군 하이브리드 네트워크에서 생존성 향상을 위한 다중 경로 멀티캐스팅

Constructing k -redundant Data Delivery Structure for Multicast in a Military Hybrid Network

방 준 호*
June-Ho Bang

조 영 종*
Young-Jong Cho

강 경 란*
Kyungran Kang

Abstract

In this paper, we propose a multi-path construction scheme to improve the survivability of a multicast session in military hybrid networks. A military hybrid network consists of a static backbone network and multiple mobile stub networks where some nodes are frequently susceptible to be disconnected due to link failure and node mobility. To improve the survivability of multicast sessions, we propose a construction scheme of k redundant multi-paths to each receiver. In order to take account of different characteristics of static and mobile networks, we propose quite different multi-path setup approaches for the backbone and stub networks, respectively, and combine them at the boundary point called gateway. We prove that our proposed scheme ensures that each receiver of a multicast session has k redundant paths to the common source. Through simulations, we evaluate the performance of the proposed schemes from three aspects : network survivability, recovery cost, and end-to-end delay.

Keywords : Military Hybrid Network, Multicasting, Multi-Path Routing, k -Connected m -Dominating Set

1. 서론

일반적인 군 전술 네트워크는 Fig. 1과 같이 기간망 노드로 이루어진 정적인 무선기간망이 백본을 구성하고, 주변에서 소규모의 이동전술단말로 구성되는 동적인 이동전투망들이 접속되는 형태로 구성된다. 각각의 네트워크를 구성하는 노드들은 이동성, 계산능력, 전력

사양 등 서로 다른 환경에 맞게 설계되어 있다고 가정한다.

무선기간망 내의 기간망노드들은 지향성 안테나를 통해 연결된다. 기간망노드는 거의 무제한적인 전원 공급을 받을 수 있고 이동성이 거의 없기 때문에 네트워크 위상 변화가 거의 없는 안정적인 특성을 지닌다^[1]. 이러한 안정성으로 인해 무선기간망의 모든 노드들은 규칙적인 제어 패킷의 교환을 통해 네트워크 위상 정보를 유지하는 것이 가능하다.

군 하이브리드 네트워크의 또 다른 구성요소인 이동전투망은 소규모의 이동전술단말들로 구성된다^[1]. 이동

† 2012년 9월 23일 접수~2012년 11월 23일 게재승인

* 아주대학교 대학원 컴퓨터공학과

책임저자 : 방준호(june3731@ajou.ac.kr)

전투망은 무선기간망과의 연결을 제공하는 특수한 기능을 지닌 게이트웨이를 포함하며 단말들은 그룹 단위로 이동한다(즉 group mobility를 가진다). 이동전술 단말은 전원 공급의 제약이 있고, 작전을 수행하는 동안에 노드 손실이 빈번히 발생할 수 있으며 이동으로 인해 네트워크 위상 변화가 빈번하게 발생하는 불안정한 특성을 지닌다.

무선기간망과 이동전투망을 연결하는 접속점 역할을 제공하는 게이트웨이는 일반 이동전술단말보다 안정적으로 전원을 공급받고, 지향성 안테나를 통해 신호 반경 내에 존재하는 기간망노드와 연결을 설정할 수 있으며, 이동전투망을 구성하는 나머지 이동전술단말들로부터 얻은 정보를 이용하여 이동전투망의 네트워크 위상 정보를 유지 및 관리하는 것이 가능하다고 가정한다.

Fig. 1. Multicasting in a military network

본 논문은 군 하이브리드 네트워크에서 Fig. 1과 같이 무선기간망 내의 소스와 이동전투망 내에 위치하는 여러 수신자 이동전술단말들에게 신뢰성과 생존성 있는 데이터 전달을 보장하기 위한 다중 경로 설정 기법을 제안한다. 지향성 안테나를 통해 연결된 정적인 기간망 내에서는 소스 S 와 k 개의 게이트웨이간에는 k 개의 노드 비중복 경로(node disjoint path)를 구축하고, 동적인 이동전투망 내에서는 $kmCDS(k$ -Connected m -Dominating set) 가상 백본을 구축하는 방식이 각각 따로 사용된다. 이 두 방식이 게이트웨이를 통해 결합된다. 따라서 무선기간망 내의 S 와 이동전투망 내의 수신자 이동전술단말들 사이에 k -연결 멀티캐스트 데

이터 전달 경로를 설정하게 되므로, $k-1$ 개의 노드 파괴에도 안정적으로 멀티캐스트 데이터를 전달할 수 있다.

