

군 전술망의 무선 이동 통신 체계의 통신 범위 중첩을 고려한 채널 할당 기법과 데이터 전달 기법

A Channel Allocation and Data Delivery Scheme Considering Channel Overlapping in Wireless Tactical Networks

신현섭* 채성윤* 강경란* 조영종*
Hyun-Sup Shin Sung-Yoon Chae Kyungran Kang Young-Jong Cho

Abstract

In this paper, we propose a channel allocation algorithm of MSAP(Mobile Subscriber Access Point) and data delivery scheme exploiting the symbol level network coding. The network is comprised of TS(Tactical Switch) as a backbone node, MSAPs, and TMFTs(Tactical Multi-Function Terminal). The TS performs the channel allocation considering the communication range overlapping between the neighboring MSAPs and applies the symbol level network coding, if necessary, depending on the position of the TMFTs. Assuming the number of available antennas of TMFT and MSAP will be extended to two from one, we propose two schemes: single mode and dual mode. Through the simulation, we show that the proposed delivery scheme provides higher delivery ratio and lower delivery delay compared with the legacy store-and-forward scheme.

Keywords : TICN(Tactical Information Communication Network), Tactical Switch, MSAP(Mobile Subscriber Access Point), TMFT(Tactical Multi-Function Terminal), Cooperative Symbol Level Network Coding

1. 서론

기존에는 부대가 작전 지역에 도착하여 지휘소와 예하부대 간에 유·무선을 가설하여 통신을 개소하였는데 이 때문에 많은 설치 시간이 소요되었다. 이 시간 동안에는 부대 간 통신이 무전기에만 의존하게 되므로 통신 기능이 제한되는 현상이 초래된다. 이를 보

완하고자 육군에서는 차세대 전술정보통신체계^[9] 중 무선 이동통신체계인 MSAP(Mobile Subscriber Access Point)을 개발하고 있다.

MSAP을 적용하게 되면, 작전 지역에 도착하자마자 무선망 연결 장치를 이용하여 MSAP을 설치하고 즉시 지휘소와 예하 부대 간에 TMFT(Tactical Multi-Function Terminal)를 이용하면 무선 통신이 가능하게 되어 효과적인 작전수행이 가능하게 된다. 그러나, 작전 지역에 여러 부대들이 집중하게 되면 인접한 MSAP들이 서로 동일한 채널을 할당받게 되는 경우가 발생할 수 있다. 이렇게 되면 동일한 채널이 할당된 MSAP들의

† 2011년 3월 21일 접수~2011년 5월 13일 게재승인

* 아주대학교(Ajou University)

책임저자 : 강경란(korykang@ajou.ac.kr)

신호 범위가 중첩되는 지역(이하 ‘채널 중첩 지역’)에 위치하는 TMFT들은 신호의 간섭 현상에 의해서 데이터 수신시에 장애가 발생할 확률이 높아진다. 이러한 문제 상황을 극복하는 방안으로 MSAP의 통신 범위인 셀 크기를 조절하여 채널 중첩 현상을 해소하기 위한 방안이 제시되고 있다. 그러나, 셀의 크기를 작게 조절한 MSAP은 신호의 세기가 약화되어 자체 셀 내의 TMFT의 데이터 전달 시에 데이터 오류가 발생할 확률이 높아진다.

본 논문에서는 인접한 MSAP들이 서로 동일한 채널을 할당받는 경우를 최소화하기 위한 채널 할당 기법을 제안한다. 이 때, TMFT와 MSAP 간의 통신을 위한 안테나의 수를 이미 계획된 1개인 경우에 대한 채널 할당 기법을 제안하며, 추후 체계가 확장될 것을 고려하여 가용 안테나의 수가 2개인 경우에 대한 채널 할당 기법을 제안한다. 이러한 채널 할당 기법을 적용함에도 불구하고, 가용 채널이 제한되어 있으므로 인접 MSAP들이 동일한 채널을 할당받는 경우가 발생하게 된다. 이 경우, 동일한 채널이 할당된 MSAP들의 채널 중첩 지역에 위치하는 TMFT들에게 데이터를 전송할 때, 해당 MSAP들이 협조하여 심볼 단계의 네트워크 코딩 기법^[7]을 적용함으로써 간섭으로 인해 발생하는 오류의 효과를 최소화할 수 있는 방안을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 본 연구의 배경이 되는 기존 연구들을 소개하고, 3절에서는 본 연구에서 제안하는 채널 할당기법과 데이터 전달 기법에 대해 설명을 하고, 4절에서는 시뮬레이션 및 분석 결과를 기술한다. 5절에서 본 연구를 요약하고 앞으로의 연구 방향을 제시하며 본 논문을 마친다.

