
CSMA/CA 기반 무전기를 통한 다중가입자 통신 프로토콜

장명진* · 박성진**

Communication protocol for multi subscribers using radio equipments based on CSMA/CA

Myung-jin Jang* · Seong-jin Park**

요 약

현재 우리 군에서 많이 사용하는 PRC-999K 무전기는 반이중전송방식이며 동일망에 가입한 가입자 중 한 가입자가 데이터를 송신하면 나머지 가입자는 모두 데이터를 수신하는 브로드캐스트 방식이다. 군 사격지휘시스템에서 무선데이터통신은 지휘소와 가입자들 사이에 1:1 유니캐스트 방식을 사용하고, 데이터 충돌을 회피하기 위해 CSMA/CA 기법을 적용하며, 효율적이고 속도가 빠른 SDLC 프로토콜을 사용한다. 본 논문은 데이터 송수신 시간 단축을 위해 각 가입자에게 순차적인 주소를 할당하고 지휘소가 데이터를 1회 브로드캐스팅 하면 지정된 가입자들이 순차적으로 데이터 충돌을 회피해가며 응답전문을 송신하는 프로토콜과 알고리즘을 제안한다.

ABSTRACT

The PRC-999K radio widely used in Korean Army is half-duplex and also has the broadcasting radio wave character that all subscribers listen when one subscriber speaks in time. The radio data communication system configures a 1:1 unicast network between a command post and network members in a military fire control system. The system also applies CSMA/CA technique to avoid data collision and additionally applies SDLC protocol for efficiency and fast communication. This paper shows that allocating address to network members in serial order can reduce data transmitting/receiving time, and thereby a command post needs to broadcast data only one time and the assigned members can reply in order without data collision. It is validated through an experimental test.

키워드

PRC-999K, 반이중 전송, 브로드캐스팅, CSMA/CA, SDLC

Key word

PRC-999K, half duplex communication, broadcasting, CSMA/CA, SDLC

* LIG넥스원 (주저자, myungjin.jang@lignex1.com)

** 아주대학교 전자공학부 부교수 (교신저자, parksjin@ajou.ac.kr)

접수일자 : 2010. 06. 07

심사완료일자 : 2010. 08. 26

I. 서 론

현재 육군의 전투용 무선망에서 많이 사용하는 무전기는 PRC-999K 무전기이다. 이 무전기의 기능성은 반이중(half duplex) 전송방식이며 동일한 망에 가입한 노드 중 한 노드가 데이터를 송신하면 나머지 노드는 모두 데이터를 수신하는 브로드캐스트 방식이다. 포병 사격지휘시스템에서는 노드들에게 임의의 주소가 할당되고 지휘소와 노드들 사이에는 유니캐스트 통신이 이루어진다. 사격지휘에서 중요한 명령전달의 안전을 위해 명령 전달 시 이에 대한 응답이 반드시 이루어져야 한다. 따라서 사격지휘시스템의 데이터통신은 전문 송신 시 반드시 수신 측으로부터 응답전문을 받도록 설계한다. 또한 데이터 충돌을 회피하기 위해 CSMA/CA를 사용하고, 효율적이고 유연성이 우수한 빠른 동기식 비트 지향형 프로토콜인 SDLC (Synchronous Data Link Control) 프로토콜을 사용한다[1],[2]. IEEE 802.11 WG(Working Group)은 무선 데이터통신을 위해 다양한 표준을 제공하고 있는데, IEEE 802.11 MAC은 CSMA/CA를 통한 무선노드 사이의 통신 링크를 제공한다[3].

PRC-999K 무전기를 사용하여 데이터를 전송 할 때 먼저 반송과 감지검사를 실시하여 채널의 사용여부를 확인한다. 이 때 데이터를 수신한 노드도 같은 프로토콜로 응답전문을 송신한다. 기존의 사격지휘시스템에서는 지휘소에서 여러 노드들에게 동일 데이터를 송신하고자 할 때 개별 노드를 대상으로 유니캐스트 방식으로 데이터를 전송했다. 그러나 이는 데이터 전송의 신속성 측면에서 제한적일 수밖에 없다. 본 논문에서는 현재 운용 중인 사격지휘시스템의 무선데이터 통신 프로토콜을 분석하여 보다 신뢰성 있고 신속한 통신이 가능한 프로토콜을 제시하였으며 이를 실험을 통해 검증한 결과를 소개한다.

