
3차원 무선 센서네트워크에서 최적경로 선정

김경준* · 박선** · 김철원*** · 박종훈****

An Optimal Path Determination in 3D Sensor Networks

Kyungjun Kim* · Sun Park** · Chulwon Kim*** · Jonghoon Park****

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아
수행된 기초연구사업임(No. 2011-0012762)

요 약

무선 센서 네트워크에서 우회 경로는 경로 단절시 목적지에 데이터를 전달할 수 있는 대체 경로이다. 또한 이것은 에너지 낭비를 초래할 수 있는 요인이기도 하다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 멀티패스를 사용하는 방법이 제안되었다. 그러나, 이 방법은 센서노드의 무선 자원을 낭비할 수 있다. 최적의 패스는 에너지 소비를 감소시키기 때문에 네트워크의 수명이 길어지지만, 최적의 패스를 유지하기 위해 전체 노드들 간 주기적인 정보 교환이 이루어져야 한다. 본 논문은 분산된 3차원 센서네트워크에서 최적의 경로를 결정 알고리즘을 제안한다. 제안된 방법은 이웃 노드 간 정보 공유를 통하여 최적의 k-경로를 결정할 수 있을 뿐만 아니라 네트워크의 수명을 연장할 수 있다.

ABSTRACT

A by-pass path in wireless sensor networks is the alternative path which be able to forward data when a routing path is being broken. One reason of depleting energy is occurred by the path. The method for solving prior to addressed the problem is proposed. However, this method may deplete radio resource. The best path has advantage that network lifetime of sensor nodes is prolonged; on the contrary, in order to maintain the best path it have to share their information between the entire nodes. In this paper, we propose the best path searching algorithm in the distributed three dimensional sensor networks. Through the neighboring informations sharing in the proposed method, the proposed algorithm can decide the best k-path as well as the extension of network lifetime.

키워드

최적 경로, 충돌 회피점, 무선 센서네트워크, 지역/전역 경로, 확률적 로드맵

Key word

optimal path, contention avoidance point, wireless sensor network, local/global path, probabilistic road map

* 정회원 : 한국과학기술원 전산학과
** 정회원 : 목포대학교 연구교수
*** 종신회원 : 호남대학교 컴퓨터공학과
**** 정회원 : 중부대학교 (교신저자, jhpark@joongbu.ac.kr)

접수일자 : 2012. 05. 02
심사완료일자 : 2012. 06. 01

Open Access <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2012.16.9.1931>

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

I. 서 론

3차원 무선 센서네트워크의 노드 수명(lifetime)을 연장하기 위한 에너지 소모를 줄일 수 있는 라우팅 방안이 지속적으로 연구되고 있다 [1]. 라우팅 프로토콜에서 에너지 효율성을 높이기 위한 방안이 경로 최적화 알고리즘이며, 무선 센서네트워크 환경에서 최적경로(optimal path) 선택 문제는 노드의 에너지 소비 최소화 및 포워딩(forwarding) 노드 설정 방법과 관련 있다 [2, 3].

일반적으로 센서네트워크 프로토콜에서 데이터 경로(path)를 구성하는 노드가 다른 인접한 노드의 포워딩 노드의 역할을 하거나, 혹은 데이터 패스를 공유할 경우 트래픽이 자신에게 집중되기 때문에 에너지 소모가 급격하게 증가 하게 된다 [4]. 특정 노드에서 에너지 소모의 증가는 라우팅 경로에 위치하는 노드의 동작 불능상태(energy starvation state)가 된다 [5]. 또한, 많은 수의 센서노드를 동일한 지역 내에 배치할 경우 네트워크 측면의 데이터 전송 및 신뢰성을 떨어뜨린다. 하지만, 싱크(sink) 노드의 측에서는 정확한 데이터를 얻기 위해 많은 수의 센서 노드를 특정 센싱(sensing) 지역 내에 분포시키는 것은 타당한 측면이 있다 [6]. 그러나 커버리지(coverage)의 정확성에 대한 싱크의 요구사항은 불필요한 트래픽을 발생시키고, 이것에 의해 라우팅의 성능이 급격하게 저하 된다 [7].

