

콘텐츠 중심 MANET을 이용한 군 통신 라우팅 기법

박 흥 순*, 권 태 욱^o

Military Routing Scheme Using Content-Centric Mobile Ad Hoc Networks

Heungsoon Park*, Taewook Kwon^o

요 약

미래전을 대비하는 군의 통신환경은 상용 통신환경에 대비 매우 열악하나 높은 요구사항을 갖고 있다. MANET은 기존의 인프라구조 없이 쉽게 배치가 가능하고 제한적인 환경에서 다이나믹한 토폴로지를 지원하기 때문에 미래 군사 네트워크 활용에 큰 장점을 갖고 있다. 하지만, MANET에서의 가장 큰 이슈는 노드들의 빈번한 이동에 따른 다이나믹한 경로설정과 그로 인한 간헐적인 링크단절로 인한 자료전송의 어려움이다. CCN은 기존의 IP 중심의 네트워크 구조가 갖는 여러 가지 문제점을 해결할 수 있다는 점에서 미래 인터넷기술로 각광을 받고 있다. 이에 본 논문은 군 MANET과 요구사항에 부합하는 미래 군 통신아키텍처를 CCN을 활용하여 제안한다. 제안된 기법은 노드 수 증가 및 이동성 증가 측면에서 기존의 기법보다 제어 메시지 오버헤드가 낮고 콘텐츠 다운로드속도가 빠르다.

Key Words : Military Communications, Content Centric Networking (CCN), MANET

ABSTRACT

Military communications for future warfare have limited resources but highly requirements. MANET has a lot of advantages for future military network due to easily deploying without infrastructure and supporting dynamic topology in restricted environments. But, one of the biggest issues for MANET is difficulty of transmitting data due to link failure in dynamic topology. Content Centric Networking is a future Internet paradigm which solves various IP network problem. In this paper, we propose a future military communication routing scheme using CCN in military tactical MANET. Simulation results show our scheme gets lower control message overhead and faster data downloads as number of node increases and mobile speed increases than other two schemes.

I. Introduction

군 전술통신체계는 상용통신시스템과는 달리 제한적인 환경에서 운용되지만, 군에 필요한 다양한 능력을 요구받고 있다. Mobile Ad-hoc Network(MANET)은 기존 네트워크에 의존하지 않고 저비용으로 다양한 토폴로지 구성이 가능하다는 점에서 군 네트워크체

로 각광을 받고 있다^{1,2}. 하지만, MANET은 제한된 무선 대역폭과 노드의 이동으로 인한 빈번한 경로설정 시의 패킷의 브로드캐스팅 문제 등 제한사항이 있다³.

Content Centric Networking(CCN)은 새로운 개념의 네트워킹 패러다임으로써 정보 자체에 대한 접근과 전달에 목표를 두고 있다⁴. CCN에서 정보 요청자

* First Author : Dept. of Computer Science & Engineering, Korea National Defense University, heungsoon.park@gmail.com, 학생회원
^o Corresponding Author : Dept. of Computer Science & Engineering, Korea National Defense University, kwontw9042@naver.com, 종신회원
 논문번호 : KICS2014-01-012, Received January 24, 2014; Revised April 4, 2014; Accepted April 4, 2014

(Content Requester: CR)는 정보를 담고 있는 호스트의 위치에 상관없이 정보 자체를 가지고 통신하기 때문에 호스트와 정보를 연결하는 사전 오버헤드를 줄일 수 있으며, 중간 라우터에 의한 캐싱기능으로 서버에 도달하기 전 캐싱된 데이터 체크를 수집하여 보다 빨리 정보를 얻을 수 있다. 이와 같은 점에서 제한된 환경의 MANET에서도 CCN이 적합하다는 연구가 제안되고 있다⁵⁾. 하지만, 기존 CCN은 인터넷과 같은 대규모의 정적인 네트워크에서 제안되어 무선환경의 MANET에 적용하기 위해서는 추가적인 보완이 필요하다⁶⁻⁸⁾. 또한, 최근에 CCN을 고정된 환경에서의 군 전술네트워크에 적용한 연구가 있었으나 고정된 백본 네트워크에 국한되었다⁹⁾.

따라서, 본 논문에서는 군 전술통신환경에 적합한 MANET기반의 CCN을 보완하여 확장성있는 네트워크 구조인 MCCM(Military communications using Content Centric MANET)을 제안한다.

본 논문의 나머지 부분에 대한 구성은 다음과 같다. 2장에서 관련 연구를 살펴보고, 3장에서는 군 전술통신환경에 적합한 네트워크 구조를 제안한다. 4장에서는 시뮬레이션 환경 및 시뮬레이션 측정결과를 제시하고 분석한다. 마지막으로 5장에서는 향후 연구방향을 제시하며 결론을 맺는다.

