Reference code를 이용한 새로운 PN code 획득 알고리즘

이승환, 김운경, *박재영
고려대학교, *(주)LG전자
전화 02-3290-3901, 핸드폰 016-268-1906

A new PN code acquisition algorithm using a reference code

Seunghwan Lee, Woonkyung Kim, Jaeyoung Park
Department of Radio Sciences and Engineering Korea University
E-mail : korea1905@korea.ac.kr

Abstract

Here we introduce so called Reference code-weighted sum of all PN codes used in the system-. We do inner product operation between received PN code and Reference code rather than locally generated PN code in the receiver. Acquisition process can be accomplished by only one inner product during full period of PN code. It's essential innovation against present method which can be viewed successive hypothesis test by inner product for entire candidate PN codes set. Well –defined decision region makes it possible. We suggest the criterion for designing the decision region and find a condition for weight (coefficient) of Reference code.

I. 서 론

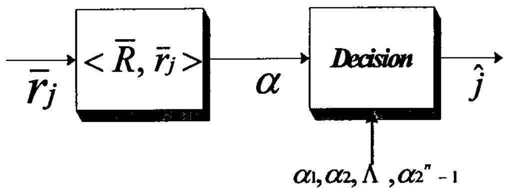
현재의 CDMA 무선 이동통신 시스템(2G, 2.5G) 에서 초기동기 획득과정은 근본적으로 올바른 신호(PN 코드)가 수신됐다(H_1) 아니다(H_0)의 두 Hypothesis testing이 모든 PN코드 집합에 대해서 반복적으로 이루어 지는, 단순한 시간 소모적인 과정으로 볼 수 있다. 기존에 알려진 어떠한 search 알고리즘도 결국 이러한 일련의 과정을 좀 더 효율적으로 개선한 것에 지나지 않는다고 할 수 있다. 그러므로 기존의 획득 알고리즘에서 탈피해서, 궁극적으로 초기동기 획득 시간을 획기적으로 줄이고, 하드웨어적으로도 적은 복잡도에서 구현되는 새로운 알고리즘을 연구하는 것은 CDMA기반의 현 통신 시스템 환경 에서 뿐만 아니라 디지털통신의 많은 부분에서 이루어지고 있는 획득 및 decision 분야에 필수 적이라 하겠다.

본 논문은 위와 같은 동기하에 하나의 대안으로써 PN코드들을 선형공간에 존재하는 벡터들로 보고 수신되는 임의의 신호(에러가 발생한 PN코드)를 이 공간에 존재하는 벡터로 봤을 때, 수신된 신호(벡터)와 각 PN코드 벡터들의 weighted sum 으로 만들어 지는 새로운 벡터인 레퍼런스 벡터(Reference vector)와의 단 한번의 연산(내적)으로 수신된 PN코드를 결정하는 알고리즘을 연구하고, 그 결과로 이러한 레퍼런스 벡터를 디자인 하는 결정적 요소인 각 PN코드의 weight를 명확한 criterion 하에 디자인 하고자 한다.

II. Reference code를 이용한 PN code 획득 알고리즘

2-1. 레퍼런스코드에 의한 획득과정

기존의 IS-95 시스템의 PN코드 초기동기 획득 과정을 선형공간에서 해석해보면, 수신기는 2^n-1 개의 PN코드가 서로 거의 직교하게 배치되어 있는 선형공간상에서 수신된 신호벡터를 임의의 한 PN코드에 내적하여 그 결과를 보고 수신된 벡터가 내적에 사용한 벡터인지 아닌지를 결정한다. 내적에 사용한 PN코드 벡터가 수신된 벡터가 아니라고 결정을 하면, 다음 PN코드 벡터로 같은 과정을 거쳐 결국 올바른 수신 벡터를 찾게되는 것이다. 그럼 레퍼런스 코드로 정의된 한 벡터와의 단 한번의 내적에 의해서 수신된 벡터가 어떤 PN코드인지를 결정하는 과정을 간단히 보이면 다음과 같다.



여기서 레퍼런스코드 $\bar{R}=\sum_{i=0}^{2^n-2} a_i \bar{c}^{(i)}$ 이고, $\bar{c}^{(i)}$ 는 기준으로 삼은 첫번째 PN코드를 i번 left cyclic shift 한것이고 a_i 는 각 PN코드의 계수이다. 즉 에러가 발생한 j번째 PN코드벡터($\bar{r}_j$)가 수신되었을 때, 레퍼런스벡터와의 내적값을 보고 에러가 없는 PN코드에 의한 레퍼런스코드의 내적값 $\{\alpha\}_{i=0}^{2^n-2}$ 들에 의해서 결정되는 decision region 에서의 위치에 의해서 결국 몇번째 PN코드가 수신된것인지를 결정하는 것이다. 즉 레퍼런스 코드에 의한 PN코드 획득 문제는 어떻게 decision region을 설계할 수 있는냐는 문제로 귀결되고 그러기 위한 레퍼런스코드의 계수를 설정하는 문제가 된다.

