

USRP/LTE를 이용한 CDMA기반 양방향 군탐색구조 시스템 시작품 제작

정인철*, 최상혁*, 이상욱*, 안우근**, 정회원

Prototyping of CDMA based Two-Way MSAR by USRP/LTE

I. C. Jeong*, S. H. Choi*, Sanguk Lee*, and Woo-Geun Ahn** Regular Members

요 약

본 논문은 USRP와 LTE를 이용하여 CDMA 양방향 군탐색구조 시스템의 시작품 제작에 대한 내용을 기술하고 있다. 상용 LTE망에 의한 양방향 탐색구조 시스템과 USRP를 이용하여 COSPAS SARSAT의 새로운 규격인 Spread Spectrum 방식의 신호체계를 구현하여 RF신호를 생성하고 송출하여 수신한 결과에 대한 내용을 포함하고 있다.

Key Words : MSAR(Military Search And Rescue), Two-Way, USRP/LTE, CDMA, Prototype

ABSTRACT

This paper describes the prototyping of CDMA bi - directional group search system using USRP and LTE. This paper describes the results of RF signal generation and transmission by implementing a spread spectrum signaling system, which is a new standard of COSPAS SARSAT, using a bi-directional search structure system using commercial LTE network and USRP.

I. 서 론

국제 탐색구조 시스템인 COSPAS-SARSAT 시스템은 크게 위성시스템, 탐색구조 단말기 그리고 지상시스템으로 구성된다. 위성 시스템은 저궤도 위성 시스템(LEOSAR), 중궤도 위성(MEOSAR)과 정지궤도 위성(GEOSAR)으로 나누어지고, 탐색구조 단말기는 개인(PLB: Personal Location Beacon), 선박(EPIRB: Emergency Position-Indicating Radio Beacon)이나 항공기(ELT: Emergency Locator Transmitter)의 조난 시에 조난신호를 COSPAS-SARSAT 위성으로 자동 또는 수동으로 전송함으로써 이동체의 조난상황을 알리고 위치 식별을 돕기 위한 장치로 개인 휴대형, 선박 및 항공기에 탑재되는 형태가 있다. 이러한 COSPAR-SARSAT 탐색구조 운용개념도는 그림 1과 같다.

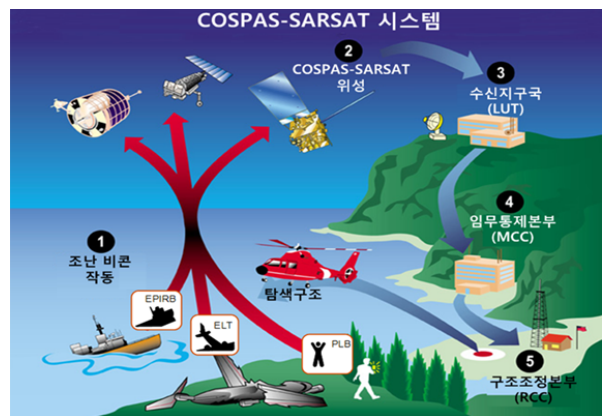


그림 1. COSPAS-SARSAT 탐색구조 운용 개념도

탐색구조 단말기가 작동되면 406 MHz의 조난 신호가 발사(1)되고, 저궤도 위성으로 구성된 COSPAS-SARSAT에서 구조신호를 수신하여(2), 지상 수신국(LUT: Local User Time)으로 중계(3)하고, 지상 수신국에서는 탐색구조 단말

*한국전자통신연구원 위성항법 레이더연구실 (jic@etri.re.kr, shchoi0226@etri.re.kr, slee@etri.re.kr)

**국방과학연구소 제3기술연구본부 4부(wgahn@add.re.kr), 교신저자 : 이상욱

※ 본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소가 지원하는 국방위성항법특화연구센터 사업의 일환으로 수행되었습니다.

