

Design of Optimum Structure for Search Synchronization in a DSSS Modem for eSeal

eSeal용 DSSS 방식 모뎀의 동기 탐색 최적 구조 설계

Seung-IL, Myong*, Heyung-Sub, Lee*, Hyung-Rae, Park**, Dong-Sun, Seo***

Abstract

In this paper, we study an optimum design of search synchronization structure for Baseband Modem to support ISO/IEC 18185-5 and 24730-2 Standard. For DSSS Modem, we design the code acquisition and tracking structure which are important in receiver operation, and examine the parameters to be considered. The data and PN chip transmission rates and processing gain of the proposed modem are 59.7 kbps, 30.521875 Mcps, and 27 dB, respectively. This indicates that the noise immunity of the proposed modem is 17dB better than IEEE 802.11b (Processing gain : 10dB). Therefore, we design the optimum structure for the modem search synchronization which is compatible to the proposed modem standard.

요 약

본 논문에서는 2.45 GHz RFID eSeal(electrical seal)의 표준 ISO/IEC 18185-5와 24730-2의 물리적 계층을 지원하는 기저대역 모뎀의 동기 탐색 구조 설계에 대해 연구하였다. DSSS 모뎀 설계 시, 수신기에서 가장 중요한 기능인 코드 획득 및 추적 구조를 설계하였고 고려되어야 할 각 파라미터들에 대해서 살펴보았다. 제안된 모뎀의 데이터 전송률은 59.7 Kbps이며, PN 칩 전송률은 30.521875 Mcps로써 프로세싱 이득(Processing Gain)이 27 dB이다. 그러므로 상기 표준의 변조 특성은 현재 비슷한 모뎀 구조로 사용되고 있는 IEEE 802.11b 규격(프로세싱 이득이 10dB)에 비해 잡음에 대한 내성이 17dB 우수하다. 그러므로 상기 표준에 적합한 모뎀의 동기 탐색 구조를 제시 하였다.

Keywords : DSSS modem, eSeal, Code acquisition, Code tracking

1. 서 론

최근 많은 관심을 보이고 있는 유비쿼터스(Ubiquitous)란 모든 사물이 지능화 되고 서로 특정 네트워크에 연결됨으로써 각각의 정보를 주고 받는 개념이며 이러한 기술을 실현 가능케 하는 핵심적인 기술이 RFID 기술이다^[1].

RFID(Radio Frequency IDentification) 기술은 전송 및 인식 방식에 따라서 상도 유도 방식과 전자기파 방식으로 나뉘며, 근거리 및 중장거리용에 각각 적용하여 주로 사용되고 있다. RFID 기술에서 주로 사용되는 변조 방식들은 그 응용에 따라 ASK, FSK, PSK 등을 주로 많이 사용되며 이러한 변조 방식은 주로 수동형 RFID 시스템에서 사용되고 있다. 본 논문에서 기술하고자하는 DSSS(Direct Sequence Spread

* 韓國電子通信研究院(Electronics and Telecommunications Research Institute)

** 韓國航空大學校 航空電子 및 情報通信工學部(School of Electronics, Telecommunications and Computer Engineering, Hankuk Aviation University)

*** 明知大學校 電子工學科(Electronics Engineering, Myongji University)

※ 본 논문은 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 IT성장통력 기술 개발사업의 일환으로 수행하였음. [2008-S040-1, 실 시간 위치 추적 기술 개발]

Spectrum) 통신 방식은 수동형 RFID 시스템 보다는 능동형 RFID 시스템에 적합하며 대역의 확산 및 축소 과정을 통해 기존 수동형 RFID 통신에서는 얻을 수 없는 많은 잇점을 가지고 있다.

DSSS 방식은 기존 무선 통신보다 전파 방식으로 인한 통신 보안의 취약성에 강하며 사용 빈도의 증가에 따른 사용자 상호간의 주파수 간섭에서도 강하므로 타 통신 시스템에 대한 간섭(interference)을 최소화할 수 있는 장점을 가지고 있다. 특히, 이동 통신에 있어서는 동일한 주파수 대역에서 다른 코드를 사용하여 복수 사용자가 동시에 통신할 수 있어서 다른 통신 방식에 비해 수용 가능한 다수의 사용자를 확보할 수 있는 장점이 있다.