II. Related Work

군 특성상 전술통신은 제한적인 통신환경에서 Scalability, Mobility, Connectivity, Timely-Delivery 등의 사항을 만족시키도록 요구받는다. MANET은 신속한 노드 배치가 가능하고, 동적토폴로지에 적합하며, 자치적으로 운용이 가능하다는 점에서 군 전술환경에 적합한 네트워크이다. 그러나, IP기반의 MANET은 대규모 네트워크에 적용하기 위한 규모 확장성³⁾, 다이내믹한 환경의 라우팅 경로 재설정에 필요한 IP주소 재지정이나 라우팅 테이블 갱신 등의 오버헤드 해결이 필요하다¹⁰⁾. 이에 정보중심의 라우팅으로 이 문제를 해결하려는 노력이 Publish/Subscribe모델을 기반으로 한 CBR(Content-Based Routing)에서 제안되어 왔으며^{11,12)}, 최근에는 ICN(Information Centric Networking)을 중심으로 연구가 진행 중이다.

CCN은 ICN의 하나로 IP기반의 호스트주소를 사용하여 end-to-end 연결유지에 노력했던 기존의 네트워크 대신에, 콘텐츠에 주소를 지정하여 정보 자체의 전달에 관심을 두는 새로운 네트워크 패러다임으로,

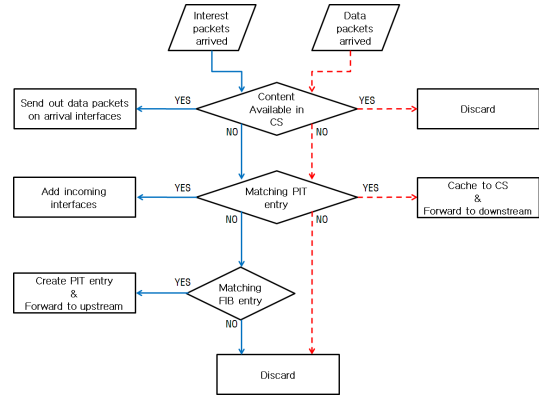


그림 1. CCN 노드에서 패킷 포워딩 개념도
Fig. 1. Packet forwarding diagram in CCN node

그림 1과 같은 패킷 포워딩을 한다⁴⁾. CCN은 정보전송에 있어 IP보다 상대적으로 라우팅 오버헤드가 발생하지 않고, 중간 네트워크 라우터에 의한 네트워크 계층에서의 패킷단위 캐싱을 통해서 빈번한 링크단절 및 지연에도 높은 캐싱 효율을 갖고 있다. 이러한 점에서 CCN이 MANET환경에 많은 이점을 갖고 있으며, 무선환경에 적합한 CCN 포워딩 기법에 대한 연구가 제안되고 있다⁵⁻⁸⁾. [6]은 수학적 분석을 토대로 기본적인 MANET의 경로설정 방법인 reactive, proactive 방식과 geographic hash table을 CCN기반의 MANET에 적용함으로써 세 가지의 장단점만을 비교 분석하는 등 제한적인 연구를 수행하였다. [7]은 군 전술통신이나 응급상황에서 CCN이 적합하고 이에 콘텐츠 네이밍과 포워딩 및 라우팅을 설계하였으나, 실험적 측면에서 선택적인 시나리오를 제시하고, 모바일 환경을 구현하지 못하는 등 실험적 결과가 부족하였다. [5]와 [8]은 무선환경에 적합한 CCN을 새롭게 디자인하고 CCN기반의 MANET이 IP기반의 on-demand MANET 프로토콜보다 응답시간이나 네트워크 처리량 등에서 성능이 좋을 있음을 입증하였으나 대규모 네트워크로의 확장성을 고려하지는 못했다.

III. Military communications using Content Centric MANET(MCCM)

3.1 3-level Hierarchical Network

본 논문에서는 그림 2와 같은 3-level 계층형 네트워크 구조를 제안한다. 이는 군 통신의 요구사항을 고려하여 설계한 것으로 그 고려사항은 다음과 같다.

1) Scalability : 계층적 네트워크 구조를 형성함으로써 라우팅 오버헤드를 줄인다.

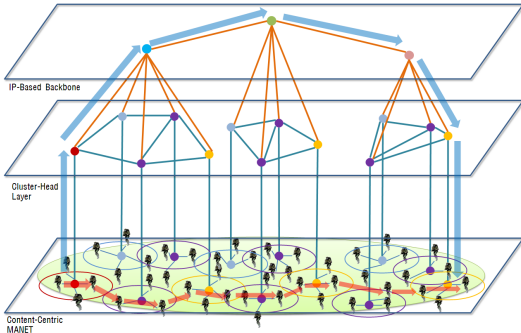


그림 2. 군 전술환경을 위한 3계층 네트워크 구조
Fig. 2. 3-layered network architecture for tactical military environments

2) Mobility : 군의 상부구조는 상대적으로 낮은 이동성의 노드로, 하부로 갈수록 높은 이동성을 갖는 노드로 구성된다. 따라서 하위 계층의 네트워크는 동적인 환경에서의 네트워크 구조가 필요하다.

3) Connectivity : 기존 네트워크를 활용하는 측면에서, IP기반의 인프라 네트워크와 융합할 수 있는 네트워크가 필요하다.

4) Timely-delivery : CCN은 정보 요청자에 의한 pull-based 통신을 사용하므로, 긴급한 정보전달이 필요한 상황에서 정보 제공자가 특정 지역의 노드로 전송하는 push-based 방식의 정보전송 방안이 강구되어야 한다.

