

그룹이동타겟 추적을 위한 무인차량기반의 자가이동 네트워크

웬 티 탐*, 윤 석 훈^o

Autonomous Unmanned Vehicle based Self-locomotion Network for Tracking Targets in Group Mobility

Nguyen Thi Tham*, Seokhoon Yoon^o

요 약

본 논문은 다수의 자율무인차량 (Autonomous Unmanned Ground Vehicle) 들이 서로 협력하여 그룹 이동하는 타겟을 추적하고 지속적인 커버리지를 제공하는 무인차량 기반의 추적 네트워크 (UVTN: Unmanned Vehicle based Tracking Network) 구조와 알고리즘을 제안한다. UVTN은 움직이는 사람 또는 사물을 추적 감시하거나 이동하는 구조팀 또는 병사들에게 지속적인 네트워크 Access를 제공해 주기 위하여 커버리지를 최대화 하는 것을 목적으로 한다. 이러한 목적을 달성하기 위하여 UVTN은 주기적인 네트워크 확장과 수축 과정을 통한 무인차량 노드 재배치 및 네트워크 토폴로지 최적화를 수행한다. 또한 본 논문에서는 평균 커버리지비율과 이동거리 관점에서의 성능향상을 위한 개선 알고리즘들이 제안된다. 시뮬레이션을 통해 UVTN과 개선 알고리즘들이 그룹이동성을 갖는 대상을 효율적으로 추적하여 지속적인 커버리지를 제공할 수 있음을 보인다.

Key Words : Unmanned Vehicles, Tracking network, 추적네트워크

ABSTRACT

In this paper, we propose unmanned vehicle based tracking network (UVTN) architecture and algorithms which employ multiple autonomous unmanned ground vehicles (AUGV) to efficiently follow targets in a group. The goal of UVTN is to maximize the service coverage while tracking target nodes for monitoring or providing the network access. In order to achieve this goal, UVTN performs periodic expansion and contraction which results in optimized redistribution of AUGV's in the network. Also, enhanced algorithms such as fast contraction and longest first are also discussed to improve the performance of UVTN in terms of the average coverage ratio and traveled distance. Simulation results show that the proposed UVTN and enhanced algorithms can effectively track the moving target and provide the consistent coverage.

I. 서 론

본 논문에서는 근래 실용화되고 있는 자율무인차량 (Autonomous Unmanned Ground Vehicle)을 이용하여 애드혹 네트워크를 형성하고 타겟들의 이

동 시 무인차량 재배치 및 토폴로지 제어를 수행하여 타겟을 추적하는 네트워크를 고려한다. 이러한 네트워크의 주요 응용 예로서는 기간망을 사용할 수 없는 전시에 병사들 또는 구조팀에게 무선 접속 기능을 제공하는 것이다. 무인차량들은 병사들의 이

※ 본 연구는 교육과학기술부의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행되었음(2011-0023805)

• 주저자 : 울산대학교 전기컴퓨터공학과 석사과정, nttham0611@gmail.com, 준회원

o 교신저자 : 울산대학교 전기공학부 컴퓨터정보통신전공, seokhoonyoon@ulsan.ac.kr, 정회원

논문번호 : KICS2012-05-253, 접수일자 : 2012년 5월 15일, 최종논문접수일자 : 2012년 7월 13일

동을 따라 추적하여 무선접속을 위한 무선 백본 망을 형성하고 지속적인 네트워크 접속 서비스를 제공할 수 있다. 자율무인차량 기반의 추적 네트워크의 다른 응용 예는 넓은 개활지에서의 이동하는 사람이나 사물을 관찰 또는 감시하는 것이다.

넓은 지역에서 병사 또는 관찰대상과 같은 타겟을 효율적으로 추적하여 통신 또는 센싱 커버리지를 제공하기 위해서는 다수의 무인차량이 서로 협력하여 다음과 같은 고려사항을 충족시키기 위해 동작하여야 한다. 첫째, 주위 상황 변화에 적응하여 네트워크 배치 제어가 가능하여야 한다. 예를 들어 병사들의 전술이동 경우와 같이 타겟 노드들이 이동하였을 때 네트워크의 배치도 변화하여 타겟노드들이 항상 커버리지 영역에 있도록 해야 한다. 둘째, 네트워크 운영 중 서비스 커버리지가 최대화가 되어야 한다. 즉, 적은수의 무인차량으로 최대의 커버리지를 갖도록 무인차량들의 지리적 위치가 최적화 되어야 한다. 셋째, 충분한 네트워크 이동속도가 보장되어 타겟노드의 빠른 이동시 지속적인 커버리지 제공이 가능하여야 한다. 또한, 이동 시 네트워크의 파티션이 발생하지 않도록 무인차량들이 협력적으로 동작하여야 한다. 마지막으로, 휴대형 전원공급장치를 사용하는 무인차량의 경우 전력 소모가 중요한 요소가 된다. 필요시에만 무인차량을 이동시켜야 하며 무인차량 배치 위치를 신속히 결정함으로써 네트워크 전체 전력 소모를 최소화 하여야 한다.

그림 1은 이동하는 타겟을 추적하여 커버리지를 제공하는 무인차량 기반의 추적 네트워크를 보여준다. 그림 1(a)에서 보이는 바와 같이, 각 무인차량은 자신의 커버리지를 갖고 커버리지내의 타겟 노드에게 감시 및 네트워크 접속 등의 서비스를 제공한다. 또한 다른 무인차량과의 무선링크를 형성하여 멀티홉 애드혹 네트워크를 구성한다. 하나 이상의 무인차량은 상황보고 송신이나 제어신호 수신을 위하여 위성통신과 같은 장거리 통신 기술을 이용하여 지휘센터와 연결할 수 있다. 그림 1(b)에서와 같이 타겟노드들이 이동하는 경우 무인차량들은 이러한 움직임을 감지하고 지속적인 커버리지 제공을 위해 이동한다.

다수의 무인차량을 이용하여 타겟을 추적하는 방법 중 하나는 분산 제어기술을 이용하여 무인차량들이 특정 대형을 갖추고 이웃 차량들과의 연결성을 유지한 상태로 이동하는 것이다^{1,2}. 하지만 이러한 접근 방식은 노드들이 특정 대형을 유지하게 함

으로써 타겟들이 확산이동을 하거나 다른 형태의 분포로 이동하는 상황 대처에 필요한 유연성을 제공할 수 없게 된다. 또한, 노드들 간 거리유지를 위하여 짧은 주기로 실시간 위치와 이동 데이터를 교환하여야므로 높은 통신부하가 발생하게 된다.

또 다른 접근 방법은 Swarm 이나 Flocking 알고리즘을 이용하여 무인차량에게 자유를 주고 스스로의 판단에 따라 주위환경을 파악하여 이동하게 하는 것이다^{3,4}. 하지만 이러한 방식은 각 노드가 자신과 이웃노드들의 정보만을 이용함으로써 타겟이 많이 분포해 있는 지역으로 무인차량들이 집중되어 전체 타겟노드들을 커버하지 못할 수 있다. 또한, 무인차량이 각자의 판단에 따라 이동하므로 무인차량 네트워크가 파티션되어 네트워크 연결성을 잃을 수 있다.

