

해상작전 지원을 위한 HF 무전기 기반 개선된 데이터 통신 프로토콜

이승구¹ · 강승남¹ · 이순복¹ · 소을덕¹ · 임재성^{2*}

An Enhanced Data Communication Protocol based on HF Radios for supporting Naval Operations

Seung Gu Lee¹ · Seung Nam Kang¹ · Soon Bok Lee¹ · Eul-Deuk So¹ · Jae Sung Lim^{2*}

¹Department of C4I, Korean Navy HQ, Kyeong young, Korea

^{2*}Department of NCW, Ajou University, Suwon 16499, Korea

요 약

해상작전 수행의 성패는 서로간의 신속하고 정확한 의사전달과 원활한 통신망 구축이 우선되어야 한다. 군의 주 통신망인 위성은 적의 전파교란 및 고정 안테나의 취약점으로 예비 통신망 구축이 반드시 필요하다. 따라서 군은 작전 통신망을 음성위주에서 문자 기반의 무선 통신망으로 전환하여 왔다. 본 논문에서는 현재 해군에서 운용중인 전술데이터링크(Link-11)의 주 통신방식인 Roll Call을 기본으로 하여 개선된 통신방식을 제안하였다. 시뮬레이션을 통해 기존 방식과 성능을 비교한 결과 제안된 통신방식(Selective Broadcasting)은 단위 프레임별 전송 소요시간이 Roll Call 대비 4.3배, Round Robin & Broadcasting 대비 6.3배 단축됨을 확인하였으며, 직접적인 수신율이 높을수록 소요시간은 최대 1.6배 단축됨을 입증하였다.

ABSTRACT

The success of naval operation prioritizes the implementation of a robust communication network that delivers accurate and prompt communications to one another. The satellite, which is the main communication network of the military, is required to construct a preliminary communication network because of the enemy radio disturbance and weak point of fixed antenna. The military operational communication network has been in transition from voice-centered wireless communication network to text message-based communication network. In this paper we suggest an enhanced communication method built on Roll Call, the main communication method of ROK Navy operating tactical data link called Link-11. Simulation results display that the proposed method reduces the transmission time per unit frame by 4.3 times compared to the Roll Call and 6.3 times compared with the Round Robin & Broadcasting; it is also proved that the higher the direct reception rate, the shorter the transmission time required by 1.6 times maximum.

키워드 : 통신방식, Link-11, Roll Call, Selective Broadcasting, Round Robin & Broadcasting

Key word : Protocol, Link-11, Roll Call, Selective Broadcasting, Round Robin & Broadcasting

Received 18 August 2017, Revised 05 September 2017, Accepted 11 September 2017

* Corresponding Author Jae-Sung Lim(E-mail:jaslim@ajou.ac.kr, Tel:+82-31-219-2545)

Department of NCW, Ajou University, Suwon 16499, Korea

Open Access <https://doi.org/10.6109/jkiice.2017.21.10.1990>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서론

해상작전 수행의 성패는 서로간의 정확하고 신속한 의사전달과 원활한 통신망 구축이 우선되어야 한다. 군의 작전 통신망도 음성위주의 무선 통신망에서 문자기반의 통신망으로 변화되고 있다. 위성의 도입은 장거리 해상에서 대용량의 데이터 전송과 신속성, 안정성 등 큰 장점을 가지고 주 통신수단으로 확대하여 운영하고 있으나 위성통신은 전파교란 및 지상 주 중심국 안테나가 고정되어 있어 피폭에 취약하기 때문에 이에 대비한 예비통신망 구축이 반드시 필요하다. 무선통신(HF/VHF/UHF) 기반 문자망은 문자(채팅)기반의 정보교환을 목적으로 운용하는 데이터 통신망을 말하며, 통신망의 특성상 대용량의 자료 전송이 부족하여 많은 제약사항이 발생한다[1, 2].

한국 해군은 해상작전을 위한 주 작전통신망으로 위성통신을 이용한 실시간문자망을 이용한다. 실시간문자망은 전파성, 효율성, 경제성, 보안성 측면에서 매우 유용하나 위성통신망 장애 발생시 무선통신(HF, V/UHF)을 이용한 음성통신망으로 대체 운용해야 한다는 단점이 있다. 북한의 전파교란으로 위성장애 발생시 실시간문자망이 두절되고 작전세력 간 즉시적인 작전 임무수행 및 정보공유가 제한되는 문제점이 발생한다. 특히, V/UHF는 통달권 제한, 원거리용 HF 음성망은 보안대책 제한 등의 취약점이 있다[3, 4]. 이러한 문제점을 극복하기 위해 해군은 무선기반 문자망을 개발하여 운용중이다.

