

항만/야적장 적치 환경에 적합한 컨테이너 네트워크 라우팅 프로토콜: SAPDS(Simple Alternative Path Destined for Sink node)

정회원 광 광 훈*, 이재 기**

Routing Protocol of Shipping Container Network suitable for Port/Yard Stacking Environment: SAPDS(Simple Alternative Path Destined for Sink node)

Gwang-Hoon Kwark*, Jae-Kee Lee** *Regular Members*

요 약

글로벌 물류에 있어 핵심 중의 하나인 화물 컨테이너의 위치와 봉인 여부 등의 상태 정보를 항만, 야적장, 선박 등의 적치 환경에서 실시간으로 전달하기 위해서는 무선 Ad-Hoc 네트워크 통신 기술이 필요하다. 본 논문에서는 금속 재질로 된 음영 환경 등의 제약사항을 가지고 컨테이너의 잦은 이동이 이루어지는 항만이나 야적장에 적합한 컨테이너 네트워크의 라우팅 프로토콜을 제안한다. 각각의 정보가 싱크 노드로 신뢰성 있게 전달되면서도 잦은 가입/이탈에 대응할 수 있는 간단한 메시 네트워크 알고리즘을 적용하였다. 경유노드가 문제가 생기자마자 대체 경로를 제공하고 주변 노드에게 알림으로써 즉각적인 최적경로를 유지한다. 대체 경로 제공 기능을 가진 대표적 무선 Ad-Hoc 라우팅 프로토콜인 AODV와 시뮬레이션을 통한 성능을 비교하였다. 비교 결과, 제안한 라우팅 프로토콜이 가입/이탈이 빈번하고 링크 품질이 자주 변하는 환경에서 더 나은 성능을 가졌음을 확인하였다.

Key Words : Wireless Sensor Network, Wireless Mesh Network, Routing Protocol, Container Network, Container Monitoring, Shipping Container Stack Environment

ABSTRACT

For the real time monitoring and tracking of shipping container which is one of the core objects for global logistics, Wireless Ad-Hoc Network technology might be needed in stacking environments such as ports, yards and ships. In this paper, we propose a container network routing protocol suitable for port or yard stacking environments which include some constraints such as shadow area problem from metal material, frequent movement of container, etc. With this protocol in which a mesh network algorithm is applied, every container data packet can be delivered to the sink node reliably even with frequent join/leave of container nodes. As soon as a node on path gets malfunction, alternative backup path is supported with notice to neighbor node, which makes constant total optimal path. We also verified that the performance of proposed protocol is better than AODV, one of previous major MANet(Mobile Ad-Hoc Network) protocol with a function for alternative path, which says the proposed protocol is better for frequent join/leave and variable link quality.

※ 본 논문은 국토해양부의 해운물류 Active IP-RFID 기술개발사업의 연구결과과입니다.

* 동아대 미디어디바이스연구소 (paxpia@dau.ac.kr), ** 동아대학교 컴퓨터공학과 (jkleee@dau.ac.kr)

논문번호: KICS2011-02-087, 접수일자: 2011년 2월 7일, 최종논문접수일자: 2011년 6월 13일

I. 서론

1970년대 이후로 유선 등의 인프라 설치가 곤란한 여러 환경에서 정보를 생성하여 필요로 하는 쪽에 전달하기 위한 무선 Ad-Hoc 네트워크 기술에 관한 연구가 활발히 진행되어 왔다^[1].

한편 해운/항만 등의 글로벌 물류 환경에서도 다양한 IT 기술이 도입되고 있는 가운데, 최근 들어 물류 컨테이너에 RFID/USN(Radio Frequency Identification/Ubiquitous Sensor Network) 기술을 적용하여 추적성, 가시성, 보안성, 즉시성 등을 얻기 위한 연구 및 적용도 활발하다^[2].

항만/아적장/선박 등에서는 금속(쇠) 재질인 컨테이너가 적치되어 있으므로 무선링크 음영지역이 발생하여, LOS(Line of Sight)가 보장되는 개방 환경에서는 문제가 없는 태그라도 인식이 어렵다^[3]. 이 문제를 해결하기 위해 그림 1처럼 각각의 컨테이너에 설치되는 장치(노드)간의 통신을 이용하여 네트워크를 구성하고 각 컨테이너 정보를 전달하는 컨테이너 네트워크(CN, Container Network)가 필요하다. 이를 위해 무선 Ad-Hoc 네트워크 기술이 적용되어야 한다. 그림 1에서 표현한 것처럼 싱크 노드에 해당하는 것을 C/P(Coordination Point)라고 하고, 각 네트워크 노드에 해당하는 것을 N/D (Network Device)라고 한다.

본 논문에서는 육로에서 이동 중인 환경이나 선박의 적치 환경은 고려하지 않고 항만/아적장 등 컨테이너의 이동이 잦은 적치 환경에 적합한 통신 네트워크 라우팅 프로토콜에 대하여 연구한 결과를 제시한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. I 장 서론에 이어 II 장에서는 물류 컨테이너의 항만/아적장 적치 환경에 대한 특징을 네트워크 구성 관점에서 살펴본다. III 장에서는 MANet(Mobile Ad-Hoc Network)과 WSN(Wireless Sensor Network), WMN(Wireless Mesh Network) 등에서 다루고 있고 컨테이너 네트워크와

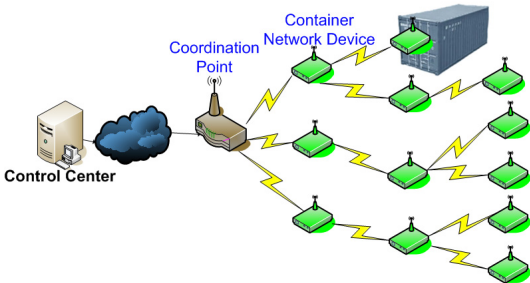


그림 1. 컨테이너 무선 Ad-Hoc 네트워크의 개념도

관계가 있는 Ad-Hoc 네트워크 라우팅 프로토콜들을 살펴보고, 이들을 항만/아적장/선박 분야에 적용한 연구를 검토한 후에 문제점을 도출한다. IV 장에서는 도출된 문제점을 고려하여 항만/아적장 분야에 적합한 네트워크 라우팅 프로토콜을 제안한다. V 장에서는 시뮬레이터를 통해 대표적 무선 Ad-Hoc 라우팅 프로토콜인 AODV 프로토콜과의 비교 결과를 보이고 분석한다. VI 장에서는 결론을 맺고 향후 과제를 언급한다.