2. 관련 연구

이번 장에서는 기존에 제시된 모바일 애드 혹 네트워크상에서 적용 가능한 다중 경로 설정 알고리즘들에 대해서 살펴본다.

가. 노드 비중복 경로 설정 알고리즘

MP-DSR^[2]은 이동성을 가진 무선 네트워크에서 소스와 수신자 단말간에 일정한 패킷 전달율을 보장하는 것을 목적으로 데이터를 전송하려는 소스와 수신자 사이에 다중 경로를 설정하는 알고리즘이다. 소스가 전송한 경로 설정 요청 패킷이 중간 노드들을 거쳐 수신자에 도달하여 다수의 경로 정보를 얻게 하며, 수신자는 이들 중 다수의 노드 비중복 경로들을 선정하여 각각의 선정된 경로들을 통해 다수의 응답 제어 패킷을 전달하여 소스로 하여금 다수의 경로 정보를 얻게 하는 알고리즘이다.

Vertex disjoint path algorithm^[3]은 주어진 그래프 $G=(V,E)$ 내에서 특정한 두 개의 노드들 사이에 다수의 경로를 찾는 중앙 집중식 알고리즘으로 $O(|E|)$ 의 계산 복잡도를 가진다.

위의 두 알고리즘은 유니캐스트 라우팅을 위한 경로 설정 알고리즘으로 소스가 이동성을 가진 다수의 수신자에게 데이터를 전달하는데 활용하는 경우에는 제어 패킷으로 인한 부담이 매우 크기 때문에 본 논문에서 고려하는 환경에는 적합하지 않다.

나. 가상 백본 구축 알고리즘

무선 애드 혹 네트워크 $G=(V,E)$ 에서 임의의 한 노드가 네트워크를 구성하는 모든 노드들에게 데이터를 전달하는 브로드캐스팅의 가장 간단한 기법은 네트워크 내 모든 노드들이 자신이 수신한 데이터를 다시 이웃 노드들에게 재전송하는 플러딩 방식이다. 네트워크 내 노드들의 전력과 대역폭 낭비를 야기하여 매우 비효율적이다. 브로드캐스팅의 효율성을 증가시키기 위하여 전체 노드들 중 데이터 전달의 역할을 수행할 CDS(Connected Dominating Set)를 선정하여 가상 백본을 구축하는 방안이 연구되었다. CDS는 Fig. 2와 같이

G 상에서 연결성을 가진 전달자 노드들의 집합 $C \subset V$ 이며, 모든 $u \in V \setminus C$ 는 최소 하나 이상의 $v \in C$ 와 인접하고 있어 임의의 노드가 전송한 패킷은 C 의 노드들을 통해 전체 네트워크 내의 노드들에 전달된다.

Fig. 2. An example of Connected Dominating Set

CDS로 구성된 가상 백본은 노드가 하나라도 파괴되면, 위에서 기술한 인접성과 연결성을 잃어버려 네트워크 내의 노드들이 연결되어 있음에도 불구하고 데이터 전달자의 기능을 수행할 수 없게 될 수 있다는 단점이 있다. Fig. 2에서 이러한 예를 관찰해보자. R_1 이 파괴되는 경우 N_1 은 CDS를 구성하는 노드와의 인접성을 잃어버리게 되어 N_1 은 다른 노드와 브로드캐스트 패킷 송수신을 할 수 없게 된다. R_3 가 파괴되는 경우 $\{R_1, R_2\}$ 와 $\{R_4, R_5\}$ 를 연결해 줄 중개 노드가 존재하지 않게 되어 $G \setminus \{R_3\}$ 이 연결되어 있음에도 불구하고 $\{R_1, R_2, N_1, N_2, N_3\}$ 과 $\{R_1, R_2, N_5, N_6, N_7\}$ 사이에는 데이터 송수신이 불가능하게 되어 브로드캐스팅에 실패하게 된다. 한 노드가 파괴되는 경우뿐만 아니라 다수의 노드가 파괴되는 경우에도 가상 백본의 기능을 수행하는 것이 가능하도록 CDS에 여분 노드들을 추가하여 임의의 자연수 k 와 m 에 대해서 $\min(k, m)$ -1개의 노드가 파괴되어도 데이터 전달자로서의 역할 수행을 가능케 하는 가상 백본 구축 알고리즘인 $kmCDS$ (k -Connected m -Dominating Set) 방식이 제안되었다. $kmCDS$ 를 통해 구성된 가상 백본은 k -연결성(즉 k -connectivity)을 가지고 있고 이들을 제외한 나머지 노드들은 m 개 이상의 $kmCDS$ 노드들과 인접성(즉 m -dominating property)을 가지고 있다.

