

부호획득 성능이 향상된 DS-SS/TDMA 프리앰블 구조 및 부호획득방법

정희원 류영재*, 장진상*

DS-SS/TDMA Preamble Structure and Code Acquisition Method for Enhanced Code Acquisition Performance

Young-jae Ryu*, Jeen-sang Jang* *Regular Members*

요약

본 논문은 DS-SS/TDMA 패킷 통신에서 부호획득 성능을 향상시킬 수 있는 프리앰블 구조와 부호획득 방법을 제안한다. 제안된 방법은 프리앰블의 각 구간마다 짧은 확산부호의 위치를 다르게 하고, 구간 간의 짧은 확산부호의 위치 차이 및 각 구간의 짧은 확산부호 위치에서 데이터 시작점의 차이를 테이블로 저장함으로써 일부 구간의 수신 오류 시에도 데이터 시작점을 정확하게 판단할 수 있다. 모의실험 결과 제안된 방법은 같은 길이의 짧은 확산부호를 사용할 때 기존 방법에 비해 최소 5dB의 이득이 있으며, 기존보다 1/4 길이의 짧은 확산부호로도 기존 방법과 동일한 부호획득 성능을 나타내었다.

Key Words : Direct Sequence Spread Spectrum, TDMA, Preamble Structure, Code Acquisition, Preamble Detection

ABSTRACT

In this paper, we proposed preamble structure and code acquisition method to improve code acquisition performance for DS-SS/TDMA packet communication systems. Proposed algorithm changes the short PN code position depending on the sub slot number. Proposed algorithm also saves position differences between short PN codes and position offsets between short PN codes and data starting position of the TDMA packet. By using the position difference table, proposed algorithm can find out exact data starting position even though some sub slots were defected. As a result of simulation, we concluded that proposed algorithm has at least 5dB gain compared to conventional method when same short PN code is used. Moreover, proposed algorithm shows same code acquisition performance only with 1/4 shortened short PN code compared to conventional method.

1. 서론

군 위성통신체계의 중심국은 통신영역 내에 분리 배치된 단말의 상태를 제어 및 감시하는 역할과 전체 위성체계의 운용 계획을 수립하여 각 단말에 전파하는 역할을 수행한다. 중심국은 단일 수신기로 모든 단

말의 신호를 수신하기 위해 TDMA 채널접속 기술을 사용하고 각 단말은 지정된 시간에 채널을 접속하여 중심국에 제어신호를 송출한다. 또한, 군 통신체계에서는 신호탐지 및 제밍에 대한 대전자전 대책을 보유하여야 하며 군 위성통신체계를 포함한 여러 통신체계에서 대역확산 기술을 사용한다.

* 국방과학연구소 2기술연구본부 ({yjryu, jsjang}@add.re.kr)

논문번호 : KICS2010-07-352, 접수일자 : 2010년 7월 30일, 최종논문접수일자 : 2010년 11월 1일

TDMA 채널접속기술은 수ms에서 수십ms의 짧은 패킷형태로 전송되기 때문에 빠른 동기 획득이 필요하나 대역확산 기술은 부호 획득을 위한 추가시간이 필요하고 채널환경이 나쁠수록 부호 획득시간이 증가하는 문제가 있다^{1,2)}. 이런 문제를 해결하기 위해 DS-SS/TDMA에서는 원 데이터를 전송하기에 앞서 빠른 부호 획득을 위해 송, 수신시간에 약속된 프리엠블 신호를 전송한다³⁾.

부호 획득을 위한 프리엠블에 사용되는 확산부호는 원 제어 데이터의 긴 확산부호에 비하여 주기가 짧으며 프리엠블 구간 내에서 반복적으로 송신하여 TDMA 패킷의 동기 획득 시 오감지(False Alarm) 확률을 줄여 부호 획득의 신뢰도를 높여준다. 반면에 프리엠블 내 모든 짧은 확산부호가 동일하기 때문에 재밍과 같은 간섭 신호에 의해 짧은 확산부호 중 일부를 수신하지 못할 경우 패킷의 데이터 시작점을 찾을 수 없다. 또한 프리엠블에서 동일한 확산부호가 반복되므로 적에게 프리엠블이 탐지될 위험도 높아진다.