II. 컨테이너 네트워크 환경

컨테이너의 물류 이동 전체 과정에서 네트워크를 구성해야 할 환경은 항만/아적장과 선박이다. 장치장의 특성상 다수의 유선 인프라의 설치가 어렵거나 비효율적이기 때문에 무선 Ad-Hoc 네트워크의 적용은 필수적이다. 그런데 항만/아적장과 선박 두 부류의 환경은 각각 공통적인 요구사항과 이질적인 특징을 가진다.

공통적인 특징은 다음과 같다.

- 1) 화물을 적입할 때부터 이송이 완료되어 적출할 때까지 여러 주체에게 전달되는 등 관리가 어려우므로 장기간 견딜 수 있는 저전력 기술이 반영되어야 한다.
- 2) 일부의 센서들의 정보는 전달되지 않아도 크게 심각한 문제가 되지 않는 기존의 센서 네트워크와는 달리 각 컨테이너는 참여하고 있는 네트워크 관리자의 관리 범위에 들지 않으면서도 해당 컨테이너 정보는 필요한 곳까지 신뢰성 있고 안전하게 전달되어야 한다.
- 3) 전부 금속(쇠)으로 구성된 컨테이너의 고단 적치 환경이므로 RF(Radio Frequency) 전달 특성이 상대적으로 개방 환경일 확률이 높은 센서들의 네트워크와는 다르다. 금속은 기본적으로 RF를 차단하고 반사시키는 특성을 가진다. 이로 인해 컨테이너를 고단 적치할 경우 상대적으로 많은 음영지역이 존재하게 된다. 그러나 적치블록 사이의 골목 안에서는 오히려 RF 특성이 좋아진다.
- 4) 항만/아적장과 선박의 적치 환경 특성상 컨테이너 노드들의 정보가 모이는 싱크 노드를 많이 설치하기 어려워, 각 싱크 노드 하나하나에 의해 구성되는 네트워크에 참여하는 노드의 수가 다른 일반적인 센서 네트워크의 노드 수 보다 훨씬 많다.

다음은 항만/아적장 환경만이 가지는 특징을 살펴본다. 컨테이너를 육송 중에 임시 보관할 경우와 선박

에 실기 전이나 선박에서 내리고 난 후의 항만 적치장에서 최고 6-7단까지 적치되는 환경이다. 적치되는 규모는 일반적으로 선박 환경에 비해 높고, 열, 행 방향 모두 작다. 그러나 그림 2를 보면 유추할 수 있듯이, 한번 적치되면 다음 기항지에 갈 때까지 넣고 빼는 변화가 전혀 없는 선박 환경과는 달리, 수시로 쌓이거나 빠지게 되어 있다.

이러한 항만/야적장을 고려한 네트워크 구성의 특징은 다음과 같은 것들이 있다.

- 1) 하나의 네트워크에 가입하거나 이탈을 하는 노드가 빈번히 발생한다. 즉 네트워크 구성이 수시로 변한다.
- 2) 가입뿐 아니라 이탈을 위한 메커니즘도 고려되어야 한다. 참여만큼 이탈도 빈번하기 때문이다.
- 3) 가입 노드에 대한 네트워크 구성 참여는 점진적으로 이루어진다. 그러나 네트워크에 먼저 참여한 노드가 후속 노드보다 먼저 이탈을 하는 경우도 발생한다. 이는 적치 블록의 최상단 컨테이너가 빠질 경우에 이 컨테이너가 이웃 적치 블록 노드의 부모 노드일 경우에 발생한다. 그림 3에서 N/D A가 적재 환경에서 빠져나가서 이탈하는 경우이다. 이를 위해서는 N/D에 모션 센서를 달아서 가입되어 있는 컨테이너 N/D가 움직일 경우에 이탈로 간주하여 적용하였다⁴⁾.



그림 2. 항만/야적장 컨테이너 적치 환경 예(출처: 물류신문)

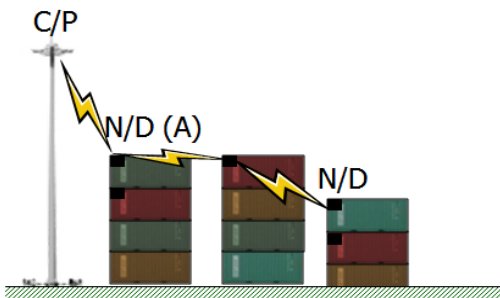


그림 3. 항만/야적장 환경의 적치

- 4) 적치를 하게 되면 먼저 적치를 한 컨테이너가 나중에 적치를 한 컨테이너의 아래에 위치하게 된다. 이를 네트워크의 구성 관점에서 볼 경우, 뒤에 가입한 노드가 먼저 가입한 노드끼리 네트워크 구성을 위해 연결한 무선 링크를 방해하는 현상이 발생한다. 그림 4를 보면 A, B, C 순으로 적치가 이루어질 경우 A, B 보다 뒤에 적치되어 늦게 네트워크에 참여하는 C는 A와 B 사이의 링크를 방해한다.