2-2. 레퍼런스코드의 계수 설정

먼저 레퍼런스 코드의 계수를 설계하는데 있어서, 필수적으로 j번째 PN코드가 에러가 발생하지 않은채로 수신 되었을 때 이를 올바로 획득하여야 하므로, 이를 위한 조건을 설정해 보기로 한다. 즉 $\bar{x}=\bar{c}^{(j)}$ (j-th PN code) 일때 내적의 결과는 다음과 같다.

$$\left\langle \bar{R},\bar{x}\right\rangle = \left\langle \bar{R},\bar{c}^{(j)}\right\rangle = a_j 2^n - \sum_{k=0}^{2^n-2} a_k = a_j 2^n - A$$

$$\textit{where } A \equiv \sum_{k=0}^{2^n-2} a_k$$

이를 통해 $\{a_i\}_{i=0}^{2^n-2}$ 이 모두 서로 다르면, 내적에 의한 $\bar{x}=\bar{c}^{(j)}$ 의 결과는 모두 서로 다르다는 것을 알수 있다.

Theorem. Condition of coefficients of Reference Code

$$\left\langle \bar{R};\bar{x}\right\rangle : \left\{c^{(i)}\right\}_{i=0}^{2^n-2} \rightarrow \Re \qquad is\ one-to-one$$

C

$$\left\{a_i\right\}_{i=0}^{2^n-2}\ \ are\ \ all\ \ distinct$$

위와 같은 계수들의 필요 조건에 더하여 송신한 PN코드에 에러가 발생하여 수신되었을 때 이를 올바로 획득하기 위한 조건을 추가 하여야 할 것이다. 이를 위해서는 근본적으로 PN코드들에 대한 성질을 파악해야 한다. 우리가 가지고 있는 2^n-1 개의 PN코드들은 그들간의 Hamming distance가 모두 2^{n-1} 로 동일하므로, PN코드의 Minimum Hamming distance가 곧 2^{n-1} 이 된다. 이를 error correction code에서의 minimum distance와 error correction의 관계로 보면 PN코드는 $2^{n-2}-1$ 자리까지 발생하는 에러를 올바로 정정 해 줄 수 있다는 사실을 얻는다. 이로부터 에러가 발생한 PN코드를 올바로 획득하기 위해서는 다음과 같은 "Minimum-distance-decoding"조건을 만족해야 할 것이다.

$$\left|<\bar{R},\bar{c}^{(j)}_{\{Pl\}}> - <\bar{R},\bar{c}^{(j)}>\right| < \left|<\bar{R},\bar{c}^{(j)}_{\{Pl\}}> - <\bar{R},\bar{c}^{(k)}>\right|$$

$$\forall l \le 2^{n-2}-1,\ \forall j,\ \forall k \ne j$$

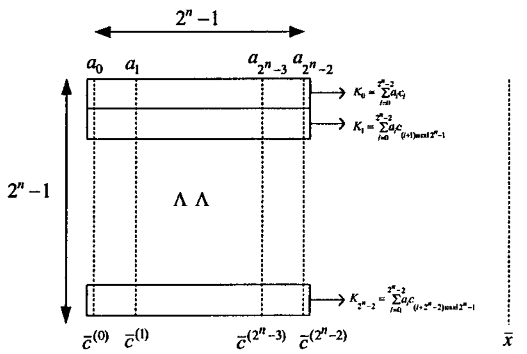
여기서 P_l 은 l-position(l-weight errors)에서 에러를 가지는 모든 경우의 집합이고, 그 개수는 $|P_l| = {}_{2^n-1}C_l$

이다.

위의 조건을 만족하는 레퍼런스 코드($\overline{R}$)를 디자인 하는 문제는 내적이 그 결과를 실수축에 매핑하는 함수이므로, 일차원 상에서 우리가 원하는 decision region을 갖게하는 레퍼런스코드를 설계하는 것이다. 레퍼런스코드의 설계는 이의 계수를 결정하는 것이므로 위의 조건을 통해 $\{a_i\}_{i=0}^{2^n-2}$ 을 결정하기 위해서는 위의 디코딩룰을 보다 쉬운 표현으로 바꿀 수 있어야 한다.