접수일자 : 2016년 12월 6일, 수정완료일자 : 2016년 12월 14일, 최종 게재확정일자 : 2016년 12월 15일

기의 위치를 계산하여 임무센터(MCC : Mission Control Center)를 통해 구조 센터(RCC: Rescue Coordination Center)로 전송(5)하게 하고, RCC는 구조 활동을 수행한다. 본 논문은 탐색구조 시스템의 정확성, 신뢰성, 가용성 성능을 측정하고 테스트베드 구축을 통하여 COSPAS-SARSAT 탐색구조 시스템에 대한 방향을 제시하는 것이 목적이다.

II. 양방향 군탐색 구조 M&S 소프트웨어

양방향 군탐색구조 M&S 소프트웨어에서 사용자, 통신링크, 지상국, 운용환경 시스템은 그림 2와 같이 크게 사용자, 통신링크, 지상국, 시스템 운용환경으로 나누어지며, 사용자 모델은 조난 상황 시 자동적으로 조난신호가 송출되는 기능을 가지며, 여기에는 조난신호에 군을 위한 비화 기능 및 지상국의 호출신호에 따라 조난신호를 송출하는 호출 기능을 가진다. 운용환경 모델은 지상신호와 위성 신호에 대한 전파전달 감쇄를 계산하기 위해 필요한 GIS(Geographic Information System), 기상정보, 안테나 정보, 위성 정보를 설정한다. 통신링크 모델은 크게 지상망과 위성망으로 구분되며 단말기와 지상국 유닛 간의 거리에 대하여 운용환경 모델의 감쇄를 반영한다. 지상국은 탐색구조를 총괄하는 임무제어국과 탐색구조를 수행하는 탐색구조대, 그리고 원활한 지상통신을 위한 지상수신국으로 나뉜다.[1]

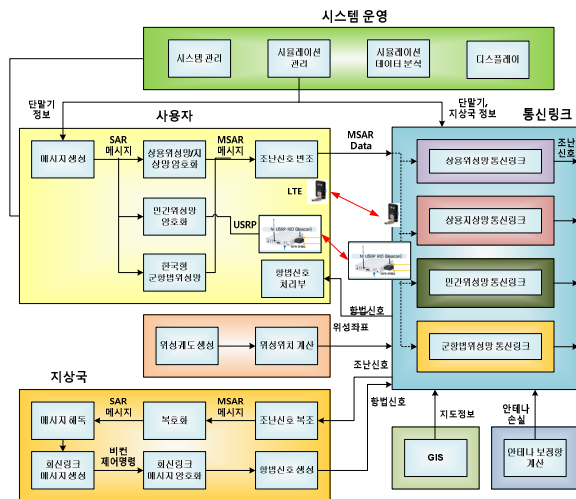


그림 2. 양방향 군탐색 구조 M&S 소프트웨어 구성도

III. USRP/LTE를 이용한 양방향 탐색구조 시스템

본 논문에서의 양방향 탐색구조 시스템은 USRP 개발 플랫폼을 기반으로 M&S 소프트웨어를 연동한 비화 상용망 연동 양방향 하이브리드 탐색구조 M&S 시스템이다.

사용된 USRP (Universal Software Rado Peripheral) 2950R 제품은 송수신이 가능한 독립된 2개의 RF 모듈을 지원하고, 가능한 주파수는 COSPAS-SARSAT 주파수를 지원하는 50 MHz ~ 2.2 GHz 대역의 제품을 선정하였다.

USRP/LTE를 이용하여 양방향 탐색구조 시작품을 제작하고, 탑재된 지상측위 알고리즘을 이용하여 탐색구조 시스템의 정확성, 신뢰성, 가용성 성능 측정(실험실, 차량 기반)을 실시하였다. USRP와의 연동 준비가 완료되면 지상 테스트베드는 그림 3과 같이 1개의 송신기와 2~3개의 수신기로 이루어진 2대 또는 4개의 USRP로 구성할 수 있다.

