

항재밍 능력 향상을 위한 위성 MF-TDMA 제어 채널 주파수 도약 알고리즘

이진석*, 노홍준**, 이윤성**, 임재성**

*아주대학교 소프트웨어융합학과, **아주대학교 컴퓨터공학과

e-mail : {yangachy, nonoboy, majjang89, jaslim}@ajou.ac.kr

Control Channel Frequency Hopping for Satellite MF-TDMA to Improve Anti-jamming Capability

Jin-Seok Lee, Hong-Jun Noh, Yun-Seong Lee, Jae-Sung Lim
Ajou University

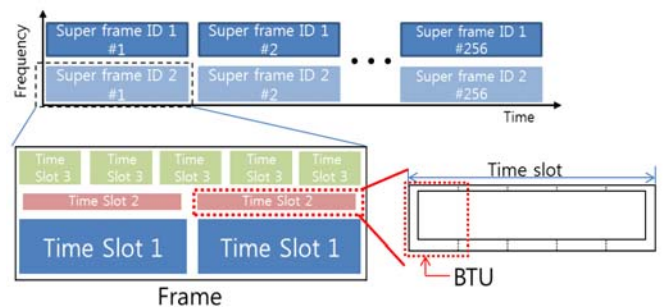
요 약

DVB-S2/RCS (Digital Video Broadcasting – Satellite/Return Channel via Satellite)는 위성 방송 및 데이터 통신을 위한 표준으로서 높은 통신 품질 및 향상된 위성 자원 이용을 위해 수립되었다. DVB-RCS의 MF-TDMA (Multi-Frequency Time Division Multiple Access)는 동적인 자원할당이 가능하며, 이에 따라 통신 요구 사항이 증가하는 군 위성 통신 체계로의 적용 연구가 활발하게 진행 중이다. 그러나 기존 MF-TDMA 위성 통신은 군 통신에 필수적인 항재밍에 대한 고려가 부족한 실정이다. 부분대역 재밍시, 다수의 RCST (Return Channel Satellite Terminal)에 통신 저하를 초래할 수 있으며, 망 자원을 관리하는 제어 채널의 재밍으로 다수 RCST의 채널 탈퇴를 초래할 가능성이 있다. 본 논문에서는 부분대역 재밍시 RCST의 통신 저하를 최소화하며, 제어 채널 재밍으로 인한 다수 RCST의 채널 탈퇴를 예방하는 자원할당 알고리즘을 제안한다. 제안 기법은 다양한 대역폭을 지원하는 MF-TDMA에 적용 가능함으로써 다양한 장비가 혼재하는 군사 환경에 매우 적합하다. 시뮬레이션을 통해 제어 채널의 재밍 확률과, RCST의 자원할당 효율을 기존 자원할당 알고리즘과 비교하였으며, 제안한 알고리즘이 우수한 성능을 보임을 확인하였다.

1. 서론

최근 미래전 상황에서 전략적 우위를 점유하기 위한 방안으로 NCW (Network Centric Warfare)가 대두되었다. NCW에서 군 위성은 지상의 군사통신망이 갖추어지지 않은 전장이나, 전신 통신망이 파괴된 상황에서 실시간 양방향 통신을 지원할 수 있는 수단으로서 중요성이 부각되고 있다. 특히 상용 표준인 DVB-RCS 표준 [1]의 수립으로 위성을 통해 높은 통신 품질과 효율적인 위성 자원 이용이 가능해짐에 따라 군 위성에도 DVB-RCS [1] 표준을 적용하려는 연구가 활발하게 진행 중이다.

DVB-RCS는 위성 주파수 효율의 향상을 위해 MF-TDMA를 사용한다. MF-TDMA [2]는 (그림 1)과 같이 슈퍼 프레임 (superframe), 프레임 (frame), 타임슬롯 (time slot)의 계층적인 프레임 구조를 가진다. DVB-RCS는 슈퍼 프레임마다 새롭게 자원을 할당하며, 자원할당은 프레임 내부에 타임슬롯의 위치 및 크기로 결정된다. 자원할당의 기본 단위는 BTU (Bandwidth Time Unit)이며, 따라서 각 타임슬롯은 복수 개의 BTU로 구성된다. 이를 통해 MF-TDMA는 단말의 자원 요청에 따라 동적으로 자원할당이 가능하다.