2. 관련 연구

가. 네트워크 코딩

네트워크 코딩^[1-4]은 패킷을 발생하는 소스 노드와 패킷을 수신하는 목적 노드 간의 경로 상에 존재하는 중간 노드에서 패킷을 인코딩하여 전송하는 기법이다. 패킷 교환의 횟수를 줄임으로써 네트워크 전송 효율성을 향상시킨다는 장점이 있다. 중간 노드에서 패킷이 인코딩되고, 목적 노드는 받고자 하는 패킷의 개수만큼의 유효한(innovative) 패킷을 수신하면 원래의 패킷으로 복원이 가능하다. 네트워크 코딩은 중간 노드에서 XOR 등과 같은 간단한 연산을 사용해서 기존의

‘저장-전달 방식(store-and-forward)’보다 높은 전송 효율을 보이기 때문에 현재 데이터 전달 기법으로서 많은 주목을 받고 있다.

나. 부분적 패킷 복구

부분적 패킷 복구 방법^[5]은 패킷 전송 시에 주변 환경의 간섭과 노이즈로 인하여 패킷에 오류가 발생하는 경우 패킷 전체를 재전송하는 것이 아니라 오류가 발생한 일부분만을 재전송하는 기법이다.

물리계층에서 단순히 수신된 비트들을 MAC 계층으로 전달하는 것이 아니라 수신된 비트의 정확도를 판단하여 이를 수신된 비트들과 함께 MAC 계층으로 전달한다. MAC 계층에서는 이러한 물리 계층의 정보에 근거하여 송신자에게 패킷 내에서 오류가 발생한 심볼 목록을 통지하고 송신자는 통지된 심볼들에 대해서만 재전송한다.

본 논문에서는 재전송 기법보다는 심볼 단계의 네트워크 코딩 기법을 적용하므로, 수신된 심볼의 오류 여부를 판단하기 위해 SoftPHY 기법을 활용한다.

다. 무선 메시 네트워크를 위한 심볼 단계의 네트워크 코딩 기법

MIXIT^[6]은 무선 메시 네트워크의 메시 라우터들에서 수행되는 네트워크 코딩 기법이다. 앞서 기술한 SoftPHY 힌트를 사용하여 수신된 패킷의 심볼 단위의 오류 여부를 확인하고 오류가 없는 심볼들에 대해서만 랜덤 선형 네트워크 코딩 기법^[4]을 적용하여 패킷을 생성하고 이를 다음 라우터 혹은 수신자에게 전달한다. 이 때 해당 패킷을 수신한 노드에서 어느 패킷의 어느 심볼들에 대해 네트워크 코딩이 적용된 것인지 인지할 수 있도록 헤더를 추가해야 한다. 이 때, 헤더의 길이를 최소화하기 위해 반복 길이 부호화(run length encoding) 방법을 사용한다.

MIXIT은 서로 다른 패킷들의 심볼들에 대해 네트워크 코딩을 적용하는 반면, 본 논문에서 제시하는 방법은 하나의 패킷 내의 심볼들에 대해 네트워크 코딩을 적용한다.

라. 기지국 간의 협조를 기반으로 한 심볼 단계 네트워크 코딩

Drizzle^[7]은 MIXIT을 참고로 하여 무선 메시 네트워크에서 서로 다른 기지국들의 셀이 중첩되는 영역에 위치하는 무선 단말의 데이터 수신 효율을 향상시키

기 위한 방안으로 제안되었다. 해당 기지국들에서는 단말에게 전송되어야 할 패킷을 심볼들의 집합인 블록 단위로 네트워크 코딩해서 전송한다. 수신 단말은 SoftPHY 힌트를 활용하여 오류가 있는 블록들을 구별해내고 이에 대해서는 재전송을 요청하고, 오류가 없는 블록의 수가 일정 양 이상 수신하게 되면 이들을 활용해서 원 패킷을 복원할 수 있다.

본 논문에서는 이와 유사하게, MSAP들이 상호 협동하여 채널 중첩 영역에 위치한 TMFT들에게 전송할 패킷을 심볼 단위로 네트워크 코딩하여 전달한다. 채널이 동일하여 간섭 등으로 인해 오류가 발생할 확률은 높으나 수신되는 데이터의 양이 많으므로 데이터 복원에 활용할 수 있는 심볼의 양도 증가하게 되는 효과를 활용한다.

3. 본론

가. 개요

기존의 전술정보통신체계는 소용량의 음성 위주의 통신지원을 하였으나 점차 성공적인 작전 수행을 위해 다양한 형식의 정보를 전송할 수 있는 대용량의 전술정보통신체계의 필요성이 대두되었다. 이에 따라서 차세대 전술정보통신체계는 기반 노드들이 격자형 구조를 가지고 수십 km 간격을 두고 위치하여 각 노드 간에 트렁크 연결을 맺는다. MSAP은 Fig. 1에서 볼 수 있는 바와 같이, 기반 노드와 TMFT를 연결하는 중계소 역할을 수행한다. 무선망 연결 장치로 기반 노드에 접속하여 각 부대 내 혹은 부대 간 통신이 이루어질 수 있도록 지원한다.

