

무선 센서 망에서 실시간 데이터 전송을 위한 제한적 멀티-홉 정보 예측 기법

준회원 정 주 현*, 오 승 민*, 이 정 철*, 정회원 박 호 성*,
준회원 임 용 빈*, 종신회원 김 상 하*^o

Restricted Multi-hop Information Lookahead Scheme for Real-Time Data Dissemination in Wireless Sensor Networks

Juhyun Jung*, Seungmin Oh*, Jeongcheol Lee* *Associate Members*, Hosung Park* *Regular Member*,
Yongbin Yim* *Associate Member*, Sang-Ha Kim*^o *Lifelong Member*

요 약

무선 센서 망에서, 전형적인 실시간 데이터 전송기법들은 각 센서의 1-홉 안에 존재하는 노드들의 전송속도를 조회하여 임계속도보다 높은 노드를 선택하는 기법이였다. 최근 이러한 기법들의 성능을 높이기 위해 2-홉 전송속도를 예측하는 기법이 제시되었다. 그러나 이 연구는 전달해야 할 데이터의 유무와 상관없이 망의 모든 센서가 미리 2-홉의 전송정보를 모두 공유하는 방법을 사용하여 불필요한 메시지를 교환하는 오버헤드(overhead)를 발생시킨다. 또한 2-홉 이상의 멀티-홉 정보를 조회 할 경우 더 높은 실시간 전송률을 제공 할 수 있음에도 불구하고, 연산의 복잡도와 통신오버헤드 때문에 단순하게 2-홉 정보만을 채택했다. 본 논문에서는 실시간 데이터 전송률을 높이하고자 제한적 멀티-홉 정보 예측 기법을 제시한다. 이 기법은 오직 데이터가 전달되는 경로 상에서 제한된 지역 안의 멀티-홉 속도정보를 조회한다. 시뮬레이션을 통해 제안기법이 실시간 데이터 전달 성공률, 네트워크 수명, 데이터 전달시 필요한 통신비용면에서 우수함을 보였다.

Key Words : Sensor Network, Real-time routing, Multi-hop Information, Data dissemination

ABSTRACT

In wireless sensor networks, real-time data delivery schemes typically achieve a desired delivery speed by performing one-hop lookahead. Recently, to reduce the deadline miss ratio against the desired delivery speed, a study has proposed a real-time routing protocol based on proactively performing two-hop lookahead. However, the study might cause heavy message exchange overhead and high computing complexity to carry out obtainment of two-hop neighborhood speed information in the entire sensor nodes whether data are delivered or not. Moreover, although multi-hop lookahead provides the least deadline miss ratio, due to the restriction from the overhead and the complexity, the recent study merely adopts the two-hop lookahead manner. In this paper, we propose a novel real-time routing protocol that adopts on-demand neighborhood multi-hop information obtainments only around data forwarding paths. Simulation results prove that the proposed routing protocol offers better performances with respect to deadline miss ratio, total communication costs, energy efficiency, and network lifetime.

* 충남대학교 컴퓨터공학과 컴퓨터네트워크 연구실 ({jhung, smoh, jcllee, hspark, ybyim}@cclab.cnu.ac.kr, shkim@cnu.ac.kr)
(^o: 교신저자)

논문번호 : KICS2010-03-115, 접수일자 : 2010년 3월 22일, 최종논문접수일자 : 2010년 6월 28일

I. 서 론

무선 센서 망에서의 재해 구조, 화재 경보, 침입탐지와 같은 실시간 어플리케이션들은 제한된 시간 안에 데이터를 수집하기 위해 제약 전송속도를 요구한다^[1]. 이러한 제약 전송속도 기반 방식은 일반적으로 각각의 센서 노드들이 미리 자신의 이웃노드들에 대한 1-홉 전송속도를 수집하는 방식을 가진다^[2-4]. 이 전송속도는 각 센서들이 데이터를 다음 노드로 전송하는데 소요되는 거리와 지연 시간으로 계산된다. 센서들은 이를 기반으로 다음과 같이 데이터를 전달한다. 첫째, 자신의 라우팅 정보에서 시스템 임계속도보다 빠른 속도로 전송할 수 있는 노드를 찾는다. 둘째, 시스템 임계속도보다 높은 노드들 중에서 가장 빠른 노드를 선택하거나 트래픽 분산방식으로 데이터를 전달한다. 만약 임계속도보다 빨리 전달 할 수 있는 노드가 없을 경우 이전 노드에게 다시 되돌려 준다. 이와 같이 데이터 전송에 참여한 중계 노드들이 각각의 전송속도를 만족하면서 전달하면 소스(Source)에서 목적지까지 실시간 데이터 전달 역시 만족 할 수 있게 된다^[2].

최근의 이러한 제약 전송속도 기법의 성능을 높이기 위해 THVR(Two-Hop Velocity-based Routing)^[5]이 연구되었다. THVR은 망을 구성하는 모든 센서들이 미리 2-홉의 이웃노드까지 속도정보를 조회하여 관리한다. 이 2-홉 속도정보를 이용한 데이터를 전달은 기존의 1-홉 방식보다 실시간 전송률(Deadline Delivery Success Ratio, DDSR)을 높였다. 그러나 THVR은 데이터가 전달되지 않는 지역에서도 2-홉의 속도정보를 조회하기 위해 불필요한 메시지를 교환하는 오버헤드(overhead)를 발생시킨다. 즉 2-홉 이상의 멀티 홉 정보 예측 방식은 1-홉에 비하여 높은 실시간 데이터 전송률 제공하지만 불필요한 지역에서도 전송속도를 관리하기 위해 많은 컨트롤 메시지를 발생시킨다. 따라서 THVR에서는 이와 같은 문제 때문에 예측 범위를 2-홉으로 국한시켰다.