본 논문에서는 DS-SS/TDMA 패킷통신에서 프리엠블을 생성할 때 프리엠블을 다수 구간으로 나누고 각 구간에서 짧은 확산부호가 구간번호에 따라 다르게 위치하고 구간의 나머지 위치에는 랜덤부호로 구성하는 방법을 제안한다. 또한 구간 간에 짧은 확산부호 위치차이와 각 구간의 짧은 확산부호 위치와 패킷의 데이터 시작점 간의 차이를 테이블로 저장하여 수신 시 프리엠블의 일부 구간을 수신하지 못하더라도 패킷의 데이터 시작점을 정확하게 판단하여 부호동기를 획득할 수 있는 방법을 제안한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. II장에서는 DS-SS/TDMA 통신 구조 및 TDMA 패킷의 구조를 개략적으로 설명한다. III장에서는 제안된 프리엠블의 구조 및 부호획득 방법에 대하여 설명한다. IV장에서는 제안된 프리엠블의 부호획득 성능을 분석하고 마지막 V장에서 논문의 결론을 맺는다.

II. DS-SS/TDMA 패킷 구조

2.1 DS-SS/TDMA 통신 구조

그림 1은 DS-SS/TDMA의 역방향 채널 구조를 나타낸 것으로 중심국의 단일 수신기가 다수의 단말로부터 패킷 형태의 신호를 수신하는 형태로 구성된다. 주로 개별 단말이 중심국에서의 제어명령, 상태요구 명령에 응답하거나 단말의 상태정보를 중심국에 전송하는 역방향 채널에 주로 운용된다.

중심국은 모든 단말이 수신하는 순방향 채널을 이

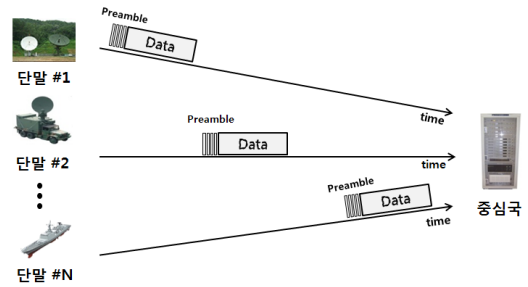


그림 1. DS-SS/TDMA 역방향 채널의 구조

용하여 각 단말의 채널자원을 할당하고 각 단말은 할당된 시간에 중심국으로 신호를 전송한다. 이 때 순방향 및 역방향 채널은 신호전력보다 높은 재밍환경에서도 수신이 가능하도록 직접대역확산 기술을 적용한다.

중심국에서 단말로 연속적으로 송신되는 순방향 채널과 달리 수ms에서 수십ms의 짧은 시간동안 송신되는 역방향 TDMA 패킷을 수신하기 위해 단말은 중심국과 약속된 프리엠블을 데이터에 앞서 송신한다.

2.2 DS-SS/TDMA 패킷 구조

그림 2는 기존의 DS-SS/TDMA의 패킷 생성방법을 나타낸다. 패킷은 상호 독립적인 두 개의 확산부호를 이용하며 프리엠블은 빠른 획득을 위해 짧은 확산부호를 데이터는 탐지가 어려운 긴 확산부호를 사용한다.