트래픽 집중화에 따른 라우팅의 성능 문제점을 개선하기 위해 최적의 경로 이외에 복수개의 대체 경로를 생성, 최적 경로에 문제가 발생했을 때 확률적 방법으로 차선(minimal optimal path)의 대체 경로중 하나를 선택하는 방법이 제안 되었다 [8]. 트래픽 집중화에 따른 또 다른 문제는 데이터 지향적인(data centric) 센서 네트워크 [17]의 싱크에서 보내는 질의(query)가 중간 노드를 경유하여 멀티 홉(multihop)으로 단말(end) 센서 노드까지 전달이 되고, 질의에 대한 응답이 동일한 역 패스(back path)를 사용하여 되돌아 올 경우 발생한다. 즉, 토폴로지 변경으로 그 패스가 없어질 경우 동일한 질의가 반복적으로 발생하게 된다 [9]. 데이터 지향적인(data centric) 센서 네트워크에서 최적의 경로를 설정하는 문제가 주요한 이슈(issue)이다. 따라서, 상술한 문제들을 해결하기 위해서는 경로 유효성(availability) 및 에너지 효율성(energy efficiency) 문제가 해결되고 보장되어야 한다. 상술한 연구 주제에 대해 최근의 연구 주제로서 다음과 같

다. 최단경로 계산문제는 그래프 이론을 이용한 연구 주제로 주로 애드 혹(adhoc) 센서 네트워크 [10], 차량(vehicular) 네트워크, 로봇 네트워킹(robot networking) 동작 메커니즘 설계 [11]에서 주로 사용되고 있다. 최단 경로 탐색을 위한 라우팅 알고리즘 탐색은 소스(source) 노드와 목적지(destination) 노드사이에 최소 비용을 갖는 경로를 탐색하는 문제로 설정할 수 있다 [12]. 단말 노드에서 목적지 간 최적 경로 선정을 위해 Latombe [7, 15]가 확률적 경로 맵(PRM, probabilistic road map) 방법을 제안하였다. 확률적 경로 맵은 장애물이 없는 자유공간에 존재하는 충돌 회피점(contention avoidance point)을 무작위로 추출한 후에 상호 연결하여 로드맵을 구성하고, 각각의 국부 경로(local path)에 대하여 이동에 소요되는 비용을 연산한다. 그러나, PRM 메커니즘은 3차원 공간에서 장애물이 있을 경우 라우팅 방법을 제공하지 못한다 [13, 14].

본 논문에서는 단말 노드와 싱크 간 최적경로 선정에 대한 문제를 해결하기 위해 PRM 메커니즘을 확장한 EPRM(energy efficient probabilistic road map) 방법을 제안한다. 제안하고자 하는 EPRM 방법은 센서 필드(field)의 경로 계획을 위한 로드맵을 구성하는 과정은 3단계로 구성 된다. 첫째, 전처리 단계(preprocessing phase), 둘째, 구성된 로드맵을 바탕으로 각각의 로컬 경로(local path)에 대한 질의 단계, 마지막으로 로컬 경로의 결과를 종합하는 최종 전역경로(global path) 생성 단계 이다. 3단계의 경로 설정을 통해서 EPRM 방법은 3차원 센서네트워크에서 단말 소스 간 최적 경로를 제시할 수 있다. 시뮬레이션을 통해서 최적 경로를 센싱 반경을 증가시키면서 수행한 결과와 E자형, T자형 장애물이 있는 경우의 결과를 예시하였다.

본 논문은 다음과 같이 구성되었다. 2장에서는 관련 연구를 통해 기존 방법들의 문제점을 분석, 3차원 센서네트워크를 위한 라우팅 프로토콜의 요구사항을 제시하고, 3장에서는 3차원 무선센서 네트워크에서 최적 경로를 구축하기 위한 과정과 알고리즘을 제시하고, 이어서 4장에서는 시뮬레이션을 통한 최적 경로 구축을 통해 성능의 우수성을 보인다. 그리고, 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

II. 관련연구 및 요구사항

센싱된(sensed) 데이터(flow)은 소스(end sensors) 노드에서 멀티 홉을 경유해서 목적지(sink, control center) 노드로 이동한다. 이동 중 센싱 데이터는 전송 중 발생하는 지터(jitter)에 의해 데이터의 정확성 감소와 재전송에 따른 전송지연이 발생할 수 있다 [1]. 따라서 센서 네트워크에 있어서 최적의 패스를 선정하는 것은 라우팅에서 발생할 수 있는 문제점(side-effect)을 최소화함과 동시에 에너지 사용량을 최소화 하여 네트워크 수명 연장 할 수 있다 [2]. 그러나 2차원 센서네트워크와 동일하게 3차원 센서 네트워크에서도 최적의 경로에 위치한 센서로 많은 트래픽이 경유하게 되어, 그노드가 동작 불능 상태에 빠질 수 있다 [19].