본 논문에서는 2.45 GHz 능동형 RFID 표준에서 제안하고 있는 DSSS 모뎀에 대한 구조를 설계하였다. 종래의 유사한 DSSS 방식은 표준 IEEE 802.11b에도 규약 되어 있으며 현재 무선 랜 환경에서 적용되어 사용되고 있다. IEEE 표준에 대한 많은 무선 LAN 칩들이 개발되었으며 IEEE 802.11b를 이용한 RFID 시스템 및 위치 추적에 위한 제품들이 상용화되어 서비스를 하고 있다.

그러나 ISO/IEC 18185-5, 24730-2 표준에 준하는 모뎀은 능동형 RFID 시스템에서 eSeal (electric seal), 실시간 위치 추적 등과 같은 다양한 서비스를 제공 가능함에도 불구하고 개발 및 응용이 활성화가 되지 않은 상태에 있다. 그러므로 IEEE 802.11b와는 다른 ISO/IEC 18185-5, 24730-2의 표준에 준하는 DSSS 모뎀에서의 동기 탐색 구조를 설계하고자 한다.

앞서 서술한 바와 같이 DSSS는 많은 장점을 가지고 있으나 완전한 동기가 이루어지지 않으면 통신이 어렵다. 그러므로 정확한 동기가 확산 대역 방식에서는 가장 중요한 요소 중에 하나이며 정확한 동기를 위해서 코드 획득(code acquisition)과정과 코드 추적(code tracking)등 코드 동기 과정이 필요하다. 또한, 송신 주파수와 수신 주파수가 다르므로 주파수 동기가 다르므로 송신 주파수를 따라가도록 주파수 획득(frequency acquisition)과정과 주파수 추적(frequency tracking) 과정 등 주파수 동기 과정이 반드시 필요하다.

본 논문에서는 ISO/IEC 18185-5, 24730-2 표준을 따르며 데이터 전송률 및 칩 전송률을 표준에 맞는 모뎀을 위한 코

드 획득 및 코드추적 과정을 모의 실험을 통해 기술한다.

모의 실험을 통해 코드를 추적하기 위한 모뎀 구조는 크게 송신 모뎀 구조와 수신 모뎀 구조로 구성되며, 송신 모뎀의 구조는 패킷 생성기, PN 생성기, DBPSK 부호기, CRC 부호기 등으로 구성되며, 수신 모뎀의 구조는 PN 코드 생성기, 주파수 옵셋 보상기, PN 코드 비교기, 코드 추적기, 이득 제어기 등으로 구성 된다.

본 논문의 구성은 1장 서론에 이어 2장에서는 ISO/IEC 18185-5, 24730-2 표준의 특징 및 프레임 구조를 간략하게 설명하며 이에 대한 송신기 구조와 각 기능들을 설명하며 송신기의 모의 실험 모델링에 대해 언급한다. 3장에서는 DSSS 수신기의 가장 중요한 요소인 코드추적 및 획득에 대해 모의 실험 모델링에 대해 언급한다. 4장에서는 모의 실험 결과를 통해 코드 추적의 최적 구조를 도출하고 끝으로 5장에서 결론을 맺었다.

II. 기저대역 모뎀 구조

이 장에서는 ISO/IEC 18185-5, 24730-2 표준의 프레임 구조 및 특징을 살펴 보고, 그에 대한 송, 수신기에서 필요한 기능 및 모의 실험 파라미터들을 선정하며 실제 시스템 구현 시에 문제가 될 수 있는 하드웨어 파라미터들은 데이터 전송률을 기준으로 정규화시켜 모의 실험의 결과가 하드웨어에 근사화될 수 있도록 하였다.

1. ISO/IEC 18185-5, 24730-2의 특징

표준에서 제시하는 모뎀과 관련된 파라미터들을 표 1에 기술하였다. 데이터 변조 방식은 DBPSK이며, 511칩의 시퀀스를 사용하여 직접대역 확산 방식의 대역확산을 수행한다. 데이터 전송률은 59.7 Kbps를 지원하며, 칩 전송률은 30.521874 Mcps로써 확산으로 인한 코딩 이득은 27 dB이다. 칩 전송률의 오차와 주파수의 오차는 각각 ± 25 ppm로 중심 주파수 2442.75MHz에서 61.04 KHz 이내의 오차를 추적할 수 있도록 설계되어야 한다.