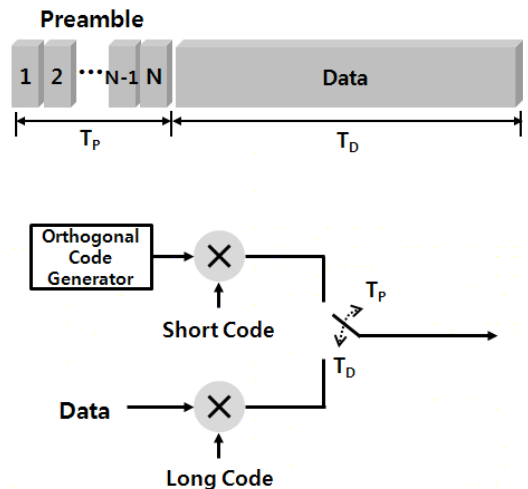


그림 2. 기존 DS-SS/TDMA 패킷 생성방법

2.3 DS-SS/TDMA 부호획득 방법

그림 3은 DS-SS/TDMA 패킷의 부호를 획득하기 위한 탐색기의 구조와 동작을 나타낸다. DS-SS/

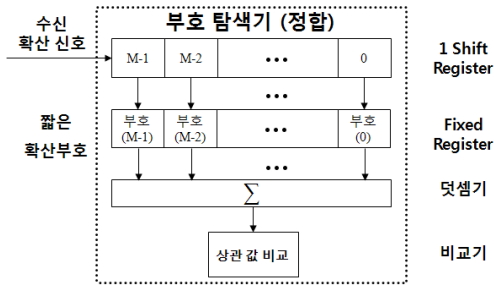


그림 3. 정합필터 형태의 짧은 확산부호 탐색기 구조

TDMA는 송신원이 서로 다른 수ms ~ 수십ms의 패킷 형태로 수신되므로 패킷 단위로 동기가 획득되어야 하며 패킷 시간 이내에 동기가 획득되지 않으면 해당 패킷을 수신할 수 없다.

따라서 DS-SS/TDMA 패킷 수신을 위한 탐색기는 프리앰블 시간 이내에 부호 동기를 획득하기 위해 그림 3과 같은 정합필터(Matched Filter) 형태의 탐색기를 사용한다. 해당 부호 탐색기는 짧은 확산부호의 전체 주기를 저장한 후 수신신호를 1칩씩 이동시키며 수신 신호에서 짧은 확산부호의 위치를 탐색한다. 정합필터 형태의 탐색기는 매 칩마다 확산부호의 전체 주기에 대해 상관도를 구해야 하므로 확산부호 길이가 증가함에 따라 계산량이 급증하는 문제가 있으나 짧은 확산부호의 위치를 실시간으로 찾을 수 있다.

그림 4는 짧은 확산부호 탐색기의 동작 개념적으로 나타낸다. 수신된 신호를 시프트 레지스터에서 1칩

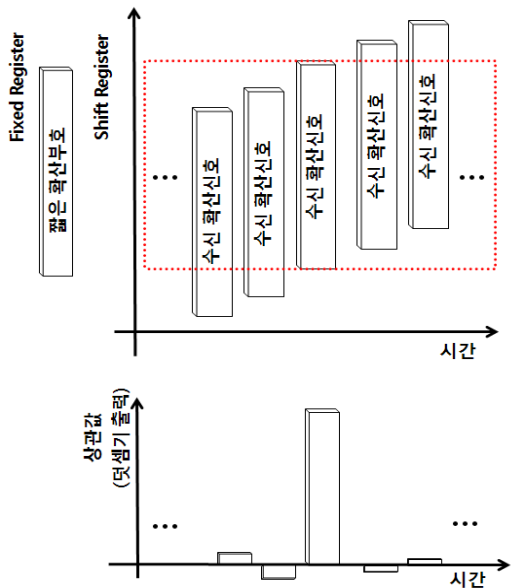


그림 4. 짧은 확산부호 탐색기의 동작 개념도

씩 이동시키면서 수신기에 저장된 짧은 확산부호와 상관도를 구하면 짧은 확산부호 위치에서 최대 상관도가 발생하고 나머지 위치에서는 최대값에 비하여 매우 낮은 상관도가 발생하므로 이를 이용하여 짧은 확산부호의 위치를 판단할 수 있다.

그림 5는 짧은 확산부호 탐색기를 이용하여 패킷 데이터의 시작점을 찾는 방법을 나타낸다. 짧은 확산부호 탐색기는 프리앰블에서 짧은 확산부호가 끝나는 위치에서 최대 상관값을 가지기 때문에 패킷에서 데이터는 짧은 확산부호의 수만큼 최대 상관값이 발생한 후 일정 보호시간(그림 5의 T_G) 이후에 시작된다.

TDMA 패킷의 프리앰블에 동일한 짧은 확산부호를 반복하는 것은 채널이 좋은 환경에서 부호동기 획득 시 오감지 확률을 줄일 수 있는 장점이 있다. 그러나 프리앰블 내에 반복되는 짧은 확산부호가 적에게 노출되어 프리앰블과 동일한 확산부호로 간섭을 받을 때에는 부호 동기 획득을 할 수 없다. 또한 재밍 등에 의해 프리앰블의 짧은 확산부호 중 일부를 수신하지 못한 경우에도 패킷의 정확한 데이터 시작점을 판단할 수 없다.