Fig. 3의 검은색 노드들은 $k=2, m=2$ 인 $kmCDS$ 을 이루고 있어 임의의 단일 노드 파괴(즉 $k-1$ 개의 노드 파괴)에도 검은색 노드들은 가상 백본의 역할을 수행할 수 있음을 알 수 있다.

Fig. 3. An example of k -Connected m -Dominating Set ($k=2, m=2$)

제안된 알고리즘들은 연산 수행의 특징에 따라 중앙 집중식 알고리즘과 분산 알고리즘으로 구분된다. 중앙 집중식 알고리즘으로 CDSAN^[4], CGA^[5], ICGA^[6], CSAA^[7]가 제시되었고, 분산 알고리즘으로는 Probabilistic, k -grid, k -coverage, color-based algorithm^[8], DDA^[9], LDA^[6], DPA^[7]가 제시되었다.

기존에 가상 백본을 다룬 논문들에서는 가상 백본을 멀티캐스트 데이터 전달에 활용하는 기법은 제시되지 않았다. 또한 기존의 논문들은 성능 분석을 통해 가상 백본의 크기만을 관찰하는데 우리가 적용할 이동전투망에서는 전력 소모 이외에도 노드의 파괴와 이동성이 가상 백본의 기능을 방해하는 요소로 작용하고 있어 이에 대한 영향에 대한 연구가 필요하다.

앞서 살펴본 바와 같이 이미 많은 연구들에서 정적인 네트워크와 동적인 네트워크에서 다중 경로를 설정하는 기법에 대하여 다루고 있다. 하지만 이 두 가지 네트워크가 혼재하는 하이브리드 네트워크에서의 다중 경로 설정 기법과, 이중 네트워크 접속점 역할을 하는 게이트웨이의 기능에 대한 연구도 필요하다.

3. 제안하는 기법

가. 개요

군 하이브리드 네트워크에서 소스가 직접 연결된 기간망노드인 S 와 각 수신자 이동전술단말 사이에 멀티캐스트를 위한 경로 설정 과정을 제안한다.

멀티캐스트 소스는 무선기간망 전체에 Multicast Advertisement 패킷을 방송하고 이를 수신한 게이트웨이는 해당 멀티캐스트 세션의 소스 주소를 저장해 둔다. 이동전투망 내의 노드들은 자신의 이웃 노드 정보

를 주기적으로 방송하여 게이트웨이들은 전체 이동전투망의 네트워크 위상을 알고 있다고 가정한다. 게이트웨이들은 이 네트워크 위상 정보에 근거하여 k CDS 알고리즘을 적용하여 가상 백본을 구성한다.

Fig. 4. Gateway role in path setup procedure

멀티캐스트 경로 설정은 수신자 이동전술단말들의 요청에 의해 시작된다. 멀티캐스트 데이터를 수신하고자 하는 수신자가 소스를 명시한 멀티캐스트 경로 설정 요청 패킷인 Multicast Request를 이동전투망에 방송한다. 이를 수신한 대표 게이트웨이는 무선기간망에서의 게이트웨이들의 ID정보를 담아 소스에게 전달하고 이미 결정된 이동전투망 수신자 내의 경로 상에 존재하는 노드들에게 멀티캐스트 데이터 패킷 전달자로서의 역할을 수행할 것을 요청하는 메시지인 Relay Request를 전송한다.

게이트웨이가 전달한 Multicast Request는 소스까지 전달된다. 소스는 다음 절에서 설명하는 기법을 적용하여 S' 와 게이트웨이들 사이에 노드 비중복 경로를 결정하고, 경로상의 기간망노드들에게 경로에 포함되었다는 사실을 통지한다. 소스가 속한 무선기간망과 수신자가 속한 이동전투망 사이에 위치한 게이트웨이는 경로 설정을 중개하는 역할을 한다. 이러한 역할은 Fig. 4에 기술되어 있다.

