시퀀스 추정기를 사용하는 CDMA 파일럿 수신회로

CDMA Pilot Receiving circuit using Sequence Estimator

이 성 민*
Seong-Min Lee

ABSTRACT

In this paper a sequence estimator of CDMA communication system is suggested. A sequence estimator uses Galois Field operation. A sequence estimator can provide another CDMA pilot signal which is un-modulated spreaded signal. A estimated sequence signal and received signal have no correlation. Tow signals can be summed using MRC(maximal ratio combine) method. The stronger signal can be added as a larger ratio, but the weaker signal can be added as a smaller ratio. We can distinguish strong signal using SNR estimator. Therefore it is possible to receive an additional pilot signal, and to support more reliable communications by using sequence estimator.

주요기술용어(주제어) : CDMA, Sequence Estimator, MRC, Pilot Receiver

1. 서 론

군 전술종합정보통신체계(TICN, Tactical Information Communication Network)의 이동통신 체계의 후보 기술로 CDMA 기술이 사용될 가능성이 있다. CDMA기술은 이미 상용 이동통신에서 많은 발전을 이루고 있다.

CDMA 통신방식에서 파일럿 신호는 매우 중요하다. 단말은 파일럿 신호를 수신하여, 근접 기지국을 식별해 내고 통신을 하기위한 준비 단계부터 통화중에도 기지국의 파일럿 신호에 의존하여 데이터를 복원해 내며, 인접 기지국으로 핸드오프하기 전에 먼저 파일럿 신호 강도를 비교하여야 한다.

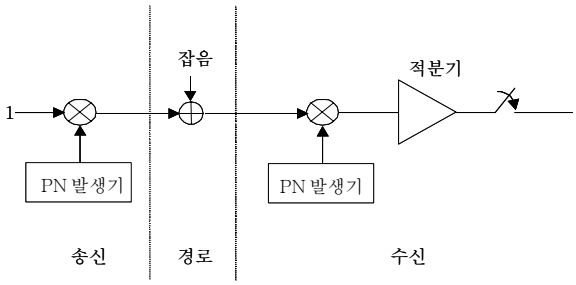
† 2006년 8월 1일 접수~2006년 12월 4일 게재승인
* 국방과학연구소(ADD)
주저자 이메일 : sunrise@add.re.kr

본 논문에서는 변조되지 않은 확산코드인 파일럿 신호를 추정하는 회로를 제안하였다. 확산 시퀀스와 시퀀스 추정기는 Galois Field 연산 개념을 사용한다.

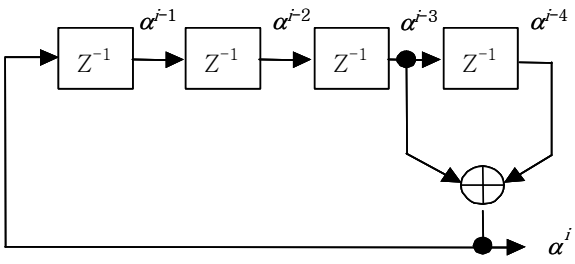
본 논문은 먼저 기존 CDMA 파일럿 수신회로를 먼저 소개하고, 제안하고자 하는 CDMA 시퀀스 추정 알고리즘과 MRC(Maximum Ratio Combine) 구성법, 작동파형에 의한 실현성 등을 보이고, 결론을 맺는다.

2. 기존의 CDMA 파일럿 수신회로

기존의 CDMA 파일럿 수신회로는 송신부와 동일한 시퀀스 발생회로와 동기장치를 사용하여 동기를 맞춘 후, 수신 신호에 발생된 시퀀스 신호를 곱하고 일정 시간동안 적분한 후 덤프하여 그 결과를 파일럿 신호로 사용한다.



[그림 1] 기존 CDMA 파일럿 송수신 회로



[그림 2] m-시퀀스 발생기의 예

그림 1에 송신부의 파일럿 회로와 수신부의 파일럿 회로를 간략히 나타내었다. PN 발생기 회로는 m-시퀀스 발생기이다. 본 논문에서 사용할 시퀀스 발생기의 예는 그림 2와 같이 Fibonacci 구성법에 따른 4단 레지스터를 사용하는 m-시퀀스이다.