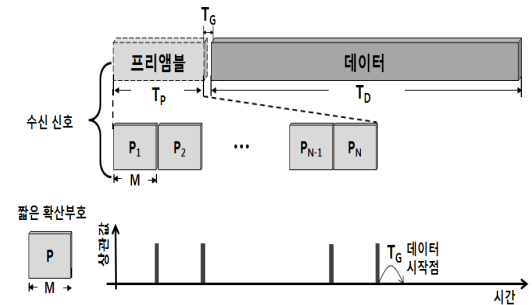


그림 5. DS-SS/TDMA 패킷의 데이터 시작점 결정 방법

III. 제안 프리앰블 구조

3.1 제안 프리앰블 발생방법

그림 6은 본 논문에서 제안한 프리앰블의 구조를 나타낸다. 기존의 프리앰블 구조에서 모든 구간이 동일한 짧은 확산부호를 사용하는 것에 비하여 제안한 프리앰블에서는 짧은 확산부호가 임의의 랜덤부호 사이에 위치하며 각 구간마다 짧은 확산부호의 위치를 다르다. 랜덤부호는 의미가 없는 정보로 프리앰블의 부호 획득에 영향을 주지 않는 매우 긴 주기의 부호이기 때문에 프리앰블 내의 구간 간은 물론이며 패킷 간에도 서로 다른 값을 가진다.

제안된 프리앰블은 짧은 확산부호가 반복되지 않

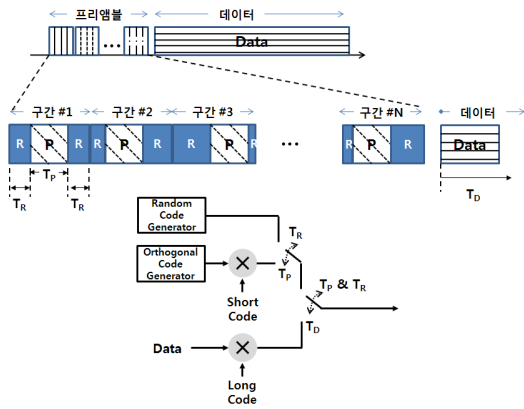


그림 6. 제안된 DS-SS/TDMA 패킷 생성방법

때문에 짧은 확산부호가 적에게 노출될 위험이 줄어 든다. 또한 짧은 확산부호의 위치가 구간에 따라 다르 기 때문에 이를 이용하여 프리앰블에서 구간의 위치 를 판단할 수 있다.

3.2 구간번호 및 데이터 시작점 식별 방법

그림 7은 본 논문에서 제안한 프리앰블 내 일부 구 간을 획득하지 못한 경우에도 데이터의 시작점을 찾 을 수 있도록 프리앰블의 구간 번호를 식별할 수 있는 방법을 나타낸다. 프리앰블의 각 구간에서 짧은 확산 부호의 위치는 구간번호에 의해 결정되며 이때 1 구 간 이웃한 구간부터 N-1 구간 이웃한 구간의 모든 경 우에 대해 짧은 확산부호 위치 차이를 모두 다르게 결 정한다.

그림 7에서 결정된 각 구간 간의 짧은 확산부호 위 치 차이와 각 구간의 짧은 확산부호 위치로부터 패킷 의 데이터 시작점의 위치 차이를 그림 8의 테이블에 저장하여 송, 수신기 간에 공유한다.