에너지의 효율성을 고려한 라우팅 프로토콜이 EAR(energy aware routing) [16]은 최적 경로 외에 대체 경로를 두어서 확률적으로 하나를 선택하는 방식이다. 그러나, 이 방법은 단일 경로 상에 있는 홉(hop) 정보만을 이용하기 때문에 데이터 전송 지연 (transmission delay) 이 발생할 수 있다. 이 문제를 해결하기 위해서 데이터 지향적인 라우팅 (data centric routing) [17]은 소스 노드가 목적지에 도달하기 위해 경로에 존재하는 모든 노드의 정보를 알 수 있다. 그러나, 3차원 무선 센서네트워크에서 동적인 토폴로지와 높이 차이에 의한 지형적 특성, 자유공간에서 장애물이 있을 경우, 짧은 시간 내에 라우팅 경로 계산에 소요되는 시간을 최소화 할 필요가 있다 [18]. 3차원 센서 네트워크를 위한 라우팅 프로토콜은 다음 조건을 충족해야 한다.

첫째, 트래픽 전송 최적 경로 알고리즘은 데이터가 전송 패스 상에서 서로 충돌을 발생시키지 않는 안전한 경로를 계획해야 한다. 둘째, 그 경로가 가능한 한 다른 경로보다 짧아야 한다. 셋째, 그 경로에서 트래픽을 전송(forwarding)할 때 이웃노드에서 반복적인 재전송에 따른 에너지 소모가 없어야 한다는 세 가지 측면을 모두 고려해야 한다.

상술한 3가지 조건이 만족할 때 3차원 환경에서 최적 경로 탐색을 위한 연산시간을 최소로 할 수 있다. 센서에서 사용하는 에너지 소모를 줄이고 선택된 최적 경로를 통해 최단 시간 내에 데이터가 목표지점에 도달 할 수 있다.

III. 최적 경로 선정

본 장에서는 제안한 EPRM 메커니즘이 3차원 센서네트워크에서 최적의 경로를 구축하기 위한 절차에 대해 설명한다. EPRM 방법은 전처리 단계, 지역 경로(local path)비용계산 단계, 전역경로(global path) 생성의 3단계로 구성된다.

3.1. 네트워크 모델

그림 1은 제안한 EPRM 메커니즘을 설명하기 위해 사용하는 네트워크 모델이다.

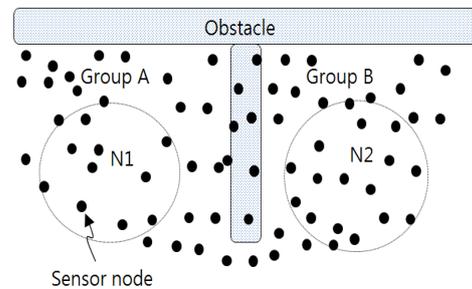


그림 1. 네트워크 모델
Fig. 1 Network model

그림 1의 네트워크 모델에서 T자형의 장애물을 가정하였다. 각 장애물은 높이를 가지는 3차원 공간상에 센서들이 배치되어 있다. 각 센서는 로드맵의 구성을 효과적으로 하기 위해 링크드(linked) 리스트 형식의 로드맵 테이블(roadmap table)을 구성한다. 그림 1의 네트워크 모델을 기반으로 충돌 회피점을 추출하는 단계는 그림 2에서 설명한다. 전처리 단계를 설명하기 위해 2개의 단위지역 평면을 가정한다.

3.2. 전처리 단계

센싱 영역 A와 B에 존재하는 충돌 회피점을 무작위로 추출한 후, 현재까지 추출된 충돌 회피점을 상호 연결하여 네트워크 형식의 로드맵을 구성한다. 초기 상태에서 로드맵 그래프 $G=(N, E)$ 는 비어 있는 상태지만, 로드맵 구성 단계를 반복적으로 적용한다. 전처리 단계는 충돌이 발생하는 멀티패스의 충돌 회피 점(avoidance point)에서 임의의 점들을 추출하고, 장애물을 우회하여 목적

지와 최단 거리의 중간 경유지와 상호 연결이 가능하도록 로드맵(road map)을 구성하는 과정이다.