이 때 각 USRP 간의 동기 시 1 PPS 정확도는 GPS를 이용하여 ±50ns 정도이므로 근거리 시험에서는 루비듐 원자시계와 같은 단일 외부클럭을 사용할 필요가 있다. 또한 USRP를 차량에 탑재하여 시험할 경우에 80 km/H의 속도로 이동한다면 최대 가능한 도플러 주파수는 30 Hz이다. 송신출력과 주파수 영향을 반영하여 송수신 유효거리를 확인하였다.

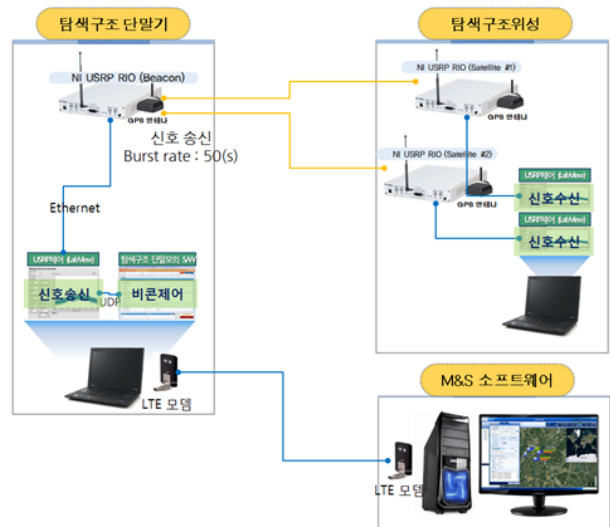


그림 3. 양방향 군탐색 구조 시스템 구성도

이 방법은 지상 테스트베드를 활용하여 군탐색 구조 시스템을 구현하였다. 지상테스트베드는 비컨 모의기와 N개의 위성 모의기로 구성되었을 것으로 예상하여 USRP/LTE를 이용하여 COSPAS-SARSAT 프로토콜 메시지로 통신하는 것을 가정하였다.

IV. 2세대 COSPAS-SARSAT 탐색구조 메시지 분석

COSPAS-SARSAT 탐색구조 시스템에서 조난자의 위치를 추적하고 해당 선박이나 항공기, 조난자를 식별하기 위한 메시지 포맷은 COSPAS-SARSAT 관리문서 형식으로 사무국에서 관리되고 있다. 본 장에서는 COSPAS-SARSAT 탐색구조 신호 메시지 포맷을 기술한다.

202 information bits										48 error correction bits					
154 bit main field						48 bit rotating field				48 bit BCH field					
Main Message			Spare												
-	...	137	138	...	154	155	156	201	202	203	204	249	250

그림 4. 2세대 COSPAS-SARSAT 메시지구조

b 25:	Message format flag:	0 = short message, 1 = long message	
b 26:	Protocol flag:	1 = User protocols	
b 27 - b 36:	Country code number:	3 digits, as listed in Appendix 43 of the ITU Radio Regulations	
b 37 - b 39:	User protocol code:	000 = Orbitalography 001 = Aviation 010 = Maritime 011 = Serial	110 = Radio call sign 111 = Test 100 = National 101 = Spare
b 37 - b 39:	010 = Maritime user	110 = Radio call sign user	011 = Serial user
b 40 - b 75:	Trailing 6 digits of MMSI or radio call sign (modified-Baudot)	b 40 - b 63: First four characters (modified-Baudot)	b 40 - 42: Beacon type 000 = Aviation 001 = Aircraft Operator 011 = Aircraft Address 010 = Maritime (float free) 100 = Maritime (non float free) 110 = Personal b 43: C/S Certificate flag b 44 - b 73: Serial No. and other data
b 40 - b 81:	Aircraft Registration Marking (modified - Baudot)	b 64 - b 75: Last three characters (binary coded decimal)	b 74 - b 83: C/S Cert. No. or National use
b 76 - b 81:	Specific beacon (modified-Baudot)	b 76 - b 81: Specific beacon (modified-Baudot)	b 82 - b 83: Specific ELT number ¹
b 82 - b 83:	00 = Spare	b 82 - b 83: 00 = Spare	
b 84 - 85:	Auxiliary radio-locating device type(s):	00 = No Auxiliary radio-locating device 01 = 121.5 MHz 10 = Maritime locating: 9 GHz SART 11 = Other auxiliary radio-locating device(s)	
b 86 - b 106:	BCH code:	21-bit error-correcting code for bits 25 to 85	
b 107:	Emergency code use of b 109 - b 112:	0 = National use, undefined 1 = Emergency code flag	(default = 0)
b 108:	Activation type:	0 = Manual activation only 1 = Automatic and manual activation	
b 109 - b 112:	Nature of distress:	Maritime emergency codes (see Table A.4) (default = 0000) Non-maritime emergency codes (see Table A5) (default = 0000)	
			b 107 - 112: National use