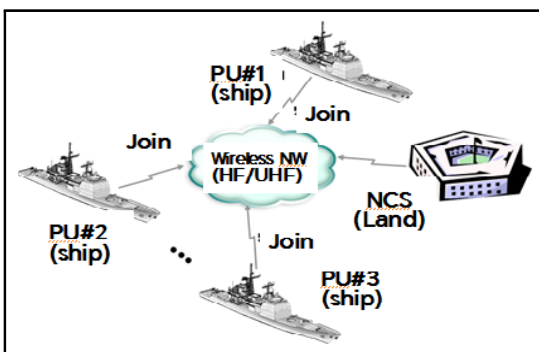


Fig. 1 Wireless NW Operational Concept Diagram

- 1) NCS(Net Control Station), PU(Participation Unit) : 망통제소, 참가함소
- 2) RTPC(Realtime Text Protocol Controller) : 실시간 문자망 프로토콜 제어기

무선기반 문자망의 체계구성은 그림 1과 같으며, 실시간문자망의 생존성 보장을 위해 위성 데이터망 장애 발생시 무선기반 문자망으로 즉시 전환 운용한다[5]. 협대역 무선(HF/UHF)통신을 활용하는 무선기반 문자망의 메시지 교환 주기 단축을 위해 망통제국(NCS¹⁾)과 참가함소(PU) 간 문자 전송시간 동기화 및 전송 우선순위를 제어하는 프로토콜 제어기와 신호변환기가 기존 아날로그 방식 통신기와의 연동을 위해 사용된다. 암호장비 연동을 통한 통신구간 암호화로 보안성도 향상시켰다. 본 연구에서는 무선망 환경에서 해상작전 지원을 위한 최적의 데이터 기반 HF 통신 프로토콜을 연구하였다. 협대역 무선 데이터통신 기반 문자망의 전송효율 향상을 위한 새로운 통신 프로토콜(Selective Broadcasting(SB))을 제안하고, 기존 무선 데이터 통신방식(Framed Slotted ALOHA(FSA), Round Robin(RR), Roll Call(RC)) 대비 성능향상 결과를 시뮬레이션을 통해 분석하여 제시하였다.

II. 무선통신 프로토콜 제어기술

현재 운용중인 무선기반 문자망은 보고망과 방송망이 분리된 2채널 Round Robin 프로토콜을 사용한다. 망제어국(NCS)은 망 가입국(PU)을 통신망 운용 전 사전 설정 후 운용하고, 프로토콜제어기(RTPC²⁾)를 통해 메시지 전송 순서 지정 및 시분할 동기화를 수행한다. 본 장에서는 현 문자망 프로토콜과 대체 가능성 있는 프로토콜들을 비교하고자 한다.

2.1. Framed Slotted ALOHA(FSA)

ALOHA 프로토콜은 최초의 다중접속 방법으로 단일 무선통신 채널을 이용하여 다수 함소간 메시지 전송시 시분할 방식을 이용하여 수행할 수 있는 가장 간단한 방법이다. FSA는 ALOHA 프로토콜의 전송효율을 높이기 위하여 그림 2와 같이 프레임별 슬롯수를 설정한 후 PU간 동기화를 통해 프레임당 랜덤하게 슬롯 하나를 선택해 데이터를 전송하는 방식으로 운영된다. 하나의 NCS와 다수의 PU간 데이터 전송시 서로 다른 2개

이상의 PU가 동시 송신할 경우에는 충돌이 발생하게 되며 충돌 발생시 다음 프레임에 랜덤하게 슬롯을 선택하여 재전송을 시도한다. FSA의 장점은 프로토콜의 단순함으로 인해 프로토콜제어가 별도로 필요치 않아 구현 비용을 최소화 할 수 있다. 단점으로는 데이터 전송 간 충돌발생을 근본적으로 차단하는 것이 제한되어, 전송효율의 저하를 일정부분 감수해야만 한다.

FSA 프로토콜을 사용하면 Read Cycle로 정의되는 데이터 전송시간을 효율적으로 사용할 수 있고 데이터 전송시 발생할 수 있는 충돌 횟수도 줄일 수 있다.

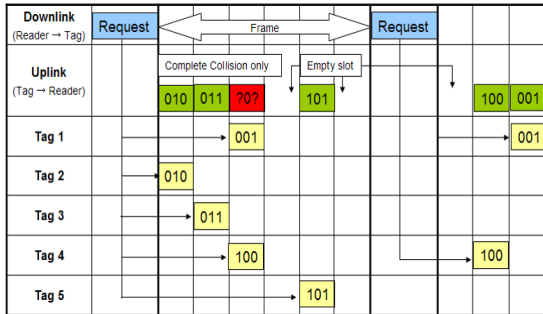


Fig. 2 Framed Slotted ALOHA

FSA 프로토콜은 다중 RFID³⁾ 태그 식별 등에 사용되고 있으며, 프레임 크기를 능동적으로 변경하는지의 여부에 따라 BFSA(Basic FSA)와 DFSA (Dynamic FSA)로 구분되는데 일정한 크기의 프레임을 사용하는 것을 BFSA라고 하고 프레임 크기를 능동적으로 변경시키는 것을 DFSA라고 한다.