로드 맵핑(mapping) 과정에서 다른 패스들이 공유하는 충돌 회피점을 마일스톤(milestone)이라 하고, 기존 경로와 교차하지 않으면서 마일스톤을 상호 연결하는 양방향 곡선을 단위 지역경로(unit local path)로 정의한다. 로드맵을 구성하는 충돌 회피 점들로 구성된 집합을 N , 충돌 회피 점을 상호 연결하는 로드맵 상의 국부경로들의 집합을 E 라고 하면, 로드맵은 방향성 그래프 $G=(N, E)$ 로 표현할 수 있다. 임의의 노드 v 에서 u 사이 직접 전송이 가능할 때 $(v, u) \in E$ 를 만족한다. 또한, 센서의 현재 에너지를 e_c , 전송을 위해 필요한 에너지 t_e 할 때, $e_c \geq t_e > 0$ 를 항상 만족한다.

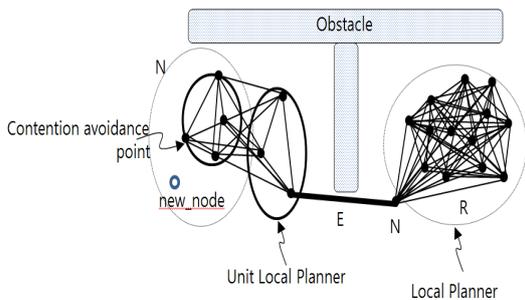


그림 2. 충돌 회피점 추출 단계
Fig. 2 Phase of choosing contention avoidance point

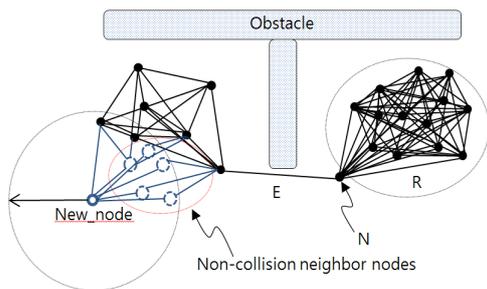


그림 3. 연결단계
Fig. 3 Connection phase

그림. 2와 같이 자유공간 내에 새로운 충돌 회피점의 최외각 노드를 먼저 추출한다. 최외각 노드는 충돌 회피 점들의 1홉 거리에 있는 최외각 노드이다. 이상의

조건을 만족하는 경우에 한하여 new node를 N 에 추가하게 된다. 일반적으로, node가 추출 될 때마다 N 을 구성하고 있는 모든 충돌 회피점들과 연결을 시도하게 된다. 여기서는 단위 지역 평면 (local planner)을 별도로 설계하여 적용함으로써, 그림 3과 같이 기존의 로드맵에서 new_node에 인접한 거리에 존재하는 충돌 회피점 이외의 neighbor만을 추출하여 new_node와의 연결 E 를 시도하게 되어, 불필요한 연산과정을 생략할 수 있다.

3.3. 질의 단계

질의 단계를 통하여 추출된 전역경로는 장애물공간에 너무 근접하지 않으면서, 최단거리를 가지도록 하는 것이 일반적이다. 질의단계는 전처리 단계를 통하여 구성된 로드맵을 토대로 하여 주어진 시작점과 목표점을 연결하면서, 최적의 전역경로를 구성하는 국부경로들의 조합을 추출하는 과정을 의미한다. 그림. 2와 3의 전처리 단계를 통하여 구성된 로드맵과 경로계획의 시작점 q_{init} 와 목표점 q_{goal} 을 연결하고, 두 점을 연결하는 로드맵상의 전역경로를 추출하는 과정으로 단순화할 수 있다.

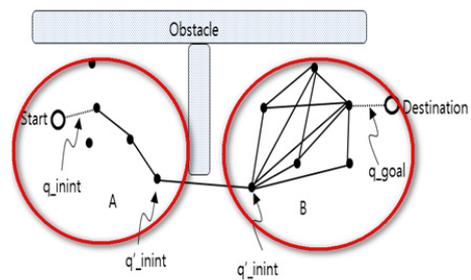


그림 4. 경로 생성 단계
Fig. 4 Path create phase by a request

그림 4에서 A 지역의 Source 노드와 B 지역의 Destination 노드들은 그림 3에서 수행된 전처리 단계를 통하여 구성된 로드맵을 사용하였다. q_{init} 와 q_{goal} 를 연결할 수 있는 로드맵 상의 충돌 회피점 q'_{init} 와 q'_{goal} 을 탐색한다. 만일, q_{init} 와 q_{goal} 이 각각 q'_{init} 와 q'_{goal} 에 연결되면 q_{init} 와 q'_{init} 를 연결하는 국부 경로인 P_{init} , 그리고 q_{goal} 과 q'_{goal} 을 연결하는 국부 경로인 P_{goal} 을 생성하게 되지만, 연결되지 않는다면