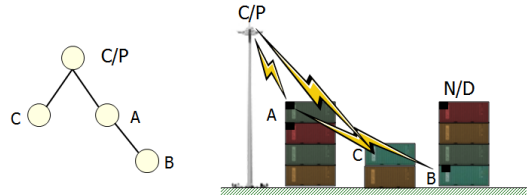


그림 4. 뒤에 적치된 컨테이너의 무선 링크 방해

III. 무선 Ad-Hoc 네트워크 라우팅 고찰

무선 노드들로만 이루어지는 네트워크에 대한 연구는 그 구성이 인프라 성격의 고정 노드 없이 이루어지고, RF 환경이 불안정하기 때문에 링크가 상황에 따라 변할 수 있다. 그러므로 무선 Ad-Hoc 네트워크가 1970년 이후로 오래 동안 연구되어 왔다¹⁾. 무선 Ad-Hoc 네트워크의 연구 흐름은 크게 노드들의 이동성을 강조하는 MANet, 두 개 이상의 경로를 가지는 것을 강조하는 WMN, 센서 응용의 특징을 강조하는 WSN, 세 가지 분야로 나눌 수 있다⁵⁾. 이들은 각각 서로 독립적인 것이 아니라 그 용어의 특징을 강조하는 구분이다. 그러므로 서로 구분 없이 사용되기도 한다.

본 논문에서 다루는 컨테이너 네트워크는 이 세 분야 각각의 연구 흐름에서 다룬 여러 특징들이 복합적으로 필요하다. 이 장에서는 먼저 각 분야를 설명하기 위해 응용 토폴로지를 정의한다. 다음은 각 분야별로 다룬 주요 이슈를 컨테이너 네트워크에 관련된 내용들 위주로 설명한다. 그리고 컨테이너 네트워크에 필요한 특징을 살펴본 뒤에 이를 위해 적용한 기존의 연구결과를 살펴본다.

3.1 응용 토폴로지

인터넷 인프라와 무선 Ad-Hoc 네트워크 환경에서 응용의 목적 관점에서 최종 송수신자의 관계를 나타내는 것을 응용 토폴로지라고 정의한다. 그림 5를 보면 A는 무선 Ad-Hoc 네트워크상의 노드가 응용상대와의 통신은 단방향으로 이루어짐을 의미하여 궁극적

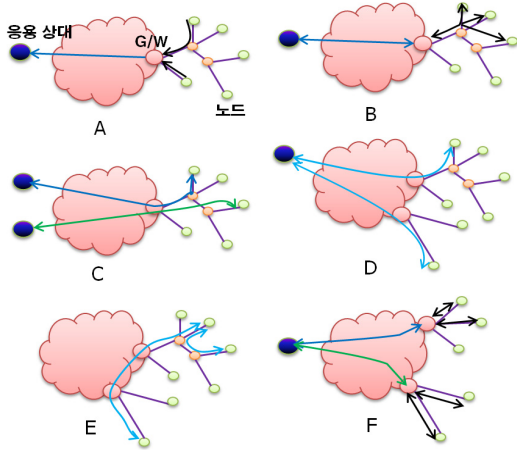


그림 5. 무선 Ad-Hoc 네트워크의 응용 토폴로지 종류

응용 상대는 다른 프로토콜로의 변환이 필요한 Gateway 너머에 존재한다. IP 통신망에 Non-IP Ad-Hoc 네트워크가 붙어있는 경우이다. Ad-Hoc 네트워크 쪽에서는 Gateway가 유일한 수신자인 싱크 노드가 된다. B는 A의 응용 상대와 노드간의 통신이 양방향으로 이루어짐을 보인다. C와 D는 A와 B의 Gateway 양쪽이 동일한 프로토콜이고 All-IP가 무선 Ad-Hoc 네트워크에도 적용된 경우이다. C는 한 무선 Ad-Hoc 네트워크에도 각각의 노드는 자기만의 응용 상대가 있음을, D는 두 개의 무선 Ad-Hoc 네트워크 각각 안에 있는 노드가 하나의 응용 상대를 가지고 있음을 표현한다. E는 응용 상대가 동일한 무선 Ad-Hoc 네트워크 안에 있거나 다른 무선 Ad-Hoc 네트워크 안에 있음을 표현하고, F는 무선 Ad-Hoc 네트워크 부분이 1-Hop 네트워크 부분임을 표현한다. F는 육송 컨테이너 정보 전송 환경에 적합하다.

3.2 MANet/WMN 분야

MANet은 참여하는 노드의 이동 등의 요소로 인해 동적인 네트워크 토폴로지를 가지는 네트워크이다. 모든 노드는 어떤 방향으로든 동적으로 움직일 수 있으면서 다른 정보를 전달해주는 라우팅 기능을 가진다^[6]. WMN와 거의 구분이 없다. WMN은 두 노드 사이에 두 개 이상의 경로를 가진다고 하여 하나의 송신 패킷을 양쪽으로 보내는 것을 의미하는 것이 아니다. 주변 환경에 의한 경로 손실, Fading, 간섭 등에 의해 링크의 신뢰성을 변하게 하는 RF 특성으로 인해 링크를 잃을 경우 다른 경로를 통해 전송의 신뢰성을 향상하는 자기 치유(Self-Healing)의 관점이 더욱더 강조되는 네트워크 표현이다^[7].

MANet/WMN은 주기적인 정보 교환을 통해 라우팅 테이블을 유지하는 Table-Driven(Proactive) 방식과 송신해야할 정보가 발생할 때 경로를 구성하는 On-demand(Reactive) 방식으로 주로 구분하여 연구되어 왔다. 이들은 유선 라우팅 프로토콜 등을 발전시킨 내용이 대부분이다. 그렇기 때문에 앞의 응용 토폴로지 입장에서 보면 그림 5의 E에서 같은 무선 Ad-Hoc 네트워크 내부에 목적지가 있는 경우도 포함한다. 컨테이너 네트워크는 컨테이너 간에 정보를 주고 받을 일이 없고 목적지가 싱크 노드인 경우만 필요하므로 이 정도까지 고려할 필요는 없다. 대표적 라우팅 프로토콜은 대체 경로 설정 기능이 있어 뒤에서 제안 프로토콜과 비교될 AODV(Ad-Hoc On-Demand Distance Vector)^[8]를 들 수 있다.