(그림 1) MF-TDMA의 계층적 프레임구조와 BTU

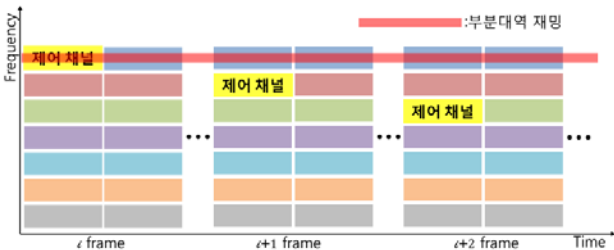
기존 MF-TDMA 자원할당 기법은 자원의 효율성에 초점이 맞추어져 있으며, 최근에는 하드웨어 성능을 고려한 RCP (Reserve Channel with Priority) fit [3]이 제안되었다. RCP fit은 높은 통신 성능을 나타내나, 군 통신 환경에서의 가변 대역폭 [3]을 고려하지 못하였다. 또한 작전 환경에서 수시로 발생할 수 있는 통신 재밍에 대한 고려가 전혀 되지 않은 상황이다. 따라서 본 논문에서는 가변 대역폭과 재밍을 함께 고려한 제어 채널 도약 및 자원할당 기법을 제안한다.

2. 관련연구

2.1 가변 대역폭 지원 MF-TDMA 자원할당 기법[5]
 군 환경에서 위성 단말의 하드웨어 재원은 작전 제대에 따라 상이하하며, 지원하는 대역폭의 크기도 서로 상이하다. 기존 MF-TDMA 를 위한 자원할당 기법들은 주로 단일 대역폭을 가진 단말들을 가정한 알고리즘을 제공하였다. [5]에서는 군 환경을 고려하여 가변 대역폭을 가진 위성 단말들이 혼재하는 환경에서의 자원할당 기법을 제안하였다. 즉, MF-TDMA 자원할당의 기본 단위인 BTU 를 기반으로 자원할당 및 계산을 하는 방법을 제안하였다. 이에 따라 기존 단일 대역폭 환경에서 적용되던 자원할당 기법을 가변 대역폭 환경에서도 적용이 가능하게 되었다. 그러나 [5]에서는 군 통신에서 필수적인 항재밍 능력에 대한 고려가 되지 않아, 작전 환경에서 망의 생존성을 보장하기 어렵다.

2.2 비의도적 채널탈퇴 예방 기법[6]

위성 통신에서는 채널상태가 낮으므로 제어 채널이 프레임 내의 같은 위치에 반복하여 위치하게 된다. 이러한 위성 통신 상황에서는 부분대역 재밍시 연속된 제어 채널 재밍이 가능하며, 이로 인해 RCST 의 채널 로그아웃을 초래할 수 있다. 이 때 각 단말들은 통신 유지를 위해 망 가입 요청과 재전송 요청을 하게 되고, 결과적으로 위성 통신 서비스 지원이 어려워질 것이다.



(그림 2) 비의도적 채널탈퇴 예방 기법 [6]

[6]에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 (그림 2)과 같은 제어 채널의 주파수를 단계적으로 변경시키는 기법이 제안되었다. [6]에서 각 RCST 는 매 슈퍼프레임 마다 증가하는 슈퍼 프레임 번호와 수식 (1)을 통해 제어 채널 및 할당 주파수 채널을 계산한다.

$$C_n = \text{mod}\{(S_n + M_n), C_T\} + 1 \quad (1)$$

(1)에서 C_n 은 할당된 주파수 번호, S_n 은 슈퍼 프레임 번호, M_n 은 할당된 Mode 번호, C_T 는 전체 주파수 번호이다. Mod 연산에 의해 제어 채널은 매 슈퍼 프레임마다 1 씩 증가하며, 재밍 대역에서 벗어나게 된다. 그러나 [6]의 제안 기법은 단일 대역폭을 사용하는 MF-TDMA 에만 적용이 가능하다. 또한, 주파수 도약 시퀀스가 간단하기 때문에 공격자가 이를 인지하고 도약 시퀀스를 따라 재밍을 시도 할 수 있는 단점이 있다.

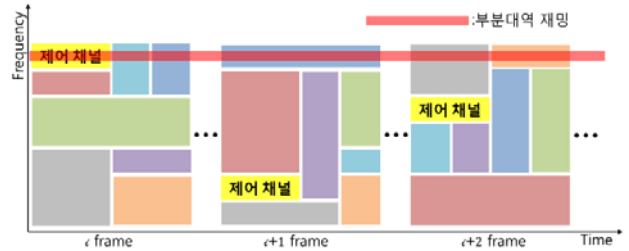
3. 제안 방법

관련연구를 통해 MF-TDMA 를 사용하는 군 위성 통신 자원할당 기법에 대해 알아보았다. 본 논문에서는 각 관련연구의 단점을 제하고, 장점을 취함으로써 제어 채널의 생존성과 가변 대역폭을 지원하는 제어 채널 도약 기법 및 자원할당 기법을 제안한다.