균등한 커버리지를 위해 Potential field 또는 Voronoi Diagram을 사용한 방법 적용을 고려할 수 있으나 이러한 접근 방식 또한 네트워크 연결성이 보장된다는 가정하여 제한된 크기의 지역에서만 사용될 수 있다⁵. 실제로 다수의 기존 무인차량 기반의 감시시스템은 제한된 지역을 가정하고 있다⁶⁻⁸. 이동로봇 기반의 개활지에서의 모바일센서 네트워킹도 제안되었지만 연속적인 자연현상을 관찰하는 것이 목적이며 그룹 이동을 할 수 있는 타겟노드를 추적하는 경우에는 적합하지 않다⁹.

따라서 주변 상황 변화에 유연하게 적응 하면서 네트워크 파티션 방지, 전력 소모 최소화, 최대 커버리지 획득을 목적으로 하는 새로운 무인차량 기반의 추적 네트워크 구조 및 알고리즘이 필요하다. 본 논문에서 제안하는 무인차량 기반 추적 네트워크(UVTN: Unmanned Vehicle based Tracking Network)에서는 각각의 무인차량 노드(이하 UV노드: Unmanned Vehicle 노드)들이 자신의 커버리지에 있는 타겟 정보를 다른 UV 노드들과 공유하고 공유한 정보를 이용하여 전체 네트워크의 이동과 변형을 진행한다. 즉, 타겟의 분포와 이동 정보에 따라 최대의 커버리지 획득을 위하여 네트워크의 확장 및 수축 프로세스를 반복하는 최적화과정을 수행한다. UVTN은 Swarm이나 Flocking 기반 알고리즘과는 달리 네트워크의 전체 정보를 이용함으로써 커버리지 최대화를 위한 이동방향 및 UV 노드 배치의 글로벌 최적화가 가능하다.

본 논문에서는 UVTN의 검증을 위하여 RPGM(Reference Point Group Mobility) 모델을 확장하여

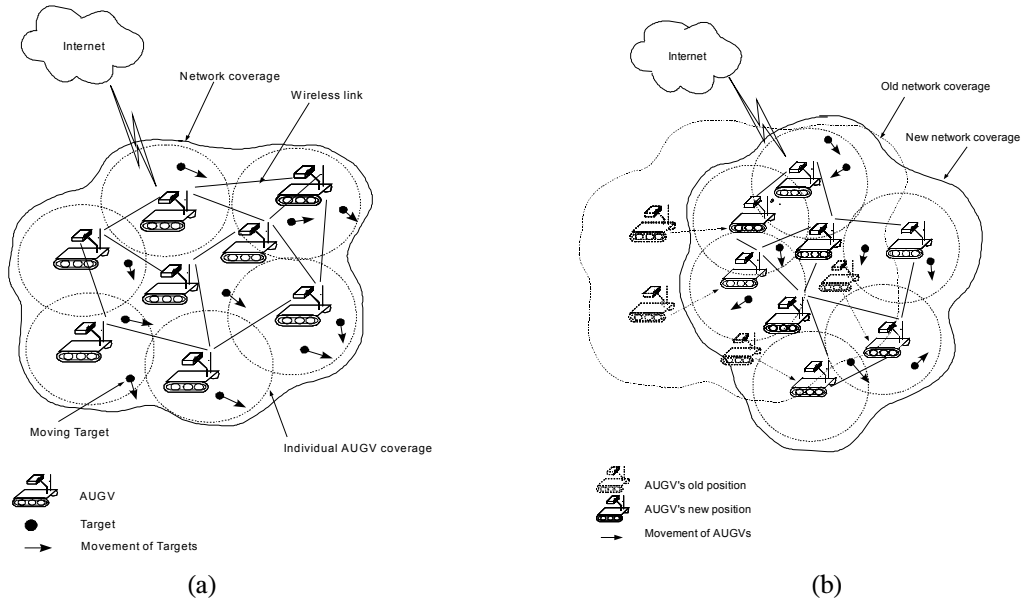


그림 1. 이동 타겟을 추적하는 무인차량 기반의 자가이동 네트워크
 Fig. 1. Unmanned vehicle based self-locomotion network tracking moving targets

타겟노드들의 그룹이동성을 구현하였으며 시뮬레이션을 통해 다양한 타겟노드들의 이동상황에서 UVTN이 지속적인 커버리지를 제공할 수 있음을 보인다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 시스템모델과 무인차량 기반 추적네트워크 알고리즘을 기술한다. 각 UV 노드들의 능력 및 제한에 대해 기술하고, 자가이동을 위한 확장 및 수축 알고리즘 및 개선 알고리즘들을 논의한다. III장에서는 성능시험을 시뮬레이션 환경과 시험 시나리오를 살펴보고 시뮬레이션 결과를 분석한다. 마지막으로 IV 장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

II. 무인차량 기반 추적 네트워크 구조 및 알고리즘

본 장에서는 먼저 시스템 모델을 살펴보고 제안하는 무인차량 기반의 추적 네트워크 알고리즘을 상세히 논의한다. 또한 성능 향상을 위한 개선 방안을 논의한다.

2.1. 시스템 모델

본 논문이 고려하는 시스템에서 각 무인차량 노드 (UV 노드)는 자체추진에 의하여 이동할 수 있다. 또한 각 UV 노드는 GPS 또는 다른 위치측위 방법에 의하여 자신의 지리적인 위치를 파악할 수 있다^{[10],[11]}. 수십대 이상의 다수 UV 노드가 관심지

역에 배치되며 초기 배치 시에는 서로 인접하게 위치되어 통신할 수 있다고 가정한다.

타겟 노드들은 이동하거나 정지 할 수 있으며, 이동 시에는 그룹 이동성을 갖는다. 그룹 이동성 모델은 수색 및 구조팀, 병사들의 전술 이동 등 특수 목적을 갖는 다수 노드의 이동성을 가장 적합하게 표현할 수 있는 이동성 모델이다. III장에서 타겟 노드들이 갖는 그룹이동성을 개발하고 성능 시험에 적용한다. 무인차량 기반의 추적네트워크가 운용되는 지역은 개활지이며 타겟이 이동하는 범위나 거리 또는 이동 패턴에 제한이 없다고 가정한다.

각 UV 노드는 타겟노드가 자신의 커버리지에 포함되어 있는 지 알 수 있다. 예를 들어, 네트워크의 목적이 병사들에게 네트워크 연결성을 제공하는 것이라면 UV 노드와 병사가 휴대하는 무선기기가 특정 크기이상의 신호강도로 패킷을 교환 할 수 있다면 UV 노드는 해당 병사가 커버리지 안에 포함된다고 판단 할 수 있다. 만약 제공 서비스가 생태계 관찰 또는 오염물질 감시라고 한다면 목적에 맞게 로봇에게 장착된 센서 (예. 가스, 화학, 비전 카메라)로 특정 값 이상의 데이터가 감지된다면 타겟이 커버리지 안에 있다고 판단하게 된다.

