

정밀측위 · 통신용 임펄스 UWB SoC 설계기술

김천수 | 김재영
한국전자통신연구원

요약

유비쿼터스 홈, 인명 방재, 지능형 로봇 등에 응용하기 위한 IEEE 802.15.4a 시스템은 실내에서 1m 이하의 측위 기능, 수Kbps ~ 수Mbps의 통신 기능, 4개 이상의 SOP (Simultaneous Operating Pico-net), 30m이상의 통신거리 및 저전력을 요구한다. 이러한 표준을 수용하는 정밀측위 기능과 통신기능을 동시에 가지는 임펄스UWB SoC설계, 제작 및 시험기술에 대해서 언급하였다.

1. 서론

1. 실외의 측위 시스템

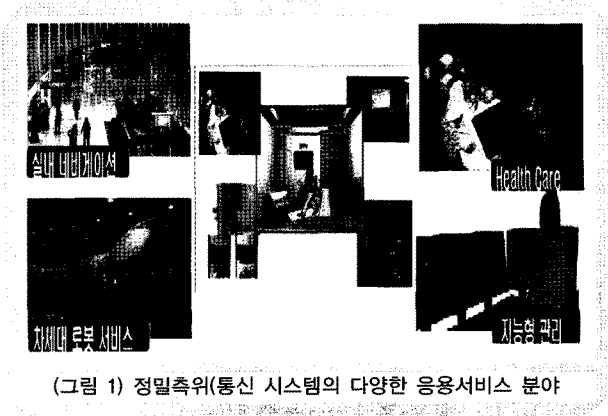
정확한 위치를 지도상에서 알려주는 서비스 (Location Based Service)는 차량, 선박, 항공기 등이GPS(Global Positioning System)을 이용하여 정해진 항로를 따라 운행하는 서비스로 생활 속에 친숙히 활용되고 있으며, GPS시스템의 위치 정확도는 오차를 최소화하는 방법에 따라 단일 위성항법시스템이 수십 미터의 정확도를, 보정 위성항법시스템이 수 미터의 정확도를, 반송파 보정 위성항법시스템이 수십 센티미터의 정확도를 가져 군사용 뿐만 아니라, 측량, Car Navigation, Mobile terminal, 항공 운항제어, 야생동물 관리, 탐사, 시추 등 일상생활에 다양하게 응용되고 있다[1]. 또한 소형화, 저가격화, 저전력화를 가능하게 하는 SoC(System On a Chip) 기술의 발전으로 핸드폰, PDA등의

Mobile 기기에 채택이 급속히 진행되고 있으며, 인명의 긴급 조난 시 정확한 위치파악을 위해 핸드폰내에 의무적으로 GPS를 내장해야 하는 현실이 곧 올 것으로 예측된다. 물론 기존의 이동통신망(CDMA, GSM/GPRS, WCDMA)의 기지국과 단말기간의 수신신호의 세기를 측정하여 위치인식 서비스를 하고 있지만 오차가 수백 미터 정도로 크고, 건물밀집 지역에서 다중경로 및 신호감쇄로 정확한 위치인식이 어려워 그 활용도가 떨어진다. 이렇듯 정확도가 높은 위치인식은 다양하고 무한한 응용서비스가 가능하지만 앞서 언급한 시스템은 모두 실외의 LOS(Line of Sight) 환경에서만 적용된다.

2. 실내의 측위 시스템

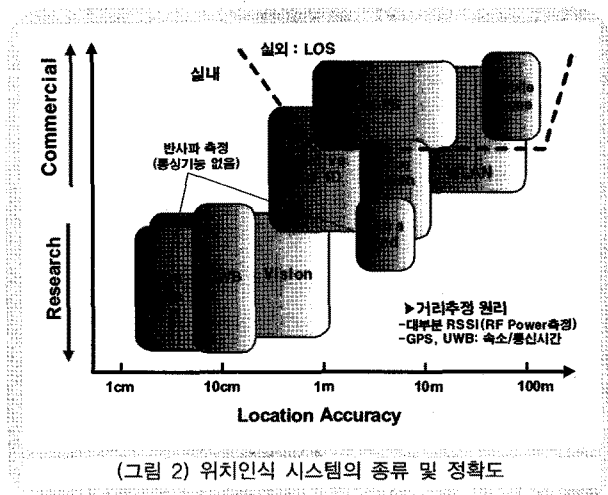
빌딩 내부나 집안 등의 실내에서 수십 센티미터 이하의 정확한 위치 인식은 화재 및 재난 시 인명의 위치 파악, 실내 위치안내 및 navigation 서비스, 실내 로봇의 위치인식 및 로봇간 협업 서비스, 어린이나 노약자의 위치파악 및 위험지역 안내서비스, health care서비스, 위치인식을 통한 u-pass 서비스, u-shopping서비스 등 유비쿼터스 홈 및 유비쿼터스 도시 구현에 필수적이며, 다양한 응용서비스가 가능해진다 (그림 1 참조).