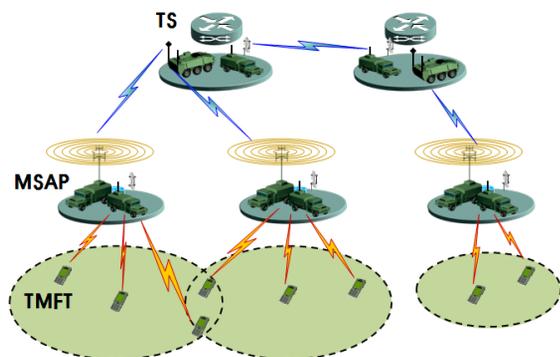


Fig. 1. Hierarchical structure of the next generation tactical network with TSs, MSAPs and TMFTs

기반 노드에 설치된 전술 스위치(tactical switch, 이하 TS)는 자신의 관할 하에 있는 MSAP의 채널을 할당하는 역할을 수행하며, MSAP으로부터 TMFT 위치를 보고받아 모든 TMFT의 위치 정보도 알고 있다고 가정한다. 이러한 정보를 바탕으로, 기반 노드로부터 TMFT로 전달되는 데이터들은 TS를 거쳐서 해당 MSAP으로 전달되며, TS에서 패킷 전달 스케줄링을 수행하고 네트워크 코딩 적용 여부를 판단한다.

MSAP은 부대 단위로 할당되는 통신 체계이므로 작전 지역에 여러 부대들이 밀집하게 되면 MSAP들의 통신 범위가 중첩되어 통신상의 오류가 증가하게 된다. 본 논문에서는 MSAP들의 채널 중첩 지역을 최소화하기 위한 TS의 MSAP 채널 할당기법을 제시한다. 또한, 채널 중첩 지역에 위치한 TMFT로의 데이터 전달 시에 발생하는 오류의 효과를 완화시키기 위한 TS의 데이터 전달 기법도 본 논문에서 제시한다.

현재 계획된 바로는 TMFT와 MSAP이 한 개의 안테나를 갖추고 있으나 추후 두 개로 확대될 수 있을 것을 고려하여, 안테나가 한 개인 경우(싱글 모드)와 안테나가 두 개인 경우(듀얼 모드)의 채널 할당 기법과 데이터 전달 기법을 각각 제시한다. 싱글 모드는 각 MSAP에게 하나의 채널을 할당하며, 이 채널을 사용해서 통신 범위 내 TMFT에게 데이터를 전달하도록 한다. 듀얼 모드에서는 모든 MSAP에게 ‘주 채널(master channel)’을 할당하고, 타 MSAP과 채널 중첩 지역이 발생하는 MSAP들에 대해서는 채널 중첩 지역에 위치한 TMFT의 데이터 전달을 위해 ‘부 채널(slave channel)’을 추가로 할당한다.

나. 싱글 모드의 채널 할당 및 데이터 전달

싱글 모드에서의 채널 할당 알고리즘은 다음과 같다. 신규 MSAP이 TS에 접속하게 되면, TS는 가용한 채널을 검색하여 할당한다. 가용한 채널이 없다면 이미 할당된 채널 중에서 신규 MSAP의 채널 중첩 지역이 가장 작은 MSAP의 채널을 신규 MSAP에게 할당한다. 이것은 중첩이 발생하는 MSAP과의 거리가 먼 MSAP의 채널을 선택해야만 데이터 전달 시에 발생하는 오류를 최소화 할 수 있기 때문이다. 위와 같이 TS와 연결된 모든 MSAP에게 채널을 할당될 때까지 반복한다.

Fig. 2의 예에서 $M_X(f_i)$ 는 X 번째 MSAP에게 할당된 채널이 f_i 라는 것을 뜻한다. 가용 채널의 수가 3개인 상황에서, 신규 TS에 접속된 M_N 과 기 접속된 M_A, M_B ,

M_C 와의 거리를 비교하여 가장 거리가 먼 M_A 에게 할당된 채널을 M_N 에게 할당한다. M_A 와 M_N 에 같은 채널이 할당되어 Fig. 2의 실선이 겹쳐지는 부분에 위치하는 T_{A2} 와 T_{N1} 은 채널 간섭으로 인해 정상적인 통신을 하기 어렵게 된다.