본 논문은 전송 예측범위가 증가하면 컨트롤 메시지의 오버헤드역시 증가하는 문제를 해결하고자 한다. 제안기법은 제한적 멀티-홉 정보 예측 기법으로 오직 소스로부터 목적지까지 데이터가 전송되는 경로 주위에 제한구역을 정의하고 그 안에서 멀티-홉의 전송속도 정보를 예측하는 방식이다. 최초의 라우팅 정보는 기본적으로 1-홉 예측 방식을 따르며, 제한구역에 대하여 본 논문에서는 타원을 제안한다. 타원은 간단하게 소스와 목적지사이의 거리 비율로 계산할 수 있

며 쉽게 제한 구역크기를 조절 할 수 있다. 멀티-홉 전송속도 수집은 소스가 첫 번째 데이터를 전송 할 때 타원의 크기 및 멀티-홉의 값을 전송하면서 시작한다. 데이터의 전송경로를 따라 센서 노드들은 자신의 이웃 노드들에게 전송속도를 요구하는 컨트롤 메시지를 전달한다. 컨트롤 메시지를 받은 노드가 타원 지역 안에 존재하지 않는다면, 센서 노드는 이 요청 메시지를 수행하지 않는다. 이와 같이 요구에 의한 수집 방식을 사용하여 전체의 센서 노드들이 멀티-홉 정보를 수집하기 위해 컨트롤 메시지를 주고받는 오버헤드를 줄일 수 있다. 제안기법에 대하여 ns-2^[6]를 사용하여 실험하였다. 시뮬레이션 결과, 다른 실시간 프로토콜보다 데이터 전달 성공률, 네트워크 수명, 에너지 효율 그리고 통신비용에서 더 성능이 좋음을 보였다.

이 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 제약 전송속도 기반 실시간 전송 기법에 대한 관련연구를 소개한다. III장에서는 우리의 제안기법이 동작되는 망 구성 환경을 기술하고, IV 장에서는 제안 알고리즘 기법을 제시하며, V장에서 알고리즘의 성능에 대한 시뮬레이션 결과를 평가한다. 마지막으로 VI장에서 결론 및 향후연구 방향을 기술한다.

II. 관련연구

실시간 데이터 전송을 위하여 시공간적인 통신 기법(spatiotemporal-aware)에 대한 많은 연구가 있었다^[2,4,6]. 이 방법들은 소스에서 목적지까지의 거리와 중계 노드들의 지연시간을 고려한다. 이 연구들의 목적은 전송하는 패킷들에 대하여 임계속도를 지켜 실시간 전송을 지원하는 것이다.

SPEED^[2]는 중계 노드의 지연시간을 이전 노드에게 전달하고자 피드백 컨트롤 기법을 사용하며, 중계노드를 선택하는 방법으로 비결정적인 위치기반 전송기법(non-deterministic geographic forwarding scheme)을 사용한다. 각 센서 노드는 1-홉 전송속도를 원하는 이웃노드에게 자신의 전송속도 정보를 전달한다. 자신의 이웃노드 정보 중 GPSR^[7] 기법에 따라 전달영역에 존재하는 노드를 선별하고 그 중에 임계속도를 만족하는 노드들을 라우팅 리스트로 관리한다. 그리고 패킷은 이 노드들 중에 임계속도를 만족하는 하나의 노드로 전송한다. 이 때 중계노드로 선택된 노드는 패킷을 전송한 후에 자신의 전송속도를 피드백 컨트롤 기법을 통해 주위 노드들에게 보고한다. 이 같은 기법의 SPEED는 센서 망을 위한 최초의 시공간적인 통신 방법이었다. MMSPEED^[4]는 SPEED를 기반으로 데이

터의 신뢰성을 높이기 위한 연구이다. 서로 다른 중요도에 따라 지연시간을 구분하여 다중 전송속도를 제공한다. 또한 전송경로의 선택 기준이 지역적 정보로 결정되는 단점을 보완하기 위하여 다양한 정보 보정 방식을 사용한다. MMSPEED 신뢰성을 높였으나 SPEED와 같이 전역적인 네트워크 정보가 아닌 1-홉 정보만을 사용한다. 이러한 방식은 다양한 토폴로지 환경에서 최소의 컨트롤 오버헤드를 사용하여 실시간 서비스를 제공하는 장점을 가진다.

THVR^[5]역시 SPEED와 MMSPEED와 같이 제약 전송속도에 대한 기법을 사용한다. 그러나 이 기법은 2-홉의 이웃노드 정보를 기반으로 만들어진다. 2-홉 정보 기반 프로토콜은 1-홉 기반 프로토콜의 성능향상을 보여준다. 또한 1-홉 정보 기반 전송경로 결정보다 멀티-홉 기반 전송이 더 효과적인 전송을 보장함을 제시한다^[9]. 그러나 멀티-홉 정보 예측이 더 좋은 실시간 전송을 보장함에도 불구하고, 라우팅 경로를 유지하는데 많은 비용이 소비되기 때문에 2-홉 정보로만 국한시켰다.