그러나 빌딩 내부에는 여러가지 장애물, 벽, 칸막이 등이 있고, 집안에서는 장애물에 의한 신호감쇄나 다중경로에 따른 오차로 무선신호를 이용한 정확한 위치인식이 실외의 위치인식 시스템보다 더욱더 어렵다. 물론 실내에서도 WLAN 기반, WPAN 기반, 무선통신 시스템의 AP(Access Point)와의 RSSI (Received Signal Strength Indicator)를 이용하거나,



(그림 1) 정밀측위(통신 시스템)의 다양한 응용서비스 분야

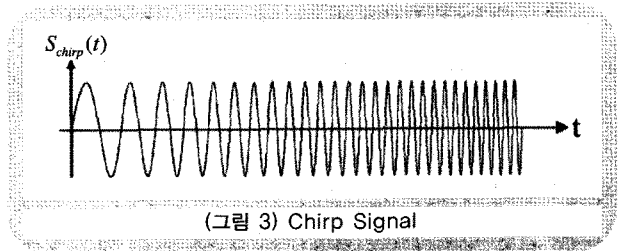
RF 신호의 전달지연을 이용하여 위치인식이 가능하나, 정확도가 10미터 정도로 낮고 무선 LAN을 지원하는 SoC의 가격 및 전력소모 정도가 커서 그 활용도가 낮으며, WPAN기반의 Zigbee시스템도 실내에서 2~3미터의 정밀도를 가지나 이 역시 신호의 세기를 측정하는 방식으로 벽이나, 장애물이 있을 경우 오차가 심해 정밀도가 떨어진다. (그림 2)에는 실내(외) 위치인식 시스템의 종류 및 측위 정밀도, 상용화 정도에 따라 도식화 하였다.



(그림 2) 위치인식 시스템의 종류 및 정확도

IEEE 802.15.4a 표준화에서는 유비쿼터스 홈, 방재, 지능형 로봇에 응용하기 위하여 실내 1m이하의 정밀도의 무선 측위 및 통신 기능을 융합한 시스템의 표준화를 '07년 3월에 완료 하였으며, 2.4 GHz 대역의 CSS(Chirp Spread Spectrum) 방식과 3.1~10.6 GHz 대역의 Impulse Radio 방식

을 표준으로 채택하였다. Chirp 신호는 (그림 3)과 같이 시간에 따라 주파수가 변하는 신호로 이동통신 중 Doppler shift에 덜 민감하여 위치추정 오차 및 BER(Bit Error Rate)가 작은 특성을 가져 실내 위치 측위 시스템 개발이 활발하다 [2]. 그러나 chirp 신호 역시 continuous wave로 다중경로에 따른 오차나 장애물에 의한 신호감쇄로 인한 오차를 피할 수 없으며, 2.4GHz ISM(Industrial Science and Medical) 밴드를 사용하므로 무선랜, 가정용 기기 등에 의한 interference를 피할 수 없는 문제가 있다. 따라서 본고에서는 유비쿼터스 홈, 방재, 지능형 로봇 등 고 정밀 무선 측위 서비스 응용을 위해 최근에 각광 받고 있는 impulse radio 시스템 및 이의 SoC 구현에 대해서 언급하고자 한다.