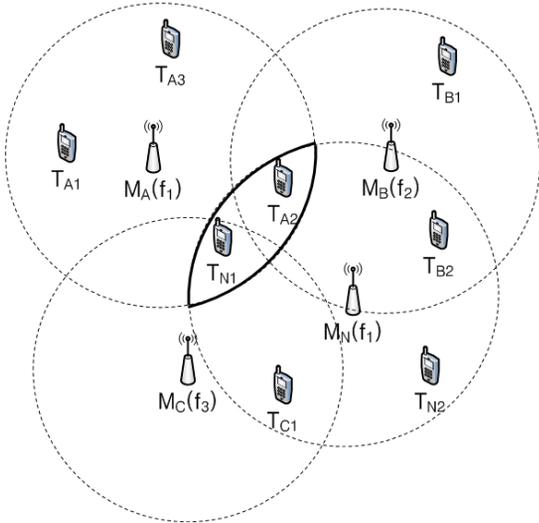


Fig. 2. Example of the single-mode channel allocation (The TMFT T_{ai} means that it is served by M_a . $M_B(f_2)$ means that the channel f_2 is allocated to MSAP M_B . The channel overlapping area is marked with the bold line)

채널이 할당되고 난 후, TS는 Fig. 3에 제시된 바와 같이 TMFT의 위치 정보에 근거하여 데이터 전달 방법을 결정한다. 채널 중첩 지역이 아닌 곳에 위치한 T_{A1} , T_{A3} , T_{B1} , T_{B2} , T_{C1} , T_{N2} 에게 전달되어야 할 패킷들은 원 패킷을 해당 TMFT를 지원하는 MSAP에게 각각 전달한다. 채널 중첩 지역에 위치한 T_{A2} , T_{N1} 에게 전달되어야 할 패킷들에 대해서는 각 패킷을 심볼 단위로 구분하고 이를 네트워크 코딩하여 패킷을 새로 생성한다.

TS에서 수행하는 심볼 단계 네트워크 코딩 기법은 Fig. 4에 제시되어 있다. n 개의 패킷을 블록으로 묶고 각 패킷을 m 개의 심볼로 구분하여, 총 $n \times m$ 개의 심볼들에 대해 랜덤 선형 네트워크 코딩 기법을 적용하여 다시 n 개의 패킷을 생성한다. 해당 TMFT를 통신 범위에 두고 있는 MSAP들에게 서로 다른 계수들을 적용하여 패킷을 생성한다.

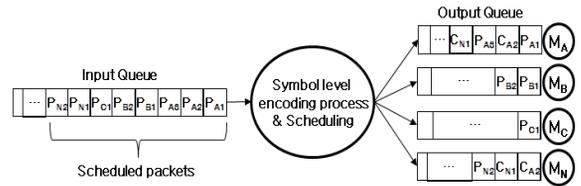


Fig. 3. Packet processing at TS in the single-mode delivery scheme (P_i is the packet destined to the TMFT i and C_j is the network coded packet destined to the TMFT j .)

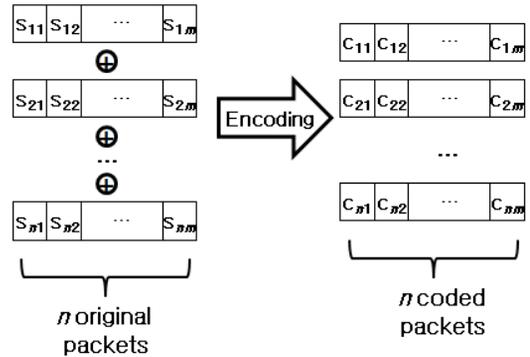


Fig. 4. Symbol level encoding process (Each of n packets is divided into m symbols and the corresponding n symbols are linearly XORed to generate a new symbol for the coded packet)

각 TMFT는, Fig. 5에 제시된 바와 같이, MSAP으로부터 수신한 패킷에 대해서 SoftPHY 힌트를 활용하여 오류가 없는 심볼들을 구별하고 이를 버퍼에 저장하고 있다가 오류가 없는 심볼이 $n \times m$ 개가 되면 디코딩을 수행하여 n 개의 원 패킷을 복원한다. 두 개의 MSAP으로부터 데이터를 수신하는 것이므로 $n \times m$ 개의 오류 없는 심볼을 확보할 확률은 충분히 크다고 할 수 있다. 본 논문에서는 오류 없는 심볼의 수가 부족해서 원 패킷이 복구되지 못하는 상황에 대한 복구는 상위 계층 프로토콜에서 담당하는 것으로 가정한다.

TS에서 각 MSAP에게 TMFT에게 전달한 패킷을 해당 출력 큐(output queue)에 스케줄링할 때, 입력 큐(input queue)에 도착한 순서대로 처리한다. Fig. 3의 예에서 보면, M_A 의 출력 큐의 선두의 세 개의 패킷들은 M_A 의 지원 하에 있는 TMFT가 수신자이고, 네 번째 패킷은 채널 중첩 지역에 위치한 M_N 의 지원 하에 있는 TMFT가 수신자이다.