query phase는 실패하게 된다. 이 과정에 다양한 기법을 적용할 수 있지만, 여기서는 랜덤 바운스를 적용한 연결을 시도하여 P_init와 P_goal을 생성한다. 만일, 랜덤 바운스를 여러 차례 적용함에도 불구하고 P_init와 P_goal이 생성되지 않는다면, 이는 로드맵 구성 단계에 의해 생성된 로드맵의 충돌 회피점들이 부적절한 연결 관계를 가지고 있다는 것을 의미한다.

3.4. 전역경로 생성

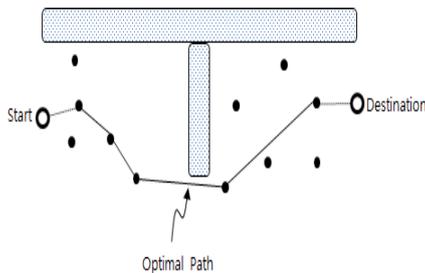


그림 5. 최적 경로 결정

Fig. 5 Determination phase of Optimal path

그러나 앞서 기술한 바와 같이 반드시 전처리 단계를 적용한 후에 query phase를 적용해야 한다는 제한이 없고, 전처리 단계는 점진적인(Incremental) 과정이므로, 전처리 단계를 처음부터 다시 수행할 필요는 없다. 전처리 단계의 로드맵 구성 단계나 로드맵 확장 단계를 현재의 로드맵에 적용하여, 새로운 충돌 회피점을 추가하거나 기존 충돌 회피점들 사이의 연결 관계를 개선함으로써, 질의단계의 실패율을 감소시킬 수 있다.

질의단계의 적용을 통하여, 그림 6과 같이 P_init와 P_goal이 생성된다. P_init와 P_goal은 별도의 경로계획 기법을 적용하여 시작점과 목표점을 연결하는 최적의 전역경로를 생성할 수 있다. 마지막으로 전처리 단계를 통하여 생성된 각각의 국부경로에 대한 이동비용을 바탕으로, 기존에 제안된 다양한 경로계획 기법들을 적용할 수 있으며, 그 대표적인 예로, 최상우선 탐색 기법을 변형한 형태인 A* 탐색 기법을 사용한다. 반복적으로 적용하여 최적의 경로를 생성할 수 있다.

IV. 성능분석

4.1. 실험환경

제안된 3차원 센서네트워크 최적경로 선정 라우팅 프로토콜의 성능을 검증하기 위해 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 환경은 3차원 (500, 500, 500) 공간상에서 MatLab R2010a을 이용하였다.

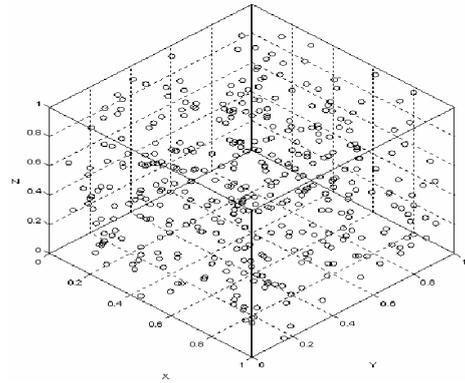


그림 6. 시뮬레이션 환경

Fig. 6 Simulation environment

3차원 공간에서는 ‘T’ 형의 장애물을 임의로 위치시켰다. 200개의 센서를 임의의 3차원 공간상에 배치하였다. 또한, 최적의 패스 생성을 보이기 위해 중단 간 생성되는 패스를 가정하였고, 각 중단 지역에는 이벤트가 발생한 소스 노드와 다른 지역에는 싱크를 배치하였다.

각 센서 노드의 통신 범위는 하드웨어적인 요소나 주변 환경의 영향을 받기 때문에 센싱 반경을 1m, 10m, 15m, 25m, 30m, 50m, 60로 증가시키면서 실험하였다. 이 때 네트워크 필드의 3차원 공간상에서 x, y, z의 크기는 각각 x:-750-1100m, y: 100 - 500m, z: 800-1400m 로 설정하였다. 각 센서 노드의 통신 가능한 범위를 ‘통신 가능한 노드 수/전체 센서노드’ 로 측정하였다.

