

부호 분할 다원 접속을 위한 직접 확산
셀룰라 통신 시스템의 동기

正會員 全 正 植* 正會員 韓 榮 烈**

Acquisition of Direct-Sequence Cellular Communication
System for Code Division Mutliple Access

Jung Sig Chun*, Young Yeal Han** *Regular Members*

要 約

본 논문에서는 송신된 확산부호와 수신기 내의 기준 확산부호 사이의 위상차에 대한 사전 확률을 알고 있을 때, 동기가 맞을 확률이 높은 셀부터 낮은 셀의 순서로 검사하는 Expanding Window Search 방법을 이용하여 직접확산(Direct Sequence) 통신 시스템의 초기동기 과정의 상태도를 구성한다.

각 검색에서 앞선 검색 때보다 증가하는 윈도우를 초항이 a 고 공비가 r 인 등비 수열의 형태로 증가하도록 하였으며, 마코프처리(Markov process)와 메이슨 이득공식(Mason's gain fomula)을 이용하여 상태를 해석하고 평균 시간을 구한다. 그리고 검색 횟수 n 과 검출 확률 P_d 의 변화에 따른 평균동기 시간의 증감을 사전 확률이 없을 때의 평균동기 시간과 비교한다.

ABSTRACT

In this paper, knowing a priori probability of phase offset between transmitted codes and reference codes in the receiver, we construct the state diagram of acquisition process of the direct sequence spread-spectrum communication system using the expanding window search. The scannngs are performed from the cell with higher probability code epoch synchronization to that with lower one.

We expand window size from initial value by r times of its previous size in each search, construct the corresponding the state diagrams, and derive average synchronization time using the Markov process and Mason's gain formula. Average synchronization times versus number of search n and detection probability P_d are calculated.

I. 서 론

*金星社
Goldstar Company
**漢陽大學校 電子通信工學科
Dept. of Electronic Com. Hanyang University
論文番號 : 93-23

부호분할 다원접속(CDMA) 방식은 TIA에서 디지털 셀룰라 이동통신의 장점 표준안으로 채택된 후 많은 주의를 끌어 왔다^[1]. 직접확산(Direct Sequence)

을 이용한 부호분할 다원접속 방식은 각 이용자에게 고유의 확산부호를 배분하여 여러 이용자가 동일한 주파수 대역을 가지고 통신하는 방식으로 확산부호(spreading code)를 사용하여 정보신호의 대역폭보다 넓은 대역으로 확산하여 전송한다. 수신자는 송신측에서 사용한 확산부호와 동일한 확산부호를 사용하여 역 확산시킨 후 본래의 정보신호를 검출한다.

확산부호에 의하여 확산된 수신 신호와 수신측 내에 내장된 확산부호를 상관시켜 정보신호를 검출함으로써 반사파에 의한 신호는 수신측에서 다시 확산되어 페이딩의 영향을 감소시킬 수 있으며, 많은 가입자를 수용할 수 있다는 이점이 있다^[1]. 그 외에도 셀에서의 주파수 배분이 필요 없으며 handoff시 다른 셀의 PN 부호의 phase-offset을 맞추어 이루어지는 soft handoff를 함으로써 주파수 채널 교체가 없으며, Rake-type 수신기를 사용함으로써 path diversity를 이룰 수 있는 장점이 있다^[1].

본래의 정보 신호를 얻기 위하여 수신된 신호에 확산 부호를 곱할 때, 수신된 신호 내의 확산 부호와 수신기에서 나오는 기준 확산 부호 사이에 정확한 동기가 이루어져야 한다. 정확한 동기를 이루기 위해서는 다음 두가지 조건이 필요하다. 첫째, 송신시 사용한 확산부호의 정확한 패턴(pattern)을 수신자가 알고 있어야 하고, 둘째, 수신된 부호와 기준 확산 부호 사이의 위상차(phase offset)를 없애 주어야 한다. 송신기에서 사용한 부호 발생 장치와 동일한 장치를 수신기에 내장시킴으로써 확산 부호의 패턴은 쉽게 알 수 있으나, 두 부호 사이의 위상차를 없애는 것은 상당히 어려운 일이다. 따라서 위상차를 제거하는 시간이 시스템의 성능에 큰 영향을 미치고, 이를 해석하는 여러가지 방법들이 제안되었다^{[2]-[6]}.

두 부호의 위상차를 없애는 동기과정은 초기동기(acquisition)와 동기 추적(tracking)으로 분류할 수 있다. 초기동기는 두 부호의 위상차를 1칩(chip) 이내로 조정하는 과정이고, 이 과정이 끝나면 정확한 동기점을 찾아서 계속 동기를 유지시켜 주는 과정이 필요하다. 이 과정을 동기추적 과정이라 한다.

초기 동기를 위한 여러가지 방법이 제안되어 있으나, 직렬 검색(serial-search) 방법이 가장 널리 알려져 있다.

미국의 TIA-CDMA 시스템에서의 동기는 QPSK나 OQPSK의 주기 2^{15} 되는 I채널 PN 계열과 Q채널 PN 계열의 확산부호를 사용하여 파일럿(pilot) 채널

을 두어 동기에 사용하고 있다. 1초당 칩 속도는 1.2288Mcps로 PN 계열의 run-length 특성에 의하여 I와 Q채널의 PN 계열은 0이 14개 연속으로 발생되며 0이 14개 출력된 다음 0을 하나 더 삽입함으로써 주기 2^{15} 되는 PN 계열을 발생시킨다. 주기 2^{15} 되는 PN 계열은 2초간 75번 반복되고 26.66ms 마다 반복된다. 시스템 시간이 사전 정보로써 주어지면 대략 일치함을 사전에 알 수 있다. 특히 이동국에서 기지국으로 전송할 때는 파일럿 채널이 없고 시스템 시간이 우수초(even time)일 때 zero-offset의 PN 계열의 0이 14번 나온 후 1이 나오는 시작점을 전송하도록 되어 있어 사전 정보가 주어지고 있다.

위상차에 대한 사전 정보로서 송신기와 수신기 시스템 시간 등을 알고 있으면 동기가 맞을 확률이 높은 셀부터 낮은 셀의 순서로 검사하는 Expanding Window search 방법을 이용하여 직렬 검색 방법을 이용할 때보다 짧은 시간 내에 초기동기 과정을 마칠 수 있을 것이다^[4].