Table 1. Baseband MODEM specification

표 1. 기저 대역 모뎀 사양

항 목	모뎀 사양
데이터 변조 방식	DBPSK

데이터 전송률	59.7kbps
확산 방식	DSSS
확산 시퀀스	511
칩 전송률	30.521875Mcps ±25ppm
확산 코드	0x1CB
채널 대역폭	61MHz
패킷 길이	56,72,88,152
서브 프레임 간격	125ms ± 16ms(최대)
중심 주파수	2441.750MHz
초기 주파수 오프셋	±25ppm
최대 주파수 드리프트	< ±2ppm
위상 정확도	< 0.5 라디안
위상 잡음	< 15도
요구 BER	< 10 ⁻⁵

2. 프레임 구조

우선 동기 획득 및 추적을 위해서는 그 프리앰블의 구조를 알아야만 한다. 이는 정보 비트들이 나열되어 있는 페이로드 비트 이전에 프리앰블에서 동기 획득이 이루어져야 하므로 초기에 빠른 동기 획득 과정이 프리앰블 구간에서 수행되어야 하며 페이로드 구간에서는 동기 추적하여 전송된 패킷의 매 비트 마다 코드의 시작과 끝의 동기를 계속 유지 해야만 한다. 그림 1은 표준에서 제시하고 있는 프레임 구조이다. 크게 프리앰블과 페이로드로 구성되며 프리앰블은 총 8비트, 페이로드는 ISO 18185-5에서는 152비트로 구성되어 있다.

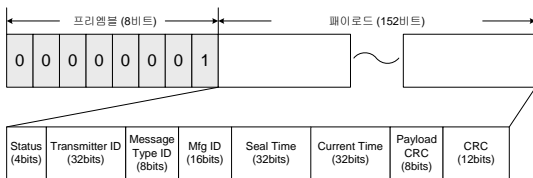


Fig. 1. Example of ISO 18185-5 payload structure.
그림 1. ISO18185-5의 페이로드 구조 예

III. 동기 획득 및 추적 구조 설계

DSSS 통신 시스템 내에서 수신기에 수신된 대역 확산 신호에 동기를 맞추기 위해서는 초기 동기 획득 과정과 프레임이 종료될 때까지의 동기 획득 및 추적을 필요로 하게 된다. 그러므로 초기 동기 획득 과정과 동기 추적 구조 설계에 대해 기술하고자 한다. 또한, 기술된 구조는 하드웨어로 구현할 수 있는 모델로 접근하여 기술토록 한다.

1. 초기 동기 획득 구조 설계

초기 동기 획득에서 코드 획득 시간을 줄이기 위해서 여러 방법들이 시도되었으며 코드의 다양한 수열 길이에 따라서 획득 시간을 줄이기 위한 방법들이 연구되어져 왔다^[3-5]. 그러나 각 방법들은 장단점을 동시에 가지고 있으므로 코드 길이 즉, PN 수열 길이, 획득 시간, 구현 복잡성, SNR(Signal to Noise Ratio)의 허용 환경 등에 따라서 적합한 획득 방법을 고려하여 시스템에 적용해야만 한다. 주로 코드 획득에 사용되는 방법들은 직렬 획득, 병렬 획득, 하이브리드 획득, 상태 추정 획득 방법 등이 있다. 표준에서 제시하고 있는 코드 길이가 길지 않기 때문에 비동기식 CDMA에서 주로 많이 사용되고 있고, 코드 길이에 비례하는 직렬 획득 방식과 함께 정합필터 형태의 획득 방법을 사용하여 초기 동기 획득을 수행하였다. 그러나 프리앰블 구간 내에서 초기 코드 획득을 위해 사용되는 비트 수는 프리앰블 구간에 다른 기능들(초기 주파수 동기 획득, 주파수 획득)도 수행되어야 하므로 가능한 적은 비트를 사용하여 초기 동기 획득을 얻도록 해야만 한다.