2.2. 제안 알고리즘

UV 노드들은 타겟 노드들의 이동에 따라 서비스, 패치, 확장, 수축 모드 간 동작을 전환함으로써 주변 상황에 적응하고 차량 네트워크 토폴로지 변

화 및 이동을 가능하게 한다. 각 동작 모드의 설명은 다음과 같다.

- 서비스 모드: UV 노드가 정지 상태로 서비스 제공을 하는 모드 즉, 병사들에게 네트워크 액세스 기능을 제공하거나 타겟 감시를 위해 센싱을 수행하는 모드
- 패치 모드: 서비스 모드에 있는 노드 (이하 서비스 노드) 중에서 추적 네트워크 경계에 위치하며 가장 많은 타겟의 존재나 높은 움직임 감지하는 노드가 패치 노드가 된다. 패치 노드는 타겟 이동 방향으로 네트워크를 확장시키기 위해 대기 노드에게 확장 모드로 전환하여 패치 노드 주위로 이동하고 새로운 서비스 노드가 될 것을 요청한다. 만약, 네트워크 내에 대기 노드가 없다면 서비스 노드 중 커버리지가 낮은 노드에게 대기 모드로 전환할 것을 요구한다.
- 확장 모드: 대기노드가 패치 모드로부터 확장 요청을 받았을 경우 확장 모드로 전환한다. 확장노드는 추적네트워크 경계 밖의 새로운 위치를 패치노드로부터 수신 받아 이동한 후에 서비스 모드로 전환한다. 서비스 모드로 전환 후 인접 서비스 노드들에게 무선링크를 이용하여 존재와 위치를 알린다.
- 수축 모드: 타겟노드가 이동하여 더 이상 서비스를 제공할 수 없거나 유효한 센싱 데이터를 얻을 수 없는 경우에 UV 노드는 수축 모드가 되어 추적네트워크 경계 안으로 이동한다. 추적네트워크 경계 안으로 이동 후에 대기모드로 전환한 후 주위 UV노드에게 알린다.
- 대기 모드: UV 노드가 추적네트워크 경계 안에 정지하여 대기 중인 상태이다. 대기 모드 상태인 UV 노드가 추적네트워크의 경계에 위치한 UV노드로부터 확장요구 요청을 받으면 확장 모드로 전환하여 새로운 위치로 이동한다.

그림 2는 동작 모드 간 가능한 전환을 보여주며 그림 3은 추적네트워크가 확장 및 수축을 통해 타겟의 이동이나 분포 변화에 어떻게 적응하는지를 보여준다. 타겟의 위치에 변화가 없다면 UV 노드들은 정지상태에서 주어진 서비스 제공 역할을 수행한다. 이후 타겟이 이동을 시작한다면 추적 네트워크 경계에 있는 노드가 이를 감지하여 대기 노드들

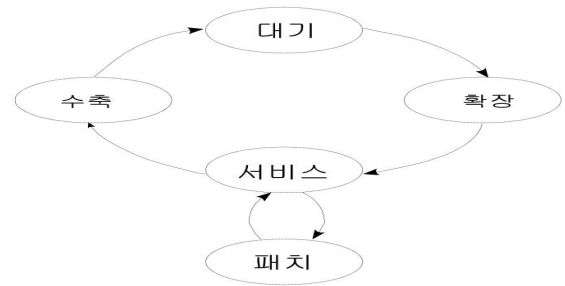


그림 2. UV 노드 동작 모드
Fig. 2. UV node operation mode

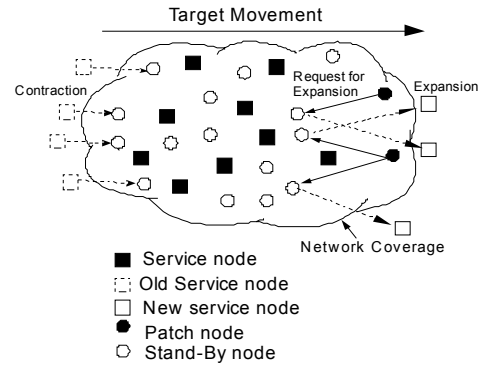


그림 3. UVTN 확장 및 수축
Fig. 3. Expansion and Contraction of UVTN

에게 알린다. 만약 가용한 대기노드가 없다면 커버리지가 낮은 서비스노드가 대기노드로 전환된다. 패치노드는 가장 가까운 거리에 위치한 대기노드에게 메시지를 보내 새로운 서비스노드가 되도록 요청한다. 대기 노드는 확장 모드로 전환한 후 타겟이 이동하는 방향의 추적네트워크 경계 밖으로 이동하여 새로운 서비스 노드가 된다.

대기노드가 이동하여 새로운 서비스노드가 될 때 고려해야 할 것은 서비스노드로서 동작할 위치이다. 노드 배치는 네트워크의 목적에 따라 다른 최적화 방안이 있을 수 있다. 본 논문에서 고려하는 추적 네트워크에서는 커버리지 최대화가 주요 목적이므로 커버리지 최대화를 획득할 수 있는 Hexagonal Lattice 형태의 UV 배치를 수행한다^[12]. 논의의 편의를 위해 그림 4에서 보이는 육각형 형태의 각 UV 노드의 커버리지 영역을 포함하는 최소의 원을 Cell 이라고 하자. Cell의 반지름은 UV의 센싱 Radius가 되며 s 로 나타낸다. 그림 4에서 보이는 바와 같이 커버리지 홀 생성을 방지하기 위해서는 각 UV노드의 거리 d 는 $d \leq \sqrt{3}s$ 가 되어야 한다. 또한, d 는 두 UV 노드간의 통신을 위한 안정적 전송 거리보다 작아야 한다.

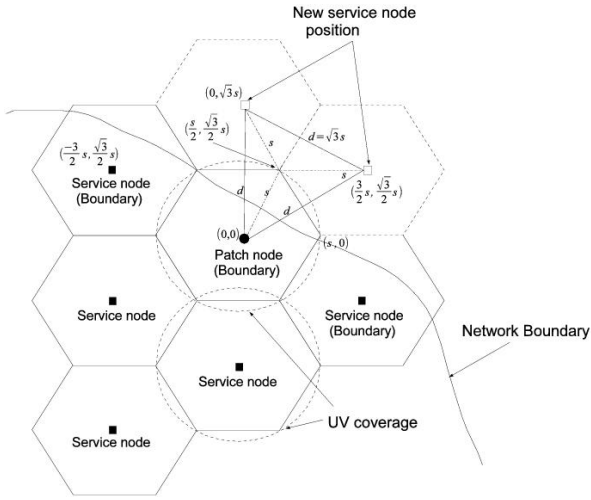


그림 4. UVTN 경계에서의 새로운 서비스 노드 배치 및 셀 생성
 Fig. 4. New service node placement and cell creation at the boundary of UVTN

UVTN에서는 높은 이동속도를 갖는 타겟노드가 추적네트워크 커버리지 밖으로 벗어나는 것을 방지하기 위하여 타겟노드를 둘러싼 하나의 여분 레이어를 두는 방안을 사용한다. 즉, 타겟을 커버하는 Cell이 네트워크 경계 Cell이 되지 않도록 추가 Cell을 생성하는 것이다. 즉, 타겟노드가 경계 Cell안으로 이동하여 들어오는 경우에 해당 서비스 노드는 대기노드로 하여금 추가적인 셀을 만들도록 요청한다.