본 논문에서는 윈도우 크기의 증가를 초항이 a고, 공비가 r인 등비 수열의 형태로 증가시켰으며, 초기 동기 모델과 검색 방법을 2장에서 설명하고, 3장에서는 상태도를 구성하고 해석한다. 4장에서는 마코프 처리(Markov process)와 메이슨 이득 공식(Mason's gain formula)을 이용하여 생성함수(generating function)를 구하고 이를 이용하여 초기 동기의 평균 시간을 구하고, 직렬 검색과 비교한다. 5장에서는 본 논문에서 얻은 결론을 정리한다.

II. 시스템 모델

PN 부호를 이용한 직접 확산 대역 통신 시스템의 간단한 초기동기 모델은 그림 1과 같다^[3].

수신된 신호 $r(t-T)$ 는 기준 PN 부호 발생기에서 나온 확산부호 $C(t-\hat{T})$ 와 곱해진다. 그리고 대역 통과 필터(BPF)를 거쳐 포락선을 검파한다. 이 때 나온 출력을 T_d (dwell time) 동안 적분하여 이를 비교기(comparator)에서 임계치(threshold) V_T 와 비교하여 동기 유무를 판단한다. 만약 동기가 맞으면 초기동기 과정을 마치고 동기 추적과정으로 들어가고, 동기가 맞지 않으면 다음 셀로 옮겨서 위의 동작을 반복한다.

그림 2는 본 논문에서 사용하는 검색 방법을 보여 준다^[4]. 검색(scan) 횟수가 증가함에 따라 각 검색

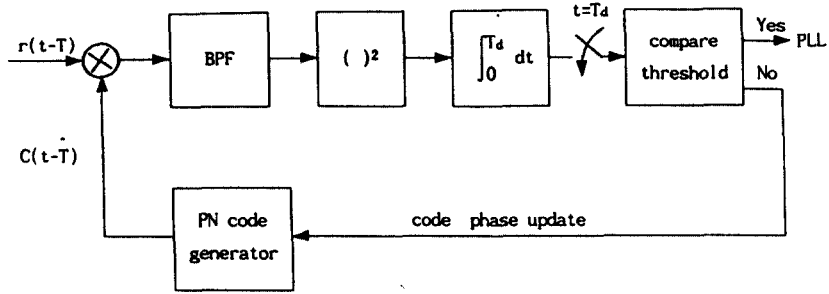


그림 1. PN 초기 동기 시스템 모델
Fig. 1. System Model of PN Acquisition.

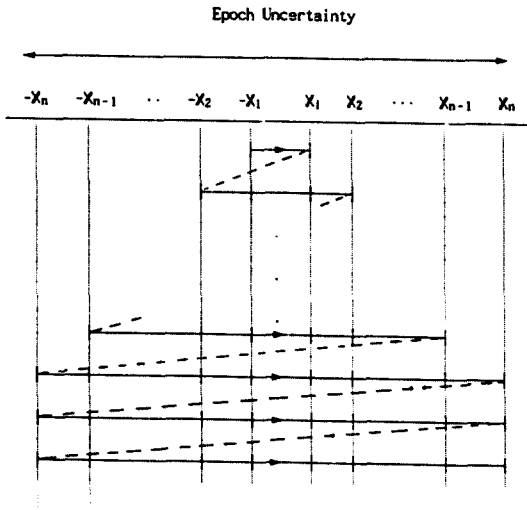


그림 2. 검색 방법.
Fig. 2. Search Strategy.

$$P[x_i] = \begin{cases} \frac{1}{N} \left[\frac{1}{N} x_i + 1 \right] & -N \leq x_i < 0 \\ -\frac{1}{N} \left[\frac{1}{N} x_i - 1 \right] & 0 \leq x_i < N \end{cases} \quad (1)$$

여기서 N은 PN 부호의 주기로 $2^s - 1$ (s는 shift register의 수)이나, s가 클 때 2^s 로 해석한다.

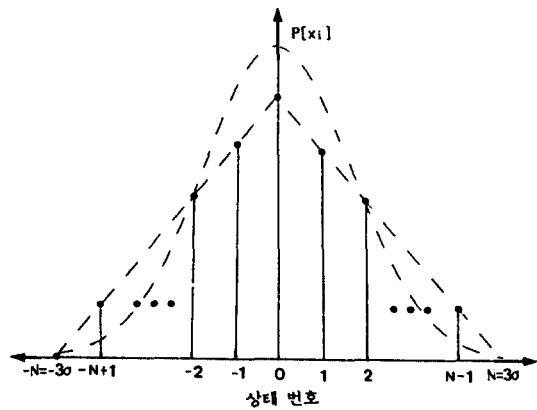


그림 3. 사전 확률의 근사화.
Fig. 3. Approximation of a Priori Probability.

에서 검사해야할 셀이 많아지며, n번째 검색에서는 처음 셀부터 마지막 셀까지 모두 검사해야 하고, 이때도 못 찾으면 직렬 검색(serial-search)과 같이 첫 번째 셀부터 마지막 셀까지 초기동기가 끝날 때까지 계속해서 검사한다. 1셀의 크기를 1/2 심볼로 하고, 위상차에 대한 사전 정보를 확률로 바꾸면 그림 3과 같이 가우시안(Gaussian) 또는 삼각형(triangular) 분포로 근사화 할 수 있다. 그림 3에서 x_i 는 검색하는 셀의 상태 번호이고 $P[x_i]$ 는 각 상태에서 동기가 맞는 부호가 존재할 위상차에 대한 사전확률이다. 사전 확률이 삼각형 분포를 가질 때의 확률식은 다음과 같다[5].

III. 상태도 해석

그림 4는 i번째와 (i-1)번째 검색 때의 표기법(not-ation)을 보여준다.

i번째 검색에서 지나게 되는 전체 셀의 갯수는 $2 \cdot X_i$ 이고, i-1번째에 검색하는 셀의 갯수 $2 \cdot X_{i-1}$ 보다 늘어난 셀의 수는 $2 \cdot x_i$ 이다. 여기서 x_i 는 상태번호

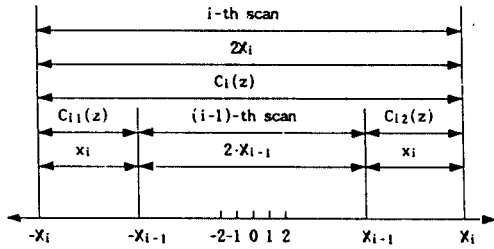


그림 4. (i-1)과 i번째 검색.
Fig. 4. (i-1)th and i-th scan.