AODV^[8]는 Reactive 방식으로써 데이터 송신이 필요한 시점에 경로를 설정하므로 일반적으로 요구되는 브로드캐스트 수를 최소로 한다. Proactive 방식인 DSDV^[9]의 개선된 형태의 라우팅 프로토콜이다.

3.3 WSN 분야

WSN은 MANet이나 WMN이 아닌 별개의 네트워크를 지칭하는 것은 아니다. 그러나 지금까지는 대체로 다음의 특징을 추가적으로 가진다^[10].

- 1) 센서 응용의 특성상 기존의 무선 Ad-Hoc 네트워크와 달리 노드 수가 현저히 많다.
- 2) 센서 노드들은 제한된 전력, 연산 능력, 메모리를 가지므로 자원 제약적이다.
- 3) ‘어느 것이 20℃ 이상인가?’ 등의 어떤 질문에 답하는 노드만 존재하거나, 어떤 센서 노드의 정보는 버리거나, 두 노드의 정보를 조합하는 등 데이터 의존적인 네트워크 특성을 가진다.
- 4) 모든 정보는 대부분의 응용에서 싱크 노드로 모인다. 앞의 응용 토폴로지의 입장에서 보면 그림 5의 A의 경우이다.

위의 특징들은 3)을 제외한 모든 것이 컨테이너 네트워크의 요구사항에 부합된다. WSN 라우팅 프로토콜은 평면 라우팅 프로토콜과 계층적 프로토콜 크게 두 가지로 구분할 수 있다^[11]. [12]에서 적용한 라우팅 프로토콜이 참조한 LEACH도 이 중 하나인 계층적 프로토콜이다.

3.4 컨테이너 네트워크의 라우팅 프로토콜 적용

II장에서 언급한 컨테이너 네트워크의 공통적인 특

정과 MANet, WMN, WSN의 특징을 기반으로 하여 [12]에서는 컨테이너 네트워크 프로토콜을 다음과 같은 사항을 고려하여 설계하고 적용하였다.

- 1) 전력 절감을 위해서 센서 네트워크를 위해 표준화 되어진 IEEE 802.15.4를 수용했다. 그러나 IEEE 802.15.4의 MAC은 많은 노드가 참여하는 네트워크에는 맞지 않아 IEEE 802.15.4 PHY만을 적용하였다.
- 2) 현재로는 컨테이너 간에 정보를 주고받을 필요가 없다. 그러므로 응용 토폴로지는 그림 5의 A의 경우만을 고려하였다. 주기적으로 정보를 응용상대에 보내는 경우는 전통적인 WSN의 응용 형태와 일치한다.
- 3) 그러므로 WSN을 위한 LEACH 프로토콜을 수정하여 클러스터 헤더를 선정하는 알고리즘만을 채택하고 C/P를 루트로 하는 트리 구조로 네트워크를 구성한다. 응용 토폴로지(그림 5)의 A를 위해서는 모든 노드는 자기의 부모 노드만 결정하면 된다.
- 4) 컨테이너가 해당 지역에 들어와 움직임을 멈추면 가입을 시도한다. 네트워크에 가입하는 노드는 주위에서 자기를 위한 부모 노드를 선정하여 자식 노드가 된다. 주위의 네트워크 기 참여 노드 중에 부모 노드가 없다면 한 노드에 부모 노드가 되어달라는 요청을 하여 그 노드의 자식 노드가 된다.
- 5) MAC은 TDMA 대신에 CSMA/CA를 수용하였다. 저전력 멀티홉 네트워크에는 TDMA가 맞지 않기 때문이다.
- 6) 주기적으로 링크 상태 확인을 하여 적절한 헤더를 유지하고 있는지를 확인하고 필요할 경우 부분 재설정을 한다. 상대적으로 많은 노드가 참여하는 컨테이너 네트워크에는 한 노드의 데이터가 발생할 때 마다 전체 네트워크에 플러딩을 발생시키는 Reactive 방식 보다는 Proactive 방식이 적합하다.
- 7) 참여하는 노드의 가입과 탈퇴가 어느 정도 진행을 하면 그 네트워크는 전체적으로 볼 때 최적화된 토폴로지가 아닐 경우도 있다. 이를 위해 LEACH의 헤더 선정 주기인 라운드를 적용하여 C/P를 첫 헤더로 하여 점진적으로 트리를 구성해나가게 함으로써 토폴로지 최적화를 이루게 한다.

이렇게 구성한 Modified LEACH 프로토콜은 기존의 LEACH 프로토콜 중에서, MANet과 WSN에 적합한 특징들의 Redundancy를 줄이고 필요한 특징들은

추가함으로써 어느 정도 컨테이너 네트워크의 요구사항을 충족시킨다.

그러나 선박 환경과 같이 상대적으로 많은 수의 컨테이너들이 한번 네트워크를 구성하면 데이터를 전송하는 시간에 비해 변화가 없거나 그 변화 주기가 긴 경우에는 적용이 용이하나, 상대적으로 자주 네트워크 구성이 변화하는 항만/야적장 환경에는 적용이 쉽지 않다. 링크의 신뢰성을 향상시키더라도^[13], 이동 등 다양한 환경 변화가 발생하면 경로 설정을 위한 시그널링 부하가 많이 발생하기 때문이다. 특히 새로 들어와 쌓이는 컨테이너가 기존의 네트워크 링크 품질을 약화하는 II장의 10)의 항만/야적장의 특징 때문에 문제는 더 커진다.

다음 장에서는 백업 경로를 유지하여 잦은 변화에도 경로 재설정 시그널링을 최소화하여 신뢰성 있게 데이터를 싱크 노드로 전달하는, 선박 환경보다는 상대적으로 적은 수의 컨테이너들로 구성되는 항만/야적장 컨테이너 네트워크에 적합한 WMN 프로토콜을 제안한다.