RPAR^[6]은 다양한 전송 파워를 가진 어플리케이션 특성을 가진 통신 프로토콜이다. RPAR은 전송 파워와 전송지연 사이에 본질적인 관련 변화가 있다는 것에 근거한다. 1-홉의 전송 거리와 전송 파워의 효과는 중단간의 전송속도가 전송파워를 증가 할 때 더 증가함을 보여 준다. 최대 전송 파워기반 데이터 전송은 확실히 낮은 전송 실패율(miss ratio)을 가진다. 전송 파워를 증가시켜 통신 홉 수가 감소 할 때, 전체 전송 지연시간은 감소한다. 그러나 높은 전송파워는 에너지 소비를 증가시킨다.

본 논문에서 제시한 제한적 멀티-홉 정보 예측 기법 또한 시공간적인 통신 기법이다. 이 기법은 DDSR(deadline delivery success ratio)을 증가시키기 위해 멀티-홉의 이웃 정보를 사용한다. 그러나 전체 망에 존재하는 모든 노드들이 멀티-홉 정보를 관리하는 것을 피하기 위해서 오직 데이터 전송경로 주위의 제한구역 안에서 전송속도 정보를 관리하는 방법을 채택한다. 소스와 목적지사이의 특정 제한 구역에 존재하는 노드들만이 그들의 멀티-홉 전송속도 정보를 공유한다. 그러므로 라우팅 정보를 관리하기 위한 복잡도와 비용이 제한구역 안에서만 발생한다. 또한 멀티-홉 정보를 하기 때문에 1-홉 정보만을 이용하는 다른 프로토콜에 비하여 더 높은 DDSR을 갖는다.

III. 제안된 네트워크의 모델

제한적 멀티-홉 예측을 통한 실시간 전송기법이 적

용되는 센서 망의 환경은 다음과 같다. 넓은 범위의 지역에서 센서 노드들이 균일하게 배치되어 있으며, 각 센서들은 GPSR나 Localization 알고리즘을 사용하여 자신의 위치정보를 알 수 있다고 가정 한다^[7,8].

최초 센서가 필드에 배치되면 센서들은 비콘(BEACON) 메시지를 브로드캐스트 방식으로 전송한다. 노드들은 이 메시지를 받아 자신의 이웃노드들의 위치 정보와 전송지연 정보를 얻어온다. 또한 싱크의 위치정보가 망에 전송되면 모든 노드들은 데이터 전송을 위한 목적지 좌표를 갱신하여 자신과 싱크사이의 거리를 계산한다. 이 후 소스 노드는 제한적 멀티-홉 정보 수집을 수행하기 위한 예측 구역을 결정한다. 이 예측 구역은 데이터가 전송 되는 경로로 예상 되는 최단 경로를 중심으로 센서의 분산 배치에 따라 달라질 수 있다. 그러므로 본 논문에서는 유동적인 환경에 따라 그 크기를 쉽게 변경할 수 있는 타원을 제안한다. 타원의 예측 구역은 소스에서 목적지까지의 거리와 센서의 분포 밀도에 따라 높이를 조절하는 것만으로도 쉽게 그 크기를 조절할 수 있기 때문이다.

그림 1에서, 이벤트가 발생되어 소스 노드가 선정되면, 소스는 자신의 위치 $s(x_s, y_s)$ 와 목적지 $d(x_d, y_d)$ 까지의 거리 $D(s, d)$ 를 계산한다.

$$D(s, d) = \sqrt{(x_d - x_s)^2 + (y_d - y_s)^2} \quad (1)$$

이 후, 이 $D(s, d)$ 이용하여 소스는 타원의 높이 $H_{ellipse}$ 를 아래와 같이 계산한다.

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

여기서 h_{Set} 은 예측 구역 범위의 크기를 정할 수 있

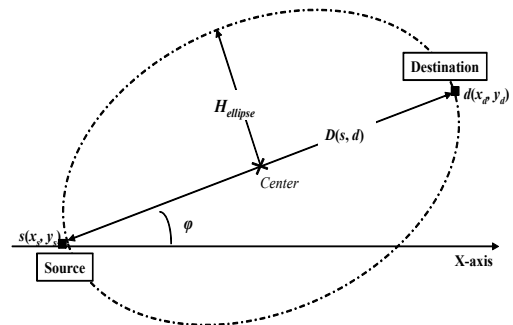


그림 1. 소스와 목적지사이의 제한구역 설정

는 시스템 값이다. h_{set} 은 1이상의 범위 값을 가진다. 즉 h_{set} 이 1에 가까울수록 예측 구역 범위는 원의 형태로 넓어진다. 이 크기는 전체 망에서 배포된 센서의 수와 $D(s, d)$ 의 크기와 관련된 값으로 만약 데이터를 전송하기 위한 타원지역의 센서 수가 적다면, 많은 전송경로를 확보하기 위해 예측 구역의 크기를 원에 가깝게 설정한다. 즉 h_{set} 의 크기는 1에 가까운 수로 설정한다. 이와 반대로 $D(s, d)$ 의 길이가 커지면 예측 구역의 크기가 커지기 때문에 멀티-홉 정보를 관리해야 하는 컨트롤 메시지 역시 증가 하게 된다. 따라서 h_{set} 은 센서 망의 환경에 따라 시스템 값으로 설정한다. 타원의 두 축 $D(s, d)$ 와 $H_{ellipse}$ 이 결정되면 중심좌표 값을 구할 수 있다. 여기서 우리는 계산의 편의를 위해 중심좌표를 $C(0,0)$ 으로 설정한다. $s(x_s, y_s)$ 는 $s(a, 0)$ 로 변환되며 각 센서 노드들은 다음 수식 $f(x, y)$ 에 의하여 타원에 포함상태 여부를 결정한다.