그림 2에서, 최상위 계층은 군 통신환경에서 대규모 지휘소간의 유·무선링크나 위성통신으로 구성된다. 각각의 노드를 연결하는 링크는 광대역의 IP기반 백본으로써 기존의 호스트와 호스트를 연결하는 TCP/IP를 사용한다. IP 네트워크체계는 대규모 네트워크의 복잡한 라우팅 문제를 소규모 단위의 네트워크 문제로 줄일 수 있어 대규모의 네트워크를 관리하기에 적합하다. 또한, 기존의 IP 인프라를 활용한다는 측면에서도 적합한 구조라고 할 수 있다. 최하위계층은 동적인 MANET 환경의 모바일 CCN 노드로 구성한다. CCN과 MANET의 결합은 end-to-end 간 경로를 유지할 필요가 없어, 동적인 토폴로지에도 쉽게 적용이 가능하다. 중간의 Cluster-Head 계층은 Content-Centric MANET (CCM)과 IP 백본네트워크 사이의 게이트웨이 역할을 하는 계층으로 CCN 인터페이스와 IP 인터페이스를 동시에 갖는 Dualstack 구조를 갖는다.

3.2 Multihop Cluster Structure

CCM으로 구성되는 하위 계층은 군의 부대구조 및

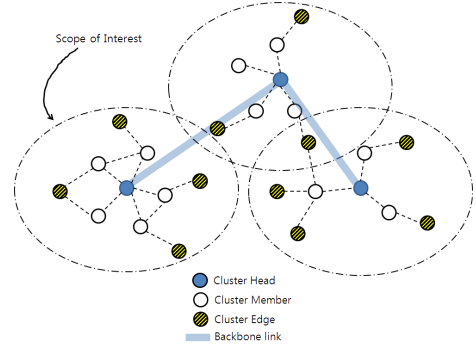


그림 3. 멀티홉 클러스터 구조
Fig. 3. Multihop cluster structure

명령체계와 흡사한 다수의 클러스터로 구성된다. 클러스터는 그림 3과 같이 한 개의 클러스터 헤드(Cluster Head: CH)와 한 개 이상의 클러스터 멤버(Cluster Member: CM)로 구성되며, 클러스터의 범위는 CH를 중심으로 n-hop ($n > 0$)으로 구성된다.

CH는 소규모 부대의 지휘노드로써 CM에 비해 상대적으로 이동성이 적으며, 고용량의 배터리 및 생존성을 갖고 있다. 따라서 본 논문은 일반적으로 CM으로부터 CH를 선출하는 방식의 클러스터 구조가 아닌, 고정된 역할을 수행하는 CH를 가정한다. CH는 CM과는 별도로 추가적인 광대역 인터페이스(Microwave, 위성통신, 광통신 등)를 보유하며 상위계층의 네트워크와 연결될 수 있다. 이 때 CCN방식의 CM들이 전달하는 패킷을 IP 패킷으로 전환하여 클러스터 간 통신을 가능하게 한다.

CM은 군 특성상 지형적으로 CH를 중심으로 배치되며, 해당 CH의 ID를 유지하여 자신이 소속되어 있는 클러스터를 식별한다. CM은 주기적인 신호정보를 브로드캐스팅함으로써 1-hop 내에 있는 이웃노드의 존재를 확인한다(1-hop Neighbor Discovery). 이 때 이웃 CM으로부터 <Cluster ID, CM_ID> 정보를 교환함으로써 1-hop내에 있는 이웃 CM의 정보와 함께 소속 클러스터의 정보를 알 수 있다. CM의 하나인 Cluster Edge(CE)는 CH를 중심으로 n-hop 번째 노드를 의미하며, 클러스터의 제일 가장자리에 위치하여 클러스터의 경계를 식별한다. 즉, 클러스터 내의 모든 데이터 전달은 CE를 경계로 해서 그 내부를 중심으로 이루어진다. 본 논문에서는 이 경계를 Scope of Interest (SOI)로 칭하며, 클러스터 내의 모든 Interest Packet은 SOI를 벗어나서 플러딩 될 수 없도록 하여 전체 네트워크로의 확산을 방지한다.

3.3 Cluster Maintenance

CH는 주기적으로 <CH_ID, Max-hop Count, Options>로 구성되는 Cluster Formation Packet (CFP)을 주기적으로 브로드캐스팅하여 클러스터의 범위를 결정한다. Max-hop은 군 작전운용 상 지리적인 요건을 고려하여 설정하며, Max-hop이 클 경우 클러스터 범위가 넓어져 CH가 관리해야 할 CM의 숫자가 증가하며, 작을 경우에는 CH 한 개당 CM의 숫자가 줄어, 네트워크 상 많은 클러스터가 생기게 된다. CFP를 수신한 CM은 <CH_ID, Next Hop, Hop_Count>로 구성되는 Cluster Head Path Table(CHPT)을 유지함으로써, CH까지의 다음 홉 경로 및 CH까지의 Hop Count를 유지한다. 또한, CH는 Cluster Member List(CML)를 작성함으로써 클러스터 내에 속해 있는 CM을 관리하는데, 클러스터의 기존 구성원이 변동되면 백본네트워크를 활용하여 주변 CH에 통지하고 CML을 갱신한다. 즉, CM은 CH까지의 다음 홉 노드 및 Hop Count를 유지하지만, 전체 CM에 대한 위치정보를 유지하지 않고 있으며, CH는 클러스터 내에 속해 있는 CM의 리스트만을 유지한다.