UVTN의 초기 배치 시에는 대부분의 노드가 대기노드이며 이러한 대기노드를 이용하여 새로운 Cell들이 형성되어 네트워크가 확장하게 된다. 하지만 어느 시점이 지나면 더 이상 가용한 대기노드가 없게되어 새로운 Cell들을 만들 수 없게 된다. 즉, 기존의 서비스 노드 중 일부가 Cell을 해체하고 대기모드로 전환하여야 지속적인 네트워크 확장 및 이동이 가능하게 된다. Cell 해체는 새로운 Cell형성의 필요성을 감지한 패치노드의 요청에 의해서 시작되며 서비스 노드들이 형성한 Spanning 트리인 분할 방지 트리를 이용한다. 즉, 가용한 대기노드가 없는 경우 분할방지 트리에서의 Leaf에 위치하는 서비스 노드 중 가장 오랜 시간 동안 커버리지 영역 내에 타겟이 없었던 서비스 노드의 Cell 해체를 요청한다. 분할방지 트리에서의 Leaf 노드 Cell만 해체가 가능하도록 허용함으로써 네트워크 파티션을 방지하게 된다.

초기 네트워크 형성 시에는 가장 작은 ID를 갖

는 노드가 분할방지 트리의 루트가 된다. 루트노드는 스패닝 트리를 형성하기 위하여 주기적으로 트리형성 제어메시지를 주위 노드들에게 브로드캐스트한다. 루트로부터 제어메시지를 수신한 노드들이 루트노드의 1레벨 이웃이 되어 응답한다. 루트노드의 이웃 노드들은 다시 제어메시지를 브로드캐스트하여 자신의 이웃노드들을 탐색한다. 이미 다른 노드에게서 트리형성 제어 메시지를 수신하고 응답한 노드들은 새로 수신한 제어메시지를 무시한다. 각각 노드는 자신에게 트리형성 제어메시지를 송신한 노드와 자신에게 응답메시지를 송신한 노드를 각각 부모노드와 자식 노드들로 기억한다. 일정 시간동안 자신이 브로드캐스트한 트리형성 메시지에 대한 응답을 받지 못한 노드는 Leaf 노드가 된다.

형성된 트리를 이용하여 루트노드는 다른 노드들의 데이터를 수집한다. 즉, 다른 노드들의 지리적 위치, 현재 서비스하고 있는 대상의 수, 주위의 가용 노드 리스트 등의 정보를 수집한다. 또한, 루트노드는 일정 시간 간격으로 커버리지 안에 가장 많은 서비스 대상을 갖고 있는 노드를 선택하여 새로운 루트노드를 선택한다. 이것은 전체 추적네트워크의 중심 지역에 보다 많은 타겟이 있다는 경험적 사실을 이용한 것이다. 즉, 루트노드가 추적네트워크의 중심 지역에 위치하게 함으로써 네트워크 경계에 있는 노드들이 Leaf 노드가 될 확률을 높이기 위해서이다. 또한, 배치 지역 중심에 루트노드가 위치함으로써 루트노드와 Leaf 노드간의 홉거리를 단축시켜 네트워크 오버헤드 및 성능 저하를 방지한다.

2.3. 개선 알고리즘

본 소절에서는 제안된 UVTN의 성능 향상을 위한 개선 방안인 신속수축과 장거리 셀 우선 해체 알고리즘을 논의한다.

2.3.1. 신속 수축 (Fast Contraction)

신속 수축 알고리즘은 추적네트워크가 타겟노드 이동에 보다 신속히 반응하기 위한 것이다. 추적네트워크가 이미 최대로 확장되어 있는 상태에서 타겟노드들이 이동하는 경우 현재 서비스를 하지 않고 있는 Leaf (즉, 커버리지가 낮은) 노드의 셀을 해체하여 이동시켜 타겟 노드들이 이동하는 방향에 새로운 셀을 형성하게 된다. 하지만, 이 시점에 커버리지가 낮은 UV 노드는 네트워크에서 타겟 노드들이 이동하는 반대 방향에 위치해 있을 가능성이

높다. 결국, 확장노드들이 장거리 이동을 하게 되어 타겟노드들이 빠르게 이동하는 경우 지속적인 커버리지 제공이 어려울 수 있다.

이러한 점을 보완하기위하여 신속 수축 알고리즘에서는 현재 타겟노드 커버리지가 없는 서비스노드들은 새로운 셀 생성 요구가 없어도 셀을 해체하고 분할방지 트리 루트 근처로 미리 이동하여 향후 발생할 수 있는 새로운 셀 생성 요구에 대비한다. 또한 루트 근처에 보다 많은 타겟 노드들이 있으므로 이들 노드에게 보다 높은 수준의 커버리지 서비스를 제공하게 되는 부수적인 이점을 갖게 된다.

신속수축은 본 논문에서 고려하고 있는 응용분야에서 추적네트워크의 성능을 보다 향상시킬 수 있을 것이다. 즉, 탐색 및 구조팀의 구성원이나 수색 부대의 병사들이 타겟이라고 하였을 때, 타겟에 대한 커버리지를 갖고 있지 않은 UV 노드가 선행적으로 셀을 해체하고 가용상태가 되어 네트워크 중심부로 이동함으로써 타겟의 이동에 보다 신속히 대응할 수 있게 된다. 이는 결과적으로 전체 추적네트워크의 이동 속도를 높이고 보다 높은 타겟 커버리지 유지에 도움이 된다.

2.3.2. 장거리 셀 우선 해체 (Longest First)

UVTN에서는 새로운 셀 형성이 필요하여 기존의 셀을 해체하는 경우에 Leaf 노드중 하나가 해체된다. Leaf 노드 중 커버리지가 없거나 가장 작은 커버리지를 갖는 서비스 노드의 셀을 해체하게 된다. 장거리 노드 우선 해체에서는 해체할 Leaf 노드 선택 시 루트노드와의 거리 (홉수)도 고려한다. 즉, 커버리지가 낮은 Leaf 노드들 중 루트노드에서의 거리가 긴 노드가 우선적으로 해체된다. 이 방안 역시 각 Leaf노드와 루트노드와의 거리가 너무 크지 않도록 유지함으로써 타겟 노드 이동 시 변화에 신속히 대응하고자 하는 것이 목적이다. 또한, 이는 전체 추적 네트워크에서의 노드 간 최대 홉수가 필요 이상으로 증가하는 것을 방지하여 네트워크 성능 향상에도 기여하게 된다.

2.4. UV 노드간 정보공유를 위한 통신량

본 소절에서는 추적네트워크에서 노드간 정보공유를 위해 소요되는 통신량을 간단한 모델을 이용하여 분석한다. UV 노드 수를 N 이라고 하자. 각 UV 노드는 20Bytes의 Hello 메시지를 주기적으로 브로드캐스트하여 자신의 존재를 알린다. Hello 메시지 전송 주기를 1초라고 할 때, 총 네트워크의

트래픽은 $20 \times 8 \times N$ bits/seconds, 즉, $160N$ bps가 된다. 즉, UV노드의 수가 30이라고 하면 4.8Kbps의 통신량이 발생한다.