2.2. Round Robin & Broadcasting

현재 해군에서 운용하고 있는 무선기반 문자망은 Round Robin & Broadcasting(이하 RRB) 방식으로 운용되고 있다. 운용개념은 그림 3과 같이 각 PU의 전송 순서를 통신망 가입시 사전 지정하고, Token Ring 방식과 같이 순차적으로 메시지를 전송한다. 해당 전송 순서가 돌아오면 각 PU는 전송할 메시지의 보유 여부와 관계없이 슬롯을 점유하여 통신자원을 할당받기 때문에 전송할 메시지가 없는 PU가 많을수록 효율성이 저하되는 단점이 있다. 모든 PU가 한 번씩 전송을 마친 후

NCS는 각 PU로부터 수신한 메시지를 모든 PU에게 방송(Broadcasting)하는 방식으로 메시지를 공유한다[6,7].

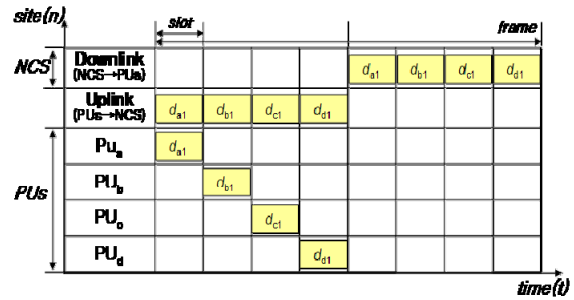


Fig. 3 Round Robin & Broadcasting (1CH)

RRB를 수식으로 정리하면 다음과 같다. 총 n개의 PU와 한 개의 NCS로 구성되는 경우 모든 PU가 메시지를 1회 전송하고, NCS가 이를 방송하는 한 주기를 프레임이라고 한다. 한 프레임은 여러 슬롯으로 구성되며, 슬롯 길이는 한 슬롯에 할당된 시간을 말한다. RRB의 프레임 길이는 다음과 같다.

$$l_f = 2nl_s \tag{1}$$

전송할 메시지가 없는 PU의 수를 m으로 가정하면, RRB는 전송할 메시지가 없는 m개의 PU와 관계없이 항상 2nl_s의 프레임 길이를 갖는다. 프로토콜의 효율성 분석을 위해 k를 한 PU가 매 프레임별 메시지 전파를 위해 필요한 슬롯수로 가정하면, RRB는 다음과 같다.

$$k = 2 \text{ slots}/PU \tag{2}$$

RRB는 메시지 전파시 m개의 PU에서 전송할 자료가 없는 경우, 2m 슬롯은 활용하지 않게 된다. 한편, RRB를 보고망과 방송망으로 분리하여 운용하면 그림 4와 같이 보고와 방송을 동시에 수행할 수 있기 때문에 PU의 메시지 전송을 위한 대기시간이 단축된다. 단일채널과 달리 NCS는 보고(PU→NCS, Uplink)가 끝날 때까지 방송(NCS→PU, Downlink)을 기다릴 필요가 없기 때문에 PU의 메시지를 수신한 즉시 방송을 시작한다. 총 n개의 PU와 한 개의 NCS로 통신망이 구성되는 경우 2채널 RRB의 프레임 길이는 (3)으로 주어진다.

3) RFID(Radio-Frequency Identification) : 전파를 이용해 ID를 식별하는 전자태그

$$l_f^{2CH} = (n+1)l_s \quad (3)$$

그 이유는 그림 4에서 보는 바와 같이 매 프레임의 메시지 전파는 마지막 PU의 보고 이후 다음 슬롯에서 NCS의 방송을 끝으로 완료되기 때문이다.

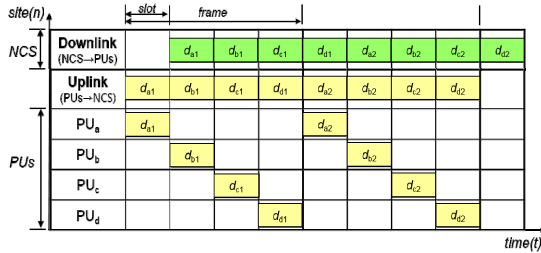


Fig. 4 Round Robin & Broadcasting(2CH)

프레임 길이는 PU의 전송대기시간으로 볼 수 있는데, 단일채널인 경우와 2채널인 경우를 비교하면 대기시간의 차이는 (4)와 같다.

$$|l_f - l_f^{2CH}| = 2nl_s - (n+1)l_s = (n-1)l_s \quad (4)$$

RRB를 2채널로 보고와 방송을 분리하여 운용할 경우 매 프레임당 $(n-1)l_s$ 의 전송대기시간이 단축됨을 알 수 있다. 무전기 기반 문자망 운용시 통상 4-5개의 PU가 망에 가입하는 것으로 가정하면 단일채널 운용 대비 약 37.5 - 40%의 전송대기시간이 단축된다.

2.3. Roll Call

Roll-Call(이하 RC)은 현재 연합 해군 해상표적정보 공유를 위한 전술데이터링크인 Link-11에 사용되는 프로토콜로서 함정/항공기/전탐기지/잠수함 간 탐지된 표적정보 공유를 위해 설계되었다. RC의 운용개념은 그림 5에서 보는 바와 같다[8].