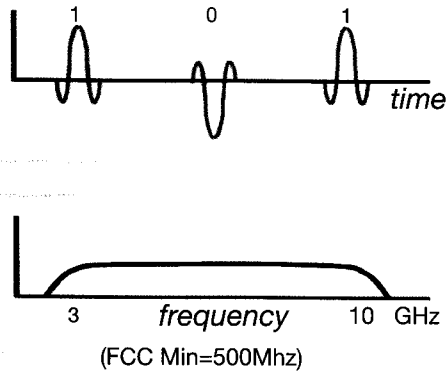


(그림 3) Chirp Signal

II. 임펄스 Radio UWB (Ultra-Wide Band) 기술

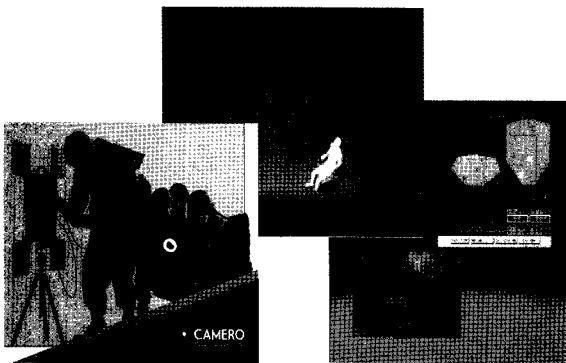
1. 임펄스 신호의 특성 및 특징

임펄스 신호의 특성은 (그림 4)과 같이 시간 영역에서 수 nsec의 펄스를 이용하므로 시간 분해 능이 우수하여 위치인식 정밀도를 높일 수 있으며, 건물, 벽, 비금속 칸막이 등에 대한 투과성이 우수하여 실내 음영지역에서 측위가 가능하며, low duty cycle 통신으로 저전력 데이터 통신이 가능하며, 실내 위치인식 시스템 PHY의 표준으로 자리잡고 있으며 위치인식 센서네트워크 시스템의 핵심 PHY 기술로 주목 받고 있다. 임펄스 신호는 주파수 영역에서는 (그림 3)과 같이 500 MHz이상의 초 광대역의 주파수 스펙트럼을 가져 UWB 시스템으로 부른다.



(그림 4) 임펄스 신호의 시간영역 파형 및 주파수 영역의 스펙트럼

(그림 5)는 최근 이스라엘에서 상용화된 3~10GHz 대역의 임펄스를 이용한 “Through-Wall-Vision” 시스템으로 군사 작전이나 인질 구출 시, 외부에서 건물 내부의 사람의 움직임을 20cm 이내의 오차로 추적 가능함을 보고하고 있다[3] 이러한 사실은 임펄스 신호의 투과성이 우수하여 벽, 칸막이, 가구 등의 장애물들이 많은 실내에서 정밀한 측위에 원리적으로 유리한 특성을 가지고 있음을 보여주고 있다.



(그림 5) UWB 임펄스 레이더를 이용한 Through-Wall Vision시스템 [3]

2. 임펄스 Radio UWB 시스템

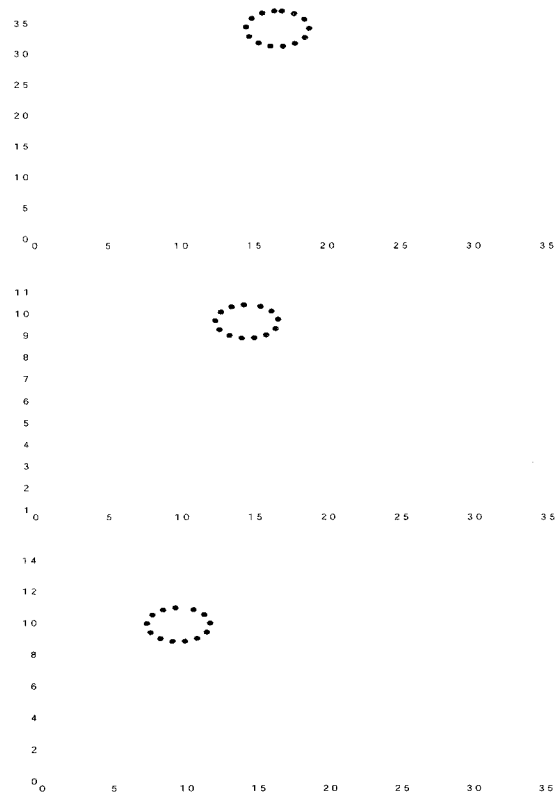
유비쿼터스 홈, 방재, 지능형 로봇 등에 응용 기 위한 IEEE 802.15.4a 시스템은 실내에서 1m 이하의 측위 기능, 수Kbps ~ 수Mbps의 통신 기능, 4개 이상의 SOP(Simultaneous Operating Piconet), 30m이상의 통신거리 및 저전력을 요구한다. 앞서 언급한 바와 같이 chirp 방식도 표준기술이나, 다중경로, 장애물로 인한 오차나, 2.4GHz ISM(Industrial

Science and Medical) 밴드의 간섭 문제로 본고에서는 임펄스 radio 방식에 대해서 언급하기로 한다.