또한 각 노드는 트리형태의 백본 망을 통해 각 노드의 위치, 가용노드 리스트, 서비스대상 노드 수를 공유한다. 이러한 정보 공유를 위한 통신량의 Upper Bound를 산출하기 위하여 최악의 경우를 가정하여 메시지 크기를 가정한다. 즉, 가용노드 수와 서비스노드수를 각각 UV 노드 전체수와 같은 N 이라고 하고 위도와 경도를 각각 8 바이트로 표시한다. 또한, 각 노드 ID로 2 바이트가 사용된다고 할 때, 각각의 공유 메시지 크기는 서비스 노드 리스트 및 위치 ($N \times 18$ bytes) + 가용 노드 리스트 및 위치 ($N \times 18$ bytes) + 노드별 서비스대상 노드수 ($N \times 2 \times 2$ bytes)와 응용계층 및 UDP/IP 헤더 크기 (30Bytes)의 합이 된다. 백본망을 이용한 공유 주기를 t 라고 할 때, 각 노드는 t seconds에 2번 (aggregation 및 dissemination)의 메시지 전송을 한다. 즉, 노드 당 $(40N+30) \times 2 \times 8 / t$ bps의 통신량이 발생하게 된다. 예를 들어, $t=2$ seconds 이며 UV 노드수가 30일 때 각 UV 노드는 최대 19.68 Kbps의 통신량을 갖는다. Aggregation 시에는 백본 트리상의 각노드가 자식노드들의 메시지를 취합하여 자신의 부모노드에게 전달하여 결국 루트노드에게 전달한다. Dissemination 시에는 루트노드가 전체 메시지의 취합본을 트리상의 자식들에게 전파한다. 즉, Aggregation과 Dissemination 시에 전송되는 메시지 크기는 본 소절에서 가정한 메시지보다 작은 크기를 갖는다.

III. 성능 평가

본 장에서는 무인차량 기반 추적 네트워크의 성능 평가를 위한 환경을 기술하고 시뮬레이션을 통한 성능 분석 결과를 제시한다.

3.1. 성능평가 환경 및 평가 항목

MANET (Mobile Ad hoc Network) 시험 환경을 위한 여러 이동성 모델이 개발되어 왔다. MANET 성능 평가를 위한 초기 이동성 모델로는 Random Waypoint mobility model (RWP) 이 주로 사용되었다^[13]. RWP 모델에서는 각 노드가 주어진 지역 내에서 임의로 선택한 목적지 방향으로 임의의 속도로 움직이는 과정을 반복적으로 수행한다. RWP는 구현 및 동작이 단순하고 이론적 분석이

상대적으로 용이하여 MANET 성능평가에 많이 활용되었으나 실제 사람 및 차량 등의 이동성을 나타내기에는 부족하다. 실제 사람의 이동성을 움직임보다 유사하게 모의하기위한 이동성 모델도 연구되었다. 예를 들어, Gauss-Markov process-based model^[14] 은 과거 이동 속도와 위치정보를 이용하여 실제 사람의 이동성을 모의하고자 하였다. 하지만, 이 모델은 셀룰러 통신망에서의 사용자 이동성 모의에 적합하도록 개발 되었으며, 본 논문에서 고려하는 구조팀이나 병사들과 같이 특정 목적을 위해 협력적으로 이동하는 그룹이동성을 나타내지 못한다.

그룹이동성을 모의하기 위한 모델들도 여러 연구 단체에 의해 개발되었다^[15,16]. 특히, 그룹 전체의 임의 이동성과 그룹 내에서 노드들의 임의 이동성을 표현할 수 있는 Reference Point Group Mobility (RPGM) model^[15] 이 탐색 및 구조와 전술 작전에서의 구성원 이동성을 보다 현실적으로 보일 수 있기에 본 논문에서는 RPGM 모델을 기반으로 하는 서비스 대상의 이동성 모델을 구현하였다.

RPGM 이동성 모델에서 그룹의 움직임은 그룹이동벡터 \vec{G} 에 따라 이동하는 그룹의 논리적 중심에 의해 결정된다. 즉, 그룹의 논리적 중심이 그룹 차원에서의 이동 방향과 속도 등을 결정한다. 그룹 내의 각 노드들은 개별적인 참조포인트 $\vec{R}(t)$ 를 갖으며 이러한 참조 포인트들의 시간 흐름에 따른 새로운 위치는 그룹이동벡터를 이용하여 결정된다. 또한, 그룹 내에서 각 노드의 임의의 움직임을 나타내기 위하여 각 노드들은 참조포인트의 이동에 랜덤 이동벡터 \vec{r} 을 합하여 결정된 위치로 이동하게 된다. 즉, $\vec{l}(t) = \vec{R}(t) + \vec{r}$ 이며, 또한 $\vec{R}(t) = \vec{R}(t-1) + \Delta\vec{G}$ 이므로, $\vec{l}(t) = \vec{R}(t-1) + \Delta\vec{G} + \vec{r}$ 로 나타낼 수 있다.

본 논문에서 개발한 시뮬레이터에서는 여러 현실적인 구조/탐색 및 전술 시나리오를 반영하기위하여 그룹이동벡터를 시간에 따라 변경하여 설정할 수 있게 하였다. 또한, 구조팀 또는 부대가 탐색을 위해 확산하는 경우나 구조활동과 교전 및 정밀 탐색을 위해 수렴할 수 있도록 그룹이 형성하는 모양과 크기를 시간에 따라 변형할 수 있는 모델을 추가하였다. 구조팀이나 수색 부대는 무작위로 이동하기 보다는 특정 목적과 계획을 갖고 이동한다. 그림 5

는 시뮬레이션 상에서 이러한 타겟 노드들의 그룹 이동 시나리오를 보여준다. 또한, 타겟이동과 추적 네트워크 알고리즘 검증을 위한 Event Driven 시뮬레이터를 개발하였다.