1) 초기 PN 동기 획득 알고리즘 고려 사항

정합 필터를 갖는 직렬 획득 방법은 점진적인 동기 비교 과정이 필요하며 정합 필터에 의해 비교된 값들에서 최대 전력값을 찾는 최대 전력 유사 검출 방식을 사용해야 한다. 최대 전력 유사 검출 방식은 한 비트 동안 에너지만을 포획 적분하여 특정 문턱 값과 비교하여 그 이상이면 동기화가 되었다고 판단하는 것이다. 또한 표준에서의 주파수 오차가 ±25ppm(±60 KHz)이기 때문에 서브 비트 간격(T_c/2) 상관 특성을 얻도록 설계 되어야 한다. 또한 주파수 오차에 따라서 에너지 축적 길이에 따른 에너지 손실 관계는 아래의 식 (1)와 같다.

$$D(\Delta f) \approx \left[\frac{\sin(\pi N \Delta f T_c)}{\pi N \Delta f T_c} \right]^2$$

(1)

여기서 Δf는 주파수 오차 최대 60 KHz, T_c는 칩 전송률인 30.521875 Mcps이다. 이 때 주파수가 60 KHz 벗어난 상태에서의 에너지는 코드 누적 길이 N에 따라서 0.22, 0.9, 3.92 dB(N=64, 128, 256)의 에너지 손실을 가져 온다. N이 작으면 축적된 에너지 손실은 적으나 PN 511 코드 길이에 대해 1/8정도 길이 밖에 비교할 수 없기 때문에 동기 오차 확

물이 커지며, N을 키우면 위상 오차를 갖는 신호에 대하여 동기를 획득할 때 오차된 상태의 에너지 손실 값이 더 커지므로 중간 값을 선택하는 것이 일반적이다. 그러므로 약 1dB의 손실을 가져오며 동기 오차를 계산하기 위한 요구되는 누적 길이로서 $N=128$ 로 선택하였다. 코드 획득 및 코드 추적에 관한 제어 순서를 아래 그림 2에 나타내었다. 코드 획득이 되면 동기 추적하도록 설계 하였다. 순서도는 초기에 일정한 코드 길이만큼 비교하여 얻어진 값들 중 최대 에너지 (η_{max})값과 설정된 임계치(η_0)의 값을 비교 후 임계치 보다 크면 동기가 되었다고 판단하여 동기 추적 과정으로 넘어간다. 반면 임계치의 값보다 작으면 다시 동기 획득 후 얻은 에너지를 임계치와 비교를 반복 수행한다.

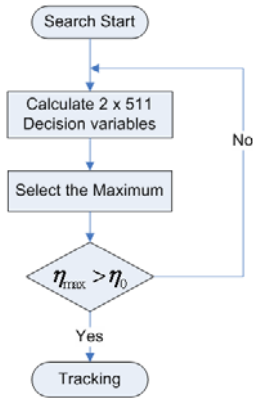


Fig. 2. Flowchart for acquisition and tracking.
그림 2 동기 획득 및 추적 순서도

2) 정합 필터

설계한 정합 필터는 그림 3와 같이 지연 탭을 사용하는 구조이다. 수신 신호의 I채널과 Q채널에 각각 독립적으로 사용하였으며 제안된 표준에서의 PN 시퀀스 길이는 511이므로 누적 길이는 128씩 나누어 계산하고 나머지 127로 계산 하였다. Z1~Z4는 128 시퀀스 길이마다 레지스터에 저장하여 최종 합하는 구조로 설계하였다. 이때 합해진 에너지의 값(η_i)은 정합 조건 임계치와 비교하여 정합 조건 임계치 보다 큰 경우 코드 정합 되었다고 판단하며 낮은 경우는 코드 정합되지 않은 것으로 판단하여 새로운 511 길이의 칩 수신 신호를 누적 하는 과정을 반복한다.

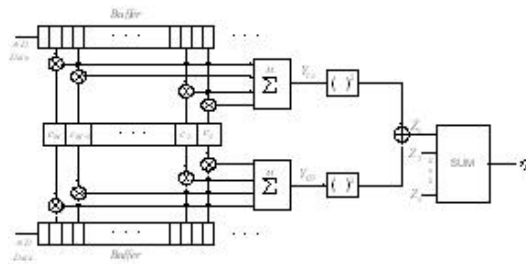


Fig. 3. Matched filter for initial synchronization acquisition.