임펄스 radio UWB 시스템도 실내 multi-path 환경에서 LOS 경우와 철문 옆 및 철판 장애물이 있는 경우 수신되는 신호를 측정하면 (그림 6)과 같다. 즉 LOS, 철문 옆, 철판 장애물이 있는 각각의 경우에 따라 최대 파워 피크와 leading peak의 차이가 발생하는데 이를 보정하지 않고서는 수십cm 이하의 정밀도를 얻을 수 없다.

3. Coherent 수신방식 vs Non-coherent 수신방식

초기의 임펄스 통신에서는 임펄스를 직접 사용하고 변복조 기능도 없어 간단하며 전력소모도 작았으나, 근래는 표준화에서는 3~10GHz UWB 밴드 대역에서 대역폭을 500MHz씩 분할하여 다중화하는 방식으로 변복조 기능을 요구하고 있다. 또한 수신 방식에 따라 coherent 수신 방식과 non-coherent 수신방식이 있다. Coherent 수신 방식은



(그림 6) 실내 multi-path 환경에서 따른 임펄스 Radio UWB 신호 스펙트럼: LOS환경, 철문옆, 철판 장애물 환경

first peak의 leading peak의 검출 및 pulse의 극성(+/- peak) 복원으로 오류 정정이 가능하나 고속 신호처리 기법 등 기술적으로 어려우며 현재 개발사례가 없으며, non-coherent 수신 방식은 pulse극성에 상관없이 power를 검출하므로 오류 정정이 불가능 하여 측위 정밀도가 낮으나 복잡도가 낮아 구현이 용이한 장점이 있다(그림 7 참조).

| 수신 방식 | Non-coherent 수신 | Coherent 수신 |
|----------------|-----------------|--------------|
| 측위 정밀도 | 1~2m급 | 60cm급 |
| 채널코딩 이득, 확산 이득 | 없음 | 6 dB |
| 펄스생성 방법 | RF/아날로그 방식 | 디지털 방식 |
| SOP 구성 | 구성 불가 | 구성 용이 |
| Chip 구현 | 간단, 저전력 용이 | 고속신호처리, 큰 전력 |
| 기술 동향 | 일반적 접근방법 | 개발사례 없음 |

(그림 7) Coherent 수신 방식과 Non-coherent 수신방식 방식의 장단점 비교

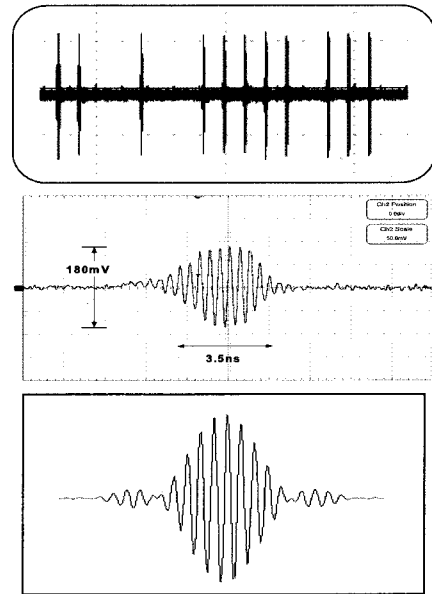
또한 펄스를 디지털 방식으로 혹은 아날로그 방식으로 생성함에 따라 구현되는 시스템의 장단점을 <표 1>에 정리하였고, 각각의 펄스 생성 방식에 따른 펄스신호 모양(그림 8)에 보여준다. 아날로그 펄스생성 방식은 500MHz 밴드폭을 가지는 펄스를 직접 생성하여 회로가 간단하지만 재연성이 떨어지고 채널화하기가 어려워 non-coherent 수신 방식으로 접근하며, 기저대역에서 펄스를 생성하면 재연성 및 채널화가 유리하지만 고속 DAC가 필요로 하며 coherent/noncoherent 형태의 수신 방식 모두 가능하다.