(state number)를 나타낸다. 그리고 \mathbf{X}_i 는 각 검색의 경계에 있는 상태 번호를 나타낸다. 따라서 \mathbf{X}_i 는 다음식으로 표현할 수 있다.

$$\mathbf{X}_i = \sum_{k=1}^i x_k \quad (2)$$

i 가 커짐에 따라 윈도우 크기의 증가를 초항이 a 이고, 공비가 r 인 등비수열의 형태로 증가한다고 할 때 다음과 같이 정의한다.

$$\mathbf{X}_i = a \cdot r^{i-1} \quad (3)$$

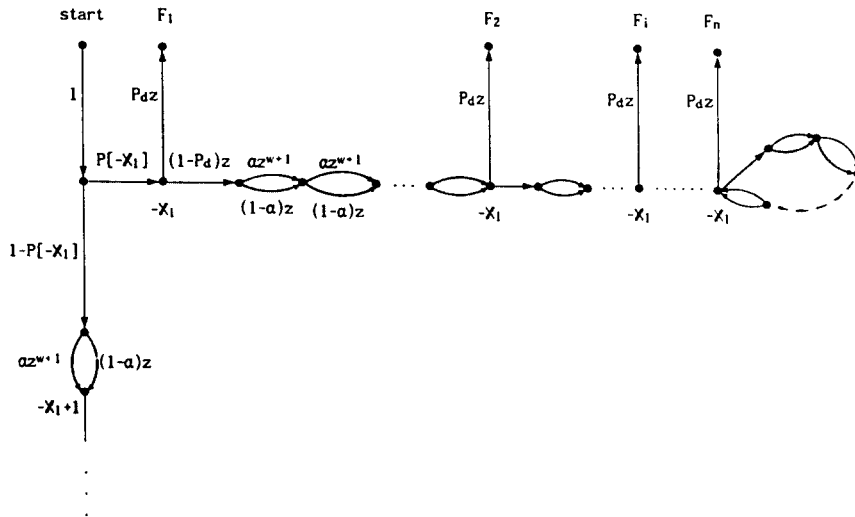


그림 5. $-\mathbf{X}_i$ 상태에서 동기가 맞을 때의 상태도.
Fig. 5. State Diagram of Finish of the Acquisition at the $-\mathbf{X}_i$ State.

i 번째 검색에서 동기가 맞는 부호가 존재할 가능성이 있는 상태 번호는 $-\mathbf{X}_i \sim -\mathbf{X}_{i-1}+1$ 과 $\mathbf{X}_{i-1}+1 \sim \mathbf{X}_i$ 이다. i 번째 검색에서 동기가 맞는 부호가 존재하는 셀의 상태 번호가 음수일 때는 $C_{i1}(z)$, 양수일 때는 $C_{i2}(z)$ 로 나타내고, i 번째 검색에서 동기가 맞는 부호가 존재할 때는 $C_i(z)$ 로 나타낸다.

그림 5는 $-\mathbf{X}_i$ 상태에서 동기가 맞는 부호가 있을 때의 상태도이다. $-\mathbf{X}_i$ 상태는 첫번째 검색에서부터 존재하므로 n 개의 F 상태(finite state)를 가진다. 이때 F_i 는 i 번째 검색의 $-\mathbf{X}_i$ 상태에서 초기동기가 끝나는 경우를 나타낸다. 동기가 맞지 않는데 동기가 맞다고 판단하는 False Alarm이 일어날 확률 P_{FA} 를 α , False Alarm이 일어났을 때 다음 셀로 넘어갈 때까지의 보상시간을 w 라 할때

$$H(z) = \alpha \cdot z^{w+1} + (1-\alpha) \cdot z$$

$$\beta = 1 - P_d \quad (4)$$

로 두면 그림 6과 같이 간단히 그릴 수 있다. 여기서 $A_i(z)$ 는 i 번째 검색에서 $-\mathbf{X}_i$ 상태에 동기가 맞는 부호가 없다고 판단하였을 때 $(i+1)$ 번째 검색의 $-\mathbf{X}_i$ 상태까지 가는 경우를 나타낸다.

$$A_i(z) = \beta \cdot z \cdot \{H(z)\}^{\mathbf{X}_i + \mathbf{X}_{i+1} - 1}, \quad i = 1, 2, \dots, n-1 \quad (5)$$

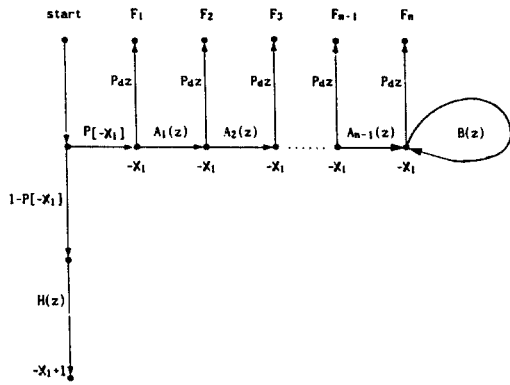


그림 6. 그림 5의 간략화된 상태도.
Fig. 6. Reduced State Diagram of Figure 5.

$B(z)$ 는 n 번째 검색부터는 모든 셀을 검색하므로 동기가 맞는 부호가 존재하는 상태에서 동기가 맞지 않는다고 판단하였을 때 직렬 검색과 같이 $-N$ 셀부터 시작하여 다시 그 상태까지 갈 때를 나타낸다.

$$B(z) = \beta \cdot z \cdot \{H(z)\}^{2 \cdot X_n - 1} \quad (6)$$

$-X_1$ 상태에서 초기동기 과정이 끝나는 경우는 메이슨의 이득 공식을 이용하면 다음과 같이 된다.

$$-X_1 \text{ state} \rightarrow F \text{ state} : P[-X_1] \cdot (1-\beta) \cdot z \cdot \phi_1(z) \quad (7)$$

여기서 F 는 F_1, F_2, \dots, F_n 상태를 나타내고,

$$\begin{aligned} \phi_1(z) &= 1 + A_1(z) + A_1(z) \cdot A_2(z) + \dots + \frac{A_1(z) \cdot A_2(z) \cdot \dots \cdot A_{n-1}(z)}{1 - B(z)} \\ &= 1 + \sum_{k=1}^{n-2} \left[\prod_{i=1}^k A_i(z) \right] + \frac{\prod_{i=1}^{n-1} A_i(z)}{1 - B(z)} \quad (8) \end{aligned}$$

또 $-X_1+1$ 상태의 경우를 그림 7에 그렸다. $-X_1+1$ 의 경우도 초기동기가 끝나는 경우를 식(7)과 비슷하게 다음과 같이 표현된다.