소스에서 전송되는 멀티캐스트 데이터 패킷은 무선기간망 내에 설정된 k 개의 경로를 통해 k 개의 게이트웨이들에게 전달되고, 게이트웨이로부터 각 수신자가

지의 k CDS내의 k 개의 경로를 통해 전송된다. k CDS 내의 이동전술단말들과 수신자 이동전술단말들은 동일한 멀티캐스트 데이터 패킷을 두 번 이상 수신하면 이를 폐기한다.

나. 소스와 게이트웨이 사이의 경로 설정

소스와 게이트웨이 사이의 무선기간망은 네트워크 위상의 변화가 거의 없는 안정적인 특성을 지닌다. 따라서 무선기간망에서는 데이터 전송의 효율성 측면에서 경로 기반의 멀티캐스트 라우팅이 적합하다^[9,10]. 이에 k -연결성을 부여하기 위해서 S' 와 k 개의 게이트웨이들 사이에는 Fig. 5의 화살표로 표시된 두 개의 경로들과 같이 S' 만을 공유하는 k 개의 노드 비중복 경로를 개설하는 라우팅을 적용한다. 주어진 네트워크에서 위의 조건을 만족하는 경로를 결정하기 위해서는 다음의 방법을 이용한다.

Fig. 5와 같이 S' 를 포함하는 무선기간망 내 모든 기간망노드들과 게이트웨이들 사이의 연결 관계를 그래프 G 로 표현한다. 이동전투망을 하나의 가상 노드(virtual node) VN으로 추상화하고 게이트웨이들과 VN 사이의 링크를 G 에 추가한다. S' 와 VN 사이에 vertex disjoint algorithm^[3]을 적용해 S' 와 VN들 사이에 k 개의 노드 비중복 경로들을 결정한다.

Fig. 5. An example of multi-path in static network

다. 이동전투망 내의 경로 설정

게이트웨이와 수신자 이동전술단말들 사이의 이동전투망은 네트워크 위상 변화가 빈번히 발생하는 불안정한 특성을 지닌다. 이런 환경에서 멀티캐스트 데이터 전달 경로를 유지하면서 안정적으로 데이터를 전송하는 데에는 많은 어려움이 따르기 때문에 mesh 형

태의 멀티캐스트 경로를 활용하는 것이 적합하다^[9,10]. 따라서 이동전투망에는 메쉬 형태의 멀티캐스트 경로를 활용하되 k -연결성을 부여하기 위해서 $k\text{CDS}(m=k\text{인 } km\text{CDS})$ 를 이용한 메쉬 형태의 경로를 설정한다. 이동전투망 내의 노드들은 자신의 이웃 정보를 주기적으로 방송하여 게이트웨이들은 전체 이동전투망의 네트워크 위상을 알고 있다고 가정한다. 게이트웨이들은 이 위상 정보에 근거해 $k\text{CDS}$ 를 산출하여 가상 백본을 구성한다.

라. 무선기간망과 이동전투망 간의 연결 설정

게이트웨이들과 무선기간망 간의 연결성을 관리하기 위해 게이트웨이들 중에서 대표 게이트웨이를 선발하는 것이 필요하다. 대표 선택 기법을 기준에 제시된 다양한 기법들 중에서 임의로 선택하는 것이 가능하나, 복잡도를 높이지 않기 위해 가장 적은 숫자의 ID를 가진 게이트웨이가 대표 게이트웨이 역할을 담당하는 것으로 가정한다. 게이트웨이들은 제어 패킷인 Gateway Negotiation을 교환하여 자신이 가장 적은 숫자의 ID를 가져 대표 게이트웨이로 활동할지의 여부를 지속적으로 판단한다.

S' 과 k 개의 게이트웨이들 사이에 노드 비중복 경로가 구축되기 위해서는 기간망노드와 게이트웨이들 사이에 k 개 이상의 노드 비중복 링크들이 존재하도록 링크를 조정하여야 한다. Fig. 6의 예를 보면 기간망노드와 게이트웨이들 사이에는 링크가 4개가 설정되어 있지만 이 중에서 노드 비중복 링크는 단 2개만 존재한다. 만약 k 가 3인 경우에는 3개의 다중 경로 설정이 불가능하므로, 1번 기간망노드와 게이트웨이 A 사이에 하나의 링크를 더 개설하거나 게이트웨이 A와 2번 기간망노드 사이의 링크를 변경하여 1번 기간망노드와 링크를 개설하는 등 노드 비중복 링크의 개수를 3으로 조정해 주어야 한다. 이러한 링크 조정 정책을 대표 게이트웨이에서 수행한다.