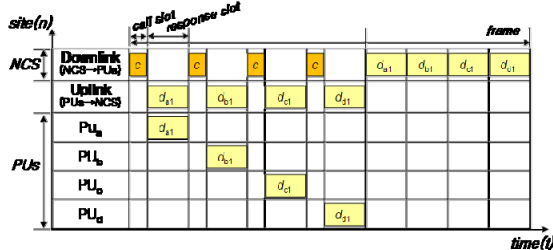


Fig. 5 Roll-Call (1CH)

NCS는 PU를 지정된 순서대로 호출(call)하고 PU는 보낼 메시지가 있는 경우 메시지를 응답 슬롯(response slot)에 할당하여 전송하고, 메시지가 없는 경우에는 전송하지 않는다. RRB와 비교했을 때 RC의 장점은 전송 대기시간을 줄일 수 있다는 것이다. RC는 NCS가 PU를 호출시 PU가 전송하지 않는 경우 할당된 전송시간 동안 기다리지 않고 다음 순서의 PU에게 전송기회를 넘겨주기 때문에 전송 대기시간 단축이 가능하다. RC를 수식으로 정리하면 다음과 같다. 총 n 개의 PU와 NCS로 구성된 통신망으로 가정하고, 이 중에서 m 개의 PU가 미 응답할 경우 프레임 길이는 다음과 같다.

$$l_f = (n-m)(l_c + 2l_r) \quad (5)$$

(5)에서 l_c , l_r 는 호출슬롯길이(CSL: Call Slot Length)와 응답슬롯길이(RSL: Response Slot Length)를 말한다. RC는 RRB 대비 미응답하는 PU의 수에 따라 전송 대기시간에서 다음과 같은 성능차가 발생한다.

$m > 0$ 인 경우,

$$l_f^{RRB} - l_f^{RC} = 2nl_s - (n-m)(l_c + 2l_r) = \{2ml_r - (n-m)l_c\} \quad (6)$$

만큼의 전송대기시간을 매 프레임별로 단축할 수 있고, (RRB의 슬롯길이와 RC의 응답슬롯길이는 동일한 것으로 가정하였음.)

$m = 0$ 인 경우,

$$l_f^{RRB} - l_f^{RC} = -nl_c \quad (7)$$

전송대기시간은 호출 소요시간(nl_c) 만큼 증가하게 된다. RC를 보고망과 방송망으로 분리하여 2CH로 운용하는 경우는 그림 6과 같다. NCS가 각 PU를 호출(Call)하면 NCS는 메시지를 수신한 즉시 모든 PU에게 방송하는 방식으로 운용하기 때문에 단일채널 운용시 대비 전송대기시간이 단축된다.

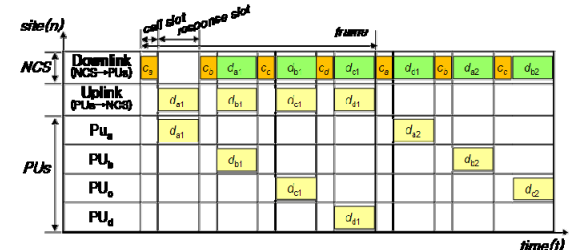


Fig. 6 Roll-Call (2CH)

이를 수식으로 정리하면 다음과 같다. 총 n 개의 PU와 한 개의 NCS로 통신망이 구성되는 경우 2채널 RC의 프레임길이는 다음과 같다.

$$l_f^{2CH} = (n+1)(l_c + l_r) \quad (8)$$

여기서 l_c , l_r 는 호출슬롯길이와 응답슬롯길이를 말한다. 그 이유는 그림 6에서 보는 바와 같이 매 프레임 메시지 전파의 완료시점은 마지막 PU의 보고 이후 다음 슬롯에서 NCS의 방송(CSL + RSL) 완료시이기 때문이다. 2채널 RC와 단일채널인 경우의 전송대기시간을 비교하면 (9)로 주어진다.

$$\begin{aligned} |l_f - l_f^{2CH}| &= n(l_c + 2l_r) - (n+1)(l_c + l_r) \\ &= (n-1)l_r - l_c \end{aligned} \quad (9)$$

매 프레임별 $(n-1)l_r - l_c$ 의 전송대기시간이 단축됨을 알 수 있다. RSL이 CSL 보다 매우 길다는 것($l_r \gg l_c$)과 통상 4 - 5개의 PU가 망에 가입한다고 가정했을 때 약 35~38%의 전송 대기시간이 단축되는 것을 알 수 있다. 2채널 RRB와 2채널 RC를 비교하면, 매 프레임당 전송 소요시간은 미응답하는 PU의 수에 따라 전송대기시간에서 다음과 같은 성능차가 발생한다.

$m > 0$ 인 경우,

$$\begin{aligned} l_f^{RRB} - l_f^{RC} &= (n+1)l_s - \{(n+1)l_c + (n-m+1)l_r\} \\ &= ml_r - (n+1)l_c, (l_r \square l_c) \end{aligned} \quad (10)$$

만큼의 전송대기시간을 RC는 RRB 대비 매 프레임 별로 단축할 수 있고, (RRB의 슬롯길이와 RC의 응답슬롯길이는 동일한 것으로 가정하였음.)