그림 3 초기 동기 획득을 위한 정합 필터

정합 필터는 수신된 입력 신호와 확산 시퀀스인 PN(Pseudo Noise) 시퀀스와의 상관 값(correlation value)을 계산하며 확산 시퀀스의 상관 함수 형태의 신호가 매 심볼 주기마다 출력 되도록 하였다. 즉, 한 심볼 주기에 해당하는 데이터와 확산 시퀀스가 일치하면 정합 필터의 출력은 최대 값이 되고 그 때의 비트 값을 추출하면 역확산된 비트 값을 얻게 된다.

2. 동기 추적 구조 설계

초기의 동기 획득 이후의 코드 추적은 송신 즉, RFID 태그에서 송출되는 주파수 원의 드리프트로 인한 시간 차이를 추적하거나 수신기에서의 초기 획득 시의 PN 오차를 극복하기 위한 정밀한 시간 정렬을 얻기 위해 수행된다. 전형적인 코드 추적 루프는 비동기식 추적 루프, 동기식 추적 루프 등이 있으며 DLL(delay-locked loop)나 TDL(tau-dither loop) 방식을 주로 사용한다^[6-8]. 표준에서 RFID 태그(tag)와 판독기(reader)의 환경은 비동기식으로 접근 되어야 하며 비동기를 위한 DLL를 사용한 코드 추적 블록도^[9]는 아래 그림 4와 같다.

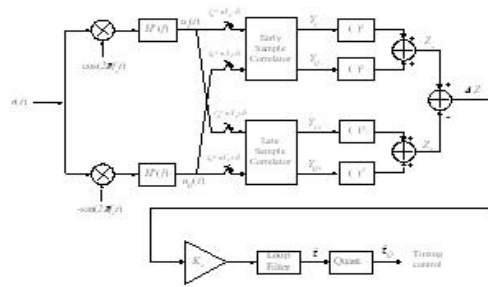


Fig. 4. Block diagram for a noncoherent code tracking loop.

그림 4 비동기식 동기 추적 알고리즘

그림에서 Y_I -와 Y_Q - (또는 Y_{I+} 와 Y_{Q+})는 각각 I와 Q의

Early(또는 Late) 샘플 상관기를 나타내었다^[9]. K_c 와 $\hat{\tau}$ 는 각각 VCO 이득, 계산된 타이밍 에러이다. 입력된 신호 I와 Q는 PN 칩 전송률의 8배로 샘플링 되며 Early Late 샘플 상관기는 에러 신호 ΔZ 를 출력하게 된다. 이 에러 신호는 VCO의 이득과 곱한 후에 루프 필터에 의해 필터링 된다. 타이밍 에러가 계산됨에 따라서 샘플링의 DP(Decimation Point)가 매 비트마다 업데이트함으로써 드리프트된 비트의 시간 동기 오차를 추적하도록 하였다. 사용된 루프 필터의 구조는 그림 5와 같다.

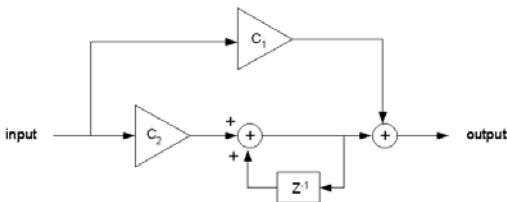


Fig. 5. Active loop filter.

그림 5. 능동 귀환 필터

추적 성능은 루프 필터의 귀환 특성에 의해 좌우되며 귀환 특성은 주로 댐핑(damping) 인자와 고유 주파수(natural frequency)에 의해 좌우된다. 그러므로 귀환특성에 대한 성능은 그림에서 보는 바와 같이 C1과 C2의 값에 의해 각각 결정된다.

IV. 실험

앞서 기술한 표준에 근거한 모델의 코드 획득 및 추적에 대한 탐색 구조 알고리즘을 설계한 것을 모의 실험을 통해 그 성능을 고찰하였다. 사용된 각 파라미터는 표준에서 제시하고 있는 데이터 전송률, 칩전송률, 프로세싱 이득 등 표준에서 제시된 파라미터들은 동일하게 적용하였다. 하드웨어 구현이 용이하도록 고정(fixed) 모델링하였으며 그 성능을 모의 실험 하였다. 초기 코드 획득에서의 타이밍 오차는 최대 $0.5 T_c$ 이므로 코드 획득 후 정밀한 코드 추적에 대해서만 자세하게 언급하도록 한다.