제안 기법에서 주파수 도약 시퀀스는 의사 잡음 시퀀스를 사용하여 생성한다. 의사 잡음 시퀀스는 m 차원시다항식에 대하여 $2^m - 1$ 개의 시퀀스를 생성한다.[7]

$$C_n = \text{mod}(PN_n, C_T) \quad (2)$$

(2)에서 C_n 은 할당된 주파수 번호 PN_n 은 의사 잡음 시퀀스, C_T 는 전체 주파수 번호이다. 자원할당 시, 각 프레임 마다 제어 채널을 주파수 도약 시퀀스에 따라 우선적으로 해당 주파수에 할당한다. 그 후 [5]에서 제안된 가변 대역폭 지원 기법을 통해 RCST 의 자원을 할당한다. [5]와 다른 점은 자원 효율을 위해 MF-TDMA 자원 지도의 한쪽 끝에서 시작했던 기존 기법과 달리, 본 논문의 제안 기법은 제어 채널을 주파수 도약 시퀀스에 따라 가장 먼저 임의의 주파수 채널에 위치시킨 후 자원할당을 한 것이다. 각 RCST 는 해당 시퀀스와 슈퍼 프레임 번호를 통해 현재 제어 채널의 위치를 알아내며, 이를 통해 접근이 가능하다.

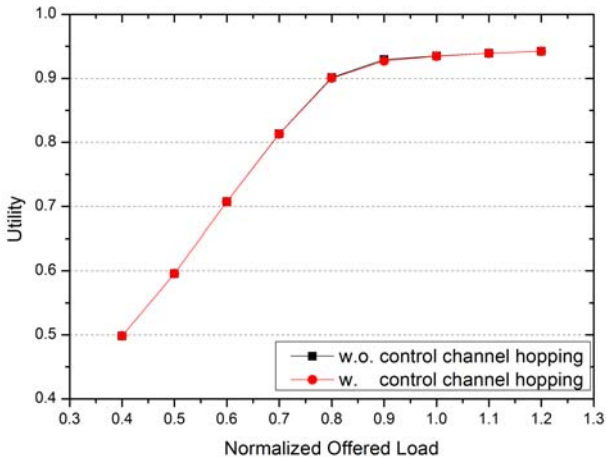


(그림 3) 제어 채널 도약

(그림 3)는 제어 채널 주파수 도약 방법을 그림으로 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 제어 채널 주파수 도약을 통해 부분 대역 주파수 재밍 공격을 회피할 수 있으며, 군 위성 통신에서 필요한 다양한 대역폭과 길이를 갖는 슬롯 할당이 가능하다.

4. 시뮬레이션 결과

제안 기법의 성능을 분석하기 위해 기존 DVB-RCS 의 MF-TDMA 자원할당 알고리즘인 RCP fit 과, 제안 기법의 알고리즘을 구현하여, 프레임에 할당 할 수 있는 RCST 의 수를 측정하였다. 한 프레임을 32 개의 주파수 대역과 70 개의 타임슬롯으로 구성하여 시뮬레이션을 하였다.(그림 4)는 기존 자원할당 알고리즘과 제어 채널 주파수 도약의 자원할당 효율을 비교한 결과이다. 제어 채널을 먼저 도약 시퀀스에 따라 주파수 채널에 위치시킨 후 자원할당을 하더라도 기존의 자원할당 알고리즘과 자원할당 효율이 비슷하다는 것을 알 수 있다.

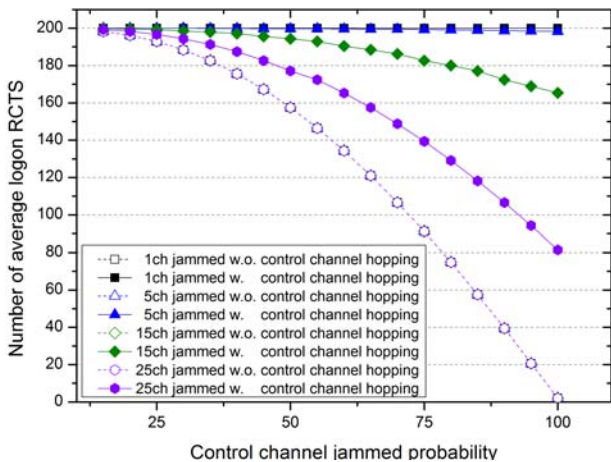


(그림 4) 제안 방법 자원할당 효율 비교

또한, 제어 채널이 재밍을 받아서 복구되지 못할 확률에 따라 로그아웃되는 RCST 수를 측정하였다. 시뮬레이션 파라미터는 표[1]과 같다.