그림 8의 테이블에 저장된 각 구간 간의 짧은 확산 부호 위치 차이는 모두 다르기 때문에 수신 시 획득된 이웃한 두 개의 최대 상관값의 위치 차이로부터 이웃 한 두 개의 구간번호를 식별할 수 있으며 이 때 식별

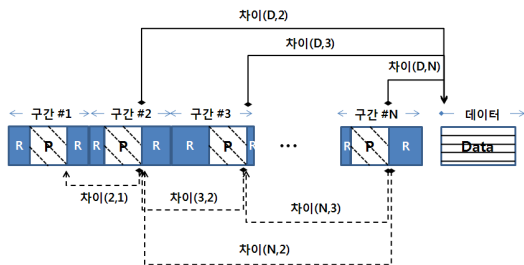


그림 7. 제안 프리앰블의 구간 및 데이터 시작점 식별 방법

	1	2	3	4	...	N	Data
1	-	차이 (2,1)	차이 (3,1)	차이 (4,1)	...	차이 (N,1)	-
2		-	차이 (3,2)	차이 (4,2)	...	차이 (N,2)	차이 (D,2)
3			-	차이 (4,3)	...	차이 (N,3)	차이 (D,3)
4				-	...	차이 (N,4)	차이 (D,4)
...					-
N						-	차이 (D,N)

그림 8. 구간 별 짧은 확산부호 위치 차이 및 데이터 시작 점 차이 저장 테이블

된 두 구간 중에 뒤쪽 구간을 기준으로 데이터의 시작 점을 찾을 수 있다.

IV. 성능 분석

4.1 단일 구간의 짧은 확산부호 위치판단 확률

확산부호에 사용되는 부호는 획득지점에서의 상관 값이 미 획득지점에 비하여 월등히 크기 때문에 좋은 채널환경에서는 획득오류가 발생하지 않는다. 반면 신 호보다 잡음이 우세한 채널환경에서는 잡음의 영향으 로 미 획득지점의 상관값이 증가하여 획득 오류가 발 생할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 r(m) &= \sum_{n=1}^M x(n) \cdot \{x'(n+m) + a'(n+m)\} \\
 &= \sum_{n=1}^M \{x(n) \cdot x(n+m)\} \pm N(0, \sigma^2)
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

수식 (1)은 분산이 σ^2 인 AWGN 채널에서 부호 탐 색기의 상관값 출력을 나타낸다. 수식 (1)에서 $x(n)$ 은 수신기에 저장된 짧은 확산부호, $x'(n+m)$ 은 짧은 확 산부호와 부호 위상차기 m 로 수신된 확산부호, a 는 수신 확산부호에 포함된 잡음, M 은 짧은 확산부호의 길이를 나타낸다. 수식 (1)에서 수신 확산부호와 잡음 은 상호 독립이기 때문에 확산부호 간 상관값과 잡음 에 의한 값으로 분리할 수 있다.

$$r(m) = \begin{cases} M + N(0, M\sigma^2) & m = 0 \\ N(0, M) + N(0, M\sigma^2) & m \neq 0 \end{cases}
 \tag{2}$$

수식 (2)는 확산부호 간 위상차에 따른 상관값의 차이를 나타낸다. 부호 획득지점($m=0$)에서는 기준 확산부호와 수신 확산부호의 부호가 동일하므로 상관값은 짧은 확산부호의 길이와 동일한 M 이 된다. 반면 부호 미 획득지점($m \neq 0$)에서는 기준 확산부호와 수신 확산부호의 곱은 +1과 -1이 각각 절반의 확률로 발생하는 이항(Binomial)분포를 가지며 이를 짧은 확산부호의 길이인 M 만큼 누적한 상관값은 중심극한정리(Central Limit Theorem)에 의해 평균이 0이고 분산이 M 인 정규분포를 가진다⁶⁾.

수식 (2)에서 잡음에 의한 상관값은 코드 획득 여부에 관계없이 $N(0, \sigma^2)$ 인 잡음을 M 탭에 걸쳐 누적한 $N(0, M\sigma^2)$ 의 정규분포를 가진다.

$$r(m) = \begin{cases} N(1, \sigma^2/M) & m = 0 \\ N(0, (1 + \sigma^2)/M) & m \neq 0 \end{cases} \quad (3)$$

수식 (3)은 부호 탐색기의 상관값을 짧은 확산부호의 길이로 정규화한 결과다.

$$P_D = \int_{-\infty}^{\infty} \{P_{(r_0=\alpha)}\}^1 \cdot \{P_{(r<\alpha)}\}^{L-1} d\alpha \quad (4)$$