그림 5. COSPAS-SARSAT 1세대 메시지 내부 구조

b 25:	Message format flag:	0 = short message, 1 = long message	
b 26:	Protocol flag:	1 = User protocols	
b 27 - b 36:	Country code number:	3 digits, as listed in Appendix 43 of the ITU Radio Regulations	
b 37 - b 39:	User protocol code:	000 = Orbitalography 001 = Aviation 010 = Maritime 011 = Serial	110 = Radio call sign 111 = Test 100 = National 101 = Spare
b 37 - b 39:	010 = Maritime user	110 = Radio call sign user	011 = Serial user
b 40 - b 75:	Trailing 6 digits of MMSI or radio call sign (modified-Baudot)	b 40 - b 63: First four characters (modified-Baudot)	b 40 - 42: Beacon type 000 = Aviation 001 = Aircraft Operator 011 = Aircraft Address 010 = Maritime (float free) 100 = Maritime (non float free) 110 = Personal b 43: C/S Certificate flag b 44 - b 73: Serial No. and other data
b 40 - b 81:	Aircraft Registration Marking (modified - Baudot)	b 64 - b 75: Last three characters (binary coded decimal)	b 74 - b 83: C/S Cert. No. or National use
b 76 - b 81:	Specific beacon (modified-Baudot)	b 76 - b 81: Specific beacon (modified-Baudot)	b 82 - b 83: Specific ELT number
b 82 - b 83:	00 = Spare	b 82 - b 83: 00 = Spare	
b 84 - 85:	Spare		
b 86 - b 106:	BCH code:	21-bit error-correcting code for bits 25 to 85	
b 107 - b 176:	PDF-2:	Supplementary data via multiple data packages (see Annex C)	
b 177 - b 268:	BCH code:	92-bit error-correcting code for bits 25 to 176	
			b 40 - b 41: Sub-identifier=00 TAC No./Serial No. ID scheme b 42 - b 61: TAC number b 62 - b 85: Serial number per TAC number b 40 - b 41: Sub-identifier=01: Spare 10: Spare 11: Spare

그림 6. COSPAS-SARSAT 2세대 메시지 내부 구조

(1) COSPAS-SARSAT 메시지 구조

COSPAS-SARSAT 메시지 구조는 250 bit 중 202 bit 와 오류처리코드(BCH: Bose-Chaudhuri-Hocquenghem) 48bit 를 기본으로 한다. 다음과 같이 정보 비트 202 bit 중에서 154 bit는 main data field, 48 bit는 rotating field로 구성된다. 1 세대 비컨 메시지 구조와의 차이점은 1세대의 경우 짧은 메시지는 112 bit, 긴 메시지의 경우에는 144 bit로 두 종류가 존재하나, 2세대의 경우에는 250 bit로 단일화되었다.

