wireless Sensor
Networks, MANET, 4G, Mobility, Multicast 등

공 정 욱 (Jonguk Kong)



1993년 2월 한국과학기술원
전기 및 전자공학과 (학사)
1998년 2월 포항공과대학교
정보통신학과 (석사)
2008년 2월 충남대학교 정보
통신공학과 박사수료
1993년~2001년 (주)데이콤 중

양연구소 선임연구원
2001년~2002년 (주)맥스웨이브 책임연구원
2002년~현재 한국과학기술정보연구원 선임연구원
<관심분야> 망 성능 분석, 망 자원 관리 등