$$-X_1+1 \text{ state} \rightarrow F \text{ state} : (1-P[X_1]) \cdot P[-X_1+1] \cdot (1-\beta) \cdot z \cdot \phi_1(z) \quad (9)$$

$-X_1+2, \dots, -1$ 상태의 경우도 비슷한 과정을 거쳐 $-X_1$ 상태에서 -1 상태 사이에서 초기동기 과정

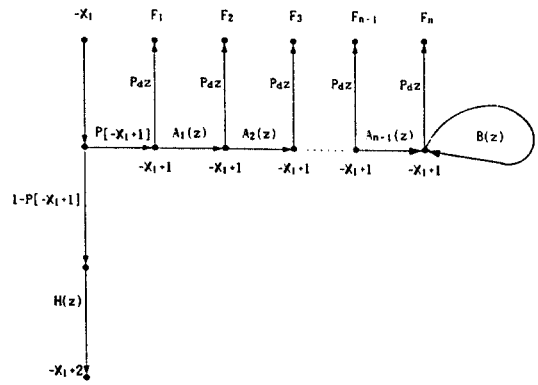


그림 7. $-X_1+1$ 상태에서 동기가 맞을 때의 상태도.
Fig. 7. State Diagram of Finish of the Acquisition at the $-X_1+1$ State.

이 완료될 경우는 다음과 같다.

$$C_{11}(z) = (1-\beta) \cdot z \cdot \phi_1(z) \cdot P_{11}(z) \quad (10)$$

여기서

$$\begin{aligned} P_{11} &= P[-X_1] + (1-P[-X_1]) \cdot \frac{P[-X_1+1]}{1-P[-X_1]} \cdot H(z) \\ &+ (1-P[-X_1]) \cdot \frac{1-P[-X_1]-P[-X_1+1]}{1-P[-X_1]} \\ &\cdot \frac{P[-X_1+2]}{1-P[-X_1]-P[-X_1+1]} \cdot H^2(z) \\ &+ (1-P[-X_1]) \cdot \frac{1-P[-X_1]-P[-X_1+1]}{1-P[-X_1]} \\ &\cdot \frac{1-P[-X_1]-P[-X_1+1]-P[-X_1+2]}{1-P[-X_1]-P[-X_1+1]} \\ &\times \frac{P[-X_1+3]}{1-P[-X_1]-P[-X_1+1]-P[-X_1+2]} \cdot H^3(z) \\ &+ \dots + P[-1] \cdot \{H(z)\}^{X_1-1} \\ &= \sum_{i=-X_1}^{-1} P[i] \cdot \{H(z)\}^{i+X_1} \quad (11) \end{aligned}$$

0 상태에서 X_1-1 상태까지의 경우도 위와 비슷한 과정을 거쳐 다음과 같이 표현된다.

$$C_{12}(z) = (1-\beta) \cdot z \cdot \phi_1(z) \cdot P_{12}(z) \quad (12)$$

여기서

$$P_{12}(z) = \sum_{i=0}^{X_1-1} P[i] \cdot \{H(z)\}^{i+X_1} \quad (13)$$

이다. 첫번째 검색에서 존재하는 셀에서 초기동기가 끝날 경우는 식(10)과 식(12)을 더하여 다음과 같이 나타낸다.

$$\begin{aligned} C_1(z) &= C_{11}(z) + C_{12}(z) \\ &= (1-\beta) \cdot z \cdot \phi_1(z) \cdot \sum_{i=-X_1}^{X_1-1} P[i] \cdot \{H(z)\}^{i+X_1} \end{aligned} \quad (14)$$

첫번째 검색 내에 있는 모든 상태에서 동기가 맞는 부호가 없을 때 두번째 검색의 처음 상태인 $-X_2$ 상태로 간다. $-X_2$ 상태에서 동기가 맞을 때의 상태를 그림 8에 그렸다.

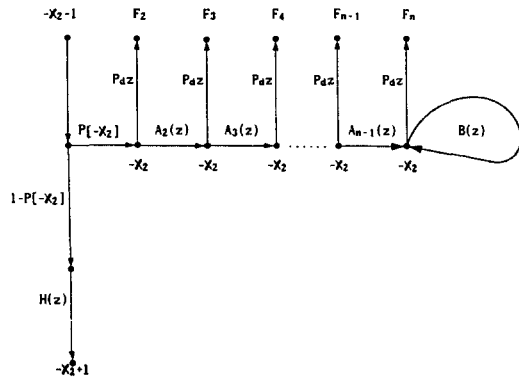


그림 8. $-X_2$ 상태에서 동기가 맞을 때의 상태도.
Fig. 8. State Diagram of Finish of the Acquisition at the $-X_2$ State.

이때 첫번째 검색에서는 $-X_2$ 상태를 검사하지 않고 두번째 검색에서 부터 검사하기에 F 상태가 $n-1$ 번 있다. 이 때 $A_i(z)$ 는 식(5)와 같고 i 는 $2, \dots, n-1$ 이다. 따라서

$$\begin{aligned} \phi_2(z) &= 1 + A_2(z) + \dots + \frac{A_2(z) \cdots A_{n-1}(z)}{1-B(z)} \\ &= 1 + \sum_{k=2}^{n-2} \left[\prod_{i=2}^k A_i(z) \right] + \frac{\prod_{i=2}^{n-1} A_i(z)}{1-B(z)} \end{aligned} \quad (15)$$

이다. 그리고 두번째 검색에서 동기가 맞는 부호가 존재할 때 초기동기가 끝나는 경우는 다음과 같이 표현된다.

$$C_{21}(z) = (1-\beta) \cdot z \cdot \phi_2(z) \cdot P_{21}(z) \quad (16)$$

$$P_{21}(z) = \sum_{i=-X_2}^{-X_1-1} P[i] \cdot \{H(z)\}^{i+2X_1+X_2} \quad (17)$$

$$C_{22}(z) = (1-\beta) \cdot z \cdot \phi_2(z) \cdot P_{22}(z) \quad (18)$$

$$P_{22}(z) = \sum_{i=X_1}^{-X_2-1} P[i] \cdot \{H(z)\}^{i+2X_1+X_2} \quad (19)$$

$$\begin{aligned} C_2(z) &= C_{21}(z) + C_{22}(z) \\ &= (1-\beta) \cdot z \cdot \phi_2(z) \cdot [P_{21}(z) + P_{22}(z)] \end{aligned} \quad (20)$$