1세대 비컨의 메시지 포맷과 2세대 메시지 포맷과의 구성 요소의 차이점은 없으나, 2세대 메시지의 오류 정정 코드(error correction field)와 protection data field의 bit 수가 증가하였다. COSPAS-SARSAT 메시지는 크게 PDF-1 영역과 PDF-2 영역으로 구분된다, 2세대 메시지 내부 구조는 1세대 내부 구조와 비교해서 PDF-1 영역은 동일하나 일부 코드가 변경이 된 정도이고, PDF-2 영역은 크기가 확장되어 있고 내부 구조가 재정의 되어 있다.

(2) PRN 코드

비컨 메시지는 PRN 코드로 Spreading 되며, 반드시 수신기에서 이 코드를 알고 있어야 한다. Time Duration은 1초로 Spreading 일련번호는 In-phase (I) 과 Quadrature (Q) component 는 각각 초당 38,400 개의 독립적인 chip 으로 구성된다. PRN은 아래와 같이 23개의 길이의 shift register를 사용하여 생성한다.

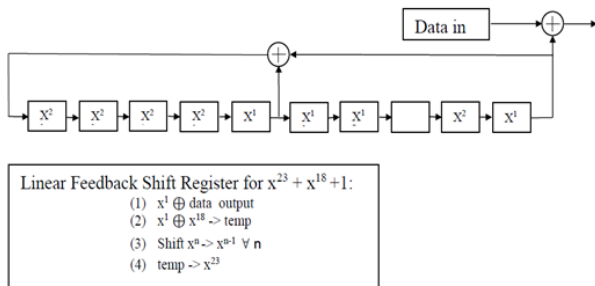


그림 7. Linear Feedback Shift Register

여러 비컨 타입에 따라서 Register의 초기값이 달라지며, 타입별로 초기값은 아래의 표에 제시되어 있다. 표에는 초기 60개의 chip이 normal operation 과 self-test 전송에 대해 타입별로 제시되어 있어, 생성한 PRN 일련번호가 제대로 생성되었는지를 확인할 수 있다.

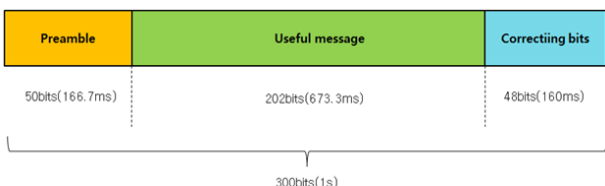


그림 8. COSPAS-SARSAT 2 세대 메시지 구조

- o Preamble : 동기 비트 필드로 데이터가 포함되지 않는 항상 일정한 50bits로 구성된 영역이다. 신호의 시작 동기를 찾는 데 이용된다.
- o Useful Message : 조난 메시지 정보가 포함된 202 bit 길이로 구성된다. 메시지 타입에 따라서 내부 메시지 구조가 달라진다.
- o Correcting Bits : 오류 정정 코드로 수신 시 오류 정정을 위한 BCH(202)코드를 사용하며 48 bit로 구성된다.

(3) 시간지연 직교 위상천이 변조

GPS 시스템은 주로 BPSK 변조 방식을 사용하는 반면, COSPAS-SARSAT에서는 반송파의 위상을 각각 다르게 하여 전송하는 방식 중 하나인 시간지연 직교 위상천이 변조(Offset Quadrature Phase Shift Keying: OQPSK)를 사용한다. OQPSK는 기존 QPSK 변조 방식에서 신호 간 최대 위상 변화가 급격한 180°가 아닌 90°로 줄인 방식으로 Q(quadrature)성분 채널 신호에 만큼의 시간지연을 준다.