II. 프로토콜

1. 브로드캐스트

사격지휘시스템의 무선 데이터망에서 노드와 노드 사이의 데이터전송은 주로 유니캐스트 기법을 통해 이

루어진다. 이에 반해 IEEE 802.11 브로드캐스트는 상위 계층에서 프레임 전송을 요청받은 송신 노드가 임의의 값으로 초기화된 백오프(back off) 타이머가 만료될 때 채널상태에 따라 프레임을 브로드캐스팅한다[4]. 사격지휘시스템은 반드시 수신 확인응답을 받도록 설계해야 하며, 사격지휘소에서 전문을 브로드캐스팅 할 때 수신 노드로부터 응답을 받도록 프로토콜을 보완할 필요가 있다. 또한 응답이 없는 노드는 차후 재전송을 하여야 한다.

2. SDLC

육군의 전투용 무선망에서 운용 중인 SDLC 프로토콜은 SNA(System Network Architecture)를 위해 IBM이 1970년대 중반에 개발한 데이터링크 프로토콜로 동기 전송, 비트 지향적(bit oriented)이다. 또한 동기식 문자지향형(character oriented) 프로토콜과 동기식 바이트 지향형(byte oriented) 프로토콜에 비해 보다 효율적이고 유연하며 속도도 빠르다[2].

사격지휘시스템의 SDLC 프로토콜에서 정의하는 프레임 구조와 전문구성(n byte)은 아래 표와 같다.

표 1. 사격지휘시스템의 전문 프레임 구조
Table 1. Frame structure of the fire command system

필드명	Preamble	Opening flag	전문구성
내용	16 bit 이상 (101010.....)	8 bit	n byte(variable length)
필드명	FCS	Closing flag	Postamble
내용	16 bit	8 bit	16 bit 이상 (101010.....)

표 2. 사격지휘시스템의 전문구성 구조
Table 2. Message structure of the fire command system

필드명	Header	전문종류
내용	10 bytes	1 byte
필드명	전문내용	전문끝
내용	n byte	1 byte

Header(10byte)에는 전문을 송수신하는 노드의 주소를 포함하고 있으며 구조는 아래 표와 같다.

표 3. 사격지휘시스템의 헤더 구조
Table 3. Header structure of the fire command system

필드명	수신자주소	압호
내용	3 bytes	3 bytes
필드명	송신자주소	재전송횟수
내용	3 bytes	1 byte

예를 들어 사격지휘소에서 임의의 한 노드에 전문을 보낼 경우 송신자의 주소는 ASCII code 값 '110'이며, 수신자의 주소는 '111'이다. 각 노드마다 고유한 주소를 가지므로 브로드캐스트 기법을 적용하기 위한 주소의 변경이 필요하다.

3. CSMA/CA

사격지휘시스템에 적용한 CSMA/CA 알고리즘의 핵심 내용은 다음과 같이 요약할 수 있다.

- 반송파가 수신되지 않으면 전문을 송신한다.
- 송신 후 응답 대기시간동안 기다린다.
- ACK 응답을 기다리는 동안 응답이 수신된 경우는 송신완료, NACK가 수신된 경우 재전송횟수가 3회 미만이면 재송신, 아니면 송신 불능으로 처리한다.
- 응답 대기시간을 지나 타임아웃이 발생하는 경우 재전송 횟수가 3회 미만이면 재송신, 아니면 송신 불능 처리한다.

이 알고리즘은 노드 간 1:1로 전문을 송수신하는 유니캐스트 방식에 기반하며, 전문 송신 후 응답이 없으면 최대 3회까지 재전송한다. 이때 전문을 브로드캐스팅한 후 응답이 있는 노드와 응답이 없는 노드를 점검해서 응답이 없는 노드에게 최대 3회 재전송하도록 알고리즘의 보완이 필요하다.

III. 프로토콜 설계

1. 브로드캐스트 기법 보완

사격지휘시스템에서 지휘소와 노드 사이의 데이터 전송은 주로 유니캐스트 방식을 사용한다. 즉 지휘소에서 전문을 송신하면 호출된 노드는 응답전문을 보낸다. 만일 응답이 없으면 최대 3회까지 전문을 재전송하도록 설계된다. 이때 동일한 전문을 다수의 노드에게 브로드캐스팅하면 호출된 노드는 순차적으로 응답 전문을 보내

며, 응답을 보내지 않는 노드에게는 최대 3회까지 재전송하도록 브로드캐스트 프로토콜을 보완 설계하였다.

지휘소는 동일 전문을 1회 송신하고 6개 노드가 이를 수신하게 하여 통신량 및 시간을 단축한다. 지휘소로부터 전문을 수신한 후 각 노드의 응답 전문 송신은 다음의 방식에 따라 충돌 없이 가장 빠른 시간 내에 송신하도록 한다.