Fig. 6. An example of link adjustment for establishing 3-independent links

4. 성능 분석

가. 이론적 분석

본 논문에서 제안하는 기법을 적용할 시에, 멀티캐스트 소스인 S' 과 각 수신자간에 k 개의 노드 비중복 경로들이 존재함을 증명해보자.

정리 1. 위의 경로 설정 과정을 통해 S' 과 모든 멀티캐스트 수신자 r 은 k 개의 노드 비중복 경로를 가진다.

증명.

S' 과 게이트웨이들 사이에 설정된 k 개의 노드 비중복 경로를 $\{P_j\}_{j=1}^k$ 라 하자. 각각의 j 에 대해서 S' 과 P_j 를 통해 연결된 게이트웨이를 gw_j 라고 하고 이들의 집합을 $GW = \{gw_j\}_{j=1}^k$ 라 하자. $k\text{CDS}$ 의 정의에 의해 각각의 gw_j 들과 r 은 k 개의 $k\text{CDS}$ 노드들과 인접한다. 따라서 GW 는 인접한 모든 $k\text{CDS}$ 노드들의 집합인 $N(GW)$ 과 marriage condition^[11]을 만족하기 때문에 모든 gw_j 들과 인접하는 k 개의 노드 비중복 링크들이 존재한다. 각각의 j 에 대해 이 노드 비중복 링크들을 통해 gw_j 와 이웃하는 $k\text{CDS}$ 노드를 gn_j 라고 하고 이들의 집합을 $GN = \{gn_j\}_{j=1}^k$ 이라 하자. $k\text{CDS}$ 노드들은 k -연결성을 가지기 때문에 Menger의 정리^[11]에 의해 GN 과 r 의 k 개의 이웃 $k\text{CDS}$ 노드들 사이에는 k 개의 노드 비중복 경로들인 $\{Q_j\}_{j=1}^k$ 가 존재한다. S' 과 임의의 gw_i 를 연결하는 경로 $S' - P_i - gw_i$, 그리고 gw_i 와 r 을 연결하는 경로 $gw_i - Q_i - r$ 를 gw_i 를 통해 연결하여 만든 경로 $S' - P_i - gw_i - Q_i - r$ 은 S' 과 r 을 연결하는 하나의 경로가 된다. 이렇게 만들어지는 경로들의 집합 $\{S' - P_j - gw_j - Q_j - r\}_{j=1}^k$ 은 S' 과 r 을 연결하는 k 개의 노드 비중복 경로를 이룬다.

나. 시뮬레이션 기반 분석

이번 절에서는 이동전투망에서 적용될 수 있는 $km\text{CDS}$ 기법 중 대표적인 세 가지 사례, 즉, CGA^[5], ICGA^[6], CSAA^[7]에 대해 시뮬레이션 도구를 사용하여 성능을 분석한다.

Table 1과 같이 설정된 환경에서 각 $k\text{CDS}$ 알고리즘을 사용하여 구성된 가상 백본들의 성능을 비교한다. 실험 환경은 실제 이동전투망을 활용하는 중대급 부대의 부대원 수와 작전 지역 반경을 고려하여 설정하였다. 이동전투망으로의 멀티캐스트 데이터 전달을 담

당하는 k 개의 고정된 게이트웨이 들을 제외한 나머지 이동전술단말들은 작전 지역 내에 무작위로 분포하게 하였다.

Table 1. Simulation environment

변수	설정
노드 분포 영역	1000m × 1000m
신호 반경	250m
노드 수	80 ~ 140개
노드 분포	게이트웨이 및 수신자 노드 : 고정위치 이외의 노드 : 랜덤 분포
시뮬레이터	MATLAB 7.8.0
실험 횟수	각 실험당 30회
실험 PC 사양	CPU clock rate : 2.4GHz

1) 노드 파괴에 대한 네트워크 생존성

이동전투망은 서비스를 제공하는 부대가 수비전을 벌이는 경우 각 부대원들은 자신이 수비할 위치를 고수하여 낮은 이동성을 지닌다. 이러한 경우 노드의 이동성보다는 노드 파괴가 네트워크 위상 변화를 많이 유발하기 때문에 파괴된 노드의 수가 증가하여도 신뢰성 있는 멀티캐스트 데이터 전달을 제공하는 기법이 필요하다. 노드파괴에 따른 생존도를 다음과 같이 정의하자.