$m=0$ 인 경우,

$$l_f^{RRB} - l_f^{RC} = -(n+1)l_c \quad (11)$$

RC의 전송소요시간은 RRB 대비 호출 소요시간 $((n+1)l_c)$ 만큼 증가하게 된다.

III. 개선된 무선기반 문자망 프로토콜 제안

본 장에서는 기존 RRB 및 RC 대비 전송소요시간을 단축할 수 있는 개선된 통신방식을 제안한다. II장에서 제시된 RC는 신속한 표적정보 공유를 위해 설계된 Link-11에 적용된 프로토콜이며, RRB는 현재 무선기

반 문자망에 적용된 프로토콜이다. FSA는 복수개의 RFID 태그 인식을 향상 용도로 사용되고 있으나 채팅 기반 단문 메시지 교환 목적으로 사용시 충돌제어 문제로 효율성 향상은 제한적일 것으로 판단된다. 본장에서는 제안된 Selective Broadcasting (이하 SB) 프로토콜을 RC 및 RRB와 비교를 통해 무선기반 문자망에 적용시 전송대기시간을 얼마나 단축시킬 수 있는지를 제시하였다.

「무선기반 문자망」의 통신운용 환경은 무선국(지휘소/함정 등)간 HF/UHF 통신기를 이용해 1.2 - 3.2kbps 전송속도로 송신 및 수신 각 1채널을 운용한다. 기본 프로토콜 운용개념은 NCS가 프로토콜 제어를 통해 통신망을 제어하며, PU는 프로토콜 제어기의 제어신호에 따라 메시지를 NCS로 송신하고, NCS는 방송망을 통해 모든 PU에게 수신한 메시지를 즉시 방송한다. SB는 이러한 기존 무선통신 운용방식을 전송대기시간 측면에서 개선할 수 있는 방안을 제시한다.

3.1. Selective Broadcasting(SB)

SB는 RC와 달리 NCS가 호출슬롯을 사용해 PU의 데이터 전송 시작을 알리지 않는다. 그림 7에서 보는바와 같이 PU가 NCS로 상향링크(Uplink)시 데이터슬롯(Data Slot)을 이용해 데이터를 전송한 이후 테일슬롯(Tail Slot)에 각 PU의 상향링크시 데이터를 수신하였는지 여부를 NCS로 보고한다. NCS는 모든 PU로부터 데이터 수신 여부를 확인 후 모든 PU가 데이터를 수신했을 경우 해당 PU의 데이터 전송을 하향링크(Downlink)시 생략하고 수신하지 못한 나머지 데이터만 전송한다. 즉, 상향링크시 PU와 PU간 직접 데이터를 정상적으로 수신한 경우, 하향링크시 NCS가 해당 PU의 데이터 전송을 생략해 데이터 전송 효율을 향상시키는 것이다.

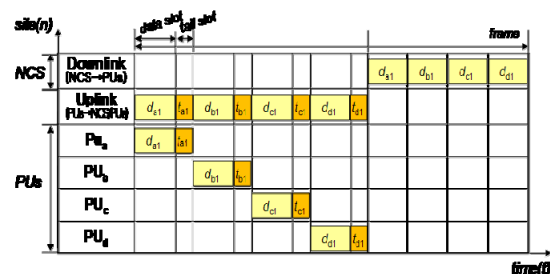


Fig. 7 Selective Broadcasting (1CH)

SB를 수식화하면 다음과 같다. 총 n 개의 PU 중에서 k 개의 PU를 상향링크시 데이터를 모두 수신한 경우 프레임길이는 다음과 같다.

$$l_f = n(2l_d + l_t) - kl_d \quad (12)$$

l_d 와 l_t 는 데이터슬롯길이(data slot length)와 테일슬롯길이(tail slot length)를 말한다. m 개의 Site가 전송할 데이터가 없어 전송하지 않을 경우의 프레임길이는 RC와 같다.(수식 5 참조)

$$l_f = (n-m)(2l_d + l_t) \quad (13)$$

그런데, m 개의 PU가 전송하지 않고 k 개의 PU가 데이터를 수신한 경우(Best case)의 프레임길이는 (14)로 주어진다.

$$l_f = (n-m)(2l_d + l_t) - kl_d \quad (14)$$

$k>0$ 인 경우 m 의 값과 무관하게 SB는 RC 대비 kl_d 만큼의 전송 대기시간을 절약할 수 있다.