IV. 환경변화에 효과적인 메시 프로토콜

앞에서 기술한 응용 토폴로지 그림 5의 A에 적용되는 컨테이너 네트워크와 대부분의 센서 네트워크에서는 모든 노드의 해당 네트워크 안의 목적지가 싱크 노드(C/P)로 유일하다. 그러므로 라우팅 테이블을 관리할 필요가 없이 모든 노드는 자기의 부모 노드 정보만 가져도 된다. 다음과 같이 프로토콜을 설계한다. SAPDS (Simple Alternative Path Destined for Sink node) 프로토콜이라 명한다.

제안하는 프로토콜의 핵심은 각각의 노드가 싱크 노드로의 경로를 위한 이웃 노드 리스트를 관리하는 것이다. 이웃 노드의 ID별로 싱크 노드까지의 홉수를 최신으로 관리하여 가장 홉수가 적은 노드로 그 데이터를 송신하면 그 이웃 노드는 그 데이터 패킷을 수신한 후 같은 동작을 반복한다. 궁극적으로 그 데이터는 싱크 노드로 가게 된다. 이 이웃노드 리스트를 관리하고 이용하기 위한 자세한 프로토콜 알고리즘을 설명한다.

4.1 노드의 네트워크 가입(Join)

모든 노드들은 복수 개의 이웃 노드와 그 노드들을 거쳐 경유 경우 싱크 노드까지의 홉수를 리스트로 관리한다. 이를 경로 리스트(path list)라 한다. 가장 홉수가 작은 노드를 1st link라 한다. 데이터 패킷을 보낼 경

우 1st link를 선택할 것이다. 싱크 노드는 하나의 경로 리스트(자기 ID, 홉수 0)를 가진다. 그림 6은 모든 노드의 가입 과정을 설명한다.

초기에 싱크 노드의 이웃에서 가입하는 노드일 경우 그림 6의 Joined Neighbor Node(이미 네트워크를 구성하고 있는 이웃 노드)중 하나가 싱크 노드가 된다. 가입 요청 광고를 브로드캐스트하면 무선 영역 안의 모든 이웃 노드들은 자신의 노드 ID와 1st link의 홉수 등을 알려준다. 가입 시도 노드는 그 수집된 정보(여기서는 이웃 노드 ID, 홉수)들을 바탕으로 1홉을 더하여 자기의 경로 리스트를 구성한다. 대체 경로를 추가로 포함하는 개념이므로 이웃 노드 전체를 대상으로 할 필요 없이 몇 개의 일정한 수만 홉수에 의한 우선순위에 의해 선택한다.

이 프로토콜 전체에서 자기 경로 리스트의 1st link가 변하면 그 홉수, 자신의 노드 ID와 함께 그 사실을 이웃에 브로드캐스트한다. 가입할 경우도 1st link가 새로 만들어지므로 당연히 적용된다. 가입 의도 노드를 통하는 홉수보다 많은 홉수의 1st link를 가진 노드가 있을 경우 1st link를 갱신하도록 하기 위함이다. 이를 통해 모든 노드는 가장 낮은 홉수의 1st link를 관리할 수 있다. 이 자세한 설명은 4.3절에서 한다.

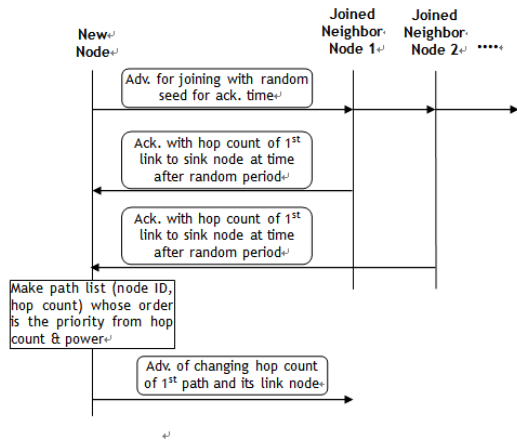


그림 6. SAPDS의 가입(Join) 과정

4.2 노드의 데이터 송신

하나의 노드가 데이터를 수신하거나 생성할 경우 싱크 노드가 아니면 해당 데이터를 송신할 것이다. 먼저 1st link로 송신한다. 1st link는 Ack를 보낸다. 만약 일정한 시간 안에 Ack가 수신되지 않으면 송신 노드는 경로 리스트의 다음 link를 선택하여 재송신하며 이는 Ack를 수신할 때까지 반복한다. 반복 후 성공하

면 1st link를 해당 정보로 대체한다. 앞에서 기술했듯이 1st link가 변했으므로 이웃 노드들에게 자신의 노드 ID와 홉수를 브로드캐스트한다. 만약 경로 리스트 전부를 이용해도 Ack를 수신하지 못하면 자기를 통한 경로는 불가능하다는 것을 알리기 위해서 1st link의 홉수를 무한대로 하여 1st link 변경 브로드캐스팅을 한다. 그런 다음에 이 노드는 다시 가입을 시도하기 전의 상태가 될 것이다. 그림 7은 이 전체 과정을 나타낸 것이다.

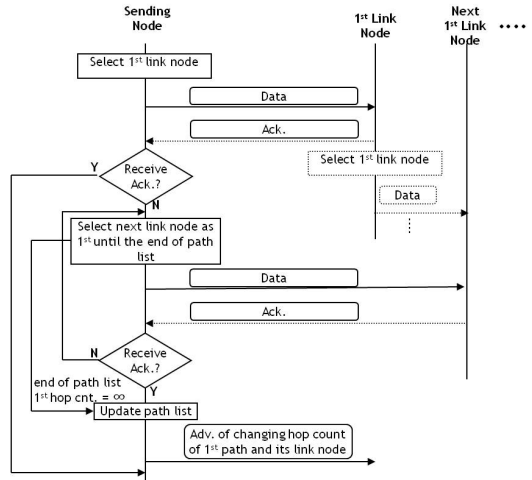


그림 7. SAPDS의 데이터 송신

4.3 1st link 변경 광고 수신

이웃으로부터 1st link 변경 브로드캐스트 패킷이 수신되면 패킷을 보낸 노드의 ID와 홉수를 판단하여 자기의 경로 리스트의 내용에서 수정사항이 생길 경우 반영한다. 우선순위는 홉수에 의해 결정되므로 반영 때 고려한다. 예를 들면 송신 노드 ID가 경로 리스트에 들어있는 노드이고 '수신 홉수 + 1'의 값이 기준