이 시퀀스를 발생하기 위한 발생 다항식은 x^4+x+1 이다. 이 다항식의 근을 a라 할 때, a의 거듭제곱의 수열로부터 m-시퀀스를 Trace 함수로 표현할 수 있다. 시퀀스를 $s(t)$라 할 때 다음과 같이 표현된다[1,2].

$$s(t) = tr_1^n(\alpha^t)$$
$$tr_1^n(x) = \sum_{i=0}^{n-1} x^{2^i} \quad (1)$$

여기서 t는 시퀀스 순번으로 1, 2, 3, ... $2^n - 1$ 등의 값이다.

특성 다항식 x^4+x+1의 근 a의 거듭제곱 원소(a, a^2, a^3, ... a^{15})의 지수 표현과 합 표현 및 튜플 표현을 다음 표 1에 나타내었다.

시퀀스 $s(t)$는 $tr_1^4(\alpha)$, $tr_1^4(\alpha^2)$, $tr_1^4(\alpha^3)$, $tr_1^4(\alpha^4)$, $tr_1^4(\alpha^5)$, ... $tr_1^4(\alpha^{15})$, ... 등의 수열이 되는데, Trace

[표 1] 특성다항식 x^4+x+1 원소의 거듭 제곱 표현

지수표현	합표현	튜플표현 ($1\ a\ a^2\ a^3$)
1	1	(1 0 0 0)
a	a	(0 1 0 0)
a^2	a^2	(0 0 1 0)
a^3	a^3	(0 0 0 1)
a^4	$1+a$	(1 1 0 0)
a^5	$a+a^2$	(0 1 1 0)
a^6	a^2+a^3	(0 0 1 1)
a^7	$1+a+a^3$	(1 1 0 1)
a^8	$1+a^2$	(1 0 1 0)
a^9	$a+a^3$	(0 1 0 1)
a^{10}	$1+a+a^2$	(1 1 1 0)
a^{11}	$a+a^2+a^3$	(0 1 1 1)
a^{12}	$1+a+a^2+a^3$	(1 1 1 1)
a^{13}	$1+a^2+a^3$	(1 0 1 1)
a^{14}	$1+a^3$	(1 0 0 1)
a^{15}	1	(1 0 0 0)

함수의 정의에서

$$tr_1^4(1) = \sum_{i=0}^{4-1}(1^{2^i}) = 1+1+1+1 = 0$$
$$tr_1^4(\alpha) = \sum_{i=0}^{4-1}(\alpha^{2^i}) = \alpha^1+\alpha^2+\alpha^4+\alpha^8 = 0$$
$$tr_1^4(\alpha^2) = \sum_{i=0}^{4-1}\left\{(\alpha^2)^{2^i}\right\} = (\alpha^2)^1+(\alpha^2)^2+(\alpha^2)^4+(\alpha^2)^8 = 0$$
$$tr_1^4(\alpha^3) = \sum_{i=0}^{4-1}\left\{(\alpha^3)^{2^i}\right\} = (\alpha^3)^1+(\alpha^3)^2+(\alpha^3)^4+(\alpha^3)^8 = 1 \quad (2)$$

이므로, a^i을 합으로 표현한 값 중 a^3의 계수가 trace 함수의 결과이며, 위 표의 튜플 표현에서 시퀀스를 얻을 수 있다. 즉 시퀀스는 00100 11010 11110이며 순환 반복된다. 논문에서 사용된 연산은 Modular 2 연산이다.

3. CDMA 시퀀스추정기를 사용한 파일럿수신회로

앞의 표 1에서 두 원소의 합이 1이 되는 원소의 조합을 골라보면 다음과 같이 7쌍의 조합이 나온다.