일반적으로 i 번째 검색에서의 $\phi_i(z)$ 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \phi_i(z) &= 1 + \sum_{k=1}^{n-2} \left\{ \prod_{j=1}^k A_j(z) \right\} + \frac{\sum_{k=1}^{n-1} \left\{ \prod_{j=1}^k A_j(z) \right\}}{1-B(z)} \\ & \quad i=1, 2, \dots, n-1 \end{aligned} \quad (21)$$

$P_{i1}(z), P_{i2}(z)$ 는 i 번째 검색내의 상태에서 동기가 맞는 부호가 존재할 확률 값이고 첫번째 검색에서 $(i-1)$ 번째 검색까지는 동기가 맞는 부호가 존재하지 않으므로 이 때의 확률값도 함께 표현한 것이다.

$$\begin{aligned} P_{i1}(z) &= \sum_{k=-X_1}^{-X_{i-1}-1} P[k] \cdot \{H(z)\}^{k+\sum_{m=1}^{i-1} 2X_m+X_i} \\ & \quad i=2, 3, \dots, n \end{aligned} \quad (22)$$

$$\begin{aligned} P_{i2}(z) &= \sum_{k=-X_{i-1}}^{X_1-1} P[k] \cdot \{H(z)\}^{k+\sum_{m=1}^{i-1} 2X_m+X_i} \\ & \quad i=2, 3, \dots, n \end{aligned} \quad (23)$$

i 번째 검색에서 초기 동기가 끝나는 경우는 식(24)과 같이 표현된다.

$$C_i(z) = (1-\beta) \cdot z \cdot \phi_i(z) \cdot (P_{i1}(z) + P_{i2}(z)) \quad (24)$$

n 번째 검색에서 동기가 끝날 경우의 $\phi_n(z)$ 는

$$\phi_n(z) = \frac{1}{1-B(z)} \quad (25)$$

이고, 다음식은 n번째 검색에서 동기가 맞는 부호를 발견할 때를 나타낸다.

$$C_n(z) = (1-\beta) \cdot z \cdot \phi_n(z) \cdot (P_{n1}(z) + P_{n2}(z)) \quad (26)$$

IV. 초기 동기의 평균 시간

첫번째 검색 내의 상태에서 초기동기가 끝날 때를 x_1 , 두번째 검색에 존재하는 상태에서 초기동기가 끝날 경우를 x_2 , 계속해서 n번째 이후 검색에서 초기동기가 끝나는 경우를 x_n 으로 나타내면 전체 상태를 그림 9와 같이 그릴 수 있다.

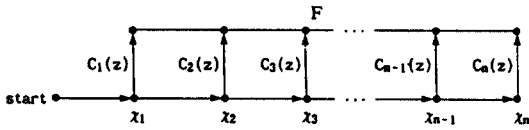


그림 9. 초기 동기의 전체 상태도.

Fig. 9. Total State Diagram of Acquisition.

그림 9에서 마코프 처리를 이용하여 생성 함수 (generating function)를 구하면

$$U(z) = C_1(z) + C_2(z) + \dots + C_n(z) \quad (27)$$

평균 시간을 구하기 위하여 식(27)을 z 에 대하여 미분하여, $z=1$ 을 대입하고,

$$x_i = a \cdot r^{i-1}$$

를 대입하여 계산하면

$$\left. \frac{dU(z)}{dz} \right|_{z=1} = C_1'(1) + C_2'(1) + \dots + C_n'(1)$$

$C_1(z)$ 와 $C_n(z)$ 는 식(5), 식(22)와 식(23) 때문에 $C_i(z)$ 로 표현할 수 없으므로 따로 구하고, 미분하여 더하면

$$\left. \frac{dU(z)}{dz} \right|_{z=1} = D_1 + \sum_{i=2}^{n-1} D_i + D_n \quad (28)$$

이다. 여기서

$$D_1 = \frac{a}{N^2} [(2 \cdot N - a) + (1 + w \cdot \alpha) \cdot (a - a^2 - N + 2 \cdot a \cdot N)] \\ + \frac{a \cdot P_d \cdot (2 \cdot N - a)}{N^2} \left[\frac{a \cdot (r+1) \cdot (1 + w \cdot \alpha)}{r-1} \left\{ \frac{(1-P_d) \cdot r \cdot \{(1-P_d)^{n-2} \cdot r^{n-2} - 1\}}{(1-P_d) \cdot r - 1} - \frac{(1-P_d) \cdot \{1 - (1-P_d)^{n-2}\}}{P_d} \right\} \right. \\ \left. + \frac{a \cdot (1-P_d)^{n-1} \cdot (1 + w \cdot \alpha) \cdot (r^n + r^{n-1} - 2)}{P_d \cdot (r-1)} - \frac{w \cdot \alpha \cdot (1-P_d)^{n-1} \cdot (n-1)}{P_d} - \frac{w \cdot \alpha \cdot (1-P_d)}{P_d} \right] \\ \left\{ 1 - (1-P_d)^{n-2} \cdot (n-1) + (1-P_d)^{n-1} \cdot (n-2) \right\} \Bigg]$$

$$D_i = \frac{a \cdot r^{i-2}}{N^2} \left[(r-1) \cdot \{2 \cdot N - a \cdot r^{i-2} \cdot (r+1) + (r-1) \cdot (1 + w \cdot \alpha) \cdot a \cdot r^{i-2} \cdot (r+1) + \{2 \cdot N - a \cdot r^{i-2} \cdot (r+1) \cdot \left\{ a \cdot r^{i-1} + \frac{2 \cdot a \cdot (r^{i-1} - 1)}{r-1} \right\} - N \right] \right. \\ \left. + \frac{a \cdot r^{i-2} \cdot P_d \cdot (r-1) \cdot (2 \cdot N - a \cdot r^{i-2} \cdot (r+1))}{N^2} \left[\frac{a \cdot (r+1) \cdot (1 + w \cdot \alpha)}{r-1} \times \left\{ \frac{(1-P_d) \cdot r \cdot (1-P_d)^{n-i-1} \cdot r^{n-i-1} - 1}{(1-P_d) \cdot r - 1} - \frac{(1-P_d) \cdot (1 - (1-P_d)^{n-i-1})}{P_d} \right\} \right. \right. \\ \left. \left. + \frac{a \cdot (1-P_d)^{n-1} \cdot (1 + w \cdot \alpha) \cdot \{(r^{n-1} - 1) + (r^{n-1} - 1) - (r^{i-1}) - (r^{i-1} - 1)\}}{P_d \cdot (r-1)} - \frac{(1-P_d)^{n-i} \cdot w \cdot \alpha \cdot (n-i)}{P_d} - \frac{w \cdot \alpha \cdot (1-P_d)}{P_d^2} \right\} \right] \\ \left\{ 1 - (1-P_d)^{n-i-1} \cdot (n-i) + (1-P_d)^{n-i} \cdot (n-i-1) \right\} \Bigg]$$

$$D_n = \left\{ 1 - \frac{1}{r} \right\}^2 \cdot \left[\frac{1 + (1-P_d) \cdot (1 + w \cdot \alpha) \cdot (2 \cdot N - 1)}{P_d} - \frac{(1 + w \cdot \alpha) \cdot (2 \cdot a - 1 + N + N \cdot r)}{r-1} \right]$$