수식 (4)에서 P_D 는 부호 탐색기에서 각 구간의 획득 확률, $P_{(r_0=\alpha)}$ 는 획득지점의 상관값이 α 일 확률, $P_{(r<\alpha)}$ 는 미 획득지점의 상관값이 α 보다 작을 확률, L 은 구간의 길이를 나타낸다. 부호 탐색기는 획득지점의 상관값인 $r(0)$ 가 α 일 때, $L-1$ 가지의 모든 미 획득지점에서의 상관값이 α 보다 작을 때 해당 구간의 짧은 확산부호의 위치를 정확하게 찾을 수 있다. 수식 (4)에서 $P_{(r_0=\alpha)}$ 와 $P_{(r<\alpha)}$ 는 각각 수식 (5), (6)과 같은 가우시안 함수 형태로 전개된다⁷⁾.

$$P_{(r_0=\alpha)} = \frac{\sqrt{M}}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{M(\alpha-1)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (5)$$

$$P_{(r<\alpha)} = \int_{-\infty}^{\alpha} \frac{\sqrt{M}}{\sqrt{2\pi(1+\sigma^2)}} \exp\left(-\frac{Mx^2}{2(1+\sigma^2)}\right) dx \\ = \frac{1}{2} \left\{ 1 + \operatorname{erf}\left(\frac{\alpha}{\sqrt{2}} \frac{\sqrt{M}}{\sqrt{1+\sigma^2}}\right) \right\} \quad (6)$$

그림 9는 채널 환경에 따라 부호 탐색기가 단일 구간의 짧은 확산부호의 위치를 정상적으로 판단할 확

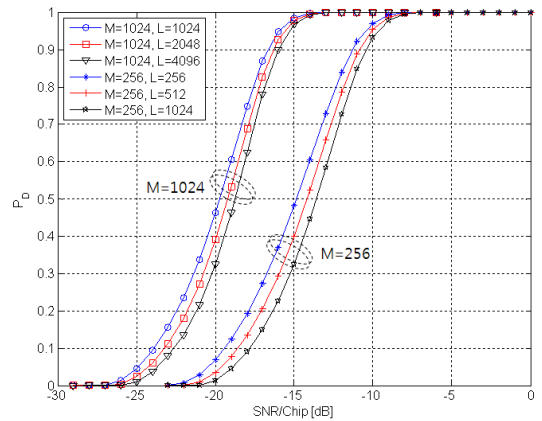


그림 9. 단일 구간의 짧은 확산부호 위치가 정상일 확률

률을 나타낸 것으로 L 은 구간의 전체 길이, M 은 짧은 확산부호의 길이를 나타낸다.

단일 구간에서는 부호 탐색기의 짧은 확산부호 길이가 증가할수록 짧은 확산부호의 위치를 정상적으로 판단할 확률이 높아진다. 이는 획득지점의 상관값은 짧은 확산부호의 길이에 비례하여 증가하나 미 획득지점의 상관값은 증가하지 않기 때문이다.

그림 9에서 짧은 확산부호의 길이가 동일한 경우에는 구간의 전체길이가 길어질수록 단일 구간의 짧은 확산부호 위치를 정상적으로 판단할 확률이 약 1dB 이내로 저하된다. 이는 수식 (4)에서 미 획득지점이 증가하여 $\{P_{(r<\alpha)}\}^{L-1}$ 의 값이 L 의 증가에 따라 감소하기 때문이다.

단일 구간에서의 짧은 확산부호 위치 판단 확률은 $M=L$ 인 기존 프리앰블 구조와 $M<L$ 인 제안 프리앰블 구조 모두 짧은 확산부호 길이에 의존적이며 $M=L$ 인 기존 프리앰블이 약 1dB의 이득이 있다.

4.2 프리앰블 부호획득 확률

본 장에서는 단일 구간의 짧은 확산부호 위치 판단 확률을 바탕으로 기존 프리앰블과 제안 프리앰블 구조에서 데이터 시작점을 정상적으로 판단할 수 있는 확률을 비교, 분석한다.