$1 = \alpha^4 + \alpha \rightarrow \alpha^i = \alpha^{i+4} + \alpha^{i+1}$
$1 = \alpha^8 + \alpha^2 \rightarrow \alpha^i = \alpha^{i+8} + \alpha^{i+2} \rightarrow \alpha^i = \alpha^{i-7} + \alpha^{i+2}$
$1 = \alpha^9 + \alpha^7 \rightarrow \alpha^i = \alpha^{i+9} + \alpha^{i+7} \rightarrow \alpha^i = \alpha^{i-6} + \alpha^{i+7}$
$1 = \alpha^{14} + \alpha^3 \rightarrow \alpha^i = \alpha^{i+14} + \alpha^{i+3} \rightarrow \alpha^i = \alpha^{i-1} + \alpha^{i+3}$
$1 = \alpha^{10} + \alpha^5 \rightarrow \alpha^i = \alpha^{i+10} + \alpha^{i+5} \rightarrow \alpha^i = \alpha^{i-5} + \alpha^{i+5}$
$1 = \alpha^{12} + \alpha^{11} \rightarrow \alpha^i = \alpha^{i+12} + \alpha^{i+11} \rightarrow \alpha^i = \alpha^{i-3} + \alpha^{i-4}$
$1 = \alpha^{13} + \alpha^6 \rightarrow \alpha^i = \alpha^{i+13} + \alpha^{i+6} \rightarrow \alpha^i = \alpha^{i-2} + \alpha^{i+6}$

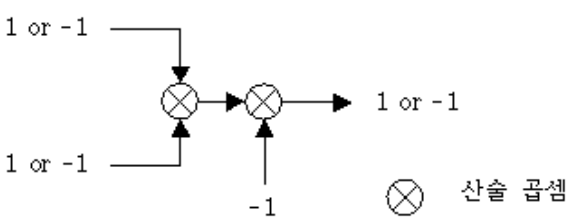
7쌍의 등식 양변에 a^i을 곱하여 일반식을 만들고, 8보다 큰 제곱수는 15를 빼 0에 가까운 제곱수로 바꾸면 시퀀스를 추정할 수 있는 여러 개의 조합이 생성된다. 이 조합을 이용하여 시퀀스 추정기를 만들면 그림 4와 같이 된다[3].

논리값 표현으로, 단극성 1은 복극성 1로, 단극성 0은 복극성 -1로 표현하였다.

그림 3과 표 2는 본 논문에서 사용한 단극성 신호와 복극성 신호의 연산 규칙을 나타낸 것이다.

그림 4와 5는 각각 단극성과 복극성 신호를 X-OR 연산기와 곱셈기로 처리하는 시퀀스 추정기 구성 회로이다. 그림 5에서 중심부는 현재 시퀀스이며, -1의 값이다. 시퀀스 열은 표 1의 지수표현 $a \sim a^{15}$의 튜플 표현 중 a^3의 계수를 취한 것으로 00100 11010 11110