3.2. Selective Broadcasting (2CH)

SB를 2채널로 운용하는 경우의 운용개념은 그림 8과 같다. SB는 송·수신 단일채널(1CH)인 경우에는 전송효율 향상을 위해 NCS에서 각 PU들의 데이터 전송을 해줄 필요가 있는지의 여부를 확인했지만, 송·수신 채널이 분리(2CH)되어 있는 경우에는 수신 즉시 NCS에서 메시지를 방송할 수 있으므로 각 PU의 데이터 전송 여부 확인이 불필요하다. 즉, NCS가 각 PU를 호출하지 않고 매 프레임별 동적으로 할당된 정해진 순서대로 PU가 데이터를 NCS 및 PU에게 방송한다. 데이터 전송 이후에는 테일슬롯을 통해 다음 프레임에서 메시지 전송에 참여할 것인지의 여부 및 어느 한 PU에 긴급전과 메시지가 있을 경우 메시지 전송 우선순위 조정 필요 여부를 NCS로 요청한다. NCS는 수집된 정보를 토대로 매 프레임별로 PU에게 전송 우선순위를 할당하여 제어슬롯(control slot)을 통해 PU에게 전파한다.

SB(2CH)을 수식화하면 다음과 같다. 총 n 개의 PU와 한 개의 NCS로 통신망이 구성되는 경우 프레임길이는 다음과 같다.

$$l_f^{2CH} = (n+1)(l_d + l_t) \quad (15)$$

단일채널인 경우와 비교하면

$$\begin{aligned} l_f - l_f^{2CH} &= n(2l_d + l_t) - (n+1)(l_d + l_t) \\ &= (n-1)l_d - l_t \end{aligned} \quad (16)$$

으로, RC의 경우와 같이 매 프레임당 $(n-1)l_d - l_t$ 의 전송 대기시간이 단축됨을 알 수 있다. 전송대기시간도 RC의 경우처럼 $l_d \gg l_t$ 이므로, 통상 4 - 5개의 PU를 가정했을 때 약 35 - 38% 정도 단축된다. RC와 SB를 비교하면, SB는 매 프레임당 전송소요시간은 Muting site가 존재할 경우($m>0$)

$$l_f = (n-m+1)(l_d + l_t) \quad (17)$$

로서 RC 대비 ml_t , ($l_c \approx l_d$, $l_t \approx l_t$) 만큼의 시간이 단축되는 것을 알 수 있다.

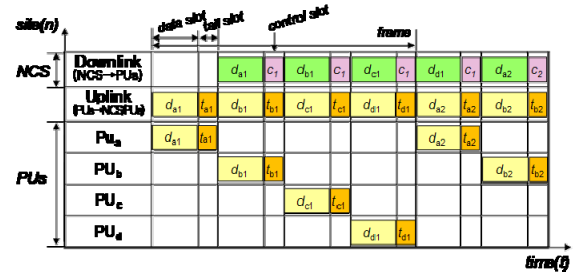


Fig. 8 Selective Broadcasting (2CH)

무선기반 문자망을 위한 통신 프로토콜을 최적화 기법(Convex Optimization)을 이용해 최적화 함수로 표현하면 다음과 같다.

$$\text{minimize } \|y\| \quad (18)$$

$$\text{subject to } y = \sum_{i=0}^{n-1} t_{PU_i} + t_{NCS} \quad (19)$$

$$t_{PU} = t_s + t_\gamma + t_e \quad (20)$$

$$t_{PU_i} = \begin{cases} d & (msg > 0) \\ 0 & (otherwise) \end{cases} \quad (21)$$

$$t_{NCS} = \begin{cases} \sum_{i=0}^{n-1} t_{PU_i} & (\text{Round - Robin \& Broad.}) \\ \sum_{i=0}^{n-1-m} t_{PU_i} & (\text{Role - Call}) \\ \sum_{i=0}^{n-1-m-k} t_{PU_i} & (\text{Selective Broad.}) \end{cases} \quad (22)$$

위 최적화식의 목적함수는 NCS와 모든 PU가 메시지를 전송하는데 소요되는 시간을 최소화하는 것이다. PU와 NCS의 메시지 전송시간 t_{PU} 는 전송시작 및 끝맺음을 위한 소요시간 t_s 와 t_e 에 데이터 전송률 γ 에 의해 결정되는 t_γ 의 합으로 결정되며, 여기서 t_s 및 t_e 는 상수인 것으로 가정하였다. 또한, 데이터 전송률 γ 는 NCS 및 모든 PU_i 가 동일하고, 매 송신시 전송되는 메시지 길이 역시 동일하므로, 전송 소요시간 t_{PU_i} 는 상수(d)이며, 모든 PU_i 에서 소요되는 전송시간은 동일하다. 단, PU_i 에서 전송되는 메시지는 존재하지 않을 수 있으므로 이 경우 t_{PU_i} 는 0이 된다. t_{NCS} 는 RRB의 경우 PU_i 의 메시지 전송 여부와 관계없이 모든 PU_i 의 메시지를 방송하고, RC의 경우 메시지를 전송하지 않는 PU가 있는 경우 이를 제외하고 방송하며, SB의 경우 메시지를 전송하지 않는 PU_i 가 있는 경우와 전송을 한 PU_i 라 하더라도 다른 모든 PU_i 가 메시지를 수신했다면 NCS는 이 경우 방송하지 않는다. 결국, 모든 메시지의 전송 소요시간 y 를 최소화하기 위한 최적의 프로토콜은 (1) 전송할 메시지가 없는 경우, (2) PU_i 에서 전송한 메시지가 다른 모든 PU에게 전파된 경우가 더욱 발생할수록 SB 프로토콜이 최소의 전송 소요시간을 갖게 된다.