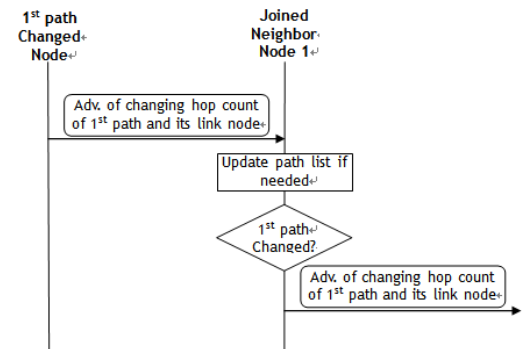


그림 8. 1st link 변경 방송(광고) 수신

값보다 줄어들었다면 그 순서는 높아져서 반영될 것이다. 그런데 수신한 이웃의 1st link 노드 ID가 자신 이라면 그 정보는 버린다. 이것은 Loop 발생을 막기 위한 것이다. 자신의 1st link가 수정되었다면 또 브로드캐스트한다. 그림 8은 이 과정을 나타낸 것이다.

4.4 구현 예시

그림 9에서 노드들 사이의 실선은 1st link를 의미한다. 노드들의 경로 리스트의 첫 번째가 그 것을 표현한다. F가 가입하는 경우를 예로 들어본다. F가 가입 요청 방송을 하면 무선 가능 영역 안의 노드들 D, E가 응답한다. 응답 시에 D는 1st link의 홉수 1을, E는 1st link의 홉수 2를 포함한다. 이를 받은 F는 각각에 1을 더해 자신의 경로 리스트를 만든다. F는 1st link 홉수를 포함한 1st link의 변경 사실을 주변에 알린다. 이를 받은 D는 F의 1st link 노드가 자신임을 감지하여 그 정보를 무시하고, E는 자신의 경로 리스트 개수가 더 커져도 될 경우 (F, 3)의 추가 link 정보를 1st link(C, 2)의 다음에 추가할 것이다. 즉 싱크 노드로 가기 위한 백업 경로가 생기는 것이다.

만약 이후에 C가 어떤 이유로 동작을 하지 않을 경우 E는 정보 송신을 C로 한 뒤 Ack를 받지 못할 것이며 바로 F로 정보를 재전송할 것이다. F가 수신하면 Ack를 E로 보내고 D로 정보를 전달할 것이며 Ack를 받은 E는 주변에 자신의 1st link가 변했다는 사실을 브로드캐스트할 것이다.

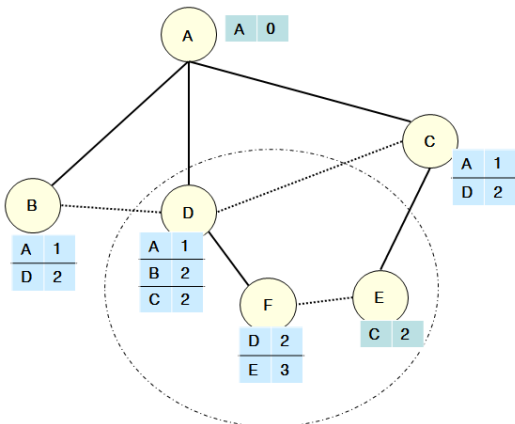


그림 9. SAPDS에 의한 네트워크 토폴로지

V. 실험 및 분석/평가

5.1 실험 환경

이전의 컨테이너 네트워크 프로토콜인 Modified

LEACH^[12,13]와의 성능 비교는 같은 응용 도메인 관점에서는 의미가 있어 보이나 여기서는 생략하였다. 요구되는 특징이 완전히 다른 Proactive한 방식의 프로토콜인 Modified LEACH의 경우, 잦은 가입/이탈 시에는 다음 시그널링 주기까지의 데이터 전송 손실은 심각하다. 결국 데이터 전송 성공률이 현저히 떨어지는 것은 명확한 사실이어서 비교의 의미가 약하다. Modified LEACH는 한번 구성되면 토폴로지의 변화가 거의 없는 선박 환경에서 효율적이다.

본 논문에서 제안된 라우팅 프로토콜은 노드의 가입/이탈 등으로 기존 경로가 단절된 경우에 강점이 예상되므로 그 알고리즘의 성능을 평가하기 위하여 경로 단절시 부분 재설정 기능이 있는 AODV 프로토콜을 성능 비교 대상으로 하였다.

실험은 Qualnet 시뮬레이터를 이용하였으며 여기에 적용하도록 제안된 SAPDS 프로토콜은 C 언어로 구현하였다. 두 개의 실험 인자로 비교한다. 첫째로는, 49개의 노드 각각이 가입 후 살아 있는 동안 시뮬레이션이 끝날 때까지 자신의 응용에서 발생시켜 보내는 데이터 패킷을 1개의 싱크 노드가 수신 성공하는 것을 의미하는 송신 성공률을 실험 인자로 하였다. 둘째는 위의 응용 발생 데이터 패킷수를, 싱크노드로 보내

표 1. 적용 실험 환경

공통환경	
패킷 크기	512 Byte
데이터 종류	CBR
노드의 수	50개(9개 순차 탈퇴, 9개 순차 가입)
데이터 주기(초)	0.1, 1, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100
적용 시간	500초
실험 횟수	5회 (Random Seed를 달리 줌)
가입/탈퇴 Fault 환경	노드를 무작위로 선택하여 50초부터 50초 간격으로 450초까지 9개를 순차적으로 비동작(이탈)시키고 새로운 노드를 75초부터 50초 간격으로 동작 개시(가입)시키하는 것으로 설정
AODV	
Active Router Timeout	500초(적용시간 이상 고려)
Local Repair	적용
SAPDS	
Ack Loss	100msec동안 한번 못 받으면 다음 경로 선택
Join 시도 주기	라우팅 테이블 미생성시 다음에 시도 하는 주기로써 데이터 주기와 일치

기 위해 49 개 전체 노드가 라우팅 프로토콜 시그널링을 포함하여 송신하는 횟수로 나눈 값을 에너지효율의 관점에서 비교한다. 디지털 무선 통신에서 가장 많은 전력을 소비하는 원인은 프로세싱이 아닌 송수신이기 때문이다. 실험 횟수는 5회로 실시하여 평균을 내었다.