일정시간 CFP를 받지 못한 노드는 클러스터에 소속되기 위해 인접노드로 CFP 요청패킷을 보낸다. 이는 특정 클러스터에 속한 CM에 도달할 때까지 브로드캐스팅되며, 해당 CM은 자신의 CH로 통지한다. 통지를 받은 CH는 Max_hop Count를 증가시켜 CFP를 재전송하여 클러스터를 확장시킨다. 노드가 두 개 이상 클러스터에 속하게 될 경우에는 자신의 CHPT에서 Hop Count가 가장 낮은 CH로 연결되며, 동일 값인 경우, 먼저 갱신된 CHPT를 참조하여 연결된다.

CM이 원래 소속의 클러스터에서 벗어나서 다른 클러스터로 이동할 경우 클러스터의 유지는 그림 4와 같이 할 수 있다. 클러스터 X에서 클러스터 Z로 이동하는 노드 G를 가정하자. G는 이동전에 자신의 CH인 X에게 이동사실을 통지한다(그림 4의 ①). 이동사실

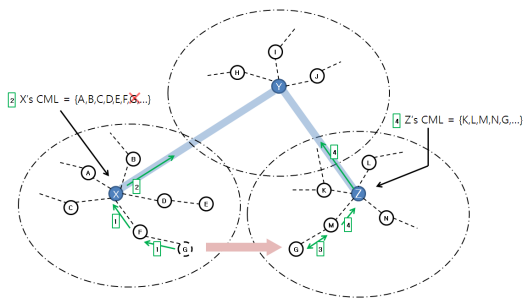


그림 4. 클러스터 멤버의 이동
Fig. 4. Mobility of cluster member

을 수신한 X는 CML로부터 해당 CM의 CM_ID를 삭제하고, 백본 네트워크를 통해 인접 CH간 CML을 갱신한다(그림 4의 ②). 신규 클러스터 Z로 이동한 G는 M으로부터 1-hop neighbor discovery 절차에 따라 해당 클러스터 Z의 Cluster_ID를 획득한다(그림 4의 ③). 동시에 M는 새로운 CM을 CH에게 통지하여 CML을 갱신토록한다(그림 4의 ④).

3.4 Content Naming Scheme

IP주소에 비해 가변적인 길이의 이름을 갖는 CCN은 패킷 포워딩 시 콘텐츠 이름 검색에 따른 처리 지연과 콘텐츠 생성자가 다른 이름의 도메인으로 이동할 경우 name prefix변경을 해야 하는 문제점이 상존한다. 이를 해소하기 위해 MCCM은 이름의 각 요소를 그림 5와 같이 고정길이 단위의 문자열로 규격화한다. Routing Component는 CM의 식별자로서, MAC주소와 같은 유일한 이름을 사용한다. Military Organizational Component는 군에서 생성되는 정보의 특성에 맞게 크게 4부분으로 구성된다.

- 1) Category는 콘텐츠의 정보 분류를 의미하며, 1 byte의 식별자로 구분한다. 상황전파(B), 문서보고(R) 등 일반정보인지, 긴급 상황인지 구분할 수 있다.
- 2) Coordinates은 해당 콘텐츠 생성 시 정보 생성자의 GPS 위치좌표를 군사격자 좌표체계(Military Grid Reference System)로 변환한 것으로 10m 구역단위의 8계단 좌표로 표현한다(13bytes).
- 3) Time은 해당 콘텐츠의 생성 시각을 의미하여 초(second)까지의 단위로서 표현한다(14bytes).
- 4) Version과 Segmentation은 콘텐츠의 버전과 데이터 청크의 일련번호를 의미한다.



그림 5. MCCM 이름 구조
Fig. 5. MCCM naming scheme

3.5 Content Delivery Routing

기존의 인터넷기반 CCN은 CR이 요청하는 Interest Packet에 대한 Data Packet의 응답으로 정보전달이 이루어지는 순수 pull-based 이지만, 제안하는 방법은 두 가지로, IP네트워크를 결합한 pull-based 방법과 정보 생성자가 적시적으로 Data Packet을 전송할 수 있도록 push-based 전달을 설계하였다. 이는 군 C4I 체계 시스템이 보편적으로 Web기반의 HTTP

Application이 활용됨에 착안하였다.