모의 실험은 코드 추적의 안정적인 동작 및 지터(jitter) 변화가 적은 특성을 얻기 위해 각각의 중요한 댐핑 인자 값과 고유 주파수(Natural Frequency: NF)를 얻도록 해야 한다. 우선 무선 통신에서 사용되는 프레임구조보다 더 짧은

프레임 구조이므로 적절한 댐핑 인자 값($2\sqrt{2}$)을 얻었으며 이에 따른 고유 주파수의 값을 0.05, 0.1, 0.2 각각 얻을 수 있었다. 고유 주파수를 얻기 위한 C1과 C2의 값은 NF = 0.05 (0.248, 0.002), NF = 0.1 (0.440, 0.008), NF = 0.2 (0.718, 0.055)에 해당한다. 그림 6~8은 설계된 모델이 적용되는 주변 환경에서의 잡음 신호의 영향에 대한 분석을 위해 EbNo 15 dB(AWGN 인가) 전후로 해서 코드 추적 특성 결과를 나타내었다. 이는 EbNo가 높은 경우는 잡음에 대한 신호 레벨이 크므로 코드 추적하는데 어려움이 없지만 EbNo 작은 경우에는 신호와 잡음에 구분이 모호해짐으로써 코드 추적하는데 어려움이 있다. 그러므로 프레임이 진행되는 동안 15dB 주변의 EbNo에 대하여 Timing 에러를 빠르게 최소화하고 안정된 코드 추적을 위한 귀환 필터의 파라미터 값을 도출하고자 모의 실험 하였다.

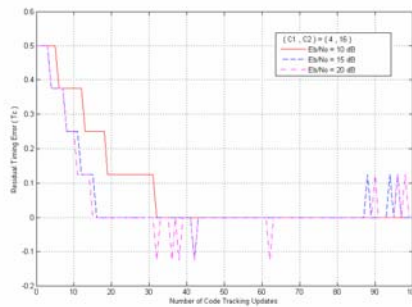


Fig. 6. Tracking performance vs. EbNo with C1, C2(4,16).

그림 6. C1, C2(4, 16)에서의 EbNo에 따른 추적 특성

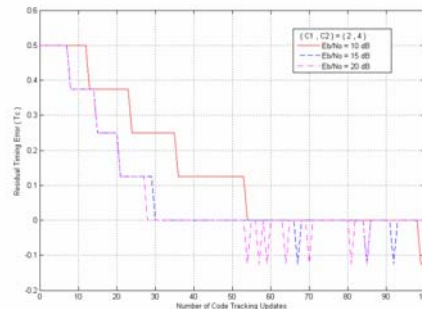


Fig. 7. Tracking performance vs. EbNo with C1, C2(2,4)
그림 7. C1, C2(2,4)에서의 EbNo에 따른 추적 특성

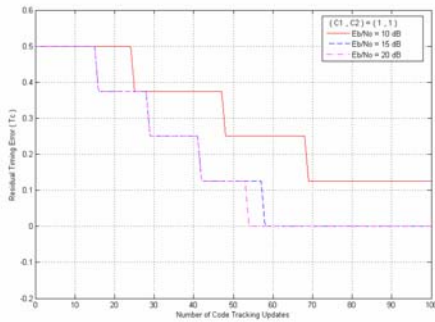


Fig. 8 Tracking performance according to EbNo at C1, C2(1,1).그림 8. C1, C2(1,1)에서의 EbNo에 따른 추적 특성

그림의 결과로부터 C1, C2가 큰 경우에는 낮은 EbNo에서도 빠른 안정화 특성을 보이나 비트가 진행되는 동안 순간적인 0.1Tc 이상의 타이밍 에러가 빈번하게 발생하는 결과가 나타났으며, C1, C2가 낮은 경우에는 안정적인 동작을 보였으나 안정화 되는 시간이 50회(1회 업데이트에 걸리는 시간 = 511*Tc) 업데이트 시간이상 소요되었다. EbNo가 15dB로 모델링 할 경우 코드 추적하는데 최소한 요구되는 C1, C2값을 각각 2와 4로 제한 필터를 설계할 때 안정된 결과를 나타내었다.