프리앰블에서 동일한 짧은 확산부호가 반복되는 기존 프리앰블 구조에서는 짧은 확산부호가 반복된 수만큼 최대 상관값이 발생한 경우에만 패킷의 데이터 시작점을 정확하게 판단할 수 있다. 반면 제안된 프리앰블 구조는 일부 구간을 수신하지 못하더라도 프리앰블 내에서 정상적으로 최대 상관값이 발생한 가장 근접한 두 구간을 이용하여 해당 구간 번호를 식별할 수 있으며 전체 프리앰블 구간에서 임의의 두 개의 구

간만 정상적으로 수신되면 그림 8의 테이블에 저장된 각 구간의 짧은 확산부호 위치와 패킷의 데이터 시작점 차이로부터 데이터의 시작점을 판단할 수 있다.

기존 프리엠블 구조에서 프리엠블의 부호획득 확률은 $(P_D)^n$ 으로 나타낼 수 있으며 이 때 P_D 는 각 구간의 획득 확률, n 은 프리엠블 내 전체 구간의 수를 나타낸다. 반면 제안된 프리엠블 구조의 부호획득 확률은 프리엠블 내 전체 구간의 수 n 에서 두 개 이상의 구간이 획득되면 데이터 시작위치를 판단할 수 있으므로 수식 (7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_{proposed} = 1 - (P_{D_0} + P_{D_1})$$

$$= 1 - \left\{ (1 - P_D)^n + P_D \times (1 - P_D)^{n-1} \times {}_n C_1 \right\}$$

(7)

수식 (7)에서 P_D 는 단일 구간의 짧은 확산부호 위치를 정상 판단할 확률, P_{D_0} 은 모든 단일 구간에서 짧은 확산부호 위치를 잘못 판단한 확률, P_{D_1} 은 하나의 구간만 짧은 확산부호의 위치를 정상 판단할 확률을 나타낸다. 따라서 제안 프리엠블 구조에서 부호획득 확률은 두 개 이상의 구간에서 짧은 확산부호 위치를 정상 판단할 확률이므로 전체 확률에서 P_{D_0} 과 P_{D_1} 을 뺀 확률과 같다.

그림 10은 기존 및 제안 프리엠블 구조에서 부호획득 확률을 비교한 것을 나타낸다. 기존 및 제안 프리엠블 구조에서 짧은 확산부호를 256으로 동일하게 선택한 경우 최소 5dB 이상의 이득이 있음을 확인할 수 있다.

또한 기존 프리엠블 구조의 짧은 확산부호 길이(M)가 1024인 경우와 제안 프리엠블의 짧은 확산부호 길이(M)가 256인 경우의 부호획득 확률이 거의 동일하

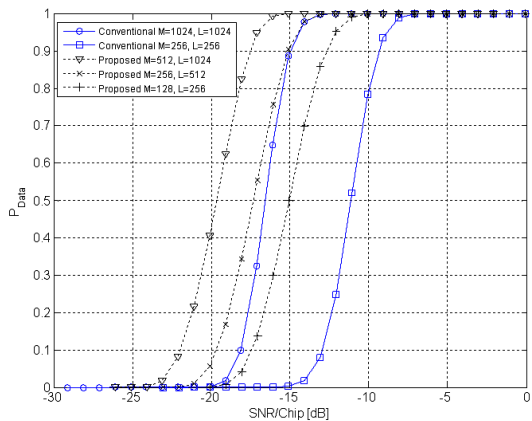


그림 10. 기존 및 제안 프리엠블의 부호획득 확률

였으며 제안된 프리엠블 구조가 기존 프리엠블 구조에 비해 1/4 수준의 짧은 확산부호만으로도 유사한 부호획득 성능을 발휘할 있음을 알 수 있다.

이는 제안된 프리엠블 구조가 기존 프리엠블 구조보다 프리엠블 부호 탐색기에 사용된 레지스터, 곱셈기 및 덧셈기 등 계산의 복잡도를 한층 낮추면서도 동일한 부호획득 성능을 발휘할 수 있음을 의미한다.

그림 11은 프리엠블의 구간 수에 따른 기존 프리엠블과 제안된 프리엠블에서의 데이터 시작점 획득 성능을 비교한 결과를 나타내며 n 은 구간 수를 나타낸다. 제안된 프리엠블 구조는 구간 수가 증가함에 따라 프리엠블의 길이가 길어져 전송효율은 감소하나 부호획득 확률은 증가함을 알 수 있다.