4.2. 시뮬레이션 결과

그림 7은 센서의 센싱 반경 증가에 따른 패스 설정의 변화를 나타낸 것이다. 그림 7a에서와 같이 센싱 반경이 증가할수록 경로의 수가 증가함을 알 수 있다. 이것의 원인은 센서의 센싱 반경과 전송반경이 같다는 것이 한 원인이다. 또 다른 이유는 센서의 센싱 반경이 줄어들어 센

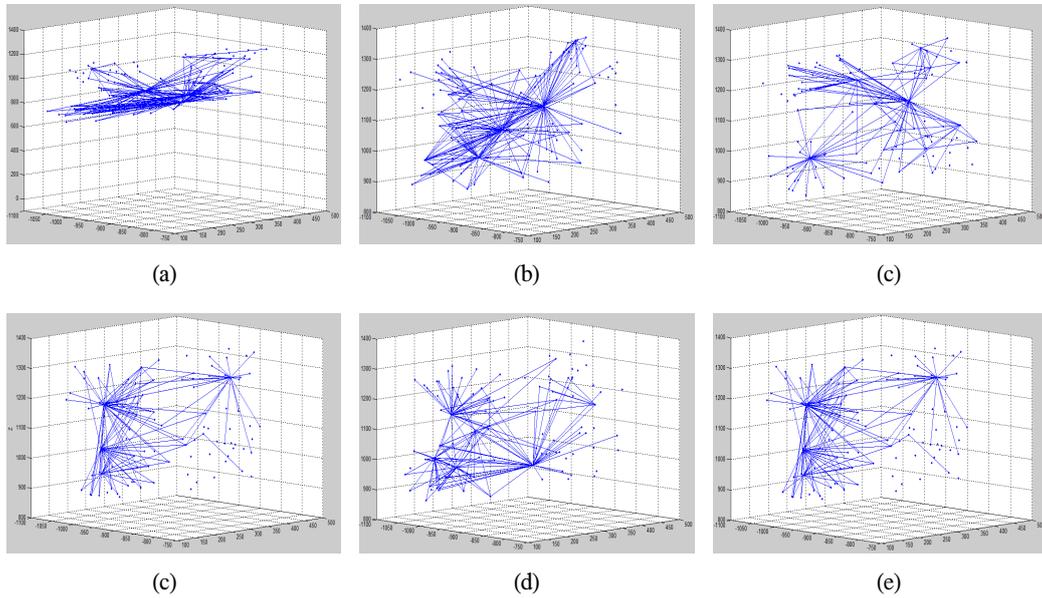


그림 7. 센싱 반경 증가에 따른 패스 설정 (a) 1m (b) 10m (c) 15m (d) 30m (e) 50m (f) 60m
 Fig. 7 Choosing optimal path depending on increasing tensing range (a) 1m (b) 10m (c) 15m (d) 30m (e) 50m (f) 60m

서가 질 수 있는 이웃노드의 수가 상대적으로 감소하여, 최적화된 경로를 구성하기 위해서 필요한 노드수가 줄어들게 된다. 센싱 반경이나 전송반경이 작을수록 경로를 구성하는 홉 수는 늘어나게 된다. 반대로 센싱 반경이 증가할 경우 최적화된 경로 상에 생성되는 전체 경로의 수는 감소하고, 역시 동일한 경로 내에 홉 수는 감소하게 된다. 이것은 데이터의 전송을 줄이며, 또한 라우팅의 성능 증가시킨다. 기존 PRM 방법과 제안한 EPRM 방법의 성능을 홉 수의 관점에서 비교하였을 경우, EPRM 방법이 평균 35%의 성능 개선이 이루어졌고, 에너지 소모는 약 40%가 감소함을 알 수 있었다.

그림 8은 3차원의 E자형 장애물과 T자형 장애물을 고려한 환경을 가정하였다. 이것은 장애물이 있는 경우 제안한 EPRM 방법이 3차원 환경에서도 최적의 패스를 생성할 수 있음을 보였다. 그림 8(a)와 8(b)는 각각 E자형과 T자형 장애물을 가정한 경우에 대한 생성된 최적의 패스이다. 시뮬레이션을 통해서 3차원 공간에서도 단위 경로당 홉 수가 40% 감소된 경로를 얻을 수 있었고, 경로당 홉 수를 최적화 하는 문제는 센싱 반경을 증가시킴으로써 얻을 수 있었다. 이러한 결과는 그림 7의 결과와도 일치한다.