$$f(x, y) = \left(\frac{H_{ellipse}}{2}\right)^2 x^2 + a^2 y^2 - a^2 \left(\frac{H_{ellipse}}{2}\right)^2 \quad (3)$$

센서 노드들은 예측동작을 요구하는 컨트롤 메시지를 전달받으면 자신의 위치좌표를 이용하여 예측 구역범위에 포함되는지 확인한다. 즉 자신의 위치가 $f(x, y) \leq 0$ 이면, 센서는 멀티-홉 예측 구역에 존재함을 알고 이웃노드에게 컨트롤 메시지를 전달하며, $f(x, y) > 0$ 이면 예측 구역에 속하지 않으므로 컨트롤 메시지 수행하지 않는다.

IV. 제한적 멀티-홉 예측 기법

4.1 멀티-홉 예측 방식

센서 망에서 이벤트가 발생되면 소스 노드가 선정

된다. 이 노드는 시스템 값으로 설정된 컨트롤 옵션 파라미터($K_{hop}, H_{ellipses}, D_{control}$)값을 구성한다. K_{hop} 은 센서 노드가 유지할 이웃노드의 홉 수이며 $H_{ellipse}$ 는 타원의 높이이다. $D_{control}$ 은 즉시수집 또는 순차수집 동작을 결정한다. 이 컨트롤 정보와 함께 데이터가 전송되는 절차는 다음과 같다.

1) 소스는 첫 번째 데이터를 전송하기 위해서 한 홉 반경 안에 존재하는 노드들 중에 예측 구역 안에 존재하는 노드들을 선출한다. 그 중 전송속도를 만족하는 노드를 선출하고 트래픽 분산 여부에 따라 데이터 전송경로를 선택한다. 예를 들어 그림 2의 (a)에서 노드 a는 예측 구역 안의 후보 노드 a, b, c를 선출한다. 그 후 속도를 만족하는 c 노드에게 데이터를 포함한 컨트롤 메시지를 브로드캐스트 방식으로 전송한다. 이후 c 노드는 이 메시지의 ACK 메시지로 자신의 1-홉 라우팅 정보를 담아서 응답한다. 그리고 다음 중계 노드로 f를 선출한다. 이후 첫 번째 패킷은 그림 2의 (b)처럼 노드 $a \rightarrow c \rightarrow f \rightarrow h$ 경로로 전송된다. 이와 같은 전송과정 중에 노드 b와 d는 a로부터 전송된 패킷의 내용 중에 데이터를 제거하고 컨트롤 패킷으로 변환한다. 즉 데이터 전송에 참여하지는 않는다. 그러나 c 노드와 같이 ACK 신호에 자신의 1-홉 이웃 정보를 전달한다.

2) 소스 노드 a가 두 번째 패킷을 전송할 때, a 노드는 두 홉의 라우팅 정보를 알게 된다. 이 정보를 바탕으로 중계되는 두 홉의 평균 속도 S_k 를 구한다. 이 평균속도는

$$S_k = \frac{\Delta d}{\Delta t} \quad (4)$$

이다. 여기서 Δd 는 노드 자신부터 k홉까지 전송할 수

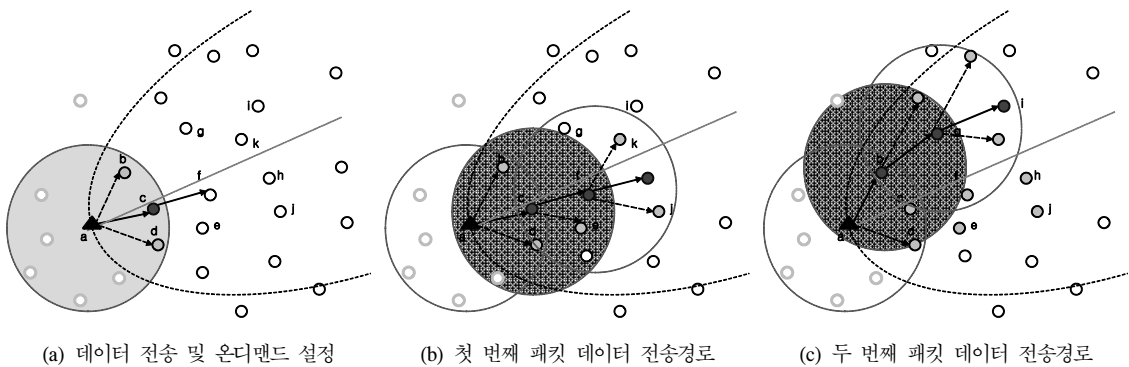


그림 2. 제한적 멀티-홉 설정 및 데이터 전달

있는 전체 거리이며, Δt 는 k-홉까지 전송 시 지연되는 시간의 합이다. 즉 Δd 와 Δt 는 아래 수식과 같다.

$$\frac{\Delta d}{\Delta t} = \frac{\sum_{i=1}^{k-1} \{d(i, D) - d(i+1, D)\}}{\sum_{i=1}^{k-1} Delay_i^{i+1}} \quad (5)$$

(5)의 수식에서 i 는 k-홉으로 수집된 노드의 경로의 순번이며, D 는 목적지이다. 따라서 $d(i, D)$ 는 i 번째 노드에서 목적지까지의 거리 값이다. 따라서 노드가 수집한 전체 진행거리의 합과 지연시간의 합으로 k-홉의 속도 S_k 를 구할 수 있다. 그림 2의 (갭리 값이)2-홉의 정보를 기반으로 평균 속도 $S_{(a-b)}$ 가 $S_{(a-g)}$ 보다 빠를 경우 경로는 $a \rightarrow b \rightarrow g \rightarrow i$ 로 처음 경로보다 빠른 전송경로 데이터가 전송된다.