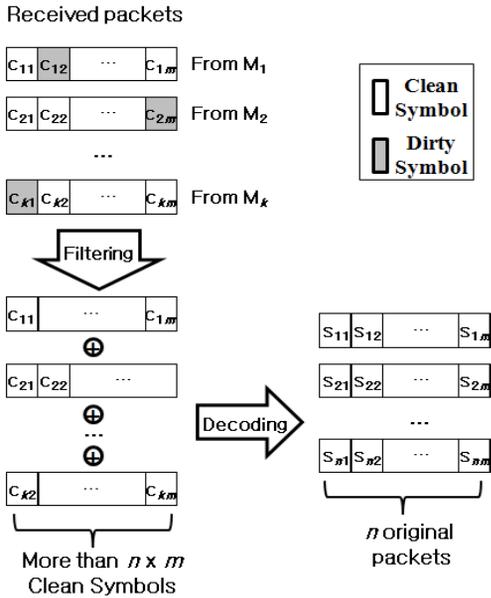


Fig. 5. Symbol level decoding process(Using the SoftPHY hint, the receiver collects the clean symbols and decodes the $n \times m$ innovative clean symbols to get the n original packets)

다. 듀얼 모드의 채널 할당 및 데이터 전달

TMFT의 안테나가 두 개인 경우, MSAP들의 채널 중첩 영역에 속하는 TMFT는 각 안테나마다 서로 다른 채널을 사용하여 데이터를 수신할 수 있다. 따라서, TS는 채널 중첩 지역을 갖는 MSAP들에게 주 채널과 부 채널을 할당하여, 주 채널은 채널 중첩 지역이 아닌 곳에 위치한 TMFT들에게 데이터를 전달할 때 사용하고, 부 채널은 채널 중첩 지역에 위치한 TMFT들에게 데이터를 전달할 때 사용하도록 한다.

주 채널을 할당하는 방법은 싱글 모드와 동일하다. 부 채널 할당은 타 MSAP과 채널 중첩 지역이 발생하는 경우에만 새로 접속한 MSAP부터 이루어진다. 신규 MSAP에게 할당된 주 채널과 다른 채널을 주 채널로 하고 있는 MSAP 중에서 채널 중첩 지역이 제일 작은 MSAP의 주 채널을 신규 MSAP의 부 채널로 할당한다. 신규 MSAP의 부 채널 할당으로 인해 채널 중첩 지역이 발생하는 MSAP에 대해 신규 MSAP의 경우와 마찬가지로 기준을 적용하여 부 채널을 할당한다. 그래서, 더 이상 채널 중첩 지역이 발생하지 않거나 모든 MSAP에게 부 채널이 할당될 때까지 부 채널 할당 과정을 반복한다.

Fig. 6의 예에서 보면, 신규 MSAP인 M_N 에게 싱글 모드의 경우와 마찬가지로 주 채널로 f_1 을 할당하고, 가용 채널 중에서 f_1 을 제외한 f_2 와 f_3 를 사용하는 MSAP 중에서 채널 중첩 지역이 제일 작은 M_C 의 주 채널인 f_3 를 부 채널로 할당한다. 이후에 M_N 과 가장 거리가 먼 M_A 부터 부채널을 할당하게 되는데 자신의 주파수 f_1 을 제외하고 f_2 와 f_3 중에서 할당을 해야 하는데, M_A 와 가장 거리가 먼 M_C 의 주 채널을 할당한다.

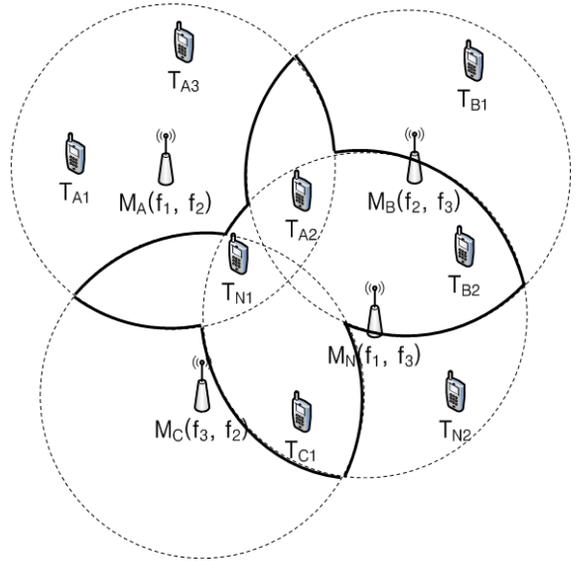


Fig. 6. Example of the dual-mode channel allocation ($M_B(f_2, f_3)$ means that f_2 and f_3 are the master and the slave channel allocated to MSAP M_B , respectively. The channel overlapping area is marked with the bold line.)

MSAP들에 대한 주 채널과 부 채널의 채널 할당이 완료되고 나면 TMFT들에게도 안테나의 수신 채널을 설정하기 위해 채널 할당 정보가 전달된다. 비 중첩 지역에 위치한 TMFT는 자신을 지원하는 MSAP의 주 채널을 수신 채널로 설정하게 되고, 중첩 지역에 위치한 TMFT는 채널 중첩이 발생하는 MSAP들의 부 채널들을 자신의 수신 채널로 설정하게 된다.