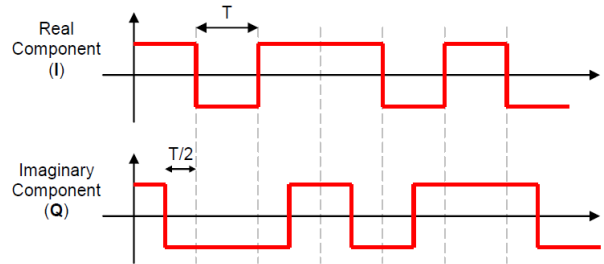


그림 9. I/Q 채널 시간지연 [4].

OQPSK 방식은 주파수의 불연속성에 따른 순간적인 대역폭 및 전력소모 증가를 해소하기 위하여 90° 반전만 사용하여 전력소모를 줄일 수 있다.

V. LTE를 이용한 양방향 탐색구조 시스템

상용 LTE를 이용한 양방향 군탐색구조 시스템 시작품은 그림 3에서 볼 수 있듯이 LTE망은 2개의 LTE 모델을 이용하여 LTE 네트워크를 구성했으며 통신프로토콜과 인증과 보안 모듈을 추가하였다. 그림 10에서와 같이 LTE 네트워크는 LTE 엔티티(Entity)들과 EPC(Evolved Packet Core) 엔티티들로 구성되며 UE 단말에서 LTE-Uu 무선 인터페이스를 통하여 eNB(Evolved Node B) 기지국과 접속하며 EPC의 사용자 인증 및 NAS/AS보안을 거쳐 PDN(Packet Data Network) 외부 인터넷망에 접속하는 구조로 이루어져 있다 [5]. 이렇게 구현된 LTE망을 이용한 탐색구조 시스템은 COSPAS SARSAT의 메시지 프로토콜과 비화기법을 이용하여 보안을 구현하였고 양방향 통신을 이용하여 조난 신호

송출주기 및 보안키의 갱신을 위한 제어 등을 구현하고 확인하였다.

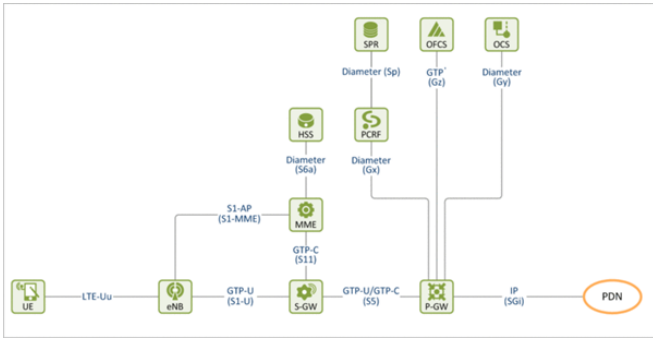


그림 10. LTE 네트워크 구성.

VI. USRP/LTE를 이용한 양방향 탐색구조 시스템 메시지 송신 및 수신

USRP/LTE를 기반으로 양방향 탐색구조 시스템 시작품 시험 평가의 완성도를 높이기 위한 방법으로 메시지 송수신 시험을 수행하였다.

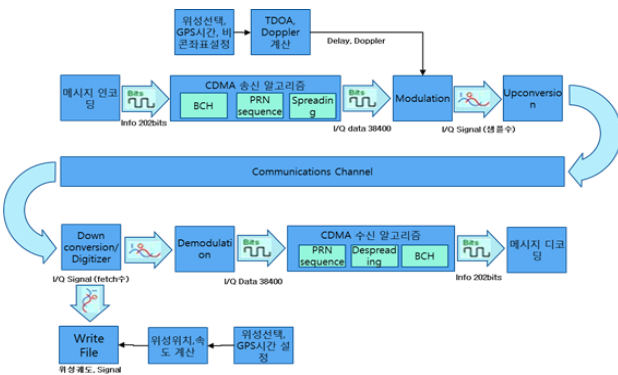


그림 11. 모의기 연동 메시지 송수신 흐름도

(1) USRP 송신

다음은 USRP상에서의 신호송신을 위한 설정과 과정을 기술하고 그림 12는 설정화면 및 생성신호의 형상을 보여준다.