3) 예측 구역 범위 안에 존재 하는 노드 중 데이터 전송에 직접적으로 참여하지 않는 노드들은 두 가지 모드로 자신의 이웃노드의 k-홉 정보를 업데이트시킨다. 이 모드의 정보는 $D_{control}$ 값으로 결정한다. $D_{control}$ 의 값이 0일 경우 첫 번째 데이터 패킷이 전송됨과 동시에 이웃노드들에게 컨트롤 메시지를 연속적으로 전달한다. 메시지를 받음과 동시에 각 노드들은 자신이 유지해야 하는 k-홉 정보가 공유 될 때까지 비콘 메시지를 통해 정보를 수집하는 방식으로 처리한다. 이 경우 데이터 전송경로의 제한구역 안에 존재하는 노드들은 즉시 이웃노드들의 멀티-홉 정보를 업데이트 시킬 수 있다. $D_{control}$ 의 값이 1일 경우, 컨트롤 메시지를 전달받은 노드는 다음 비콘 메시지 주기에 이웃노드들에게 점진적으로 정보를 주고 받는다.

4.2 Soft state 와 K-홉 설정

센서 노드들은 k-홉 정보로 설정되는 컨트롤 메시지를 전달 받으면 요청된 k개의 정보가 조회될 때까지 비콘 메시지로 라우팅 테이블을 업데이트한다. 이웃노드로부터 전달받은 정보를 자신의 테이블을 업데이트하고 자신의 전송속도 정보가 만약 변경되었다면 다시 이웃노드에게 전송한다. 센서 노드는 k-홉의 정보를 구성한 후 일정시간 동안 테이블을 유지한다. 만약 이 시간 동안 자신 또는 이웃노드들에게 데이터가 더 이상 전송되지 않는다면 최초의 한 홉 라우팅 정보만을 유지시키고 나머지는 삭제한다. 이 Soft-State를 우리는 RT_{state} 로 정의한다.

4.3 k-홉의 최적경로 선택과 빈 공간 회피

데이터 패킷이 전송되는 라우팅 경로의 선택은 자

신의 위치에서 가장 최적의 경로를 선택한다. 각 노드는 k-홉 정보를 예측한 후 체인방식으로 전송경로를 따르는 것이 아닌 1-홉 전송에만 참여한다. 그림 3은 k-홉 속도정보 기반의 데이터 전달을 보여준다. 센서 망에 설정된 임계속도가 4일 때, 소스가 1-홉 기반으로 가장 빠른 경로를 선택할 경우 전송경로는 9의 속도를 가진 $Path_3$ 을 선택한다. 그러나 $Path_3$ 을 선택할 경우 빈 공간지역이 존재하여 더 이상 데이터 전송이 불가능해진다. 또한 소스가 2-홉만을 고려한다면 그림 3처럼 $(5+1)/2$ 보다 $(7+1)/4$ 의 속도를 갖는 $Path_2$ 를 선택한다. 이 경우 다음 저속구간의 노드(속도1) 때문에 데이터를 전송할 수 없게 된다. 그러나 4-홉에 대한 예측을 통하면 비록 $Path_1$ 이 1-홉에서 낮은 속도를 제공하여도 4-홉까지의 평균속도 $(5+1+8+6)/4$ 의 결과가 최적의 속도를 제공하므로 저속구간의 노드(속도1)가 존재하여도 임계속도를 만족할 수 있다. 이러한 방법은 망 전체에 존재하는 국소적인 빈 공간에 대하여 미리 회피할 수 있도록 하여 속도가 낮은 구간의 센서 노드들의 활용도를 높인다.

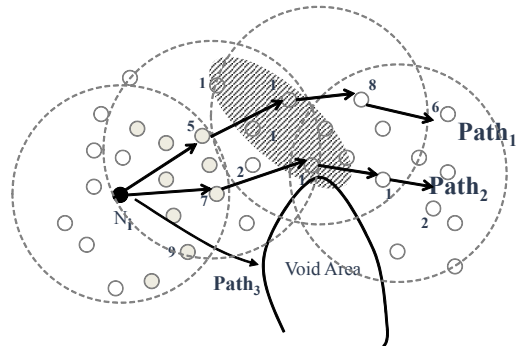


그림 3. 멀티-홉 예측 기반 전송경로

V. 성능분석

우리는 ns-2.30 네트워크 시뮬레이터^[10]을 사용하여 제안된 알고리즘이 실시간 데이터 전송에 얼마나 효과적인지 비교 분석하였다. 이 실험에서, 우리의 멀티-홉 정보 예측 방식과 기존의 전송속도를 이용한 방식인 SPEED^[2], THVR^[5]에 대하여 성능을 비교하였다. 멀티-홉의 설정은 3-홉 예측 정보와 4-홉 예측 정보를 기준으로 성능을 비교하였다. 세 가지 알고리즘의 시나리오 테스트 환경은 다음과 같은 기본구성을 갖는다. 센서 망의 필드 크기는 200m X 200m이며 각 센서간의 간격은 랜덤 토폴로지 형태로 배치하였다. 싱크는 다양한 위치에 설정하였으며, 소스는 일반적인

로 CBR flow를 이용하여 0.05sec 간격으로 전송하였다. 패킷 프레임 사이즈는 30 Byte로 고정하였으며 타원의 제한구역의 크기를 결정하는 h_{ser} 의 값은 0.5로 설정하였다. 따라서 실험에선 항상 종단간 거리의 반이 타원의 $2 * H_{ellipse}$ 가 된다. 시뮬레이션 환경설정은 표 1과 같다.