III. Minimum-distance-decoding 조건에 의한 레퍼런스코드 디자인

레퍼런스코드의 구조를 살펴보면 다음과 같다.



여기서,

$$\overline{R}=[K_0, K_1, \Lambda\ , K_{2^n-2}]$$

$$K_0=\left\langle \bar{c}^{(0)}, \bar{a}\right\rangle \quad K_1=\left\langle \bar{c}^{(1)}, \bar{a}\right\rangle$$

$$\mathrm{M}$$

$$K_{2^n-2}=\left\langle \bar{c}^{(2^n-2)}, \bar{a}\right\rangle$$

$$where\ \bar{a}=[a_0, a_1, \Lambda\ , a_{2^n-2}]$$

일차원상의 decision region의 결정은 최대 $2^{n-2}-1$ 개까지의 에러가 발생한 j번째 PN코드가 레퍼런스코드와 내적 되었을 때, j번째 PN코드 그리고 j+1번째 PN코드의 내적 값과의 중간지점 이내에 위치하게 만드는 조건을 만족하는 레퍼런스코드를 만드는 문제이고, 우리는 다음 관계식을 만족하는 레퍼런스코드를 찾아야 하다.

$$\left|<\overline{R},\bar{c}^{(j)}_{\{P_l\}}>-<\overline{R},\bar{c}^{(j)}>\right|\le Max\{\sum_{i\in X}|K_i|\}$$
$$\le(a_{j+1}-a_j)2^{n-1}$$
$$for\ \forall l\le 2^{n-2}-1,\ \forall j$$
$$where\ X=\{k|k\in\{0,1,\Lambda\ ,2^n-2\}\},|X|=2^{n-2}-1$$

위 관계식의 첫 번째 부등식은 다음과 같이 유도 된다.

$$\left|\left\langle\overline{R},\bar{c}^{(j)}_{\{P_l\}}\right\rangle-\left\langle\overline{R},\bar{c}^{(j)}\right\rangle\right|=2\left|\left\langle\overline{R},\bar{e}\right\rangle\right|$$
$$where\ \bar{e}=[e_0,e_1,\Lambda\ ,e_{2^n-2}], e_i\in\{-1,1,0\}$$
$$R=[K_0,K_1,\Lambda\ ,K_{2^n-2}]$$

즉, 2로 나눠진후 $\left|\left\langle\overline{R},\bar{c}^{(j)}_{\{P_l\}}\right\rangle-\left\langle\overline{R},\bar{c}^{(j)}\right\rangle\right|$ 은 $\{K_i\}$ 의 -1,+1에의한 linear combination 이 됨을 알 수 있다. 그러므로 $Max\{\sum_{i\in X}|K_i|\}$ 는 $2^{n-2}-1$ 자리에서 발생한 에러에 대해서 그 최악의 경우에 해당하므로(가장 큰 값을 가지게 되는), 이 경우에 위의 두번째 부등식을 만족한다면 이는 우리가 원하는 레퍼런스코드를 만드는 것이다. $Max\{\sum_{i\in X}|K_i|\}$ 를 궁극적으로 얻고자 하는 레퍼런스코드의 계수위주로 표현하면,

$$(a_{j+1}-a_j)2^{n-1}\ge$$
$$Max\left\{\left|\sum_j a_j c_j^{(i1)}\right|+\left|\sum_j a_j c_j^{(i2)}\right|+\Lambda+\left|\sum_j a_j c_j^{(i_{2^{n-2}-1})}\right|\right\}$$

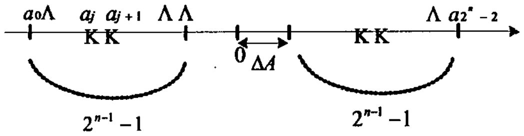
위 부등식의 최대값을 가지는 경우를 고려하면,

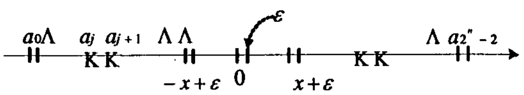
$$(a_{j+1}-a_j)2^{n-1}\ge(2^{n-2}-1)\cdot\left|\sum_{j=0}^{2^n-2}a_j\right|$$