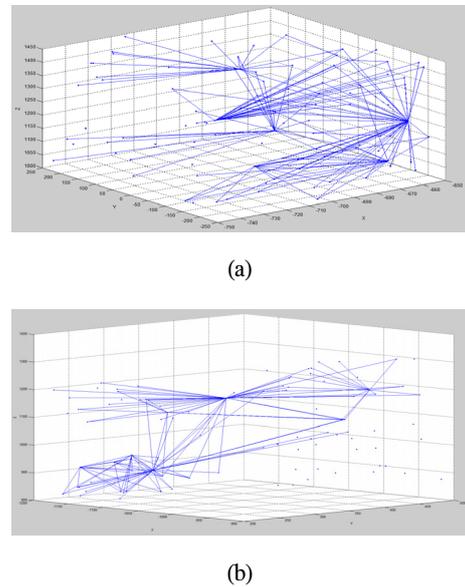


그림 8. 장애물을 고려한 최적 경로
 (a) E-shaped 장애물 (b) T-shaped 장애물
 Fig. 8 Optimal path considering obstacles
 (a) E-shaped Obstacle (b) T-shaped Obstacle

그러므로, 제안한 EPRM 방법은 에너지 경로 간 홉 수를 최소로 하며 전송 지연에 대한 내성(tolerance)이 있으며, 에너지 소모를 감소할 수 있는 방법이다. 홉 수가 감소함으로써 전송 간 발생할 수 있는 전송 지연 또한 약 20% 감소한 결과를 얻었다.

V. 결 론

본 논문에서는 3차원 센서네트워크의 에너지 및 전송의 성능을 보장하기 위해 최적화된 경로 선정에 대한 문제를 제시하고, 이러한 문제를 해결할 수 있는 최적 경로선정을 위해 EPRM 방법을 제안하였다. 시뮬레이션 결과를 통해 센싱 반경 증가에 따른 경로 간 홉 수가 감소하여 라우팅 성능이 증가함을 보였고, 다양한 장애물이 있는 환경에 최적화된 경로를 구성할 수 있음을 보였다. 그러므로, 데이터 지향적인 3차원 센서 네트워크에 적용할 경우, 충돌 문제 및 전송 성능을 개선할 수 있고, 라우팅 경로 간 홉 수 감소로 에너지 효율성을 보장할 수 있다.

향후 과제에서는 시뮬레이션 보강을 통해 홉수 감소에 따른 에너지 감소 정도에 대한 연구와 라우팅의 성능을 검증하기 위한 수학적 분석을 추가한다. 이를 바탕으로 전체 경로 탐색 시간을 줄일 수 있는 방안 연구할 예정이다.