D_i 의 경우 유도과정을 부록에 수록하였다. 적분 시간이 T_d 일때 평균시간 \bar{T} 는

$$\bar{T} = \left. \frac{dU(z)}{dz} \right|_{z=1} (T_d) = \left\{ D_1 + \sum_{i=1}^n D_i + D_n \right\} \cdot (T_d) \quad (29)$$

이고, 높은 SNR에서 $P_d \rightarrow 1$, $P_{FA} \rightarrow 0$ 일때 평균시간은

$$\bar{T} \cong \left\{ D_1' + \sum_{i=2}^n D_i' + D_n' \right\} \cdot (T_d) \quad (30)$$

이다. 여기서

$$D_1' = \frac{a}{N^2} (2 \cdot N - a)$$

$$D_i' = \frac{a \cdot r^{i-2}}{N^2} \left[(2 \cdot N - a \cdot r^{i-2} \cdot (r+1)) \cdot \left\{ r-1 + a \cdot r^{i-1} + \frac{2 \cdot a \cdot (r^{i-1} - 1)}{r-1} \right\} + (r^2 - 1) \cdot a \cdot r^{i-2} - N \right]$$

$$D_n' = \frac{(r-1) \cdot \{ N \cdot (r+1) + 2 \cdot a + r \}}{r^2}$$

이다. 표 1은 길이가 $2^{10}-1$ 인 PN 부호의 경우, 검색

표 1. 검색 횟수의 예.

Table 1. Example of Scan number.

n	a	r	X_k	T_d	P_{FA}	w	N
2	2^9	2	2^{k+8}	200 μ s	0.005	10^2	$2^{10}-1$
4	2^7	2	2^{k+6}	200 μ s	0.005	10^2	$2^{10}-1$
6	2^5	2	2^{k+4}	200 μ s	0.005	10^2	$2^{10}-1$
8	2^3	2	2^{k+2}	200 μ s	0.005	10^2	$2^{10}-1$
10	2^1	2	2^k	200 μ s	0.005	10^2	$2^{10}-1$

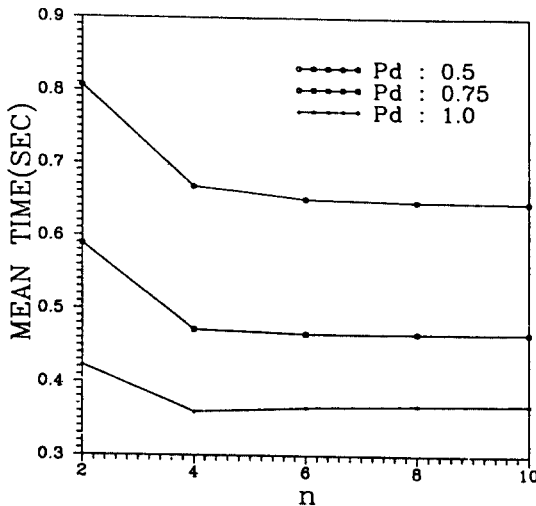


그림 10. n 값의 변화에 따른 평균 시간.
Fig. 10. Mean times versus n.

횟수와 각 검색에서의 초항과 공비 등의 예를 나타내고 있다. 그림 10은 검색횟수 n값의 변화에 따른 평균 시간의 변화이고, P_d 값은 페이딩 현상에 의한 신호의 왜곡과 SNR의 영향을 많이 받으므로 그림 11은 P_d 값의 변화에 따른 평균 시간의 변화이다. 그림 12는 사전 확률이 있는 경우와 사전 확률이 없는 경우의 평균 시간을 비교하고 있다.

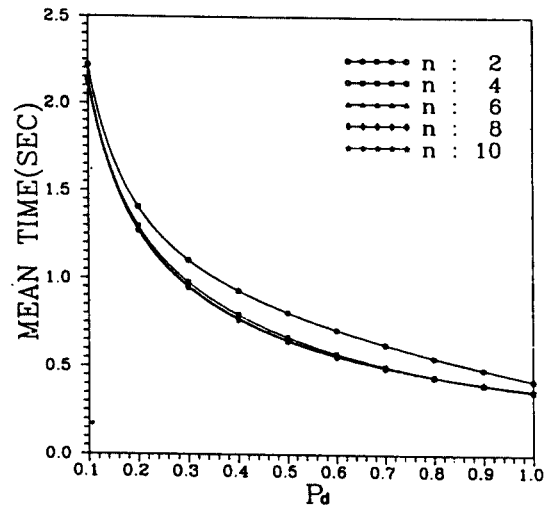


그림 11. P_d 값의 변화에 따른 평균 시간.
Fig. 11. Mean times versus P_d .

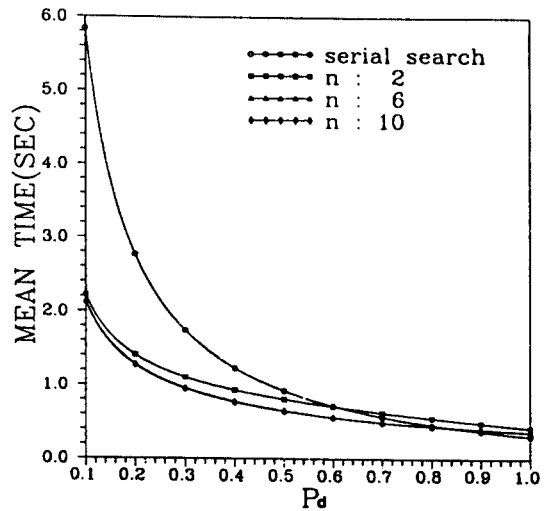


그림 12. 평균 시간의 비교.
Fig. 12. Mean times of expanding window search and serial-search.