3.5.1 Pull-based routing with IP network

그림 6과 같이 정보 요청자 C가 노드 P가 생성한 /CM_P/B/52SDT12345678/20140101.../... 란 이름의 콘텐츠를 요청한다고 가정하자. C는 해당 이름을 갖는 Interest Packet을 이웃 멤버들에게 브로드캐스팅함으로써 통신의 시작을 알린다. 1-hop에 있는 노드 A는 자신의 CS에 해당 콘텐츠가 있는지 확인하고 존재할 경우 C에게 해당 콘텐츠를 전송한다. 만약 없다면, A는 Interest Packet을 주변 1-hop 노드인 B와 X에게 재전송을 실시하고 PIT에 해당 콘텐츠 이름과 노드 C가 요청했던 사항을 기록한다. 노드 B와 X는 재전송된 Interest Packet을 가지고 A가 했던 확인 절차를 동일하게 수행하며, Interest Packet은 해당 콘텐츠를 갖고 있는 노드의 prefix를 찾을 때까지 SOI를 경계로 플러딩 된다(그림 6의 ①).

플러딩 중 CH노드 X에 Interest Packet이 도달하면 X는 CML을 검색하여 해당 클러스터 내에 정보 생성자인 노드 P가 있는지 확인한다. 만일 P가 CML에 있으면, 인접노드 D와 E에 재전송을 실시하고, CML에 없으면 해당 클러스터 내에 정보 생성자가 없다는 의미이므로, HTTP GET메시지를 사용하여 인접 클러스터 Y로 정보를 요청한다. 사전에 CH간 교환되는 CML로 인해 노드 X는 노드 P가 클러스터 Y내에 있음을 알 수 있기 때문이다. HTTP GET메시지는 클러스터 X의 application에서 생성되며, IP Packet으로 전환되어 전송된다(그림 6의 ②).

백본 네트워크로부터 HTTP GET메시지를 받은 노드 Y는 다시 GET URL을 통해 콘텐츠 이름을 추출하여 Interest Packet을 클러스터 Y내로 전송한다(그림 6의 ③). 콘텐츠를 생성한 노드 P까지 Interest Packet이 도착하면, 역경로(breadcrumb)를 따라서 노

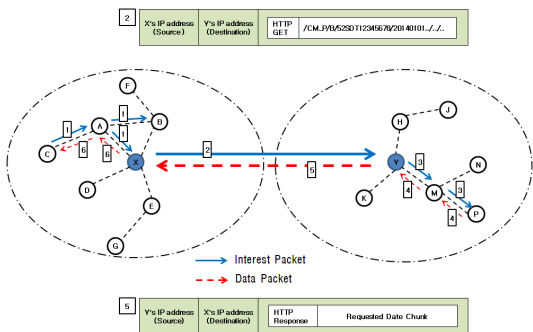


그림 6. IP네트워크와 결합된 pull-based 라우팅
Fig. 6. Pull-based routing with IP network

드 Y까지 Data Packet이 도착하며(그림 6의 ④), 노드 Y는 백본 네트워크를 통해 HTTP Response 메시지를 담은 IP Packet을 노드 X에게 전달한다(그림 6의 ⑤). 노드 X는 HTTP Response 메시지의 데이터를 CCN 형식의 Data Packet으로 전환하여 PIT에서 생성된 역경로를 따라 노드 C에 해당 데이터 패킷을 전달한다(그림 6의 ⑥).

기존의 Content-Centric MANET과 다른 점은 IP 백본네트워크를 활용하여 원거리에 있는 정보 생성자로부터 빨리 정보를 얻을 수 있다는 이점과 Interest Packet 플러딩을 SOI내로 한정함으로써 네트워크 자원을 줄일 수 있다는 점이다.

3.5.2 Indirectly push-based routing

Push-based 전달은 기존 CCN에서는 없는 개념으로 Interest Packet에 의한 해당 콘텐츠의 요청절차 없이 Data Packet을 특정 노드에게 보내는 개념이다. 이는 군 통신환경에서 긴급한 정보를 특정 그룹에 신속하게 전달하기 위해서 설계되었다. 그림 7에서 노드 G는 클러스터 Y에 전파할 정보가 있다고 가정하자. G는 먼저 해당 Data Packet을 자신의 CH 노드인 X에게 전달한다. 이 때, 노드 G의 CHPT를 통해 Hop Count가 가장 작은 경로로 Data Packet이 전달되며(그림 7의 ①), 노드 X의 application은 HTTP PUT메시지를 통해 노드 Y로 Data packet을 전달한다(그림 7의 ②). 노드 Y는 CFP의 Options 필드에 전송이 필요한 콘텐츠가 있음을 알리는 표시를 하여 자신의 클러스터에 속해 있는 CM에 공지한다. 해당 공지를 받고, 콘텐츠의 정보를 필요로 하는 CM(예: 노드 J와 P)은 Interest Packet을 노드 Y에게 unicast로 전송하고(그림 7의 ③), Interest Packet을 받은 노드 Y는 그 역경로로 Data Packet을 보낸다(그림 7의 ④).