<표 1> 임펄스 형성 방식에 따른 장단점

| | 아날로그 방식 | 디지털 방식 |
|--------------|---|--|
| 펄스생성 방법 | 중심 주파수 f_c , 500MHz BW의 임펄스 펄스 직접 생성 | 기저대역에서 500MHz BW의 임펄스 생성 후 채널 선택 |
| 특징 | 저비용 아날로그 회로 설계 가능, 재연성 채널 화 어려움 | 고속 DAC 사용, 재연성 채널화에 유리함 |
| 수신기 개발 접근 방식 | 아날로그 샘플링 생성 및 Correlation의 어려움으로 Noncoherent 방식으로 접근함 | Coherent 수신 모델 구현 및 Noncoherent 방식 접근가능함 |

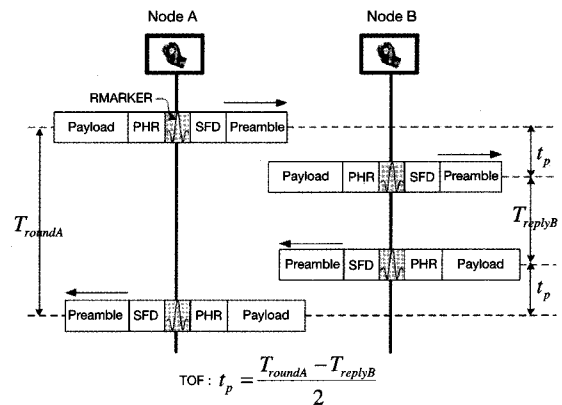
4. 거리 측정 및 위치 추정 원리

(그림 9)의 노드A에서 timing정보를 가진 데이터를 노드 B로 보내며, 노드B에서는 데이터를 받았을 때의 timing정보



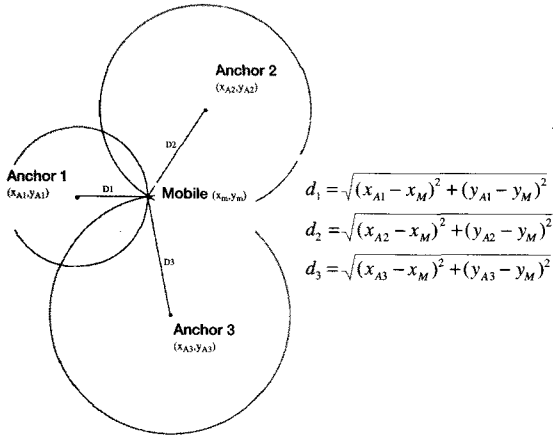
(그림 8) 임펄스 형성방식에 따른 신호모양: 임펄스 송신신호, 아날로그 임펄스 신호, 디지털 임펄스 신호

및 다시 노드A로 보낼 때의 timing 정보를 보내면, 노드A에서 신호를 받아서 거리를 추정하는 two-way ranging 방법인데, 이는 노드A와 노드B가 synchronization이 필요가 없다. 이때 노드B에서 신호를 프로세서 하는 시간인 T_{replyB} 의 시간은 빼고 계산하는 원리이다.

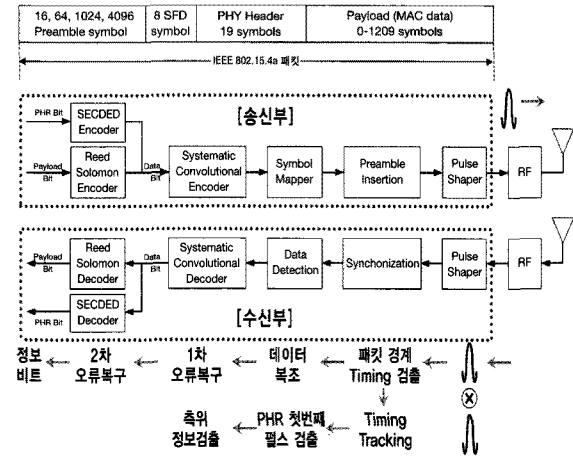


(그림 9) Two-way ranging 거리 측정의 원리

두 노드 사이의 거리를 정확히 측정하면 위치는 (그림 10)과 같이 이미 알려진 세 곳의 anchors로부터 쉽게 위치를 알 수 있다.