단극성 부호를 사용할 때, X-OR의 디지털 논리 회로



복극성 부호를 사용할 때, X-OR의 디지털 곱셈 회로 표현

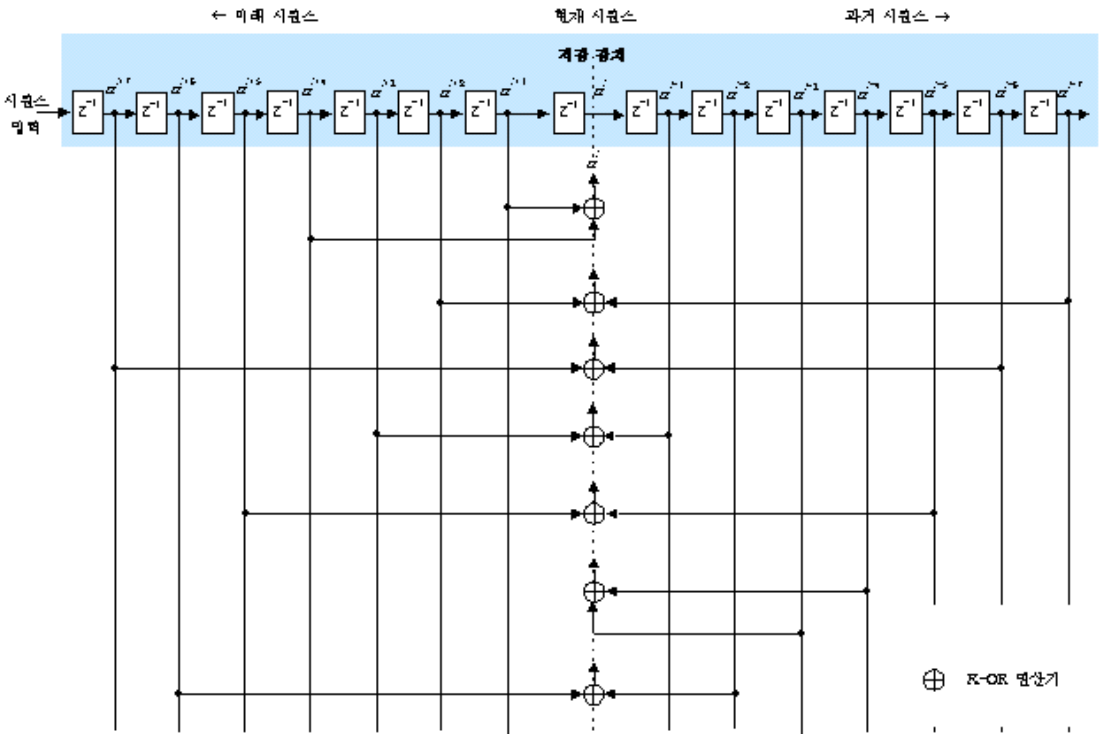
[그림 3] 단극성 신호와 복극성 신호의 연산 표현

[표 2] 단극성 신호와 복극성 신호의 연산 관계

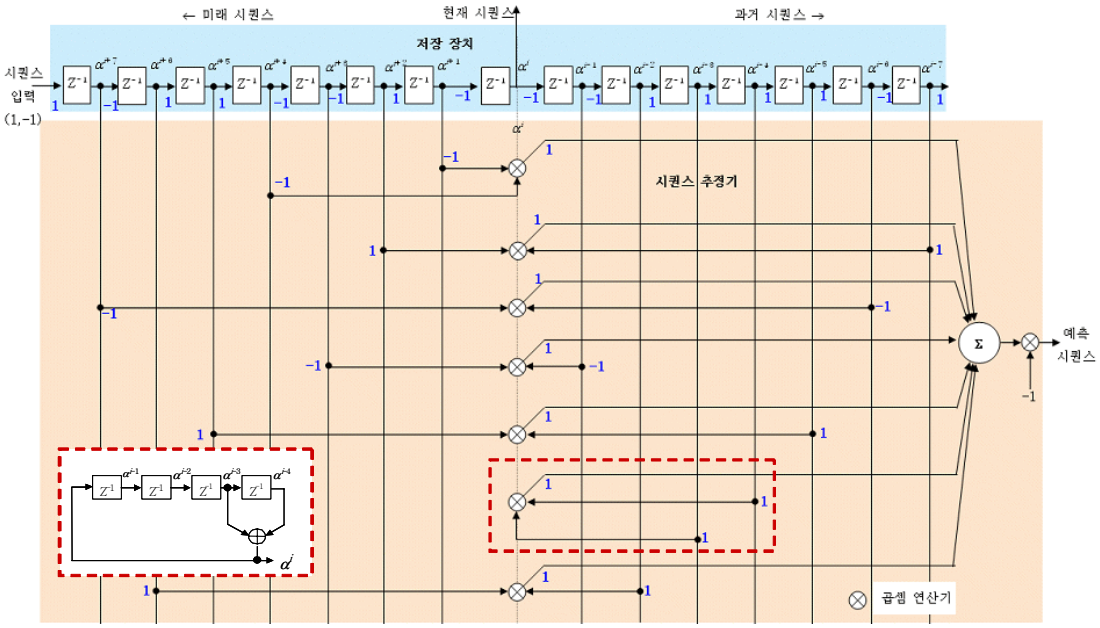
구 분	입력 1	입력 2	출력
단극성	0	0	0
	0	1	1
	1	0	1
	1	1	0
복극성	-1	-1	-1
	-1	1	1
	1	-1	1
	1	1	-1