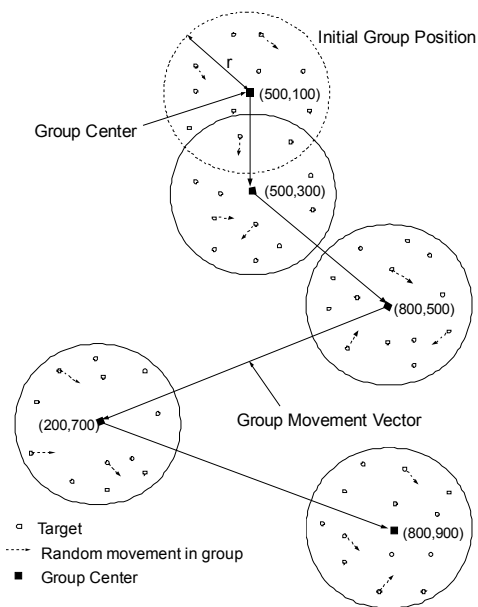


그림 5. 타겟 그룹 이동 시나리오
Fig. 5. Scenario of targets' group movement

시뮬레이션에서는 (40,160)개 범위의 타겟노드들이 배치된다. 성능평가 수행 시 타겟노드들이 형성하는 그룹의 지리적 크기는 타겟노드들 수에 비례한다고 가정하였다. 즉, 본 논문에서 수행한 시뮬레이션에서는 $30^2m^2 (= 30m \times 30m)$ 지역 크기 별로 평균 하나의 타겟노드들이 위치하도록 하였다. 무인차량 (UV)은 (15,30)개가 배치된다. 각 무인차량의 최대 이동속도는 36km/h로 설정되었다. 무인차량 간 안정적 통신 거리는 200m로 가정되었으며 무인차량은 반경 100m 이내의 타겟을 감지 할 수 있다고 설정되었다.

성능평가항목으로 평균 커버리지비율 (Average Coverage Ratio)와 무인차량의 총 이동거리를 수집하였다.

커버리지 비율은

$$\frac{\text{네트워크 커버리지내의 타겟노드수}}{\text{전체 타겟노드수}} \text{ 으로 정의되며}$$

추적 네트워크가 타겟에게 지속적인 서비스를 제공할 수 있는 지 여부를 나타낸다. 무인차량은 이동 시 높은 전력을 사용하기 때문에 무인차량의 총 이동거리는 제안한 알고리즘의 전력 사용 효율성을 나타내는 중요한 지표가 된다^[17]. 특히 배터리에 의

존하는 무인차량의 경우 총 이동거리를 최소화 하면서도 높은 커버리지를 제공하는 것이 중요하다.

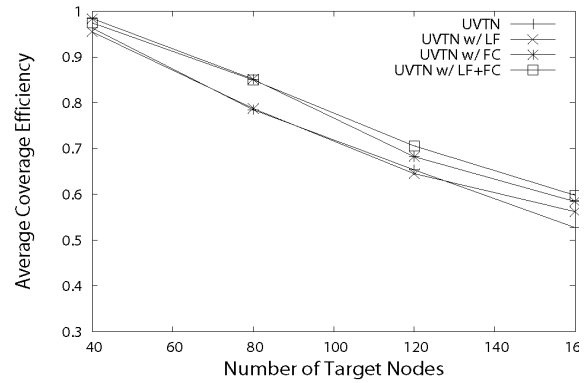
3.2. 시뮬레이션 결과 및 분석

본 논문에서는 추적네트워크의 실 배치 시 고려해야할 중요한 요소 중에서 타겟노드 개수와 타겟노드의 이동속도가 평균 커버리지비율과 UV노드의 총 이동거리에 미치는 영향을 분석한다. 또한, 각 성능 파라미터 변화에 대한 제안 알고리즘의 성능 변화를 보다 구체적으로 파악하기 위해 본 논문에서 제안한 UVTN 알고리즘과 장거리 셀 우선 해체(LF: Longest First), 신속 수축(FC: Fast Contraction) 등의 개선 방안을 적용한 알고리즘의 성능을 비교한다.

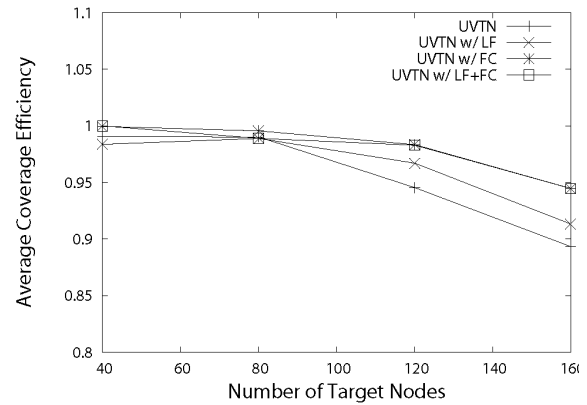
그림 6과 7은 타겟 노드의 수가 각각 평균 커버리지 비율과 총 이동거리에 미치는 영향을 보여준다. 타겟 노드 수는 40-160로 변화 되었으며 타겟노드의 평균 이동 속도는 1m/s이다.

그림 6(a)는 UV 노드수가 15인 경우이다. 그림 6(a)에 보이는 바와 같이, 타겟 노드 수가 40인 경우, 모든 알고리즘이 0.97이상의 높은 커버리지 비율을 보인다. 타겟 노드의 수가 증가함에 따라, 커버리지비율도 감소하는 것을 알 수 있다. 이는 타겟노드의 수가 증가하면 타겟노드가 형성하는 그룹의 지리적 분포가 커짐으로서 15개의 UV 노드가 전체 그룹을 커버하지 못한다는 것을 나타낸다. 하지만, 그림 6(a)에서 보이는 바와 같이 UVTN with FC와 UVTN with FC+LF는 다른 알고리즘 보다 높은 커버리지 비율을 나타냄을 알 수 있다. 이는 타겟의 이동으로 추적네트워크의 셀이 더 이상 유효한 커버리지를 갖지 않을 때 신속히 셀을 해체하고 추후 확장을 위해 미리 이동함으로써 네트워크 확장의 속도를 높이고 결과적으로 보다 많은 UV 노드가 타겟노드를 커버할 수 있기 때문이다. 그림 6 (b)는 UV 노드수가 30일 경우이다. 그림 6 (b)에서 보이는 바와 같이 충분한 수의 UV 노드가 있는 경우에는 타겟노드 수가 증가하여도 UVTN이 높은 커버리지 비율을 보임을 알 수 있다. 특히, UVTN with FC와 UVTN with FC+LF는 타겟 노드 수가 120 일 때까지 0.98이상의 높은 커버리지 비율을 갖으며, 타겟 노드수가 160일 경우에도 0.95이상의 커버리지 비율을 획득할 수 있음을 알 수 있다.

그림 7은 타겟 노드의 수가 무인차량의 이동거리에 미치는 영향을 비교한다. 그림 7에서 보이는 바와 같이 UVTN과 UVTN w/ LF, 그리고 UVTN



(a)

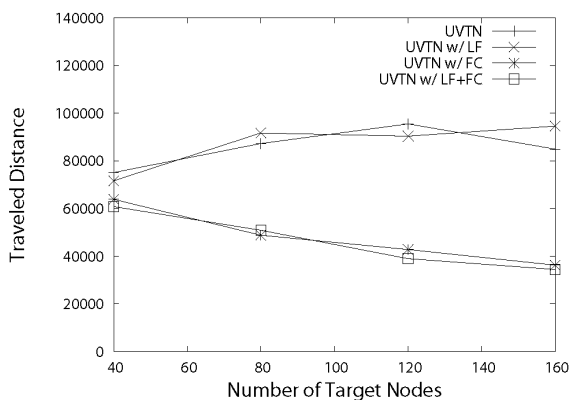


(b)