- ① USRP 장비를 접속하고 채널별 파라미터(IQ Rate, Carrier Frequency, Gain, 주파수 동기)를 설정한다.
- ② UDP 포트를 생성하여 수신 대기하며 모의기로부터 메시지 비트(202 bit)를 수신 받으면 이를 변환 처리하여 송신부로 전달한다.
- ③ 수신 받은 메시지 비트를 CDMA 송신 알고리즘을 이용하여 I/Q 데이터를 생성하여 이를 변조 과정을 거쳐 신호를 송신한다.
- ④ 위성항법 정보를 생성하기 위해 선택된 위성, 시간(송신기준 시간), 좌표 등을 이용하여 항법 정보(TDOA, Doppler)를 계산하여 출력한다.

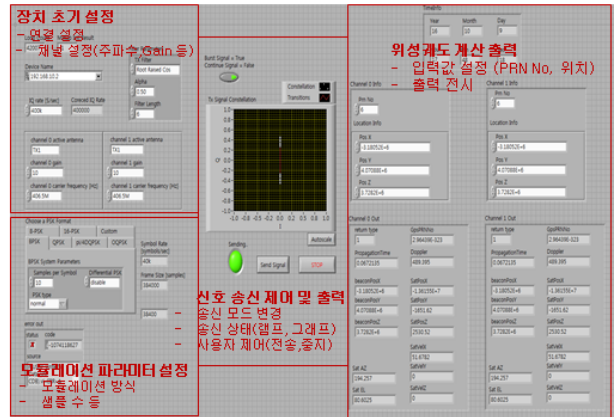


그림 12. USRP 송신 설정 및 송신신호 형상

(2) USRP 수신

다음은 USRP상에서의 신호수신을 위한 설정과 과정을 기술하고 그림 13은 설정화면 및 생성신호의 형상을 보여준다.

- ① USRP 장비를 접속하고 채널별 파라미터(IQ Rate, Carrier Frequency, Gain, 주파수 동기)를 설정한다.
- ② 수신 신호에 대해 데이터 처리를 하기 위한 초기 설정으로 복조화 설정과 동기 비트 설정이 있다. 동기비트는 고정된 비트로 송신부의 Preamble과 동일하다.
- ③ 연속적으로 수신되는 신호를 처리하는 과정이다. 이 과정은 신호수신, 동기비트 검색, 복조화, 신호 조립의 과정으로 이루어진다. 유효한 수신 신호에 대하여 조립이 완료되면 CDMA 알고리즘을 통하여 메시지 비트를 가져온다. 이 메시지 비트를 이용하여 디코딩을 통해 수신 받은 비컨 정보를 출력하게 된다.
- ④ 복조화와 메시지 조립을 통해 가공된 IQData(38400)의 데이터를 CDMA 수신 알고리즘을 통하여 메시지 비트를 생성한다. 생성된 메시지 비트를 이용하여 디코딩을 통해 비컨 정보를 출력한다. 선택된 위성, 송신기준 시간, 좌표 등을 이용하여 항법 정보(TDOA, Doppler)를 계산하여 출력한다.
- ⑤ 수신된 신호를 위성 항법정보와 신호 데이터 파일로 저장한다.