이다. 복극성으로 표현하여 첫 번째 값 -1을 현재 시퀀스라 하고, 두 번째 값부터 저장장치에 배치하면, 현재 이후의 시퀀스는 왼쪽에 있는, -1, 1, -1, -1, 1, ... 등의 값이 된다. 첫 번째 추정기 회로는 미래 첫 번째 샘플 값과 네 번째 샘플 값의 조합으로 추출된다. 첫 번째 값과 네 번째 값은 -1과 -1이므로 그의 곱은 1이며, 합산기 이후에 -1이 곱해져, 현재 시퀀스와 동일한 -1값이 추정되었다. 이와 같이 추정하는 것은 나머지 6쌍에 대해서도 동일하게 적용되며, 저장장치에 저장된 시퀀스가 오른쪽으로 더 진행되어도 마찬가지로 현재 시퀀스가 추정된다. 무선으로 송신되는 신호는 복극성 신호이므로 그림 5의 회로가 현실에 적합하다. 수신 신호는 송신 파일럿 신호가 무선 경로를 거치면서 열잡음이 첨가 될 수 있으며, 다중의 시퀀스 추정기 출력을 평균하면 열잡음의 영향이 감소된 추정 시퀀스 신호가 출력된다.

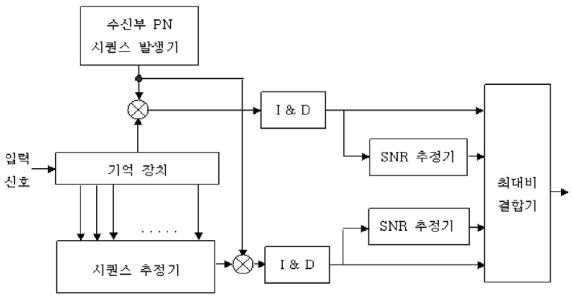
그리고 여섯 번째 추정기는 이전의 세 번째 시퀀스와 네 번째 시퀀스를 조합하여 현재 시퀀스를 추정하는 회로인데, 이는 기존 m-시퀀스 발생기 회로와 동일한 구성이다. 이 부분은 따로 점선 부분에 나타내었다. 이 추정기 회로를 이용하여 전체 파일럿 수신회로 구성을 그림 6에 나타내었다. 입력된 수신신호는 기억장치를 거쳐, 기존 수신기 PN 발생기 신호와 곱해져 역확산되어 적분과 덤프되어 출력된다. 또한 기억 장치에서 시퀀스 추정기 회로를 거쳐 추정된 시퀀스 신호는 PN 시퀀스 발생기 신호와 곱해져 역