- 응답 전문 송신은 전문 수신 직후 송신한다.
- 전문 수신 시 수신자주소를 이용해 응답 송신할 노드가 누구인지 알 수 있다.
- 인접 노드의 응답 전문 송신 시 타 노드가 이를 수신할 수 있다.

이를 기초로 다음의 프로토콜을 만들었다.

- 지휘소로부터 전문 수신 시 다음의 표의 ACK 순번 테이블 작성.

표 4. 초기 ACK 순번 테이블
Table 4. Table of the first ACK list

번호	1	2	3	4	5	6
노드명	1	2	3	4	5	6

- ACK 순번 테이블 순서에 입각하여 1번 항의 노드는 CD(carrier detect)가 IDLE이면 즉시 ACK 송신. 비 해당 노드는 최대 타임아웃 시간만큼 CD 검사하여 타임아웃이면 ACK 송신.
- 1번 항의 ACK 송신 후 나머지 노드는 ACK 순번 테이블을 다시 작성.

표 5. 차후 ACK 순번 테이블
Table 5. Table of next ACK list

번호	1	2	3	4	5	6
노드명	2	3	4	5	6	

- 새로운 1번 항의 노드는 CD가 IDLE이면 즉시 ACK 송신. 이때 나머지 노드들의 차후 CD 검사 시간은 노드번호가 아닌 테이블 순번을 따른다.
- 노드의 ACK 송신이 끝날 때까지 반복.

2. 전문 프레임 내의 가입자주소 보완

사격지휘시스템의 기존 SDLC 프로토콜의 프레임 구조 중 사용자 정의 부분에서 각 노드의 고유한 주소를 브

로드캐스트 가능토록 다음과 같이 적용한다. 각 노드의 주소는 3byte로 구성하나 상위 2 byte는 지휘소의 주소를 승계하고 하위 1 byte값을 각 노드의 고유주소로 할당한다. 이는 브로드캐스트를 가능하게 하기위한 조건이다. 노드에 할당된 bit가 '1'이면 해당노드는 전문을 수신하는 노드이고, '0'이면 전문을 수신하지 않는다.

표 6. 노드 주소
Table 6. Address of nodes

bit위치	7	6	5	4	3	2	1	0
값	1	0	포6	포5	포4	포3	포2	포1

3. CSMA/CA 알고리즘 보완

IEEE 802.11 표준에서는 충돌 확률을 줄이기 위해 백오프를 이용한 CSMA/CA를 사용한다[5]. 백오프시간은 본 논문에서 CD 점검시간이며 무전기의 특성을 감안하여 각 노드에 따라 차등 적용하도록 설계했다. 또한 CSMA/CA 알고리즘에서 브로드캐스트를 고려하여 다음과 같이 알고리즘을 보완 설계했다.

- 반송파가 수신되지 않으면 전문을 송신한다.
- 송신직후 응답 대기시간동안 기다린다.
- 응답 대기시간 만큼 기다리는 동안 ACK가 수신된 경우는 송신완료, NACK가 수신된 경우 재전송횟수가 3회 미만이면 재송신, 아니면 송신 불능 처리한다.
- 응답대기 시간을 넘어 타임아웃이 발생하는 경우 재전송 횟수가 3회 미만이면 미응답 노드에게만 재송신하고, 아니면 미응답 노드는 송신불능 처리한다.

IV. 실험

1. 실험 환경

PRC-999K는 최신의 디지털 통신방식에 의해 신호를 반복조할 수 있는 반 이중 통신방식의 군용무선기로 디지털 변조방식인 FSK 방식을 사용하며 데이터는 직렬 전송된다[5]. 직렬 데이터 입출력 포트인 인텔사의 USART 칩인 8051을 사용하여 동기식 전송뿐만 아니라 비동기식 전송도 가능하다[5]. PRC-999K는 아날로그 디지털 신호변환에 따른 수신 지연대기 시간이 존재한다. 이는 송신 장비에서 데이터 송신 후 수신 장비가 데이터를 수신하기 시작하는 시점까지의 시간이다. PRC-

999K는 운용모드에 따라 고정모드와 도약모드로 구분되며, 실험은 도약모드를 사용한다. 데이터 신호형태를 가진 도약모드의 수신 개시 지연시간은 875ms이다[6]. 실험에 사용한 사격지휘소 장비 구성은 다음과 같다.