표 1과 같이 실험 환경을 적용하였다. 가능한 항만/적치장과 유사한 환경을 만들기 위해 관련 요소의 항목 설정치를 조정하였다. 예를 들면 가입/이탈 환경을 위해 일정한 간격으로 임의의 9개의 노드가 각각 동작 정지와 개시가 되도록 하였다. 또한 AODV의 Local Repair 기능은 부분적으로 대체 경로를 찾는 제안 프로토콜의 기능과 유사하다. Active Router Time을 시뮬레이션 적용 시간보다 길게 두어 아무런 외적 영향 없이 시간이 지나면 사라져 다시 RREQ를 유발하는 경우가 없게 한 것도 그 때문이다.

5.2 결과 분석

그림 10은 송신 성공률의 비교 결과를 나타낸 것이다. AODV는 데이터가 발생하는 경우에 시그널링을 시작하므로 데이터 송신 주기가 짧을 때는 상대적으로 SAPDS보다 성공률이 높다. 그러나 데이터 주기가 길수록 SAPDS는 충돌확률이 적어 첫 경로 리스트를 빨리 생성하므로 상대적으로 높은 전송 성공률을 보인다. 20초 주기 이후로 평균 7.78%의 성공률 차이를 볼 수 있다.

그림 11은 송신 효율을 비교한 결과를 나타내고 있다. 각 노드의 데이터 송신 회수를 관심 프로토콜의 범위에 관계하는 모든 노드의 RF 전송 횟수로 나누었기 때문에 데이터 송신 주기가 길어지더라도 12%를 넘지 않는다. 데이터 송신 주기가 짧을 때의 AODV는 플러딩에서 오는 높은 시그널링 부하 때문에 그 효율이 아주 좋지 않다. 그러나 데이터 송신 주기가 길어지면 SAPDS가 이웃 노드로의 데이터 전송마다 Ack를 받으므로 그 효율이 상대적으로 약간 떨어진다. 20

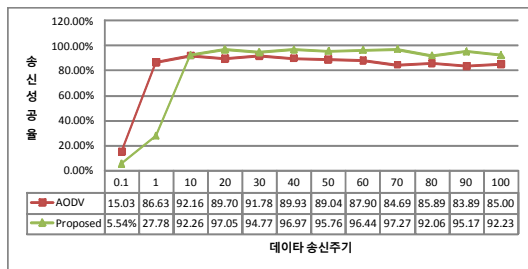


그림 10. 송신 성공률 비교

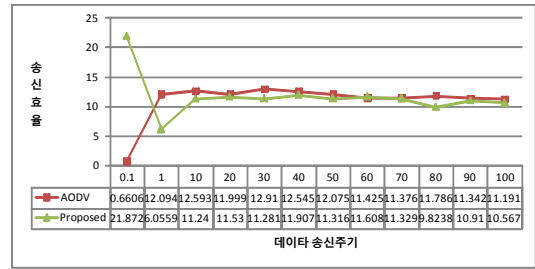


그림 11. 송신 효율 비교

초 주기 이후에서 평균 0.7%의 차이를 보인다. 그러나 이는 앞의 송신 성공률을 고려하면 상대적으로 작은 차이이다. 만약 상위 계층에서 손실된 데이터 패킷을 위한 재송신을 하게 되면 송신 효율은 역전될 것이다. 즉 에너지 효율의 감소 없이 신뢰성 있는 통신을 얻게 된다.

5.3 SAPDS의 평가

SAPDS는 항만/야적장 환경의 컨테이너 적치 환경의 특징을 고려하여 MANet, WMN, WSN의 특징 중 관련된 부분을 도출하여 만든 비교적 간단한 로직의 프로토콜이다. 실험 결과를 포함하여 언급할 수 있는 장점은 다음과 같다.

- 1) 플러딩이 일어나지 않는다. 네트워크에 참여하는 전 노드의 목적지가 싱크 노드 하나이기에 가능한 부분이다.
- 2) 응용 토폴로지(그림 5)의 B를 추가로 적용하기 용이하다. 경우 노드들은 수신되는 패킷의 원 송신 노드 ID와 이웃 노드 ID의 리스트를 보관하기만 하면 역방향 송신의 라우팅 테이블이 형성이 된다.
- 3) 링크마다 데이터 송신 Ack를 처리하기 때문에 높은 신뢰성의 통신이 가능하다. WSN와 달리 각 컨테이너 데이터의 독립성이 보장되어야 하는 컨테이너 네트워크에 가장 중요한 요소이다.
- 4) 저전력 설계 추가가 용이하다. Layer 2에서의 저전력 설계 요소 중 핵심적인 부분은 idle listening을 줄이는 것이다. 간단한 저전력 설계 기법인 LPL(Low Power Listening)^[14]을 적용하기 용이하다. 브로드캐스팅 위주의 시그널링은 플러딩 되지 않으면 LPL 상태에서도 가장 효과적으로 구현이 가능하다.
- 5) 같은 흡수의 이웃 노드들이 존재할 때 Load Balancing도 가능하다. 즉 경로를 분산함으로써 경우 노드들의 에너지 소비도 분산시킬 수 있다.