Fig. 6의 예를 보면, T_{A1} 과 T_{A3} 는 비 중첩 지역에 위치하므로 M_A 의 주 채널인 f_1 을 수신 채널로 설정하면 된다. T_{A2} 의 경우는 두 개의 안테나를 사용하게 되며, M_A 의 부 채널 f_2 와 M_A 의 주 채널과 채널 중첩이 발생한 M_N 의 부 채널 f_3 를 각 안테나의 수신 채널로 설정

한다.

듀얼 모드에서 TS의 데이터 패킷 생성은 싱글 모드와 동일하다. 차이점은, 듀얼 모드는 MSAP에게 전달하는 패킷의 헤더에, 해당 TMFT에게 데이터를 전달할 때 사용해야 하는 채널을 표시한다는 점이다. MSAP은 단순히 데이터 전달 기능만 수행하므로 이러한 채널 정보도 TS에서 판단한다. 이를 수신한 MSAP은 패킷에 명시된 채널을 사용하여 패킷을 전달한다. 예를 들어, Fig. 6의 M_N 의 경우, T_{N2} 에게는 주 채널 f_1 을 사용해서 데이터를 전달하고, 채널 중첩 지역에 속하는 T_{N1} , T_{A2} , T_{B2} , T_{C1} 에게는 부 채널 f_2 를 사용하여 데이터를 전달한다.

4. 성능 분석

가. 성능 분석 환경

성능 분석은 자체 개발된 시뮬레이션 코드를 사용하여 수행되었으며 네트워크 환경은 Table 1에 기술되어 있는 바와 같다. 네트워크의 크기는 실제 전장 환경의 작전 반경인 30km × 30km로 설정하였다. MSAP의 수를 최소 4에서 최대 12까지 증가시키면서 정해진 위치에 분포시켰고, TMFT는 랜덤하게 분포하고 MSAP당 TMFT의 수는 30과 60으로 설정하였다. MSAP과 TMFT간의 무선 액세스 기술은 IEEE 802.16e를 사용하였으며, 무선 채널의 Path-loss 모델은 야전환경에 적합한 Stanford B 모델^[11]을 적용하였다. 데이터 통신은 기반노드로부터 TMFT로 전달되는 경우만을 고려하였다.

데이터 전달 기법의 성능을 ‘평균 블록 수신율’과 ‘평균 블록 수신 지연 시간’의 관점에서 분석한다. 데이터 전달 기법으로는, 본 논문에서 제시하는 싱글 모드 기법과 듀얼 모드 기법 간의 성능 비교 외에 채널 할당은 싱글 모드와 동일하게 하고 데이터 전달 시에 네트워크 코딩을 적용하지 않은 기법(이하 ‘기존 전달 기법’)과의 성능과의 비교도 병행한다.

- 평균 블록 수신율(average block delivery ratio) : MSAP에서 전송된 블록 대비 수신된 블록으로 측정된다. $TMFT_i$ 로 전송되는 전체 블록의 수를 N_i 라 하고, $N(TMFT_i)$ 를 $TMFT_i$ 에서 실제로 수신 성공한 블록 수이다. 전체 TMFT의 수를 M 이라 할 때, 평균 수신율을 다음과 같이 정의한다.

$$\frac{\sum_{i=1}^M N(TMFT_i)}{\sum_{i=1}^M N_i}$$

- 평균 블록 수신 지연 시간(average block delivery delay) : MSAP에서 TMFT로 전송한 블록을 수신 완료하기까지 걸리는 시간을 측정한다. 평균 블록 수신 지연 시간을 다음과 같이 정의한다.

$$\frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^{N(TMFT_i)} D_i(j)}{\sum_{i=1}^M N(TMFT_i)}$$

$D_i(j)$ 는 $TMFT_i$ 에서 성공적으로 수신한 j 번째 블록의 지연 시간이고, 이것은 블록의 첫 번째 패킷이 전송된 시간에서부터 마지막 패킷이 수신되기까지 걸린 시간으로 측정된다.

Table 1. Simulation Environment

환경 변수	값
네트워크 크기	30km × 30km
MSAP 수	4 ~ 12
MSAP의 무선 신호 범위	최대 10km
MAC 계층 프로토콜	IEEE 802.16e
Path-loss model	Stanford B
채널 대역폭	10MHz
TDD frame duration	5ms
중첩지역 SNR	0dB
가용 채널 수	3
부호화 방식	QPSK rate 1/2
MSAP 당 TMFT 수	30, 60
블록 크기	3 패킷
패킷 크기	5 심볼
심볼 크기	2 비트

나. 성능 분석 결과

Fig. 7은 총 MSAP의 수를 4에서 12까지 증가시키면서 측정된 평균 블록 수신율을 나타내고 있다. 싱글 모드와 기존 기법은 MSAP 수가 증가함에 따라 MSAP 수가 증가함에 따라 채널 중첩 지역이 많아지기 때문에 점차적으로 수신율이 떨어진다. 그러나, 싱글 모드는 네트워크 코딩 기법을 사용하여 MSAP들이 협조함으로써 기존 기법에 비해 높은 수신율을 유지한다. 그리고, MSAP 수가 증가함에 따른 수신율의 감소 비율이 기존 기법에 비해 낮은 것을 확인할 수 있다.