장비제원 - CPU: Intel80486, OS: 없음 (control 프로그램 제작), 통신소자: z85C30

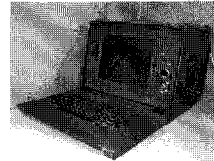


그림 1. 사격지휘소 장비 사진
Fig. 1 Picture of the fire direction equipment

노드는 노트북과 docking station을 이용한 통신보드를 삽입해 만든 시뮬레이터로 구현했다.

장비제원 - 노트북컴퓨터, 통신용 docking station (제작), 통신소자: z85C30



그림 2. 시뮬레이터 사진
Fig. 2 Picture of the simulator

사격지휘시스템 전체 구성은 다음과 같다.

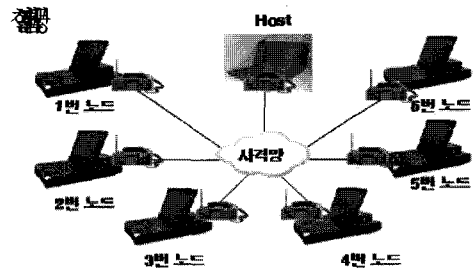


그림 3. 실험 시스템 구성
Fig. 3 Organization of the testing system

그림 4와 5는 6개의 노드 역할을 하는 시뮬레이터를 테이블 위에 설치하여 실험한 사진이며, 각 노드는 후면에 통신용 docking station을 장착하고 있으며, 통신용 케이블에 의해 PRC-999K 무전기와 연결되어 있다.



그림 4. 실험사진 I
Fig. 4 Picture of the testing I

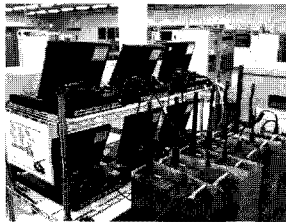


그림 5. 실험사진 II
Fig. 5 Picture of the testing II

실험 시 적용한 제원은 다음과 같다.

- 무전기 전송속도: 1200bps, 초당 1200bits를 전송하므로 초당 약 150bytes를 전송. 따라서 1byte를 전송하는데 약 6.67ms가 소요.
- Preamble: 800ms, postamble: 900ms
- 전문 송신용 CD 검사: 900ms
- ACK 송신용 CD 검사: 900ms
- 사격지휘소 전송데이터: 200bytes
- 노드의 ACK 데이터: 14bytes

표 7. 사격지휘소 전송 데이터
Table 7. Transmitting data of the fire command

필드명	Opening Flag	전문구성	FCS	Closing Flag	합계
길이 (byte)	1byte	196byte	2byte	1byte	200byte

표 8. 노드의 ACK 데이터
Table 8. ACK data of a node

필드명	Opening Flag	전문구성	FCS	Closing Flag	합계
길이 (byte)	1byte	10byte	2byte	1byte	14byte

2. 실험 결과

사격지휘소에서 6개 노드로 전문 송신 후 각 노드로부터 ACK 수신하는 시간은 다음과 같다.

- 사격지휘소 전문송신시간 = CD점검(900ms) + preamble(800ms)+ 200bytes data(1,334ms) + postamble(900ms) = 3,934ms
- 특정노드가ACK를 보내는 시간 = CD점검(900ms) + preamble(800ms)+ 14bytes data(93ms) + postamble(900ms) = 2,693ms
- 유니캐스트 기법 1:1 통신시간 = 전문작성송신처리시간(500ms) + 사격지휘소 전문송신시간(3,934ms) + 수신지연대기시간(875ms) + 전문작성송신처리시간(500ms) + 특정노드가 ACK를 보내는 시간(2,693ms) + 수신지연대기시간(875ms) + 수신완료처리표시시간(500ms) = 9,877ms

전문작성송신처리시간은 컴퓨터의 전송 실행에서 실제 무전기의 송신동작까지 걸리는 시간이며, 수신완료처리표시시간은 반대로 무전기의 수신 종료부터 컴퓨터 화면에 전문 수신완료가 표시될 때까지 걸리는 시간으로 각각 500ms로 측정된 시간이나 오차가 존재한다. 따라서 지휘소가 6개 노드에게 유니캐스트 기법으로 순차적으로 전문을 송신 완료하는 시간은 59,262ms이다.

사격지휘소에서 전문을 1회 송신(브로드캐스트)한 후 응답 전문을 6개 노드로부터 순차적으로 받아 통신 완료하는 시간은 이론상 다음과 같다.