V. 결 론

직접 확산 통신 시스템의 초기동기에서 동기가 맞는 부호가 나타날 사전확률을 알고 있는 경우의 상태를 구성하고, 마코프 처리와 메이슨의 이득공식을 이용하여 평균 시간을 구하였다.

Expanding window search 방식으로 동기를 이룰 경우 P_d 값의 증가에 따라 평균 초기동기 시간이 적어지고, 직렬검색보다 P_d 값의 영향을 적게 받음을 알 수 있었다. 그리고 P_d 값이 0.5보다 적을 때는 직렬 검색보다 본 논문의 모델이 상당히 효과적임을 알 수 있었다.

본 논문에서는 모든 동기 관련 논문에서와 같이 평균 동기 시간을 구하고 있으며 페이딩 채널의 영향은 P_d 값의 변화에 따라 페이딩 영향이 고려되어 있다.

감사의 말씀

이 논문은 1991년도 한국학술진흥재단의 자유공모과제 학술연구조성비에 의하여 연구되었음.

참 고 문 헌

1. Proposed EIA / TIA Interim Standard, "Wide-band Spread-Spectrum Digital Cellular System Dual-Mode Mobile Station-Base Station Compatibility Standard," Qualcomm, 1992.
2. V.M. Jovanovic, "Analysis of Strategies for Serial-Search Spread-Spectrum Code Acquisition-Direct Approach," IEEE Trans. Commun., Vol. 36, No.11, pp1208-1220, Nov., 1988.
3. J.K. Holmes, C.C. Chen, "Acquisition Time Performance of PN Spread-Spectrum Systems," IEEE Trans. Commun., Vol. COM-25, No.8, pp 778-784, Aug., 1977.
4. A. Weinberg, "Generalized Analysis for the Evaluation of Search Strategy Effect on PN Acquisition Performance," IEEE Trans. Commun., Vol. COM-31, No.1, pp37-49, Jan., 1983.
5. W.R. Braun, "Performance Analysis for the Expanding Search PN Acquisition Algorithm," IEEE Trans. Commun., Vol. COM-30, No.3, pp 424-435, Mar., 1982.

6. M.K. Simon, J.K. Omura, Robert A. Scholtz, Barry K. Levitt, *Spread Spectrum Communications*, Vol. III, Computer Science Press, 1976.
7. 한영열, "스펙트럼 확산 통신 시스템(FH, DS, CDMA)," 대한 전자 공학회 단기강좌, 스펙트럼 확산 통신 방식, pp25-106, 1986.
8. R.E. Ziemer, R.L. Peterson, *Digital Communication and Spread Spectrum Systems*, New York : Macmillan Publishing Company, 1985.
9. R.A. Scholtz, "The Origins of Spread-Spectrum Communication," IEEE Trans. Commun., Vol. COM-30, No.5, pp882-854, May, 1982.
10. 진봉철, 박상규, 한영열, "주파수 도약 기술을 이용한 셀룰라 통신," 한국통신학회논문지 제16권 제6호, pp.517-532, 1991년 6월.
11. 한경섭, 심수보, 한영열, "주파수도약 부호분할 다윈 접속 방식에 관한 연구," 한국통신학회 논문집, Vol.12, No.5, pp.535-542, 1987년 10월.
12. 박찬경, 한영열, "FH 대역 확산 통신에서의 디지털 처리를 이용한 동기성능 분석," 대한전자공학회 하계 종합학술대회 논문집, 6월 1985년.
13. 박선규, 한영열, "Serial Search 동기 시스템의 성능 분석에 관한 연구," 1984년도 추계 종합 학술 대회 논문집, Vol.7, No.2, pp.134-136, 대한전자공학회.
14. 박선규, 강서원, 김연수, 박진수, 한영열, "주파수도약 확산 스펙트럼 통신기의 동기방식," 대한전자공학회, 1984년도 하계 종합학술대회 논문집 Vol.7, No.1, pp.169-173.
15. 전정식, 한영열, "직접확산 대역 통신 시스템에서의 초기동기," 1992년도 추계종합 학술대회 논문집, Vol.11, No.2, pp212-217, 한국통신학회.

부 록

먼저 S_i 를 다음과 같이 정의한다.

$$S_i = \sum_{m=1}^i X_m \tag{A-1}$$

$C_i(z)$ 는 식 (24)에 의해 다음과 같다.

$$C_i(z) = (1-\beta) \cdot z \cdot \phi_i(z) \cdot \{P_{i1}(z) + P_{i2}(z)\} \\ = (1-\beta) \cdot z \cdot \phi_i(z) \cdot P_i(z) \tag{A-2}$$

여기서 P_i 는 식(22), (23)에 의해 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 P_i(z) &= P_{i1}(z) + P_{i2}(z) \\
 &= \sum_{k=-\mathbf{x}_i}^{-\mathbf{x}_{i-1}-1} P(k) \cdot \{H(z)\}^{k+2 \cdot \mathbf{S}_{i-1} + \mathbf{X}_i} \\
 &\quad + \sum_{k=-\mathbf{x}_i}^{\mathbf{x}_{i-1}} P(k) \cdot \{H(z)\}^{k+2 \cdot \mathbf{S}_{i-1} + \mathbf{X}_i} \quad (A-3)
 \end{aligned}$$

$C_i(z)$ 를 z 에 대하여 미분하면

$$\begin{aligned}
 C_i'(z) &= (1-\beta) \cdot \phi_i(z) \cdot P_i(z) + (1-\beta) \cdot z \cdot \phi_i'(z) \cdot P_i(z) \\
 &\quad + (1-\beta) \cdot z \cdot \phi_i(z) \cdot P_i'(z) \quad (A-4)
 \end{aligned}$$