이 방식은 데이터를 IP주소를 활용해 특정 노드까지 직접 전달하는 방식이 아닌, 원거리의 클러스터까

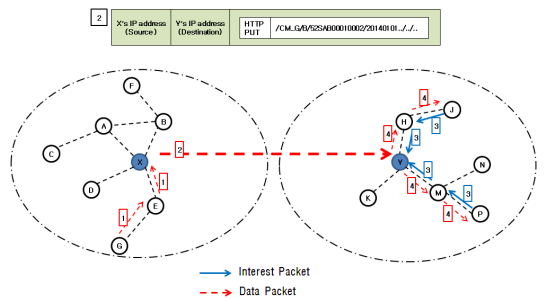


그림 7. 간접적 push-based 라우팅
Fig. 7. Indirectly push-based routing

지만 전달하고 나머지는 pull-based 방식의 기법을 사용하여 전파하기 때문에 Indirectly push-based라고 한다.

IV. Results and Analysis

4.1 실험환경구성

실험은 NS-3 시뮬레이터 기반의 ndnSIM^[13]을 사용하여 구성하였으며, 비교 대상으로는 Flat 구조의 MANET에 CCN 기반 네트워킹을 적용한 방법(Flat Content-Centric MANET : FCCM)^[4]과 IP기반의 MANET(IP MANET : IPM)을 함께 비교하였다. IP MANET의 라우팅 프로토콜은 AODV^[14]를 사용하였다. 실험은 CH 3개에, CM을 각 클러스터 당 10에서 30개로 하였으며, CH간에는 가상 백본링크를 구성하였다. 정보 제공자는 네트워크 내 하나의 노드를 임의로 선정하였으며, 정보 요청자는 최초 3개의 CM을 임의로 선정하고, 네트워크 증가에 따라 3개씩 증가시켰다. 노드의 이동은 클러스터 내부는 CH를 중심으로 CM들이 움직이는 Reference Point Group Mobility(RPGM)^[15]을 적용하였으며, 전체적으로는 Random Waypoint Mobility Model을 적용하였다. 세부적인 시뮬레이션 환경변수는 표 1과 같다.

실험을 통해서 얻고자 하는 성능측정 metric은 평균 콘텐츠 다운로드 시간과 제어 메시지 오버헤드에 대한 요소를 평가하였다. 평균 콘텐츠 다운로드 시간은 10Mbytes의 콘텐츠를 받기 위해 요청 패킷을 보내고, 해당 콘텐츠를 받을 때까지 걸린 평균시간을 측정하였고, 제어 메시지 오버헤드는 정보 요청자의 관점에서 전송한 제어 패킷과 받은 데이터 패킷간의 비율을 측정하였다.

표 1. 시뮬레이션 환경변수
Table 1. Simulation Parameters

| Parameters | Settings |
|-----------------------------|---------------------------|
| Network Size | 6000m × 6000m |
| Number of Nodes | 30 - 90 (increment by 15) |
| Number of Clusters | 3 |
| Number of CM(for a cluster) | 10 - 30 (increment by 5) |
| Number of Content Requester | 3 - 15 (increment by 3) |
| Request Packet Size | 48 bytes |
| Data Payload | 1000 bytes |
| Node Speed | 2 m/s - 10 m/s |

4.2 성능분석결과

4.2.1 네트워크 노드 수 변화에 따른 성능분석

그림 8에서 노드의 수가 증가함에 따라 평균 다운로드 시간은 전체적으로 증가하지만, IPM의 경우 노드 숫자가 증가 할수록 FCCM이나 MCCM보다 다운로드 시간이 급격히 증가함을 볼 수 있다. IPM에서는 네트워크 내 모바일 노드 숫자가 많아질수록 콘텐츠 제공자까지의 경로설정에 필요한 라우팅 설정으로 다운로드 시간이 급격히 늘어나기 때문이다. FCCM과 MCCM은 정보 요청자의 숫자가 증가하더라도 중간 라우터에서 캐싱되어지는 데이터 청크의 영향으로 완만한 증가율을 보인다. 하지만, MCCM은 클러스터 헤드가 클러스터 내에 없는 콘텐츠 정보를 백본 네트워크를 통해 신속하게 접근 할 수 있어, 전체 네트워크에서 콘텐츠를 찾아야 하는 FCCM보다는 신속하게 데이터를 받을 수 있다.

그림 9은 노드 수의 증가함에 따른 제어 메시지 오버헤드를 보여준다. 호스트 기반의 IPM은 경로설정 및 유지에 대한 제어 메시지의 전송으로 콘텐츠 기반 네트워크 보다 많은 오버헤드를 발생하는데 비해,