<표 1> 시뮬레이션 파라미터

파라미터	값
주파수 대역	32 개
RCST 수	200 개
제어 채널 미 복구 확률	15 ~ 100%
super frame 길이	46.875ms
로그아웃 초래 제어 채널 재밍 횟수	연속된 3 개 제어 채널
모의실험 시간	180sec

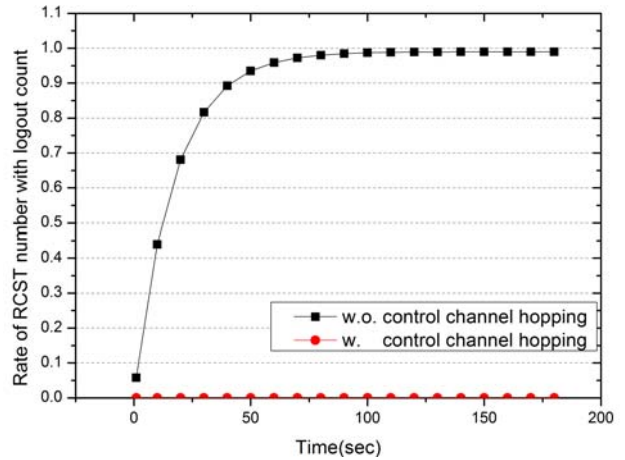


(그림 5) 평균 위성 채널 유지 RCST 수

(그림 5)은 제어 채널이 재밍을 받아 복구되지 않을 확률과 재밍된 대역폭 넓이에 따른 할당된 평균 RCST 수를 비교한 시뮬레이션 결과이다. 제안한 기법이 매 슈퍼 프레임마다 주파수 도약을 함으로서 연속된 제어 채널의 재밍을 예방하여, RCST의 로그아웃의 발생 비율을 낮춘다.

(그림 6)은 제어 채널의 미 복구 확률이 15%일 때, 시간에 따라 로그아웃을 하는 RCST 수와 로그아웃을 반복하는 RCST의 정도를 나타낸 결과이다. 제안한

기법에서는 부분대역 재밍에 의한 로그아웃 RCST가 발생되지 않는 것을 확인할 수 있다.



(그림 6) 시간에 따른 RCST 로그아웃 비율

5. 결론

본 논문에서는 단말의 우선순위를 반영하여 다양한 주파수 대역과 타임슬롯 길이를 갖는 군 위성 MF-TDMA에, 부분대역 재밍이 발생할 때 RCST의 로그아웃을 방지하고 망 관리가 가능한 제어 채널 주파수 도약 알고리즘 및 자원할당 기법을 제안하였다. 시뮬레이션을 통해 제안기법의 성능을 확인하였다.

Acknowledgement

이 논문은 2013년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2013R1A2A1A01016423).

본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT 연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (NIPA-2013-(H0301-13-2003)).

참고문헌

- [1] ETSI TS 101 545-2 V1.1.1, "Digital video broadcasting; second generation DVB interactive satellite system: overview and system level specification", 2012-05
- [2] Navid Yazdani, "Multi-frequency time-division multiple-access (MF-TDMA) resource packing," IEEE MILCOM 2008.
- [3] Jung-Min Park, et al., "Allocation of QoS Connections in MF-TDMA Satellite Systems: A Two-Phase Approach," IEEE Trans. Vehicular Tech. vol.54, No.1, Jan. 2005.
- [4] John Wiss, Rohit Gupta, "THE WIN-T MF-TDMA MESH NETWORK CENTRIC WAVEFORM". IEEE MILCOM 2007.
- [5] 이진석, 노홍준, 임재성, 우병석. "차기 군 위성 통신체계를 위한 MF-TDMA 패킹 기법 제안," 군사과학기술학회, 2013.
- [6] 장지녕, 김은경, 장형준, 임재성, 조병각. "비의도적 채널탈퇴 예방을 위한 위성 MF-TDMA 자원할당 알고리즘," JCCI 2012
- [7] F.Jessie "Pseudo-Random Sequences and Arrays", Proceedings of the IEEE, Vol64, No12, 1976