- 6) 흡수 대신 각 노드의 전력 보유량, 링크 품질 등 다른 메트릭도 이용이 가능하다.
- 7) SAPDS의 Ack 처리에 의한 송신 효율 저하도 상대적으로 미약하다. 만약 신뢰성 있는 정보전송을 위해 상위 계층에서의 재전송을 적용한다면 링크 계층에서는 Ack 처리 기능이 없는 AODV에 비해서는 송신 효율이 훨씬 더 효과적이다.

VI. 결 론

컨테이너 네트워크는 MANet, WMN, WSN 등의 무선 Ad-Hoc 네트워크 연구 방식들 중에서 한 부분만 적용할 수 없는 많은 독특한 특징을 가진다. 그러므로 각각의 속성들을 잘 파악하여 Redundancy가 없는 가장 최적화된 설계가 중요하다.

본 논문에서는 컨테이너 네트워크의 요구사항과 제약사항을 여러모로 분석하여 효과적이며 간단한 항만/야적장의 컨테이너 적치 환경에 적합한 라우팅 프로토콜을 제안하였고 그 장점도 도출하였다.

라우팅 프로토콜의 시그널링 부하를 최소화 하면서 무선 환경의 다양한 변화에 따른 링크 품질의 불안정성을 최대한 고려한 설계라 사료된다.

그러나 컨테이너의 이송 기간동안 모니터링을 넘어 컨트롤을 해야 할 경우 저전력성이 고려된 양방향 통신은 필수적이다. 이런 상황을 고려하여 향후에 진행해야 할 연구 내용은 저전력성, 양방향성 등을 반영한 개선된 SAPDS를 설계하고 제약환경 모델이 효과적으로 적용된 시뮬레이션을 실시한 후 현장 테스트까지 진행할 계획이다.

또한 진정한 글로벌한 추적성을 위한 컨테이너 모니터링을 위해서는 항만/야적장뿐 아니라 선박의 네트워크도 효과적으로 구현되어야 한다. 선박 환경에서는 한번 적치 되면 다음 기항지까지는 움직임이 거의 없으므로 Modified LEACH가 SAPDS 보다는 더 적합하다. 그러나 많은 노드가 밀집되어 있을 경우에는 Interference의 한계가 나타날 수밖에 없다. 이를 위해서 대표적 Cross-Layer 기술인 Multi-Channel 기법을 Modified LEACH에 적용을 시도할 예정이다.

참 고 문 헌

[1] Elizabeth M. Royer et al., "A Review of Current Routing Protocols for Ad Hoc Mobile Wireless Networks", *IEEE Personal Communications*, Vol.6, Issue2, pp.46-55, 1999.

[2] Dr. Peter Harrop, *Active RFID 2006-2016 - Fast growth and WiFi, ZigBee, Bluetooth leverage*, IDTechEx, 2006.

[3] 홍승욱 외, "컨테이너 적치 환경에서의 RF 특성에 대한 고찰", *한국정보과학회 학술 심포지움 논문집*, 제1권 제1호, pp.35-41, 2007.12.

[4] Chee-Min et al., "Ubiquitous Container Logistics Development and Implementation based on Wireless Sensor Network Technology", *ICKIMICS*, 2009.

[5] http://en.wikipedia.org/wiki/Wireless_ad_hoc_network

[6] http://en.wikipedia.org/wiki/Mobile_ad-hoc_network

[7] http://en.wikipedia.org/wiki/Wireless_mesh_network

[8] C. Perkins, E. Belding-Royer, S. Das, "Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing", *IETF RFC 3561*, Jul. 2003.

[9] C. E. Perkins, P. Bhagwat, "Highly Dynamic Destination -Sequenced Distance Vector (DSDV) for Mobile Computers", *Proc. of the SIGCOMM 1994 Conference on Communications Architectures, Protocols and Applications*, pp.234-244, Aug. 1994.

[10] Ian F.Akyildiz et al., "A survey on Sensor Networks," *IEEE Communications Magazine*, Vol.40, No.8, pp.102-114, Aug. 2002.

[11] 배정숙, 김성희, "무선 센서 네트워크에서의 라우팅 프로토콜", *ETRI 주간기술동향*, 2004.4

[12] 이양민, 이기원, 광광훈, 이재기, "컨테이너 환경에서 토폴로지 재구성 시간을 개선한 변형 LEACH 프로토콜", *정보처리학회논문지*, 제15-C권 제4호 통권 제121호, pp.311-320, 2008. 8.

[13] 이기원, 이재기, 광광훈, "금속장애물 환경에서 토폴로지 안정성을 개선한 변형 LEACH 프로토콜", *한국통신학회논문지(네트워크 및 서비스)*, 제34권 제12호, pp.1349-1358, 2009.12.

[14] Joseph Polastre, Jason Hill, David Culler, "Versatile Low Power Media Access for Wireless Sensor Network", *SenSys '04 Proc. of the 2nd international conference on Embedded networked sensor systems*, ACM Press New York, pp.95-107, 2004.

곽 광 훈 (Gwang-Hoon Kwark)

정회원



1989년 2월 부산대학교 전기
공학과(공학사)

1999년 2월 포항공과대학교
정보통신공학 전공(공학석사)

1989년~1999년 포스코, 포스
데이타

2000년~2002년 i2Soft (연구
소장)

2002년~2003년 한국전자통신연구원 (선임연구원)

2005년~현재 동아대학교 미디어디바이스연구센터
(U-Logistics팀장, 책임연구원)

<관심분야> WSN, IPv6, 유비쿼터스 네트워크,
M2M/IOT, 퓨처인터넷

이 재 기 (Jae-Kee Lee)

정회원



1978년 2월 영남대학교 전자
공학과(공학사)

1983년 2월 영남대학교 전자
공학과(공학석사)

1990년 2월 일본 동경대학교
전자정보공학 전공(공학박사)

1984년~1990년 한국전자통신
연구원 (연구원)

1990년~현재 동아대학교 컴퓨터공학과(교수)

2000년~2001년 일본 마쿠하리 기가비트 연구센터
(초빙연구원)

<관심분야> 미래 네트워크, 유비쿼터스 네트워크,
클라우드컴퓨팅