$$\text{생존도}(\text{survivability}) = \frac{\text{게이트웨이와 연결을 유지하는 수신자 수}}{\text{총수신자 수}}$$

동일한 수의 노드들이 파괴되었을 때, 보다 높은 생존도를 제공하는 기법이 생존성이라는 관점에서 더 우수하다고 평가할 수 있다^[12]. Fig. 7과 Fig. 8은 100개의 노드들로 구성된 이동전투망에서 각각 k CDS의 k 값을 2와 3으로 설정하여 측정한 네트워크 생존도를 보여준다.

실험 결과를 통해 우리는 $k=2$ 인 경우와 $k=3$ 인 경우 모두 ICGA를 통해 구축된 가상 백본이 높은 생존도를 가지며 CSAA를 통해 구축된 가상 백본이 가장 낮은 생존도를 가짐을 알 수 있다.

Fig. 7. Survivability of k CDS($k=2$)

Fig. 8. Survivability of k CDS($k=3$)

2) 가상 백본 재구성에 따른 복구비용

이동전투망을 구성하는 노드들의 이동성과 잦은 노드 파괴는 네트워크 위상의 빈번한 변화를 가져온다. 이는 가상 백본의 단절 및 일반 노드와 가상 백본 노드와의 거리를 변화시켜 백본으로서의 역할을 충분히 수행하지 못하게 되는 상황을 일으킨다. 이러한 경우, 네트워크 관리를 담당하는 대표 게이트웨이는 k CDS를 재산출하여 가상 백본을 재구성하여야 한다. k CDS가 재산출되는 동안 각 수신자가 겪게 되는 멀티캐스트 데이터의 손실을 최소화 하려면 k CDS를 산출하는 시간이 적게 소요되어야 한다. 각 k CDS 알고리즘들의 복구 비용은 k CDS 산출시간으로 측정하며 복구비용 측정 결과는 Fig. 9와 Fig. 10에 표현되어 있다. 실험

결과를 통해 우리는 CSAA 알고리즘이 다른 알고리즘들에 비해 유리함을 알 수 있다.

Fig. 9. Recovery cost of k -CDS($k=2$)

Fig. 10. Recovery cost of k -CDS($k=3$)

3) 멀티캐스트 데이터 전달 지연 시간

소스로부터 수신자까지의 전송 지연에 영향을 주는 요인은 크게 두 가지로 나누어 볼 수 있다. 첫 번째 요인은 게이트웨이와 수신자간의 최소 홉수(minimum hop count)이며 최소 홉수가 낮을수록 낮은 전송지연을 달성하는데 유리하다고 볼 수 있다.

전송지연에 영향을 주는 두 번째 요인으로는 게이트웨이와 각 수신자를 연결하는 경로 인접도를 들 수 있다. 각 k CDS 노드들은 멀티캐스트 데이터 패킷을 이웃 노드에게 전달할 때 데이터 전송의 기회를 놓고

다른 k CDS 노드들과 경쟁 관계에 놓이게 된다. 이웃 k CDS 노드 수가 많은 노드는 그렇지 않은 노드들에 비해 데이터 패킷을 이웃 노드들에게 전달시 더욱 심한 경쟁을 겪게 된다. 이러한 인접도가 높은 노드는 수신한 패킷을 이웃 노드에게 전달하기까지 더 긴 대기시간을 가져야 한다.

위의 고찰을 통해 게이트웨이에서 각 수신자로 데이터가 전달되는 경로가 짧고 경로를 구성하는 노드들의 가상 백본 상에서의 인접도가 낮을수록 낮은 전송지연을 가짐을 알 수 있다. 하지만 적은 수의 전달자 노드를 통한 게이트웨이-수신자 연결을 제공하는 가상 백본은 작은 반경을 가지면서 동시에 각 k CDS의 노드들로 하여금 높은 인접도를 갖게 할 가능성이 높다. 따라서 가상 백본의 구성에 있어 최소 홉수와 노드 인접도는 대립 관계를 가지고 있다. 이러한 점을 반영한 전송지연 측정은 다음과 같이 이루어진다.

$$\text{전송지연}_{(\text{time units})} = \max_{r^i \in R} \min_{p_j' \in P^i} \left(\sum_{v_k \in p_j' \setminus \{r^i\}} \frac{\deg(v_k)}{2} \right)$$

$$R = \{r \mid r \text{ is a receiver}\}$$

$$P_i = \{p \mid p \text{ is a path from a gateway to } r^i \in R\}$$

Fig. 11과 Fig. 12의 실험 결과를 통해 CGA나 ICGA 보다 CSAA에 의해 구성된 가상 백본을 통해 데이터를 전송할 경우가 비교적 높은 전송지연을 겪게 됨을 알 수 있다.