표 1. 시뮬레이션 환경

Routing	SPEED, THVR, our-scheme
Mac Layer	802.15.4
Propagation	TwoRayGround
Payload Size	30 Byte
Link Layer Type	LL
Terrain	200m x 200m
node	300
Radio Range	20m
Antenna mode	Antenna/OmniAntenna

5.1 종단간 제약 시간 전송률

본 실험은 종단간의 데이터 전송에 대한 DDSR (deadline delivery success ratio)을 비교하는 실험으로 다음과 같은 상세 시나리오를 가진다. 소스와 목적지 사이의 거리에 따른 전송 성공률을 비교하기 위하여 두 지점간의 거리를 40m에서 120m까지 20m 간격으로 증가시킨다. 또한 실제 망과 유사한 환경을 반영하기 위하여 모든 센서 노드들의 전송 반경의 범위를 폭 15m에서 20m 사이에서 랜덤하게 배치시켰다. 전체 센서 망에 설정된 속도의 범위는 400m/s에서 1000m/s 사이에서 100m/s 단위로 나누어 DDSR을 비교하였다. 이 실험에서 SPEED와 THVR은 전송에 있어서 가장 빠른 경로를 선택하는 모드로 동작되도록 설정하였으며 트래픽 분산은 고려하지 않는다.

그림 4에서 보는 바와 같이 소스와 목적지간의 거리가 커질수록 각 프로토콜에서 지연시간을 만족하지 못하는 패킷의 개수가 그에 비례하여 증가함을 보인다. 그러나 로컬 정보만을 활용하는 SPEED의 전송 성공률 보다 멀티-홉 예측을 이용하는 제안기법이 거리가 증가해도 85% 이상의 성공률을 유지함을 보였다.

그림 5는 평균적으로 6-홉의 거리에 존재하는 소스와 목적지간의 실시간 패킷 전송 성공률을 비교한 그래프이다. 임계속도가 700m/s 이상 증가할 경우 SPEED의 전송 성공률이 급격히 저하되는 현상이 나타난다. 그러나 우리의 제안기법은 900m/s까지 85% 이상 안정된 성공률을 유지함을 확인하였다. 이 실험에서 종단간의 거리와 임계속도가 변화되어도 제안

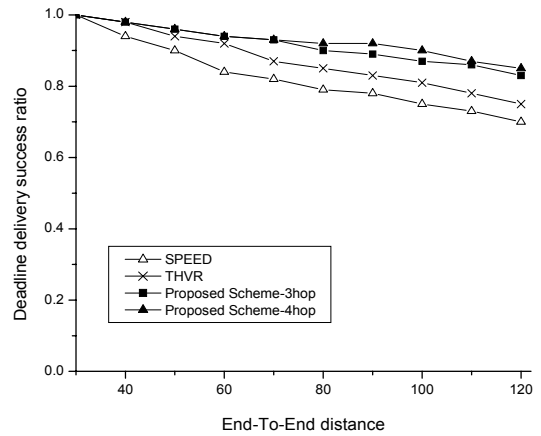


그림 4. 종단간 거리에 따른 실시간 전송 성공률

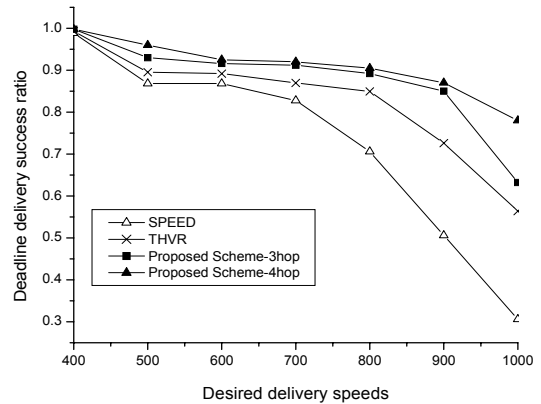


그림 5. 임계속도의 증가에 따른 실시간 전송 성공률

기법이 보다 안정된 실시간 데이터 전달이 이루어짐을 확인하였다.

5.2 데이터 전송에 따른 홉 카운트

전체 센서 망에서 전송에 소모되는 에너지는 하나의 패킷이 목적지까지 전송될 때 거치는 홉의 수만큼 증가한다. 그러므로 각 프로토콜들의 종단간 전송에 필요한 비용이 얼마인지를 알기 위해 우리는 전송 홉 카운트를 구하였다.