이를 upper bounding해서 정리하면,

$$(a_{j+1}-a_j)2^{n-1}\ge 2^{n-2}\cdot\left|\sum_{j=0}^{2^n-2}a_j\right|$$
$$a_{j+1}-a_j\ge\frac{1}{2}\cdot\left|\sum_{j=0}^{2^n-2}a_j\right|$$
$$\therefore a_{j+1}-a_j\equiv\Delta A=\frac{1}{2}\cdot\left|\sum_{j=0}^{2^n-2}a_j\right|\quad for\ \forall j$$

위 식이 "Minimum Distance Decoding"조건에 의해서 찾은 레퍼런스코드 계수 $\{a_i\}_{i=0}^{2^n-2}$ 의 조건이다. 이 조건을 만족하는 $\{a_i\}_{i=0}^{2^n-2}$ 는 우선 계수들이 동일한 간격으로 배열되어 있고, $\left|\{ai\}_{i=0}^{2^n-2}\right| = 2^n - 1$ 이 홀수이므로, 다음과 같은 배치를 고려 할 수 있다.





$$\frac{1}{2}\cdot\left(2\varepsilon\left(2^{n-1}-1\right)+\varepsilon\right)=\frac{1}{2}\cdot\left|\sum_{j=0}^{2^n-2}a_j\right|$$

$$\frac{1}{2}(2^n\varepsilon-2\varepsilon+\varepsilon)=\frac{1}{2}\cdot\left|\sum_{j=0}^{2^n-2}a_j\right|$$

$$\frac{\varepsilon}{2}\cdot(2^n-1)=\frac{1}{2}\cdot\left|\sum_{j=0}^{2^n-2}a_j\right|=\Delta A$$

$$\therefore \Delta A = x = \frac{\varepsilon\cdot(2^n-1)}{2}$$

$\{a_i\}_{i=0}^{2^n-2}$ 는 $a_0 = -\frac{\varepsilon\cdot(2^n-1)(2^{n-1}-1)}{2}+\varepsilon$ 부터 $a_{2^n-2} = \frac{\varepsilon\cdot(2^n-1)(2^{n-1}-1)}{2}+\varepsilon$ 까지 동일한 ΔA 간격의 값을 가진다.

IV. 결 론

이상 본 논문을 통해 레퍼런스코드를 통한 새로운 PN코드 획득이 가능함을 보였고, 이를 위한 계수들의 조건을 얻었다. 이 새로운 알고리즘은 기존의 상용 CDMA시스템에서도 단말기의 개선을 통해 이용할 수 있고, 비동기식의 3G 이동통신에서도 근본적으로 몇 개의 PN 코드중에 하나를 획득하냐 하는 차이만이 존재하므로 적용이 가능하다. 그러나 이 새로운 기술은 궁극적으로 차세대 무선 이동통신의 획득과정에 있어 새로운 표준으로 그 역할을 할 수 있다고 본다. 끝으로 이러한 레퍼런스코드를 수신기에서 만들어 내는 부분에 있어서 $\{a_i\}_{i=0}^{2^n-2}$ 의 값을 저장하고 있거나, 기존의 PN코드 generator에 맞물려서 일정하게 증가하는 값을 출력하는 레퍼런스코드의 계수($\{a_i\}_{i=0}^{2^n-2}$) generator를 구현하여 쉽게 만들어 낼 수 있지만, 본질적으로 하나의 generator로 레퍼런스코드를 만들어 내는 이른바 레퍼런스코드 generator의 연구가 더 진행되어야 할 것이다.

참고문헌

[1] John G. Proakis, "Digital Communication", McGraw-Hill Third Edition,1995

[2] Andrew J. Viterbi, "CDMA-Principles of Spread Spectrum Communication", Addison-Wesley Publishing Company, 1995.

[3] "Mobile Station-Base Station Compatibility Standard for Dual-Mode Wideband Spread Spectrum Cellular System IS-95-A", Ballot Version, 1995.

[4] Chi-Tsong Chen, "Linear System Theory and Design", Saunders College Publishing, 1984

[5] Robert J. McEliece, "Finite Fields for Computer scientists and engineers", Kluwer Academic Publishers, 1987

[6] Jhong Sam Lee,Leonard E. Miller, "CDMA Systems Engineering Handbook", Arttech House Publishers, 1998

[7] 장우진, 김현정, 송문호, 김운경, "최적화된 PN Code Acquisition에 대한 연구", 대한전자공학회하계 학술대회,pp23-25, 1998.

[8] 박재영, "CDMA 통신시스템 하에서 Reference code에 의한 유사잡음 코드 획득" 고려대학교 석사 학위 논문, 2001