[그림 4] 단극성 신호를 X-OR 연산기로 처리한 시퀀스 추정회로



[그림 5] 복극성 신호를 곱셈 연산기로 처리한 시퀀스 추정회로



[그림 6] 시퀀스 추정기를 사용한 파일럿 수신 회로

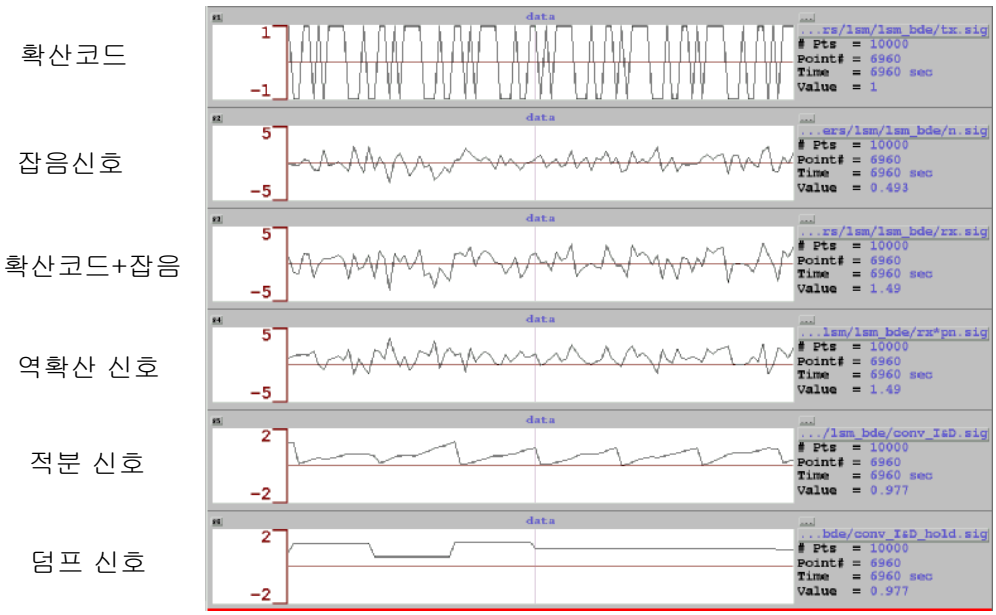
확산되며 적분과 덤프되어 출력된다. 기존 회로를 거친 수신 파일럿 신호와 추정회로를 거친 파일럿 신호는 신호대 잡음비를 추정한 후 최대비로 결합된다. 입력된 두 경로의 신호는 신호대 잡음비가 큰쪽의 신호에 큰 비중을 두고 합산 처리된다.

4. CDMA 시퀀스 추정기를 사용한 파일럿 수신회로 작동 파형

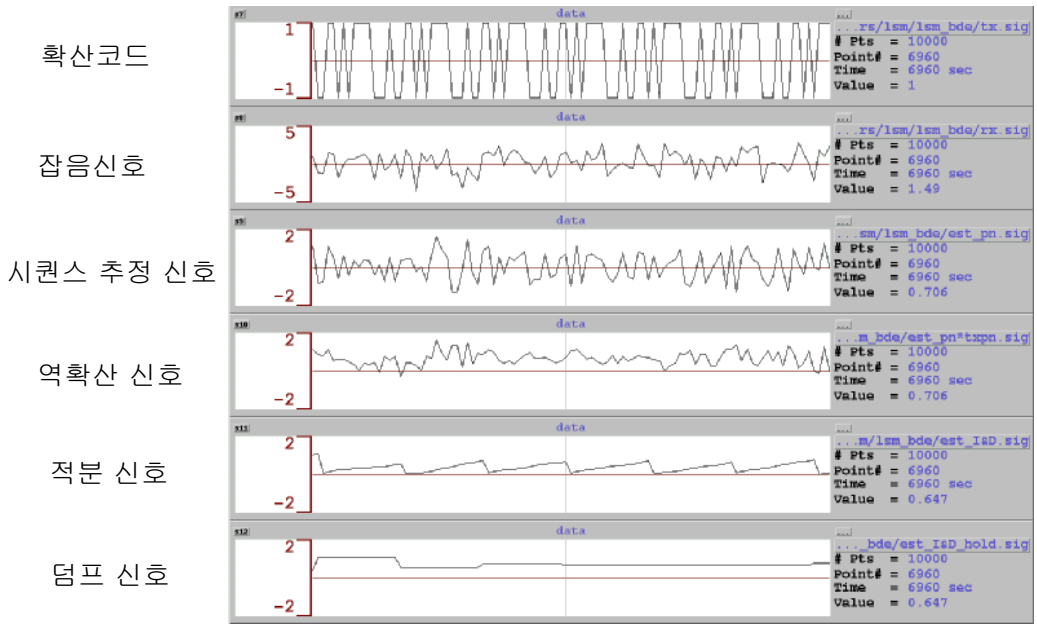
본 논문에서 제안한 시퀀스 추정기의 성능을 확인하기 위해 송신 파일럿 신호에 무선 경로 열잡음을 가하여 잡음이 첨가된 신호로부터 파일럿 신호를 추정하였다. 시뮬레이션 파형은 SPW(Signal Processing Worksystem)를 도구로 사용하여 추출되었다. 기존 수신회로에 대한 추출 신호는 송신 시퀀스, 열잡음, 송신 시퀀스와 열잡음이 합산된 수신 신호, 역확산 파일럿 신호, 적분과 덤프한 신호를 그림 7에 나타내었다.