(그림 10) 거리 측정으로부터 위치 측정의 원리



(그림 11) 임펄스 디지털 신호처리 모델 구조도[4]

거리측정으로부터 위치 추정 방식은 여러가지가 있지만 본 고에서는 생략하기로 한다.

5. 정밀측위 · 통신용 UWB SoC 설계기술

5-1. 임펄스 디지털 신호처리 모델

(표 2)는 ETRI에서 개발 중인 측위 · 통신용 임펄스 UWB 시스템의 규격을 보여준다. 주파수 대역은 3.1~10.6 GHz UWB대역 중에서 low-band인 3.1~4.9 GHz 대역을 사용하며, 한 채널의 대역폭은 499.2 MHz이고, 변조 방식은 BPM+BPSK 를 사용한다. 수신기 방식은 coherent 방식이며 대상규격은 IEEE 802.15.4a이다.

<표 2> 측위(통신용 임펄스 UWB 시스템 규격

| 사용자 주파수 | 3494.4, 3993.6, 4492.8MHz |
|-----------|---------------------------|
| 채널 대역폭 | 499.2MHz |
| 변조방식 | BPM + BPSK |
| UWB 펄스 | 499.2MHz BW의 RRC |
| 프리앰블 길이 | 64 |
| 전송속도 | 0.85Mbps |
| Chip rate | 499.2MHz |
| 채널 코딩 | RS 코드, 길쌈 코드 |
| 확산 이득 | 12dB |
| 지원 SOP수 | 6 |
| 수신기 방식 | Coherent |
| 대상 규격 | IEEE 802.15.4a |

(그림 11)은 측위 및 통신을 위한 임펄스 디지털 신호처리 모델의 구조도이며[4-5], 주요 특징은 기본적으로 IEEE

802.15.4a 표준을 따르며, 거리 측정을 위한 절차, 파라미터 등이 추가되었으며, 모바일 노드와 레퍼런스 노드 사이의 거리측정 절차 set-up, two-way ranging방법, 64GHz급 ranging 카운터 연산수행, 거리 연산을 위해 취합하는 finish up 과정 등을 특징으로 하며, coherent 수신 방식을 통하여 1차 및 2차에 대한 오류를 복구하는 과정을 특징으로 한다. 또한 초당 기가 샘플링으로 동작하는 데이터 변환기 (ADC, DAC)가 내장된다.

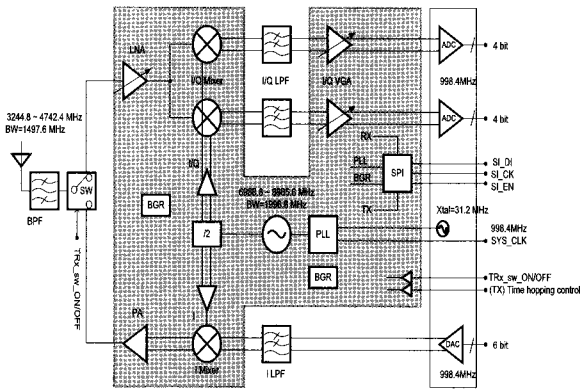
5-2. 측위 · 통신용 임펄스 UWB RF 트랜시버

임펄스 UWB용 트랜시버의 설계목표 규격은 (표 3)과 같다. 3~5 GHz의 low-band 대역을 사용하며, 수신기의 sensitivity는 -77dBm이하. 최대 송신파워는 0.7dBm이고, 전력소모 규모는 200mW이하를 목표로 설계하였다.

트랜시버 구조의 특징은 (그림 12)와 같이 direct conversion 수신기 구조이며[6-8], LO(Local Oscillator) 누설전류에 의한 영향을 줄이기 위해 주파수 합성기는 6~10 GHz의 신호를 반으로 나누어 사용하였다. 각 블록의 특징으로는 3~5 GHz의 광대역에 동작하기 위한 회로를 적용하였으며, 특히 채널 대역폭이 500MHz로 filter 및 VGA (Variable Gain Amp.)의 설계가 어렵다. 초기 시제품은 off-chip filter를 사용하였으며, filter의 집적화가 수행 중이다. 각 블록의 회로 구조 및 특성은 참고문헌[9]에 자세히 소개 되었다.