V. 결론

본 논문에서는 능동형 RFID eSeal용 직접대역 확산 방식 모뎀의 동기 획득 및 추적에 대해 기술하였다. 표준에서 제안하고 있는 프레임 구조에 상응하는 동기 획득 및 추적을 얻기 위해 필요한 각 파라미터들에 대하여 살펴 보았으며 또한 설계된 구조가 적용하고자 하는 주변 환경에 적합한 설계 인지를 살펴 보았다. 본 논문에서 제안된 동기 획득 및 추적에 따른 구조는 표준을 따르는 다양한 시스템에 활용될 수 있다.

참고 문헌

[1] 김윤진, *유비쿼터스개론*, 문운당 출판사, 2006
 [2] IEEE 802.11b, Local and Metropolitan area networks: *Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) specifications*, 1999

[3] M.K. Simon, J.K. Omura, R.A.Scholtz, and B.K. Levitt, *Spread Spectrum Communications Handbook*, McGraw-Hill, 1994.
 [4] A. Polydoros, and C.Weber, "A unified approach to serial search spread-spectrum code acquisition - Part I:General theory," *IEEE Trans Commun*, vol. COM-32, No. 5, pp.542-549, May 1984.
 [5] E. Sourour, and S.C. Gupta, "Direct-sequence spread-spectrum parallel acquisition in a fading mobile channel," *IEEE Trans Commun*, vol.38, No. 7, pp.992-998, July 1990.
 [6] Jhong S. Lee and Leonard E. Miller, *CDMA Systems Engineering Handbook*, Artech House, 1998.
 [7] Alex W. Lam and Sawasd Tantaratana, *Theory and Applications of Spread Spectrum Systems*, The Institute of Electrical and Electronous Engineer, Inc, 1994
 [8] Robert C. Dixon, *Spread Spectrum Systems with Commercial Applications*, John Wiley & Sons, Inc., 1994
 [9] H. R. Park, "Performance analysis of a double-dwell serial search technique for cellular CDMA networks in the case of multiple pilot signals," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 48, no. 6, pp.1819-1829, 1999.

저 자 소 개

명 승 일



1997년 : 명지대학교 전자공학과 졸업 (공학사)
 1999년 : 명지대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
 2000년 2월~현재 : 한국전자통신연구원 선임연구원

<주관심분야> RFID 시스템, 광통신 시스템, 유선 모뎀 설계, CDMA 모뎀 설계, 등.

이 형 섭

1985년 : 충남대학교 전자공학과 졸업
(공학사)
1995년 : 충남대학교 대학원
전자공학과 (공학석사)
2002년 : 충남대학교 대학원
전자공학과 (공학박사)
1990년 7월~현재 : 한국전자통신연구원

RFID 기반기술팀 팀장

<주관심분야> RFID 시스템, 가입자망장치, 통신망 프로토콜,
디지털 모뎀 설계, 등.

빅 형 래

1982년 : 한국항공대학교
전자공학과(공학사)
1985년 : 연세대학교
전자공학과(공학석사)
1993년 : 미국 Syracuse Univ. 전기
공학과 (공학박사)
1985~1998년: 한국전자통신연구원

책임연구원(신호기술연구실장)

1999~2000년: (주)씨엔에스테크놀로지 전무이사

2001년 ~ 현재: 한국항공대학교 항공전자 및 정보통신
공학부 부교수

<주관심분야> 이동통신시스템, CDMA/OFDM 모뎀 설계,
스마트 안테나, 레이더 신호 처리, 등.

서 동 선 (정회원)

1980년 : 연세대학교 전자공학과 졸업
(공학사)
1985년 : 연세대학교 대학원 전자공학
과(공학석사)
1989년 : 뉴멕시코 주립대학교 졸업(공
학박사)
1990년 2월~현재 : 명지대학교교수재직

<주관심분야> ultra short pulse technology, optical CDMA,
microwave photonics, optical communications, and optical
measurements