그림 6은 소스와 목적지의 거리에 따라 전송에 참여하는 홉 카운트 변화를 나타낸 그래프이다. 이 홉 카운트 값은 한 번의 테스트 값이 아니다. 소스와 싱크가 일정한 거리를 유지한 상태에서 다양한 위치에 배치하여 얻는 평균값이다. 각각의 프로토콜들에서 소스와 싱크의 거리가 가까울 경우 홉 수의 차이는 크게 나지 않았다. 그러나 60m 이상 떨어진 소스로부터 전송될 때, 우리의 제안기법은 다른 프로토콜과 달리 홉

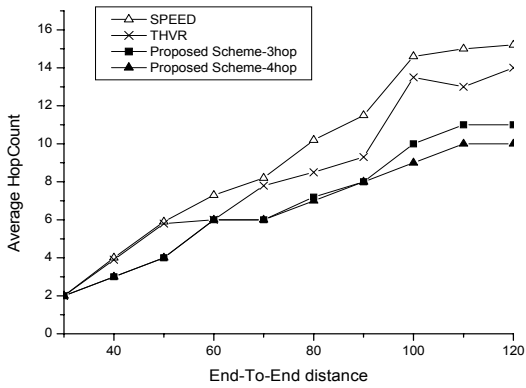


그림 6. 거리 변화에 따른 전송 홉 카운트 비교

수가 감소함을 볼 수 있다. 그 이유는, 한 노드가 다음 노드를 결정할 때, 다음 홉의 속도가 제한속도를 만족하지 못해도 다른 방향으로 우회할 필요 없이 짧은 홉 수로 전송되기 때문이다. 그러므로 우회로 인한 추가 홉 카운트 발생이 줄어드는 결과를 보였다.

그림 7은 목적지와 소스간의 거리가 120m의 일정 거리를 유지하는 환경에서 패킷이 전송될 때, 제한속도에 따른 홉 카운트의 변화량을 나타내는 그래프이다. 이것 역시, k-홉의 노드정보가 서로의 속도를 보정하여 계산됨으로 불필요하게 우회하는 상황을 줄여준다. 하나의 패킷을 목적지까지 전송하는데 필요한 홉 카운트는 우리의 제안기법이 보다 낮은 홉 수로 데이터를 전송함을 알 수 있다.

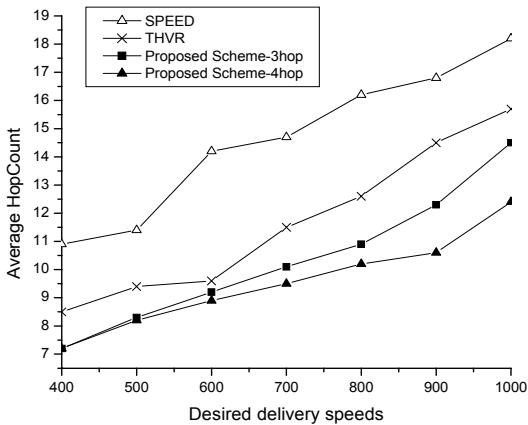


그림 7. 임계속도 변화에 따른 전송 홉 카운트 비교

5.3 네트워크 수명

네트워크 수명을 계산하기 위해, 우리는 MICA2 모드의 에너지소비 모델을 시뮬레이터 ns의 node 에 적용하여 전체 센서 망에서 소비되는 에너지를 계산

하였다. MICA2 모드의 Tx/Rx에 전송되는 에너지를 25mW로 계산한다. 즉 센서 노드가 하나의 패킷을 받아서 전달하는데 소비되는 값이며 센서 하나의 최대 수명을 3000mW로 설정한다.

그림 8은 시뮬레이션 시간 동안 소비되는 에너지의 변화량을 보여주는 그래프이다. 각 센서는 5초에 한 번씩 비콘 메시지를 주고받는다. 그리고 소스는 다시 5초 후에 데이터 패킷의 전송을 시작한다. 이 실험에서는 시간변화에 따른 총 에너지 비용을 관찰하기 위하여 최대 수명을 설정하지 않았다. THVR은 처음 50ms에서 2-홉 정보를 구성하는데 소모되는 에너지가 크게 증가함을 보였다. 그러나 소스가 데이터 패킷을 전송하기 시작하면, SPEED의 에너지 소비가 더 많이 증가하는 현상을 볼 수 있다. 우리의 제안기법은 데이터 패킷과 함께 컨트롤 데이터를 전송하기 때문에, 한 홉을 전송하는 에너지의 양이 THVR 보다 높은 데를났다. 하지만 이 실험에서는간의 전송 홉 카운트가 적기 때문에 THVR보다 에너지 소모가 적게 소모됨을 확인하였다. 따라서 그림 8처럼, 초당 평균에너지 소모는 3, 4 홉을 사용하여도 에너지 소모가 낮음을 보인다.

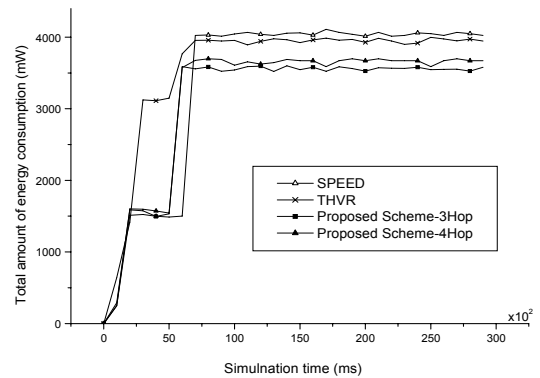


그림 8. 시간 변화에 따른 전체 에너지 소모 변화

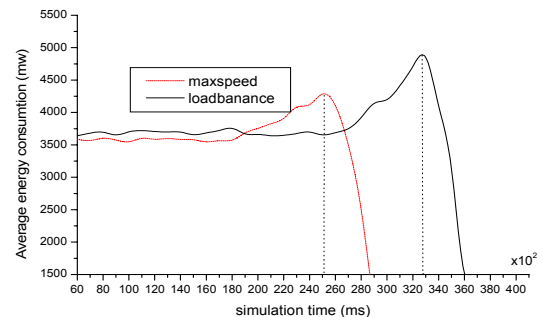


그림 9. 전송 방식에 따른 네트워크 수명 비교

마지막으로 그림 9는 트래픽 분산에 의한 망 수명의 변화를 나타낸다. 제안기법은 소스와 목적지 사이의 전송에 있어서 많은 경로를 공유한다. 최적의 속도로 전송하는 것보다 트래픽 로드 제어를 적용하면 홉 수가 증가하기 때문에 평균 에너지 소모가 늘어난다. 그러나 제안기법은 전송에 참여하는 전체 노드 수가 분산적으로 늘어나서 전체 시스템의 수명은 길어진다.