또한 그림 7의 수신 신호로부터 시퀀스 추정기를 통해 시퀀스 추정 신호를 사용한 파일럿 수신 신호의 처리과정을 그림 8에 나타내었다. 먼저 확산 코드와 잡음 신호, 수신신호로부터 추정된 시퀀스 추정신호, 역확산 신호 마지막으로 적분과 덤프한 신호를 나타내었다. 인가한 열잡음 전력은 PN 발생기 신호와 동일한 전력이다. 그림 8의 3번째 시퀀스 추정신호는 그림 7의 세 번째 확산코드 + 잡음의 신호와는 다른 신호이다. 앞서 언급한 바와 같이 시퀀스 추정신호는 현재 수신 샘플을 제외한 나머지 주변의 수신신호 샘플의 조합으로부터 생성해 낸 신호로 수신 신호와는 서로 상관이 없다.

그림 8의 시퀀스 추정기에 의한 수신 덤프 신호로



[그림 7] 기존 파일럿 수신회로의 작동파형



[그림 8] 시퀀스 추정기를 사용한 파일럿 수신회로의 작동파형

부터 충분히 파일럿 신호 에너지를 얻어 낼 수 있음을 확인할 수 있었고, 시퀀스 추정기를 사용하여 시퀀스를 추정하는 것이 가능함을 보여주는 것이다. 이 시퀀스 추정기가 시퀀스 위상이나 정확한 시퀀스 값을 알려주지는 않지만 임의의 수신 신호로부터 시퀀스 발생 규칙을 따르는 신호 성분을 잘 통과시키는, 마치 필터와 같은 역할을 하는 것으로 추정된다. 이 시퀀스 추정 신호를 부가적인 파일럿 수신신호로 활용하면 더욱 강한 파일럿 신호를 수신하는 것이 가능할 것으로 기대된다.

5. 결 론

본 논문에서 시퀀스 추정기를 사용한 CDMA 파일럿 수신회로를 소개하였다. 시퀀스 추정회로는 CDMA 시스템의 확산신호 중에서 현재 신호를 제외한 두 샘플 신호들을 조합하여 추출한 시퀀스 성분으로 추정되는 신호이다. 본 논문에서 시퀀스 추정신호를 이용하여 시퀀스 성분을 추출함으로써 추가적으로 파일럿 신호 에너지를 얻을 수 있는 알고리즘의 가능성이 작동 파형을 통해 확인되었다.

결론으로 본 수신회로를 사용하면 파일럿 신호를 더 강하게 받아들일 수 있어 더 신뢰성 있는 통신을 가능하게 할 수 있으며, 기지국의 파일럿 전력을 다소 줄여도 동일한 파일럿 수신 능력을 발휘할 것으로 기대된다.

본 논문에서는 수신 신호와 수신기의 반송파 위상이 일치된 경우의 2진 위상 신호에 대한 신호에 국한하여 시퀀스를 추정하는 알고리즘을 선보였다. 향후 입력 신호를 4진 위상으로 확장할 경우에 대해, 시퀀스 추정기가 파일럿 신호와 수신기의 위상 차이를 추출해 냄으로써 수신신호와 수신기 자신의 위상차이를 보정하는 목적에 맞도록 이용되도록 하는 연구와 기존 방식과 성능차이를 비교하는 연구 등이 필요하리라 생각된다.

참 고 문 헌

[1] 최형진, 홍대형, 노종선, 선우명훈, 연구보고서 TEMD-409-981298 “CDMA 다중접근 방식의

데이터 오류 최소화기법구현 및 성능연구", 국방과학연구소, 1998. 12.
[2] Savo Glisic & Branka Vucetic, "Spread Spectrum CDMA Sytems for Wireless Communications", Artech House, 1997.
[3] 이성민, 장동운, 국내 특허등록 : 2006-10-0590231, "다중 시퀀스 추정기를 사용하는 DS-CDMA 방식의 파일럿 수신회로, 국방과학연구소, 2006. 6. 15.