Fig. 11. Transmission delay of 2CDS

Fig. 12. Transmission delay of 3CDS

5. 결론

본 논문은 서로 다른 특성을 가진 두 개의 네트워크가 결합된 군 하이브리드 네트워크에서 송신자와 수신자간에 각 네트워크의 특성을 고려한 k -연결성을 확보함으로써 신뢰성 있는 멀티캐스팅이 가능하게 하는 과정을 제안하였다. 그리고 기존에 제시된 다수의 k CDS 알고리즘들의 특성을 고찰하고 이를 바탕으로 이동전투망에서의 적합성에 대하여 평가하였다. 향후 연구에서는 이동전투망이 지원하는 중대급 단위부대 내에서도 소대급 부대 단위의 그룹 이동성이 반영된 환경에서의 실험을 통해 어떤 알고리즘이 더 적합한지에 대하여 더욱 자세히 연구할 것이다.

후 기

“본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음”(NIPA-2012-(H0301-12-2003)).

References

[1] E. J. Kim, J. S. Lee, D. K. Kim, “An Architecture Information Assurance Model for TICN(Tactical

Information Communication Network)”, in MITA, pp. 289~292, 2009.

- [2] R. Leung, J. Liu, E. Poon, Ah-Lot. Chan, B. Li., “MP-DSR : A QoS-Aware Multi-Path Dynamic Source Routing Protocol for Wireless Ad-Hoc Networks”, In Proc. of 26th Annual IEEE Conference on Local Computer Networks, pp. 132~141, 2001.
- [3] Z. Xie, H. Leng, Z. Chen, and J. Zhang, “Finding Arc and Vertex-Disjoint Paths in Networks”, In Eighth IEEE International Conference on Dependable, Autonomic and Secure Computing, pp. 539~544, 2009.
- [4] MT. Thai, N. Zhang, R. Tiwari, X. Xu, “On Approximation Algorithms of k -connected m -dominating Sets in Disk Graphs”, Theoretical Computer Science, Vol. 385, No. 1-3, pp. 49~59, May 2007.
- [5] Wu. Y, Wang. F, Thai. MT, Li. Y, “Constructing k -connected m -dominating Sets in Wireless Sensor Networks”, In Military Communications Conference, pp. 1~7, 2007.
- [6] Y. Li, Y. Wu, C. Ai, and R. Beyah, “On the Construction of k -connected m -dominating Sets in Wireless Networks”, Journal of Combinatorial Optimization, Vol. 23, No. 1, pp. 118~139, Apr 2011.
- [7] R. Leung, J. Liu, E. Poon, Ah-Lot. Chan, B. Li., “MP-DSR : A QoS-Aware Multi-Path Dynamic Source Routing Protocol for Wireless Ad-Hoc Networks”, In Local Computer Networks, pp. 132~141, 2001.
- [8] F. Dai, J. Wu, “On Constructing k -connected k -dominating Set in Wireless Ad Hoc and Sensor Networks”, Journal of Parallel and Distributed Computing, Vol. 66, No. 7, pp. 947~958, Jul 2006.
- [9] I. F. Akyildiz, X. Wang, W. Wang, “Wireless Mesh Networks : A Survey,” Computer Networks, Vol. 47 No. 4, pp. 445~487, Mar 2005.
- [10] J. Luo, D. Ye, X. Liu, and M. Fan, “A Survey of Multicast Routing Protocols for Mobile Ad-Hoc Networks”, IEEE Communications Surveys and

Tutorials, Vol. 11, No. 1, pp. 78~91, Jan 2009.

- [11] R. Diestel, Graph Theory, 4th Edition. Heidelberg, Germany : Springer-Verlag, pp. 35~71, 2010.

- [12] P. Heegaard, K. S Trivedi, "Network Survivability Modeling", Computer Networks, Vol. 53, No. 9, pp. 1215~1234, Mar 2009.