VI. 결론 및 향후 연구

본 논문은 종단간의 거리와 제한속도의 다양한 변화에도 안정된 실시간 전송 성공률을 보장하기 위하여 제한적 멀티-홉 정보 예측 기법을 제안한다. 이 기법은 소스와 목적지간의 데이터 전송경로 상에서 가상의 제한구역을 정하고, 그 지역에서만 멀티-홉 전송 정보를 예측한다. 제한구역의 멀티-홉 정보만을 활용하여 잘못된 경로로 접근하는 단점을 보완하여 제약 시간 이내의 데이터 전송률(DDSR)을 높일 수 있었다. 시뮬레이션에서는 제안기법이 다른 실시간 기법보다 실시간 데이터 전송률에서 성능이 높음을 보였다. 또한 하나의 패킷이 목적지까지 전달되는데 소모되는 에너지가 감소하기 때문에 더 많은 컨트롤 정보를 주고받음에도 불구하고 전체 에너지 소비가 감소함을 보였다.

현재의 연구 결과는 단일 소스 기반환경에서 실시간 데이터 전송을 지원하기 위한 방안만 제시되었다. 그러나 소스의 개수가 증가하거나 가상 제한구역의 크기가 다양하게 변화하는 환경에 대하여 성능분석이 고려되어야 한다. 이 부분을 우리는 차후 연구하고자 한다.

참 고 문 헌

[1] J. A. Stankovic *et al.*, "Real-time communication and coordination in embedded sensor networks," in *Proc. IEEE*, Vol.91, pp.1002-1022, Jul. 2003.

[2] T. He *et al.*, "A spatiotemporal communication protocol for wireless sensor networks," *IEEE Trans. Parallel and Distrib. Syst.*, Vol.16, pp.995-1006, Oct. 2005.

[3] T. He, *et al.*, "Achieving Real-Time Target Tracking Using Wireless Sensor Networks" in *Proc. IEEE RTAS*, pp.37-48, Apr. 2006.

[4] E. Felemban, C. 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, pp. 738-754, Jun. 2006.

[5] Y. Li *et al.*, "Enhancing Real-Time Delivery in Wireless Sensor Networks With Two-홉 Information," *IEEE Trans. Ind. Infomat.*, Vol.5, No.2, pp.113-122, May. 2009.

[6] O. Chipara *et al.*, "Real-time Power-Aware Routing in Sensor Networks," in *Proc. IEEE IWQoS*, pp. 83-92, Jun. 2006

[7] B. Karp and H. Kung. "GPSR: Greedy Perimeter Stateless Routing for Wireless Networks" In *Proc. ACM/IEEE MobiCom.*, pp.120-130, Aug. 2000.

[8] N. Bulusu, J. Heidemann, and D. Estrin, "Gps-less low cost outdoor localization for very small devices," *IEEE Personal Communications Magazine*, Vol.7, No.5, pp.28-34, Oct. 2000.

[9] C. S. Chen, Y. Li, and Y.-Q. Song, "An exploration of geographic routing with k-hop based searching in wireless sensor networks," in *Proc. CHINACOM.*, pp.376-381, Aug. 2008.

[10] Ns-2, [Online]. <http://www.isi.edu/nsnam/ns>

정 주 현 (Juhyun Jung)

준회원



2000년 2월 건양대학교 컴퓨터 공학과

2009년 3월~현재 충남대학교 컴퓨터공학과 석사과정
<관심분야> Internet Routing, Wireless Sensor Networks 등

오 승 민 (Seungmin Oh)

준회원



2009년 2월 충남대학교 전기정보통신공학부 컴퓨터전공
2009년 3월~현재 충남대학교 컴퓨터공학과 석사과정
<관심분야> Internet Routing, Wireless Sensor Networks 등

임 용 빈 (Yongbin Yim)

준회원



2010년 2월 충남대학교 전기정보통신공학부 컴퓨터전공
2010년 3월~현재 충남대학교 컴퓨터공학과 석사과정
<관심분야> Internet Routing, Wireless Sensor Networks 등

이 정 철 (Jeongcheol Lee)

준회원



2008년 2월 충남대학교 전기정보통신공학부 컴퓨터전공
2008년 9월~현재 충남대학교 컴퓨터공학과 석사과정
<관심분야> Internet Routing, Wireless Sensor Networks, MANET, Multicast 등

김 상 하 (Sang-Ha Kim)

종신회원



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

박 호 성 (Hosung Park)

정회원



2008년 2월 충남대학교 전기정보통신공학부 컴퓨터전공
2010년 2월 충남대학교 컴퓨터공학과 석사
2010년 3월~현재 충남대학교 컴퓨터공학과 박사과정
<관심분야> Internet Routing,

Wireless Sensor Networks, MANET 등