듀얼 모드의 경우, MSAP에서 2개의 무선 채널을 동시에 사용하기 때문에, Fig. 6과 Fig. 2에서 볼 수 있는 바와 같이 싱글 모드보다 채널 중첩 지역이 더 많이 발생하게 되어 수신율은 낮아진다. 그런데, MSAP 수가 지속적으로 증가하게 되면 MSAP 증가에 비해 평균 블록 수신율이 일정값을 유지하는 것을 볼 수 있다. 이는, MSAP의 수가 일정값을 넘어서게 되면 (Fig. 7에서는 8 이상으로 증가하게 되면) 중첩 지역이 더 이상 증가하지 않게 되므로 싱글 모드의 경우처럼 중첩 지역 증가에 따른 수신율 저하 효과가 발생하지 않는다.

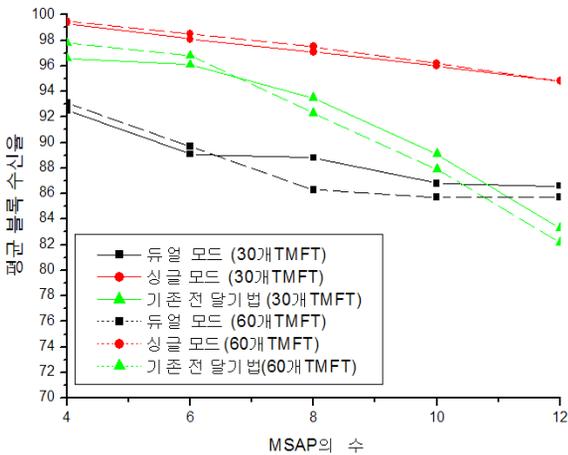


Fig. 7. Average block delivery ratio

Fig. 8은 채널 중첩 지역에 위치한 TMFT의 평균 블록 수신율을 나타낸 그래프이다. 듀얼 모드와 싱글 모드는 약 56%, 네트워크 코딩을 적용하지 않는 방법은 약 46%의 성공 수신율을 보여, 네트워크 코딩을 적용한 경우와 그렇지 않은 경우에 대해 약 10%의 성능 차이를 보이고 있다.

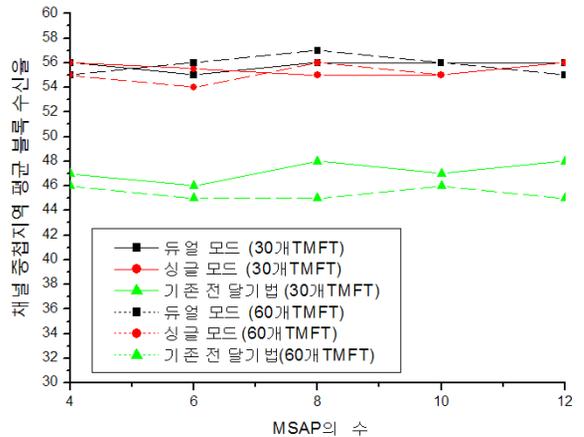


Fig. 8. Average block delivery ratio in the channel overlapping area

Fig. 9는 총 MSAP 수의 증가에 따른 TMFT의 평균 블록 수신 지연 시간을 나타내고 있다. 기존의 전송 기법은 MSAP 이하의 TMFT만 데이터를 전달하지만 싱글 모드나 듀얼 모드 모두 채널 중첩 지역에 있는 타 MSAP의 TMFT에게도 데이터를 전달해 주어야 하기 때문에, MSAP수 증가에 따라서 듀얼 모드와 싱글 모드의 블록 전달 지연 시간이 기존 기법에 비해 길게 나타난다.

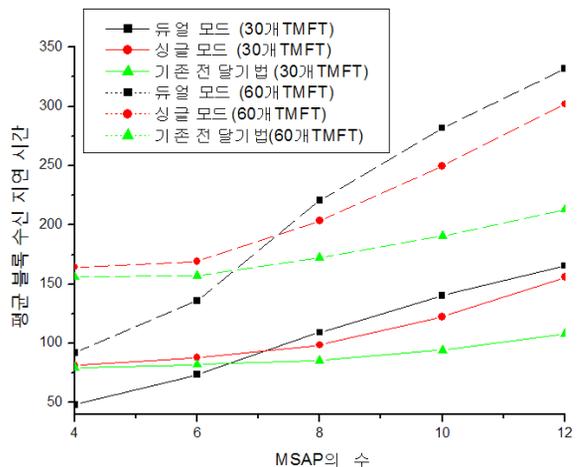


Fig. 9. Average block delivery delay

Fig. 9에서 MSAP의 수가 8보다 작은 경우에는 듀얼 모드의 평균 블록 지연 시간이 기존 기법이나 싱글 모드에 비해 작게 나타나다가, MSAP의 수가 8 이상으로