IV. 시뮬레이션 결과

4.1. 시뮬레이션 환경

II장에서 제시된 무선통신 프로토콜 제어기술과 III장의 최적 통신 프로토콜에 대한 성능 비교를 위하여 본 장에서는 무선기반 문자망 제어에 활용 가능한 각 프로토콜 제어기술을 구현하여 결과를 비교하였다.

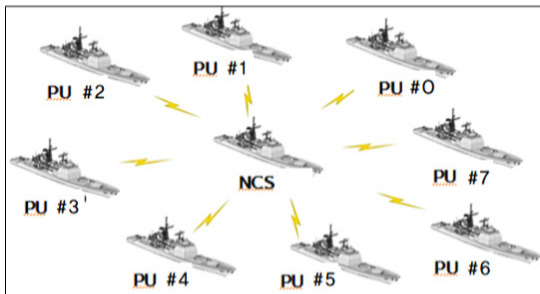


Fig. 9 Protocol Simulation Environment

시뮬레이션을 위해 Python을 이용하여 RRB, RC, SB 프로토콜을 구현하였으며, 그림 9과 같은 상황에서 무선기반 문자망 운용시 PU가 전송할 메시지가 없는 경우를 가정하여 Muting Site 수를 변수로 설정하였다. 시뮬레이션에서 각 프로토콜의 메시지 전송시간(데이터 슬롯, 응답슬롯)은 1,000ms, RC에서 호출슬롯과 SB에서 테일슬롯은 190ms로 설정하였다.

4.2. 시뮬레이션 결과

시뮬레이션 결과 무선 통신망에 참여한 PU 중에서 Muting site가 없는 경우에는 데이터슬롯 이외에 부가적인 전송 데이터가 없는 RRB가 단위 프레임별 전송 소요시간 측면에서 가장 성능이 우수했지만, Muting site 수가 증가할수록 본 논문에서 제안한 SB의 성능은 RRB 대비 최대 6.3배, RC 대비 4.7배 우수하였다.(표 1, 그림10) 또한, SB의 특성 중의 하나인, 각 PU가 NCS로 메시지를 송신할 때 통신망에 가입된 나머지 PU가 NCS가 방송해주지 않아도 모두 해당 메시지를 수신하였음을 보고한 경우(전단에 속한 함정들이 진형을 형성하여 기동을 하고 있는 경우 등이 위 경우에 속하며 표

Table. 1 Transfer Time by Protocol (1CH)

PU	RRB (1ch)	RC (1ch)	Selective Broadcasting(1ch)							
			Tail slot masking							
			11111111	01111111	00111111	00011111	00001111	00000111	00000011	00000001
0	16000	17520	9520	10520	11520	12520	13520	14520	15520	16520
1	16000	16710	8520	8520	9520	10520	11520	12520	13520	14520
2	16000	15900	7520	7520	7520	8520	9520	10520	11520	12520
3	16000	15090	6520	6520	6520	6520	7520	8520	9520	10520
4	16000	14280	5520	5520	5520	5520	5520	6520	7520	8520
5	16000	13470	4520	4520	4520	4520	4520	4520	5520	6520
6	16000	12660	3520	3520	3520	3520	3520	3520	3520	4520
7	16000	11850	2520	2520	2520	2520	2520	2520	2520	2520

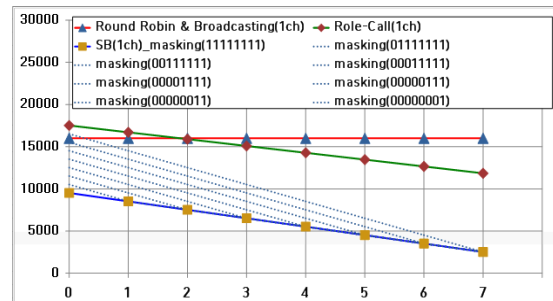


Fig. 10 Analysis of Transfer Time by Protocol (1CH)

1, 2에서 Masking값 1로 표기하였다.) Muting site의 수가 동일한 조건에서 Masking 값이 1로 표기된 경우가 더 많을수록 단위 프레임별 전송 소요시간이 최대 1.6 배 더 단축됨을 확인할 수 있었다.

통신채널을 단일채널에서 2채널(보고, 방송 동시 운용)로 확대하여 운용할 경우 보고된 데이터를 NCS는 즉시 방송할 수 있기 때문에 모든 프로토콜에서 전송 소요시간은 1.7 ~ 2.3배 단축되었으나, 전반적인 성능은 단일채널과 크게 다르지 않았다. (표 2, 그림 11)

Table. 2 Transfer Time by Protocol (2CH)