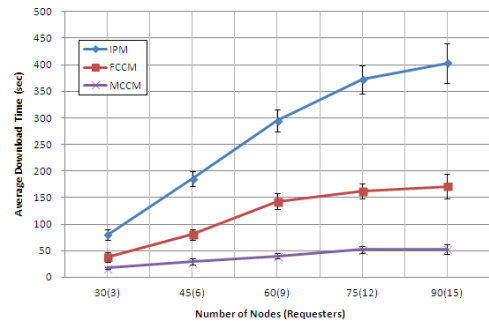


그림 8. 노드 개수에 따른 평균 다운로드 시간
Fig. 8. Average download time vs. number of nodes

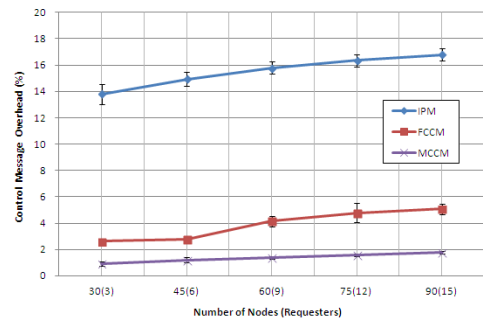


그림 9. 노드 개수에 따른 제어 메시지 오버헤드
Fig. 9. Control message overhead vs. number of nodes

FCCM과 MCCM은 한 번 요청된 정보에 대해 중간 노드들이 캐싱하여 정보제공자 역할을 함으로써 메시지 오버헤드를 경감시킨다. 상대적으로 MCCM은 클러스터 내부에 SOI를 두어 FCCM과는 달리 정보제공자를 찾기 위한 절차로써 전체 네트워크로 Interest Packet가 플러딩되는 것을 방지하여 제어 메시지 오버헤드를 줄이고, 백본 네트워크를 이용하여 정보제공자까지 가는 홉 수를 줄인다.

4.2.2 이동성 변화에 따른 성능분석

그림 10에서 노드의 이동속도가 증가함에 따라 IPM의 평균 다운로드 시간은 급격하게 증가한다. 이는 노드의 이동 속도가 빨라질수록 네트워크 토폴로지가 더욱 다이내믹해지고, 그에 따라 설정된 라우팅 경로가 빈번히 끊어지는 현상이 발생하기 때문이다. 호스트 기반의 IPM의 경우 데이터 전송이 이루어지기 위해서는 콘텐츠 제공자로 연결되는 경로 설정이 필수적이므로, 빈번히 끊어지는 네트워크에서 전송 지연은 급격히 증가한다. FCCM과 MCCM은 노드가 이동하더라도 중간 라우터가 해당 정보를 캐싱하고 있으면 콘텐츠 제공자와 동일한 효과를 낼 수가 있기 때문에 신속하게 정보를 다운로드 받을 수 있어 IPM보다는 다운로드 시간이 현격히 작아진다. MCCM은 클러스터 헤드의 작용으로 해당 클러스터 헤드에 없는 클러스터 멤버의 정보는 신속하게 백본 네트워크를 활용하여 정보를 요청할 수 있기 때문에 FCCM보다는 다운로드시간을 절감할 수 있다.

그림 11은 노드의 이동속도에 따른 제어 메시지 오버헤드 변화를 비교한 그래프이다. 이동속도가 증가할수록 IPM의 제어 메시지 오버헤드가 급격히 증가하는데, 이는 경로설정 및 경로유지에 필요한 제어 메시지의 증가 때문이다. FCCM은 전체 네트워크로의 Interest Packet 플러딩으로 MCCM보다 라우팅 오버

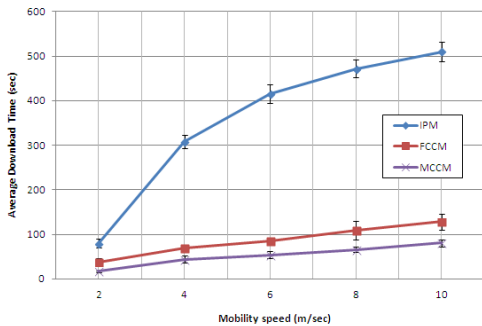


그림 10. 이동속도에 따른 평균 다운로드 시간
Fig. 10. Average download time vs. mobility speed

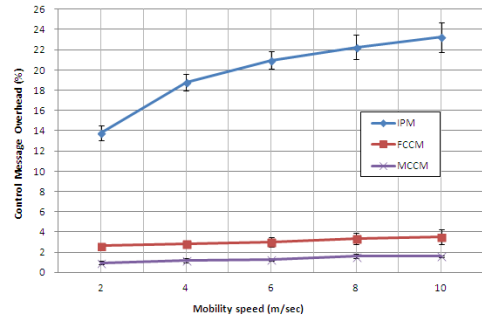


그림 11. 이동속도에 따른 제어 메시지 오버헤드
Fig. 11. Control message overhead vs. mobility speed

헤드 발생이 높지만, MCCM의 클러스터 유지에 필요한 오버헤드의 증가로 상대적인 오버헤드 차이는 별로 발생하지 않았다.

4.2.3 군 통신환경에 대한 적용

군의 제한적인 링크 대역폭 및 무선환경에서의 노드 수의 증가는 네트워크 성능에 크게 작용되어 Scalability에 영향을 미친다. 노드 수 증가에 따른 성능 분석을 통해 제안하는 기법이 기존의 라우팅 기법보다 MANET 환경의 군 통신에 있어 확장성있는 네트워크 기법이라고 할 수 있다. 또한, Mobility와 Timely-delivery 측면에서도 노드 수 변화 및 이동속도 변화에 따른 다운로드시간을 비교해 봤을 때, 기존의 IP기반의 MANET보다 크게 성능이 월등하였다. Connectivity 측면에서는 CCN과 IP 두 개의 네트워크를 HTTP 방식의 캡슐화를 이용함으로써 이중의 네트워크를 연결할 수 있었다.