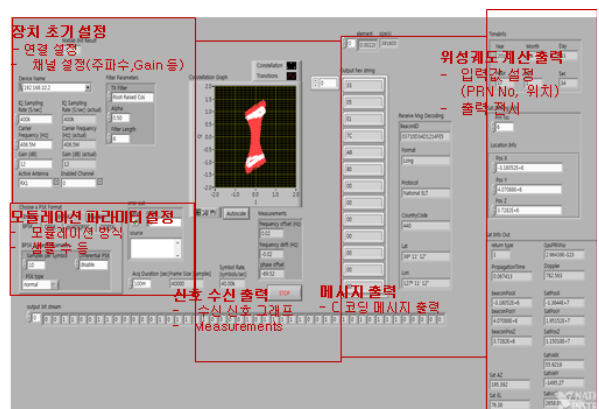


그림 13. USRP 수신설정 및 수신신호 형상

VII. 결론

본 논문은 기존 군 탐색구조 개념과 민간 탐색구조 시스템인 COSPAS-SARSAT 시스템의 분석을 토대로 구현된 M&S 소프트웨어를 탐색구조의 정확성, 신뢰성, 가용성을 분석할 수 있는 USRP/LTE와 연동된 M&S 소프트웨어 시제품을 제작을 통하여 새로운 규격의 탐색구조 시스템에 대한 방향과 가능성을 제시하였다. 또한 USRP 개발 플랫폼과 M&S 소프트웨어를 연동하여 단말기와 위성간의 통신을 새로운 표준인 Spread Spectrum 형태의 RF신호를 생성하여 송출하고 이를 수신처리하여 그 기술의 적용하고 그 신호를 이용한 위치추정에 대한 가능성에 대한 검증을 수행하였다.

본 논문의 결과는 지상 테스트베드에서의 시험과 차량을 통한 실외 테스트 시험 그리고 위성궤도 시뮬레이션과 연계한 환경에서 RF시험을 통하여 성능평가를 수행할 예정이다.

참고 문헌

- [1] Kim, J. H., Ahn, W. G., Hur, M. B., Lee, J. H., Lee, S. U. 2011, The Development Direction of Technology of Civil System, Proceedings of Symposium of the Korea Institute of Communications and Information Science, 6, 135-136
- [2] Kim, J. H., Kim, J. H., Ahn, W. G., & Lee, S. U. 2014, Development Status of Military Search and Rescue System M&S Software, The Journal of Korea Society of Communication and Space Technology, 9(3), 121-126
- [3] Kim, J. H., Kim, J. H., Ahn, W. G., & Lee, S. U. 2015, Beacon Geolocation Scheme of COSPAS-SARSAT System for Heavy Disaster Environment, The Journal of Korea Society of Communication and Space Technology, 10(4), 146-150
- [4] COSPAS-SARSAT Document C/S T.018 Issue A, "Specification for second-generation COSPAS-SARSAT 406MHz distress beacons"
- [5] LTE 네트워크 구조, <http://www.netmanias.com/bbs/view.php?id=techdocs&no=52>

저자

정인철(InCheol Jeong)



· 1986년 9월 : 중앙대학교 전자계산학과 학사졸업
 · 1999년 2월 : 충남대학교 컴퓨터과학과 석사졸업
 · 1987년~현재 : 한국전자통신연구원 위성항법레이더연구실 책임연구원

<관심분야> : 위성통신, 위성항법

정회원

최상혁(SangHyouk Choi)



· 2007년 2월 : 연세대학교 전기및전자공학과 학사졸업
 · 2010년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사졸업
 · 2016년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사졸업

· 2016년~현재 : 한국전자통신연구원 위성항법레이더 연구실 연구원

<관심분야> : 빔 포밍, 방향 탐지, 레이더 신호처리

정회원

이상욱(Sanguk Lee)



· 1988년 2월 : 연세대학교 천문기상학 학사졸업
 · 1991년 3월 : Auburn대학교 항공우주공학과 석사졸업
 · 1994년 3월 : Auburn대학교 항공우주공학과 박사졸업

· 1993년 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 위성항법 레이더 연구실 책임연구원

<관심분야> : 위성시스템/제어, 위성항법, 탐색구조시스템

정회원

안우근(Woo-Geun Ahn)



· 2001년 2월 : 고려대학교 전기전자전파공학부 학사졸업
 · 2003년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사졸업
 · 2010년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사졸업

· 2011년~현재 : 국방과학연구소 항법기술부 선임연구원

<관심분야> : 빔 포밍, 방향 탐지, 레이더 신호처리

정회원