- 사격지휘소 전문송신시간 = 3,934ms
- 특정노드가ACK를 보내는 시간 = 2,693ms
- 브로드캐스트 기법 1:6 통신시간 = 전문작성송신처리시간(500ms) + 사격지휘소 전문송신시간(3,934ms) + {수신지연대기시간(875ms) + 전문작성송신처리시간(500ms) + 특정노드가 ACK를 보내는 시간(2,693ms) + 수신지연대기시간(875ms)} x 6 + 수신완료처리표시시간(500ms) = 34,592ms

따라서 지휘소가 6개 노드에게 브로드캐스트로 전문을 송신한 후 노드들로부터 순차적으로 ACK를 받아 통신 완료하는 시간은 34,592ms이다. 따라서 브로드캐스트 기법을 적용하면 약 24,670ms(약 24.7초)의 시간단축을 이론적으로 기대할 수 있다. 6개 노드의 ACK 송신 시간 시간 흐름도(timing diagram)를 그려보면 다음과 같다.

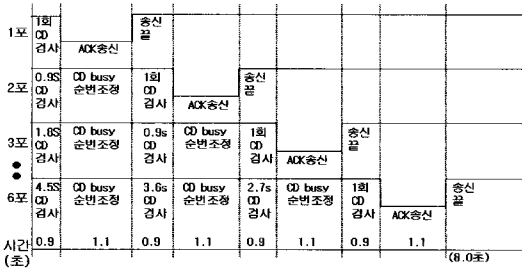


그림 6. 응답 전문 시간 흐름도
Fig. 6 Timing diagram of response message

실험은 유니캐스트 기법과 브로드캐스트 기법으로 구분하여 각각 20회를 실시하여 평균값을 산출하였으며 그 결과는 다음과 같다.

표 9. 실험 결과 데이터
Table 9. Experimental test data

[단위:초]

구분	시험값	이론값	차이(이론기준)
유니캐스트 기법	61.560	59.262	+2.298
브로드캐스트 기법	30.938	34.592	-3.654
시간단축	30.622	24.670	+5.952

기존 유니캐스트 방식을 브로드캐스트로 변경 적용 시 약 30.6초의 통신시간 단축이 이루어졌다. 이론적 통신시간 대비 약 5.9초의 오차는 컴퓨터 내부처리시간, PRC-999K 무전기의 PTT 동작대기 시간에 그 원인이 있다.

V. 결론

본 논문에서는 PRC-999K 무전기를 사용하는 육군 전투용 무선망에서 주로 사용하는 유니캐스트 방식의 송수신에서 사격지휘시스템의 지휘소와 노드간 브로드캐스트 방식을 적용하여 브로드캐스트된 전문에 대해 수신 확인응답을 보내는 프로토콜을 제안하였고 이를 통해 통신 시간을 단축할 수 있음을 보였다. 제안된 프로토콜은 보다 신속하고 정확한 데이터통신을 필요로 하는 육군 전투용 무선망에 유용하게 적용될 수 있다.

참고문헌

- [1] 정진욱, 한정수 공저, “데이터 통신”, 생능출판사, 한국, 2004.
- [2] 최영민, “C4I시스템을 위한 무선통신프로토콜(MIL-STD-188-220C)에 관한 연구”, 아주대석사논문, pp. 10-11, 2007.
- [3] 박재성, 임유진, 안상현, “무선데이터망에서 IEEE 802.11 브로드캐스트 기법의 성능분석”, 대한전자공학회 논문지, vol. 46, no. 5, pp. 510-512, 2009년 5월.
- [4] 최재혁, 김종권, “IEEE 802.11 DCF에서 충돌상황을 이용한 새로운 충돌 해결 방안”, 한국정보과학회 가을 학술발표논문집, vol. 30, no. 2, pp. 493-495, 2003년.
- [5] 이성규, 최영운, “군용 무전기를 이용한 근거리 무선 데이터 전송에서의 분산매체 접근제어 방식의 성능 분석”, 한국군사과학기술학회지, 제2권, 제2호, pp. 117-121, 1999년 12월.
- [6] 국방규격, KDS 5820-1262-3, 무전기세트 PRC-999K, 2003. 5. 20.

저자소개



장명진(Myung-jin Jang)

1985년 서강대학교 전자계산학 공학학사.
2010년 아주대학교 전자공학과 공학석사.

1986년 ~ 현재 LIG넥스원(주) 수석연구원/부장.
※관심분야: Embedded systems, 데이터통신



박성진(Seong-jin Park)

1994년 KAIST 전기및전자공학과 공학학사.
1997년 동대학원 공학석사.
2001년 동대학원 공학박사.

2001~2004년 삼성전자 네트워크사업부 책임연구원.
2004년~ 현재 아주대학교 전자공학부 교수.
※관심분야: Discrete event systems