V. Conclusions

본 논문에서는 군의 전술통신환경을 고려하여 콘텐츠 중심의 MANET을 활용한 라우팅 방안을 제안하였다. 군의 통신환경은 제한적인 무선자원, 다이내믹한 토폴로지, 그룹단위의 계층적 통신 등이 있었고, 이에 따르는 요구사항을 크게 네 가지로 정리하였다. 본 논문에서 제안한 기법은 계층적구조의 콘텐츠 중심 네트워크를 기반으로 IP 백본네트워크를 활용한 융합네트워크를 제안하였고, 이를 통한 빠른 콘텐츠의 요청 및 전파가 가능하게 하였다. 또한, 콘텐츠 네임을 규격화하여 가변길이의 이름처리에 의한 CCN 라우팅오버헤드를 줄였다. 본 논문에서 제안한 기법은 기존의 IP기반의 MANET과 CCN기반의 MANET보다 노드 수 증가나 이동속도 증가 측면에서 다운로드

시간이나 제어 오버헤드 발생이 적었다.

본 논문에서는 네트워크 자원의 효율적 이용 및 빠른 정보전달에 중점을 두고 연구되었지만, 향후 MANET과 IP네트워크 간의 연동방안 구체화, 클러스터 유지에 필요한 오버헤드 분석 등의 연구가 필요하다.

References

[1] L. Kant, K. Young, O. Younis, and D. Shallcross, et al., "Network science based approaches to design and analyze MANETs for military applications," *Commun. Mag., IEEE*, vol. 46, no. 11, pp. 55-61, Nov. 2008.

[2] H. Park, "Effective mobile routing through dynamic addressing," M.S. Thesis, Air Force Institute of Technology, Mar. 2007.

[3] O. K. Tonguz, N. Wisitpongphan, J. S. Parikh, and F. Bai, et al., "On the broadcast storm problem in ad hoc wireless networks," in *Proc. IEEE BROADNETS 2006*, pp. 1-11, Oct. 2006.

[4] V. Jacobson, D. K. Smetters, and J. D. Thornton, et al., "Networking named content," *Commun. ACM*, vol. 55, no. 1, pp. 117-124, 2012.

[5] M. Meisel, V. Pappas, and L. Zhang, "Ad hoc networking via named data," in *Proc. MobiArch'10*, Chicago, Illinois, Sept. 2010.

[6] M. Varvello, I. Rimac, U. Lee, L. Greenwald, and V. Hilt, "On the design of content-centric MANETs," in *IEEE WONS 2011*, pp. 1-8, Oct. 2011.

[7] S. Y. Oh, D. Lau, and M. Gerla, "Content centric networking in tactical and emergency MANETs," in *IFIP Wireless Days (WD)*, Oct. 2010.

[8] M. Amadeo and A. Molinaro, "CHANET: A content-centric architecture for IEEE 802.11 MANETs," in *Proc. IEEE NOF 2011*, pp. 122-127, Nov. 2011.

[9] S. Park, H. Park, and T. Kwon, "A study of TICN backbone routing applying content centric networking," in *Proc. KCC 2013, KIISE*, pp. 142-144, Jun. 2013.

[10] X. Hong, K. Xu, and M. Gerla, "Scalable

routing protocols for mobile ad-hoc networks," *IEEE Network Mag.*, vol. 16, no. 4, pp. 11-21, 2002.

[11] M. Petrovic, V. Muthusamy, and H. Jacobsen, "Content-based routing in mobile ad hoc networks," in *Proc. IEEE MobiQuitous 2005*, pp. 45-55, 2005.

[12] S. Yoo, J. H. Son, and M. H. Kim, "A scalable publish/subscribe system for large mobile ad hoc networks," *J. Syst. Softw.*, vol. 82, no. 7, pp. 1152-1162, Jul. 2009.

[13] A. Afanasyev, I. Moiseenko, and L. Zhang, "ndnSIM: NDN simulator for NS-3," Technical Report NDN-0005, NDN Project, 2012.

[14] C. E. Perkins and E. M. Royer, "Ad-hoc on-demand distance vector routing," in *Proc. IEEE WMCSA '99*, pp. 90-100, Feb. 1999.

[15] X. Hong, M. Gerla, G. Pei, and C. C. Chiang, "A group mobility model for ad hoc wireless networks," in *Proc. ACM MSWiM'99*, pp. 53-60, Aug. 1999.

박 흥 순 (Heungsoon Park)



2002년 : 육군사관학교 전산학과 졸업
 2007년 : 美 공군대학원 컴퓨터 공학과 석사
 2012년 1월~현재 : 국방대학교 컴퓨터공학과 박사과정

<관심분야> Next Generation Networking, Military Communications, MANET, Content Centric Networking

권태욱 (Taewook Kwon)



1986년: 육군사관학교 전산학과 졸업

1995년: 美 해군대학원 컴퓨터공학과 석사

2001년: 연세대학교 컴퓨터공학 박사

2007년~현재: 국방대학교 컴퓨터공학과 교수

<관심분야> Next Generation Networking, Sensor Networking, Cloud Computing, RFID/USN, Virtual Reality, Content Centric Networking