증가하게 되면 오히려 타 기법보다 커지는 것을 볼 수 있다. MSAP이 적을 때는 채널 중첩 지역과 비 중첩 지역이 공존하므로, 듀얼 모드의 경우, MSAP이 각 지역을 위한 두 개의 채널을 모두 사용하여 데이터를 전달하는 것이 가능하므로 듀얼 모드가 싱글 모드보다 작은 지연 시간을 보일 수 있다. 그러나, MSAP 수가 증가하게 되면 비 중첩 지역은 사라지고 대부분이 채널 중첩 지역이 되므로 MSAP이 부 채널만을 사용해서 데이터를 전달해야 하므로 지연 시간이 증가하게 된다. 싱글 모드에 비해 지원해야 할 중첩 지역에 위치한 타 MSAP의 수가 많으므로 싱글 모드보다 지연 시간이 증가하게 된다.

5. 결론

본 논문에서는 인접한 MSAP들이 서로 동일한 채널을 할당받는 경우를 최소화하기 위한 채널 할당 기법을 제안하고, 데이터 전송에 있어서는 채널 중첩 지역에 위치한 TMFT로의 데이터 전달 효율을 높이기 위한 심볼 단계의 네트워크 코딩 기법을 적용하며 MSAP들 간의 협조 기법을 제시한다. 시뮬레이션을 통해, 중첩 지역에서의 블록 수신율과 전달 지연 시간에서 기존 기법에 비해 이득을 볼 수 있다는 것을 입증하였으며, MSAP 수에 따라 듀얼 모드와 싱글 모드의 이점이 다르게 나타난다는 것을 확인할 수 있었다.

차세대 전송 네트워크가 개발 단계에 있는 현 시점에서 본 연구는 실 체계 적용 환경을 고려하여 데이터 전달 효율을 향상시키기 위한 방안을 분석 평가해 보았다는 점에서 큰 의의가 있다고 하겠다. 차후 시뮬레이션에서 발견된 싱글 모드와 듀얼 모드의 이점 차이를 반영하여 채널 중첩 지역의 분포에 따라 적절한 전송 모드를 선택 적용하는 방안에 대한 연구를 진행할 것이다.

후 기

본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (NIPA-2011-(C1090-1121-0011))

References

- [1] R. Ahlswede, N. Cai, S.-Y. Li, and R. Yeung, "Network Information Flow", IEEE Transactions on Information Theory, Vol. 46, No. 4, Jul. 2000.
- [2] R. Koetter and M. Medard, "An Algebraic Approach to Network Coding", IEEE/ACM Transactions on Networking, Vol. 11, Oct. 2003.
- [3] S. Katti, H. Rahul, W. Hu, D. Katabi, M. Medard and J. Crowcroft, "XORs in the Air : Practical Wireless Network Coding", ACM SIGCOMM, Oct. 2006.
- [4] T. Ho, M. Medard, R. Koetter, M. Effros, J. Shi, and B. Leong, "A Random Linear Network Coding Approach to Multicast", IEEE Transactions on Information Theory, Vol. 52, No. 10, Oct. 2006.
- [5] Kyle Jamieson and Hari Balakrishnan, "PPR : Partial Packet Recovery for Wireless Networks", SIGCOMM, Aug. 2007.
- [6] Sachin katti, Dina Katabi, Hari Balakrishnan, and Muriel Medard, "Symbol-level Network Coding for Wireless Mesh Networks", SIGCOMM, Aug. 2008.
- [7] Ronny Yongho Kim, Jin Jin, and Baochun Li, "Drizzle : Cooperative Symbol Level Network Coding in Multi-Channel Wireless Networks", IEEE Transaction on Vehicular Technology, Jan. 2010.
- [8] Jian Zhang, Yuanzhu Peter Chen and Ivan Marsic, "MAC-layer Proactive Mixing for Network Coding in Multi-hop Wireless Networks", The International Journal of Computer and Telecommunications Networking, Feb. 2010.
- [9] Kiran T. Nath, Dongmyoung Kim, and Sunghyun Choi, "Association Control Based Load Balancing for Tactical Information Communication Networks", IEEE VTC 2010 Spring, May 2010.
- [10] IEEE 802.16 Broadband Wireless Access Working Group, Mobile System and Proposal Evaluation Requirements, PE9. <http://ieee802.org/16>
- [11] IEEE 802.16 Broadband Wireless Access Working Group, Channel Models for Fixed Wireless Applications, Suburban Path Loss Model. <http://ieee802.org/16>