PU	RRB (2CH)	RC (2CH)	Selective Broadcasting(2ch)							
			tail slot masking							
			11111111	01111111	00111111	00011111	00001111	00000111	00000011	00000001
0	9000	10710	9710	9710	9710	9710	9710	9710	9710	9710
1	9000	9900	8710	8710	8710	8710	8710	8710	8710	8710
2	9000	9090	7710	7710	7710	7710	7710	7710	7710	7710
3	9000	8280	6710	6710	6710	6710	6710	6710	6710	6710
4	9000	7470	5710	5710	5710	5710	5710	5710	5710	5710
5	9000	6660	4710	4710	4710	4710	4710	4710	4710	4710
6	9000	5850	3710	3710	3710	3710	3710	3710	3710	3710
7	9000	5040	2710	2710	2710	2710	2710	2710	2710	2710

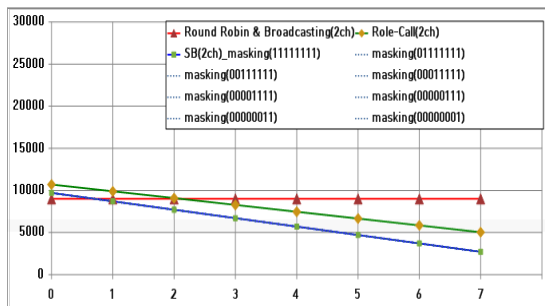


Fig. 11 Analysis of Transfer Time by Protocol (2CH)

V. 결론

본 논문에서는 해군 무전기 기반 문자망 운용에 적합한 통신 프로토콜을 제안하기 위해 기존 통신 프로토콜 (RRB, RC) 분석 및 시뮬레이션을 통해 제안된 프로토콜(SB)이 우수함을 검증하였다.

전송 소요시간 측면에서 Muting site가 존재하는 경우와 PU에서 전송한 메시지를 직접 수신한 경우가 많을수록 성능이 향상됨을 최적화식과 시뮬레이션을 통해 증명하였다. 향후 해상 무선통신환경 악화시에도 전송오류를 최소화 할 수 있는 고성능 채널코딩 기술 등과 연계시 성능을 더욱 향상시킬 수 있을 것으로 판단되며, 해상 작전통신망에 적용시 작전 효율성은 크게 개선될 것이다.

REFERENCES

- [1] S. G. Lee, M. W. Lee. and J. S. Lim, "Classifying operational data to manage maritime networks," *Korea Association of Defense Industry Studies*, vol.23, no.1, pp. 111-112, Oct. 2016.
- [2] N. Mittal, K. Garg, and A. America, "A Paper on Modified Round Robin Algorithm," *International Journal of Latest Technology in Engineering, Management & Applied Science*, vol. 4, no.11, pp. 93-98, Nov. 2015.
- [3] Y. Y. Choo and D. W. Jung, "HF Data Communication Service Using SSB Modems for Maritime Applications," *Journal of information and communication convergence engineering*, vol. 15, no.12, pp. 2550, Dec. 2011.
- [4] P. S. Cannon, et al., "Damson HF channel characterization-a review," in *Proceedings of 21st Century Military Communications on MILCOM 2000*, Los Angeles: LA, pp. 59-64, 2000.
- [5] D. Kidston and T. Kunz, "Challenges and opportunities in managing maritime networks," *IEEE Communications Magazine*, vol. 46, no. 10, pp. 162-168, Oct. 2008.
- [6] B. Chhugani, and M. Silvester, "Improving Round Robin Process Scheduling Algorithm," *International Journal of Computer Applications*, vol.166, no.6, pp. 12-16, May 2017.
- [7] L. Datta, "Efficient Round Robin Scheduling Algorithm with Dynamic Time Slice," *International Journal of Education and Management Engineering*, vol. 2, pp. 10-19, Jun. 2015.
- [8] S. Ajit, C. Holmes, J. Johnson, "Model-based tool support for Tactical Data Links: an experience report from the defence domain," *Software & Systems Modeling*, vol. 16, no. 2, pp. 559-586, May 2017.



이승구(Seung Gu Lee)

해군사관학교 전사학과 학사
연세대학교 컴퓨터과학과 학사
국방대학교 전산정보학과 석사
아주대 NCW학과 박사과정 중
※관심분야 : 전술 Data Link, 전투체계 SW분야



강승남(Seung Nam Kang)

해군사관학교 전산과학과 학사
美 북플로리다대학교 컴퓨터정보과학과 석사
서울대학교 전기·컴퓨터공학부 박사
※관심분야 : 지능형 무인 시스템, 컴퓨터 비전,
무선통신망, 인공지능 전투체계, 합정 IoT



이순복(Soon Bok Lee)

해군사관학교 학사
고려대학교 컴퓨터학과 석사
※관심분야 : 제품계열공학, 온톨로지,
데이터베이스 보안, 전술 Data Link



소을덕(Eul Deuk So)

국가평생교육진흥원 학사
※관심분야 : 전술 Data Link, 전투체계 SW분야,
정보보호, 전장체계 보안, M&S



임재성(Jae Sung Lim)

아주대학교 전자공학 학사
한국과학기술원 전자공학 석사, 박사
아주대학교 정보통신대학 소프트웨어학과 교수
※관심분야 : 이동통신 및 전술통신, 유무인 전술
Data Link, 위성통신, 무기체계 SW 분야 등