참고문헌

- [1] J. Yick, B. Mukherjee, D. Ghosal, "Wireless Sensor Networks Survey," *Computer Networks*, vol. 52, no. 12, Aug. 2008, pp. 2292-2330.
- [2] J. Zhou, Y. Chen, B. Leong, and P. S. Sundaramoorthy, "Practical 3D geographic routing for wireless sensor networks," *Proc. of the 8th ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems*, Zurich, Switzerland, 2010, pp. 337-350.
- [3] Z. Wang, D. Zhang, O. Alfand, D. Hogrefe, "Efficient Geographical 3D Routing for Wireless Sensor Networks in Smart Spaces," *Proc. of IEEE Baltic Congress on Future Internet Communications(BCFIC riga)*, 16-18 Feb. 2011, pp. 168-172.
- [4] C. W. Ahn, and R. S. Ramakrishna, "A Genetic algorithm for Shortest Path Routing Problem and the Sizing of Populations," *IEEE Transactions on Evolutionary computation*, vol.6, no.6, Dec. 2002, pp. 566-579.
- [5] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cyirci, "Wireless sensor networks: a survey," *Computer Networks*, vol. 38, no.4, 2002, pp. 393-422.
- [6] A. Anandkumar, T. Lang, A. Swami, and A. Ephremides, "Minimum Cost Data Aggregation with Localized Processing for Statistical Inference," *Proc. of IEEE Infocom 2008*, Phoenix, AZ, 13-18, Apr. 2008, pp. 780-788.
- [7] Kavraki, L.E., Svestka, P., Latombe, J.C., Overmars, M.H. "Probabilistic Roadmaps for Path Planning in High-dimensional Configuration Spaces", *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, vol. 12, no. 4, pp. 566-580.
- [8] F.Ye, A. Chen, S. Lu, L. L. Zhang, "A Scalable Solution to Minimum Cost Forwarding in Large Sensor," *10th International Conference on Computer Communications and Networks*, 2001, pp. 304-309.
- [9] J. Chen, R. Lin, Y. Li, Y. Sun, "LQER: A Link Quality Based Routing for Wireless Sensor Networks", *Sensors*, Aug. 2008, pp. 1025-1038.
- [10] K. Akkaya, M. Younis, "A Survey on Routing Protocols for Wireless Sensor Networks," *Ad Hoc Networks*, vol. 3, 2005, pp. 325-349.
- [11] Masao Yokota and Genci Capi, "An Approach to Distributed Intelligent Robot Networking Based on Mental Image Directed Semantic Theory", *Proc. of the 20th International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA'06)*, 2006
- [12] J. Inagaki, M. Haseyama and H. Kitajima, "A Genetic Algorithm for Determining Multiple Routes and Its Applications," *Proc. of IEEE Int'l. Symp. Circuits and systems*, 1999, pp. 137-140.
- [13] Ortiz, C.D., Puig, J.M., Palau, and C.E., Esteve, "3D Wireless Sensor Network Modeling and Simulation,"

Proc. of Sensor Communication, 2007, pp. 297-312.

[14] R. Nallusamy, K. Duraiswamy, D.A. Muthukumar, C. Sathiyakumar, "Energy Efficient Dynamic Shortest Path Routing in Wireless Ad Hoc Sensor Networkings using Genetic Algorithm," Proc. of International Conference on Wireless Communication and Sensor Computing, Jan 2010, pp. 280-285.

[15] http://en.wikipedia.org/wiki/Probabilistic_road-map

[16] R.G. Garroppo, S. Giordano, G. Nencioni, M. Pagano, "Energy Aware Routing Based on Energy Characterization of Devices: Solutions and Analysis," Proc. of 2011 IEEE International Conference on Communication Workshops (ICC), Jun. 2011, pp. 1-5.

[17] M. Akdere, U. Cetintemel, D. Crispell, J. Jannotti, J. Mao, and G. Taubin, "Data-centric Visual Sensor Networks for 3d Sensing," Proc. of 2nd Geosensor Networks Conference, 2006.

[18] M. Tamilarasi, S. Chandramathi, T.G. Palanivelu, "Overhead Reduction and Energy Management in DSR for MANETs," Proc. of IEEE 3rd International Conference on Communication Systems Software and Middleware and Workshops, 2008, pp. 762-766.

[19] S. Tao, A.L. Ananda, M.C. Chan, "Spherical Coordinate Routing for 3D Wireless Ad hoc and Sensor networks," Proc. of IEEE Conference on Local Computer Networks (LCN 2008), 2008, pp. 144-151.



박선(Sun Park)

2007년 8월 : 인하대학교 컴퓨터
정보공학과(공학박사)
2008 ~ 2009년 : 호남대학교
컴퓨터공학과 전임강사

2009년 9월: 전북대학교 전기전자정보인력양성사업단
박사후과정

※ 관심분야: 정보검색, 데이터마이닝, 데이터베이스



박종훈(Jong Hoon Park)

1995년 광운대학교 전자계산기
공학과(공학박사)

1995년 ~ 1998년 한국전산원 선임
연구원

1999년- 현재 중부대학교 컴퓨터학과 교수

※ 관심분야: XML 웹서비스, XML 검색, 시맨틱 웹,
멀티미디어 통신



김철원(Cheol-Won Kim)

1997년 8월 광운대학교 박사
1988년 3월~현재 호남대학교
컴퓨터공학과 교수

※ 관심분야: 관심분야: XML 응용, 멀티미디어
정보검색, 멀티미디어 통신

저자소개



김경준(Kyungjun Kim)

2005년 경북대학교
정보통신학과(공학박사)
2006년 호남대학교 전파이동통신
공학과 전임강사

2009년 한국과학기술원 전산학과 연구부교수

※ 관심분야: 통신 프로토콜, 무선센서네트워크,
멀티미디어 통신