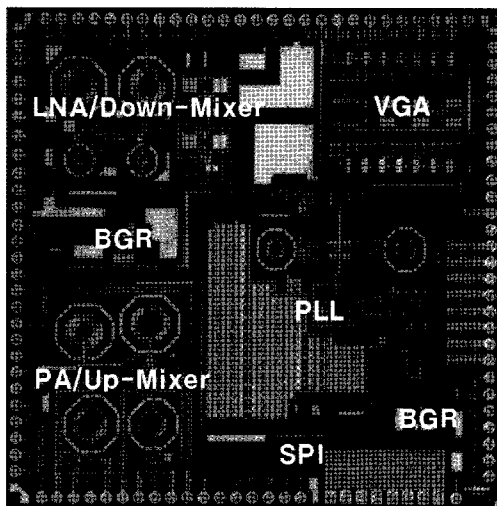
〈표 3〉 임펄스 UWB 트랜시버의 설계목표 규격

| Item | Spec. Value |
|-----------------------------|--------------|
| Operating Frequency | 3 ~ 5 GHz |
| Rx Sensitivity | < -77 dBm |
| Rx Noise Figure | < 6 dB |
| Rx IIP3 | -10 dBm |
| Rx in-band Filter rejection | >40dB@600MHz |
| Tx Output power | 0.7 dBm |
| Power Consumption | <200 mW |



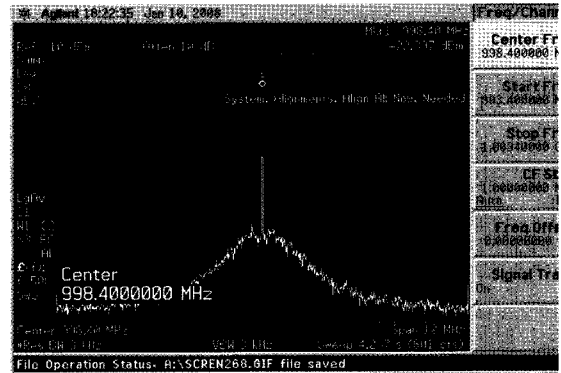
(그림 12) 임펄스 UWB 트랜시버의 구조도

임펄스 UWB 트랜시버의 칩사진은 (그림 13)에 보여준다. 이는 TSMC의 0.13um RF 기술을 이용 하여 제작하였으며, I/O는 ESD (Electrostatic Discharge) pad를 사용하였다. 주파

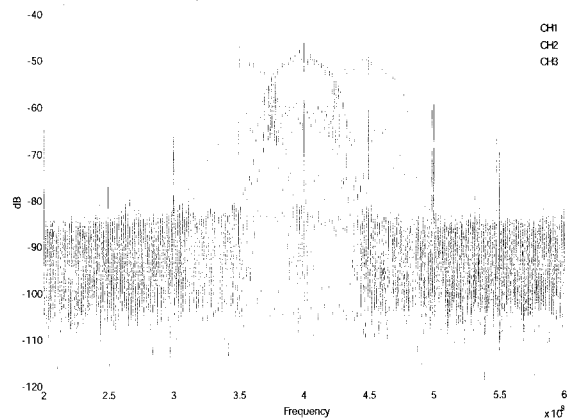


(그림 13) 임펄스 UWB 트랜시버의 칩사진

수 합성기는 6.8 ~ 10.5 GHz에 동작하고, 6988.8 MHz, 7987.2 MHz, 8985.6 MHz를 7/8/9 로 나눈 998.4MHz의 스펙트럼을 보여준다(그림 14 참조).



(그림 14) 7/8/9 로 devided한 후의 주파수 합성기 스펙트럼



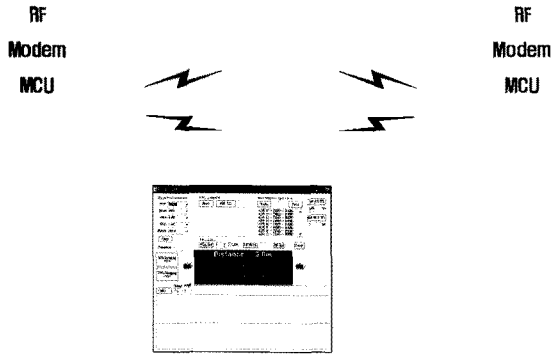
(그림 15) UWB용 펄스를 송신기 입력에 가한 후 출력 스펙트럼 특성

(그림 15)는 UWB용 펄스를 송신기 입력에 가한 후 출력 특성으로 3개의 채널이 500MHz의 밴드폭을 가지는 특성을 보여준다.