그림 11에서 제안방법은 $L=1024$ 로 동일한 구간길이를 이용하고 짧은 확산부호 길이가 기존방법의 절반인 $M=512$ 를 사용한 경우에도 기존방법에 비하여 부호획득 성능이 우수하며 $M=256$ 인 경우에도 유사한 부호획득 성능을 발휘하였다.

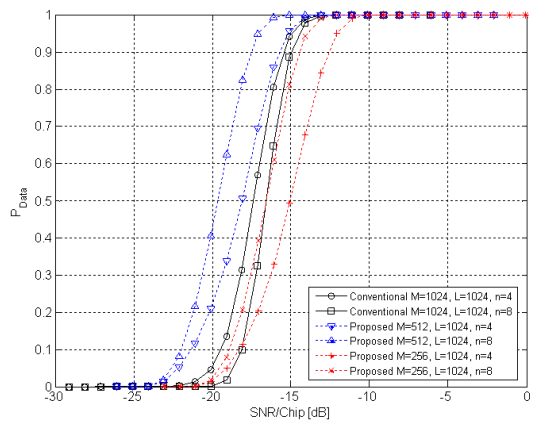


그림 11. 구간 수의 따른 기존 및 제안 프리엠블의 부호획득 확률

V. 결 론

본 논문에서는 DS-SS/TDMA 패킷 통신에서 부호획득 성능을 향상시킬 수 있는 새로운 프리엠블 구조와 부호획득 방법을 제안하였다. 제안된 프리엠블 구조는 프리엠블의 각 구간마다 짧은 확산부호의 위치를 다르게 하고, 구간 간의 짧은 확산부호의 위치 차이 및 각 구간의 짧은 확산부호 위치에서 데이터 시작점의 차이를 테이블로 저장함으로써 일부 구간의 수신 오류 시에도 데이터 시작점을 정확하게 판단할 수 있다. 모의실험 결과 제안된 방법은 같은 길이의 짧은

확산부호를 사용할 때 기존 방법에 비해 최소 5dB의 이득이 있으며, 기존보다 1/4 길이의 짧은 확산부호로도 기존 방법과 동일한 부호획득 성능을 나타내었다.

참 고 문 헌

- [1] J. C. Lin, "Noncoherent Sequential PN Code Acquisition Using Sliding Correlation for Chip-Asynchronous DS/SS Communications," *IEEE Trans. Commun.*, Vol.50, No.4, Apr 2002.
- [2] A. Polydoros, C. L. Weber, "A Unified Approach to Serial Search Spread Spectrum Code Acquisition - Part I : General Theory," *IEEE Trans. Commun.*, Vol. COM-32, No.5, May 1984.
- [3] A. Chockalingam, Gang Bao, "Probability of Miss Analysis for Packet CDMA Acquisition on Rician-Fading Channels," *IEEE Commun. Letters*, Vol.2, No.7, July 1998.
- [4] D. Falconer, F. Adachi, B. Gudmundson, "Time Division Multiple Access Methods for Wireless Personal Communications," *IEEE Commun. Mag.*, Jan 1995.
- [5] P. Djukic, S. Valae, "Distributed Link Scheduling for TDMA Mesh Networks," in *Proc. ICC'2007*, June 2007.
- [6] R. Lyman Ott, M. Longnecker, "An Introduction to Statistical Methods and Data Analysis," 6th edition, Cengage Learning, 2008.
- [7] B. Sklar, "Digital Communications- Fundamentals and Applications," 2nd Edition, Prentice Hall, 2000

류 영 재 (Young-Jae Ryu)

정회원



2000년 2월 경북대학교 전자
전기공학부
2002년 2월 경북대학교 전자
공학과 석사
2002년~현재 국방과학연구소
<관심분야> 대전자전통신,
디지털 신호처리

장 진 상 (Jeen-Sang Jang)

정회원



1987년 2월 성균관대학교 전자
공학과 석사
2003년 12월 Univ. of Toledo
EECS 공학박사
1987년~현재 국방과학연구소
<관심분야> 전자전통신기술,
항공통신기술