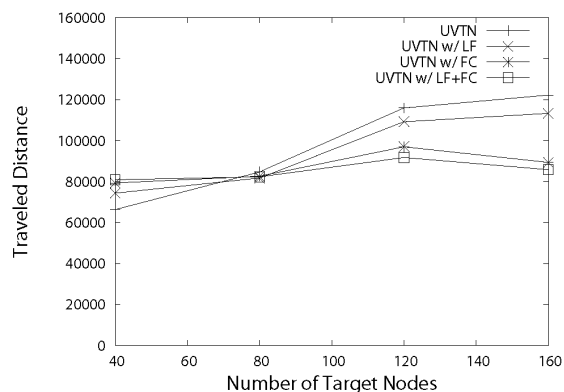
그림 6. 타겟 노드의 수가 평균 커버리지 비율에 미치는 영향. (a) UV노드 수: 15, (b) UV노드 수: 30
Fig. 6. Effects of the number of targets on avg. coverage ratio. (a) # of UV node: 15, (b) # of UV node: 30

w/ FC와 UVTN w/ LF+FC는 서로 이동거리와 변화 추이에서 유사한 결과를 보인다. 즉, 이동거리에 영향을 미치는 주요 알고리즘은 FC (신속 수축)인 것을 알 수 있다. 신속 수축이 UVTN의 확장속도 증가 뿐만 아니라 실제 이동거리도 감소시키는 것은 신속 수축으로 인하여 UV 노드들이 보다 최적에 가까운 효율적인 이동을 하기 때문이다. 즉, UVTN은 주위상황변화에 적응하기 위하여 지속적으로 확장 및 수축을 수행하게 되고 이에따라 UV 노드들이 네트워크의 한쪽 끝에서 다른 쪽 끝으로 이동을 하게 되는데 신속 수축으로 인하여 네트워크의 직경이 필요이상으로 커지는 것을 방지하여 UV 노드들의 이동거리가 줄어들게 된다.

그림 8과 9는 타겟 노드의 이동속도가 각각 UVTN의 평균 커버리지 비율과 총 이동거리에 미치는 영향을 보여준다. 타겟 노드 수는 80으로 설정되었으며 타겟 노드의 평균 이동 속도는 0.5m/s-2m/s로 변화하였다.



(a)



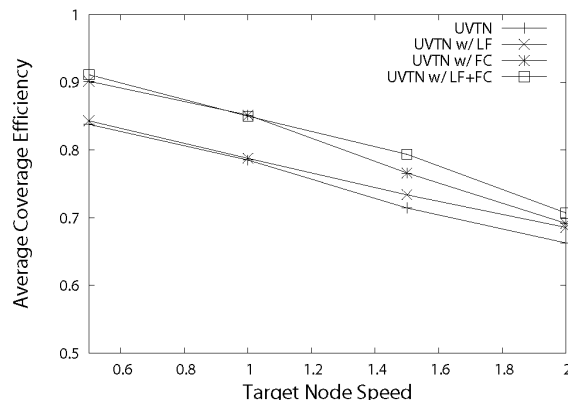
(b)

그림 7. 타겟 노드의 수가 UV 노드 이동거리에 미치는 영향. (a) UV노드 수: 15, (b) UV노드 수: 30

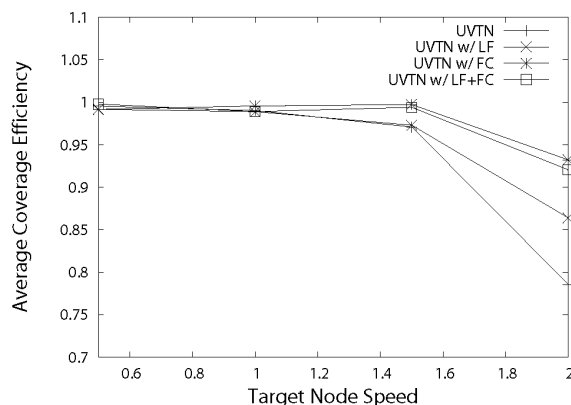
Fig. 7. Effects of the number of targets on traveled distance. (a) # of UV node: 15, (b) # of UV node: 30

그림 8(a)에 보이는 바와 같이, 타겟노드의 이동 속도가 증가함에 따라 UVTN의 커버리지 비율은 감소한다. UVTN with FC+LF는 다른 알고리즘에 비하여 타겟노드의 이동속도 변화 전반에 걸쳐 높은 커버리지 비율을 보인다. 특히, 그림 8(b)에서 보이는 바와 같이 UV 노드 개수가 30인 경우에 신속수축을 적용한 알고리즘은 그렇지 않은 알고리즘에 비해 높은 커버리지 비율을 보였다. 예를 들어, 타겟의 속도가 2m/s인 경우, 신속수축 알고리즘을 적용한 경우 0.93이상의 커버리지 비율을 획득하였지만 신속수축을 적용하지 않은 알고리즘에서는 0.79~0.86의 커버리지 비율을 얻는 데 그쳤다. 즉, 타겟이 높은 이동속도를 갖는 경우에 신속수축을 적용함으로써 추적네트워크가 보다 빠르게 타겟의 이동에 적응하여 지속적인 커버리지를 제공할 수 있음을 보여준다.

그림 9는 타겟 노드 속도가 무인차량의 이동거리에 미치는 영향을 비교한다. UV 노드 수가 30인



(a)



(b)

그림 8. 타겟노드 이동 속도가 평균 커버리지 비율에 미치는 영향. (a) UV노드 수: 15, (b) UV노드 수: 30

Fig. 8. Effects of targets' moving speed on avg. coverage ratio. (a) # of UV node: 15, (b) # of UV node: 30

경우에 총 이동거리는 알고리즘 별로 큰 차이가 없지만, UV 노드 수가 15인 경우 신속수축을 적용하지 않은 알고리즘 들은 상대적으로 매우 높은 이동 거리를 보인다. 이는 신속수축을 하지 않은 경우 UV 노드들이 불필요하게 움직이는 등 비효율적으로 이동하였기 때문에 발생한다. 또한, 타겟 노드의 속도가 증가할수록 UV 노드들의 이동거리가 짧아지는 것을 관찰할 수 있다. 이는 타겟 노드의 총 이동거리가 같은 시나리오상황에서 타겟노드가 느리게 이동하는 경우 전체 시뮬레이션 시간이 증가하고 이 기간 동안 추적네트워크의 UV노드들이 지속적으로 최적 커버리지를 위해 확장과 수축 작용을 수행하기 때문이다.