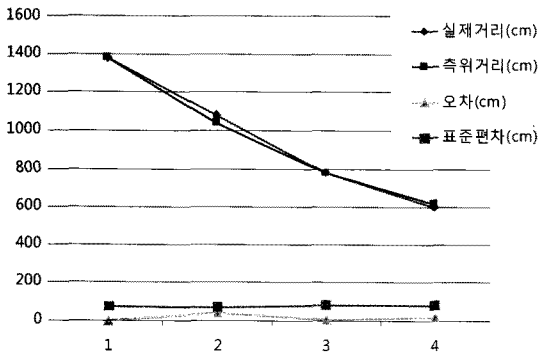
5-3. 임펄스 UWB 시스템의 측위 · 통신 시험

(그림 16)은 측위 · 통신용 임펄스 UWB시스템을 이용한 거리추정 시스템으로 임펄스 디지털 신호처리 모뎀, 데이터 변환기, f 송수신기 칩로 구성되며, PC를 통한 제어로 실내에서 거리추정 및 통신 시험을 하여 그 결과를 (그림 17)에 보여준다. Two-way ranging 방식을 사용하였으며, 실시간

측정거리 및 바로미터로 표현하였다. 무선통신 가능거리는 약10m 이상이었으며, 통신 가능 거리에서 60cm 이하의 오차를 가졌다.



(그림 16) 측위·통신용 임펄스 UWB시험 시스템을 이용한 거리추정 실험



(그림 17) 측위·통신용 임펄스 UWB시험 시스템을 이용한 거리추정 실험 및 오차

III. 결 론

본고에서는 유비쿼터스 홈, 인명 방재, 지능형 로봇 등에 응용하기 위한 임펄스 UWB SoC의 설계, 제작 및 시험 결과를 언급하였다. 측정결과 10m 이상의 통신거리를 얻었고 통신가능 거리에서 60cm 이하의 정확도를 얻었다. 현재 모듈, 데이터 변환기, RF 송수신 칩의 SoC화 및 SiP(System in Package)등으로 소형화, 저전력화에 대한 연구가 진행 중이며, u-health, u-home, u-city 구현을 위한 USN 적용을 위해

서는 초 저전력 전송기술, 저전력 초광대역 송수신 설계기술, 저전력 고속 데이터변환 기술 및 SoC 플랫폼 기술에 대한 연구가 지속적으로 필요하다.

참 고 문 헌

- [1] <http://www.dreamgnss.com/>
- [2] Kyung-Kuk Lee, "WPAN Low-rate PHY Technology" Seminar material June, 2006.
- [3] <http://www.camero-tech.com/>
- [4] 김재영 "제8회 RF 집적회로 기술 워크샵" Sep., 2008.
- [5] IEEE 802.15.4 Draft
- [6] Zheng Yuanjin et al, "A 0.18 μ m CMOS 802.15.4a UWB Transceiver for Communication and Localization" in Digest of ISSCC, p.119, Jan, 2008.
- [7] Demirkan Murat et al, "A 1.8Gpulse/s UWB Transmitter in 90nm CMOS" in Digest of ISSCC, p.117, Jan, 2008.
- [8] Werther, O. et al, "A Fully-Integrated 14-Band 3.1-to-10.6GHz 0.13 μ m SiGe BiCMOS UWB RF Transceiver" in Digest of ISSCC, p.122, Jan, 2008.
- [9] 김천수의 "제8회 RF 집적회로 기술 워크샵" Sep., 2008.

약 력



1982년 경북대학교 학사
 1984년 경북대학교 석사
 1999년 KAIST 박사
 1986년 ~ 현재 한국전자통신연구원 책임연구원
 관심분야 : UWB Transceiver구조 및 설계, 초고속 직렬 통신회로, Digital RF회로, Millimeter파 CMOS소자 모델링 및 회로

김 천 수



1990년 연세대학교 학사
 1992년 연세대학교 석사
 1996년 연세대학교 박사
 1996년 ~ 1999년 대우전자 선임
 1999년 ~ 현재 한국전자통신연구원 팀장
 관심분야 : RF-UWB측위 시스템 개발, WPAN 센서네트워크 개발

김 재 영