IV. 결 론

본 논문에서는 다수의 자율무인차량들이 서로 협력하여 네트워크를 구성하고 타겟의 그룹이동에 따라

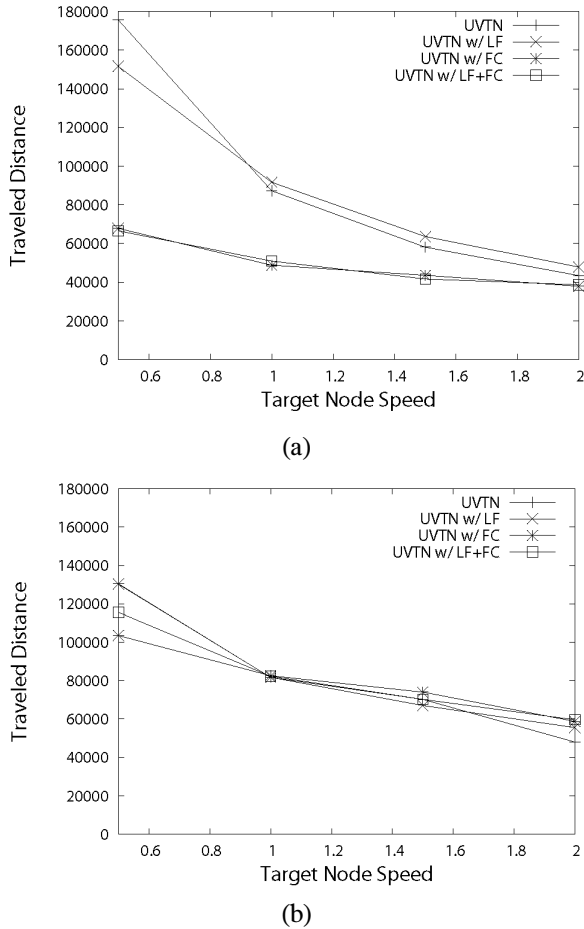


그림 9. 타겟 노드 속도가 무인차량 이동거리에 미치는 영향.
 (a) UV 노드 수: 15, (b) UV 노드 수: 30
 Fig. 9. Effects of targets' moving speed on traveled distance. (a) # of UV node: 15, (b) # of UV node: 30

추적 이동하는 무인차량 기반 추적 네트워크 (UVTN: Unmanned Vehicle based Tracking Network) 구조와 알고리즘을 제안하였다. UVTN은 타겟의 이동에 따른 지속적인 커버리지 제공을 위해서 확장 및 수축 작용 기반의 UV 노드 재 배치 및 이동을 수행한다. 또한, 커버리지 비율과 이동거리 측면에서의 성능향상을 위하여 Fast Contraction과 Longest First의 개선 알고리즘이 제안되었다. 시뮬레이션을 통해 제안된 추적네트워크 알고리즘이 다양한 환경에서 그룹이동성을 갖는 타겟노드들에게 지속적인 커버리지를 제공할 수 있음을 보였다. 또한 Fast Contraction 적용 시 보다 높은 커버리지비율과 효율적인 이동을 할 수 있음을 확인하였다.

References

- [1] A. Khan, C. Qiao, and S. Tripathi, "A failure-tolerant mobile traversal scheme based on triangulation coverage," in *Proceedings of International Conference on Heterogeneous Networking for Quality, Reliability, Security and Robustness (Qshine) and ICC 2007*, Vancouver, Canada, August 2007.
- [2] R. Ghabcheloo, A. Pascoal, C. Silvestre, and I. Kaminer, "Coordinated Path Following Control of Multiple Wheeled Robots Using Linearization Techniques," *Int'l J. Systems Science*, vol. 37, no.6, (pp. 399-414,) May 2005.
- [3] X. Cui, T. Hardin, R.K Ragade, and A.A. Elmaghraby, "A Swarm-Based Fuzzy Logic Control Mobile Sensor Network for Hazardous Contaminants Localization," in *Proc. IEEE Int'l Conf. Mobile Ad-hoc and Sensor Systems (MASS '04)*, 2004.
- [4] H. Tanner, A. Jadbabaie, and G. Pappas, "Flocking in Fixed and Switching Networks," *IEEE Trans. Automatic Control*, vol.52, no.5, pp. 863-868, May 2007.
- [5] G. Wang, G. Cao, and T. L. Porta, "Movement-assisted sensor deployment," in *IEEE INFOCOM Conference Proceedings*, March 2004.
- [6] J. Reich, V. Misra, and D. Rubenstein, "Roomba MADNet: a Mobile Ad-hoc Delay Tolerant Network Testbed," *ACM MC2R*, Jan 2008.
- [7] P. De, A. Raniwala, S. Sharma, and T.cker Chiueh, "Mint: A miniaturized network testbed for mobile wireless research," in *Proceedings of IEEE Infocom*, 2005.
- [8] Y. Yu and J. L.Rittle, "Utility-Driven Spatiotemporal Sampling in Mobile Sensor Networks," in *Proc. IEEE INFOCOM '08*, April 2008.
- [9] S. Yoon, O. Soysal, M. Demirbas, and C. Qiao, "Coordinated Locomotion and Monitoring Using Autonomous Mobile Sensor Nodes," *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, Vol. 22, No.10, October 2011.

- [10] W. Li, J. Bao, and W. Shen, "Collaborative Wireless Sensor Network: A Survey," *SMC IEEE International Conference*, pp.2614-2619, October 2011.
- [11] L. Zhang, L. Liu, C. Gotsman, and S. J. Gortler, "An As-Rigid-As-Possible Approach to Sensor Network Localization," *ACM Transaction on Sensor Networks*, Vol.6, No.4, Article 35, July 2010.
- [12] M. Mudasser Iqbal, I. Gondal, and L. Dooley, "Dynamic Symmetrical Topology Models for Pervasive Sensor Networks," in *Proceedings of the International Multi-topic Conference*, Lahore, Pakistan, pp. 466 - 472, December 2004.
- [13] D. B. Johnson and D. A. Maltz, "Dynamic source routing an ad hoc wireless networks," *Mobile Computing*, Kluwer Academic Publishers, 353, 1996.
- [14] B. Liang and Z. J. Haas, "Predictive distance-based mobility management for multidimensional PCS networks," *IEEE/ACM Transaction on Networking*, 11(5), 2003.
- [15] X. Hong, M. Gerla, G. Pei, and C. Chiang, "A group mobility model for ad hoc wireless networks," in *Proceedings of the ACM International Workshop on Modeling and Simulation of Wireless and Mobile Systems (MSWiM)*, August 1999.
- [16] M. Sanchez and P. Manzoni, "Anejos: A java based simulation for ad-hoc networks," *Future Generation Computer Systems*, 2001.
- [17] M. Rahimi, H. Varaiya, G. Sukhatme, J. Heidemann, and D. Estrin, "Studying the Feasibility of Energy Harvesting in a Mobile Sensor Network," in *Proc. IEEE Int'l Conf. Robotics and Automation*, pp. 19-24, 2003.

웬 티 탐 (Nguyen Thi Tham)



2011년 2월 Military Technical Academy, 전기전자공학 학사
 2012년 3월~현재 울산대학교 전기컴퓨터공학과 석사과정
 <관심분야> 모바일네트워크, 수중 통신망, 전술통신망

윤 석 훈 (Seokhoon Yoon)



2000년 2월 인하대학교 자동화공학과 학사
 2005년 6월 뉴욕주립대 (SUNY at Buffalo) 컴퓨터공학 석사
 2009년 9월 뉴욕주립대 (SUNY at Buffalo) 컴퓨터

공학 박사

2009~2011 LIG 넥스원 책임연구원

2011~현재 울산대학교 전기공학부 조교수

<관심분야> 애드혹네트워크, 협력형로봇통신, 수중 통신망, 전술통신망