그리고 식(21)에서 $\phi_i(z)$ 는

$$\begin{aligned}
 \phi_i(z) &= 1 + \sum_{k=1}^{n-2} \left\{ \prod_{j=1}^k A_j(z) \right\} + \frac{\prod_{j=1}^{n-1} A_j(z)}{1-B(z)} \\
 &= 1 + \sum_{k=1}^{n-2} \left[\prod_{j=1}^k \beta \cdot z \cdot \{H(z)\}^{\mathbf{X}_j + \mathbf{X}_{j+1} - 1} \right] \\
 &\quad + \frac{\sum_{j=1}^{n-1} \left[\beta \cdot z \cdot \{H(z)\}^{\mathbf{X}_j + \mathbf{X}_{j+1} - 1} \right]}{1 - \beta \cdot z \cdot \{H(z)\}^{2 \cdot \mathbf{X}_n - 1}} \\
 &= 1 + \sum_{k=1}^{n-2} \beta^{k-i+1} \cdot z^{k-i+1} \\
 &\quad \cdot \{H(z)\}^{\mathbf{S}_{k+1} + \mathbf{S}_k - \mathbf{S}_i - \mathbf{S}_{i-1} - (k-i+1)} \\
 &\quad + \frac{\beta^{n-i} \cdot z^{n-i} \cdot \{H(z)\}^{\mathbf{S}_n + \mathbf{S}_{n-1} - \mathbf{S}_i - \mathbf{S}_{i-1} - (n-i)}}{1 - \beta \cdot z \cdot \{H(z)\}^{2 \cdot \mathbf{X}_n - 1}} \quad (A-5)
 \end{aligned}$$

이다. 식(A-3)을 z 에 대하여 미분하고, $z=1$ 을 대입하면

$$\begin{aligned}
 P_i'(z) \Big|_{z=1} &= \sum_{k=-\mathbf{x}_i}^{-\mathbf{x}_{i-1}-1} P(k) \cdot (1+w \cdot \alpha) \cdot (k+2 \cdot \mathbf{S}_{i-1} + \mathbf{X}_i) \\
 &\quad + \sum_{k=-\mathbf{x}_i}^{\mathbf{x}_{i-1}} P(k) \cdot (1+w \cdot \alpha) \cdot (k+2 \cdot \mathbf{S}_{i-1} + \mathbf{X}_i) \\
 &= \left\{ \frac{2 \cdot a \cdot (r^{i-1}-1)}{r-1} + a \cdot r^{i-1} \right\} \cdot P_i(1) \cdot (1+w \cdot \alpha) \\
 &\quad + (1+w \cdot \alpha) \frac{a^2 \cdot r^{2(i-2)} \cdot (r^2-1) - N \cdot a \cdot r^{i-2} \cdot (r-1)}{N^2} \\
 &= (1+w \cdot \alpha) \left[\frac{a \cdot r^{i-2} \cdot \{a \cdot r^{i-2} \cdot (r^2-1) - N \cdot (r-1)\}}{N^2} \right.
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &\quad \left. + \left\{ \frac{2 \cdot a \cdot (r^{i-1}-1)}{r-1} + a \cdot r^{i-1} \right\} \right. \\
 &\quad \left. \cdot \frac{a \cdot r^{i-2} \cdot (r-1) \cdot \{2 \cdot N - a \cdot r^{i-2} \cdot (r+1)\}}{N^2} \right] \\
 &= \frac{a \cdot r^{i-2} \cdot (1+w \cdot \alpha) \cdot (r-1)}{N^2} \\
 &\quad \left[\left\{ \frac{2 \cdot a \cdot (r^{i-1}-1)}{r-1} + a \cdot r^{i-1} \right\} \right. \\
 &\quad \left. \times \{2 \cdot N - a \cdot r^{i-2} \cdot (r+1)\} + a \cdot r^{i-2} \cdot (r+1) - N \right] \quad (A-6)
 \end{aligned}$$

이다. 또한 식(A-3)에 $z=1$ 을 대입하면 다음과 같다.

$$P_i(1) = \frac{a \cdot r^{i-2} \cdot (r-1) \cdot \{2 \cdot N - a \cdot r^{i-2} \cdot (r+1)\}}{N^2} \quad (A-7)$$

$\phi_i(z)$ 를 z 에 대입하고, 미분하여 $z=1$ 을 대입하면

$$\begin{aligned}
 \phi_i(z) \Big|_{z=1} &= \sum_{k=1}^{n-2} \beta^{k-i+1} \cdot \{ (k-i+1) + (1+w \cdot \alpha) \\
 &\quad \cdot (\mathbf{S}_{k+1} + \mathbf{S}_k - \mathbf{S}_i - \mathbf{S}_{i-1} - (k-i+1)) \} \\
 &\quad + \frac{(1-\beta) \cdot \{ \beta^{n-i} \cdot (n-i) + \beta^{n-i} \cdot (1+w \cdot \alpha) \cdot (\mathbf{S}_n + \mathbf{S}_{n-1} - \mathbf{S}_i - \mathbf{S}_{i-1} - (n-i)) \}}{(1-\beta)^2} \\
 &= \sum_{k=1}^{n-2} \beta^{k-i+1} \cdot \{ -w \cdot \alpha \cdot (k-i+1) + (1+w \cdot \alpha) \\
 &\quad \cdot (\mathbf{S}_{k+1} + \mathbf{S}_k - \mathbf{S}_i - \mathbf{S}_{i-1}) \} \\
 &\quad + \frac{\beta^{n-i} \cdot \{ -w \cdot \alpha \cdot (n-i) + (1+w \cdot \alpha) \cdot (\mathbf{S}_n + \mathbf{S}_{n-1} - \mathbf{S}_i - \mathbf{S}_{i-1}) \}}{1-\beta} \\
 &= \frac{\beta^{n-i}}{1-\beta} \left[-w \cdot \alpha \cdot (n-i) + (1+w \cdot \alpha) \right. \\
 &\quad \left. \left\{ \frac{a \cdot (r^n-1)}{r-1} + \frac{a \cdot (r^{n-1}-1)}{r-1} - \frac{a \cdot (r^i-1)}{r-1} \right\} \right] - w \cdot \alpha \\
 &\quad + \frac{(n-i-1) \cdot \beta^{n-i-1} - (n-i) \cdot \beta^{n-i} + \beta}{(1-\beta)^2} \\
 &\quad + \frac{a \cdot (1+w \cdot \alpha) \cdot (r+1)}{r-1} \\
 &\quad \left[\frac{\beta \cdot r \cdot (\beta^{n-i-1} \cdot r^{n-i-1} - 1)}{\beta \cdot r - 1} - \frac{\beta \cdot (1-\beta^{n-i-1})}{1-\beta} \right] \quad (A-8)
 \end{aligned}$$

이고, 식(A-5)에 $z=1$ 을 대입하면

$$\phi(1) = \frac{1}{1-\beta} \quad (A-9)$$

이다. 식(A-5), (A-6), (A-7), (A-8) 및 식(A-9)를 식(A-4)에 대입하여 정리하면 D_i 을 얻는다.

全 正 植(Jung Sig Chun)

正會員

1967年 1月 30日生

1991年 2月 : 한양대학교 전자통신공학과 공학사

1993年 2月 : 한양대학교 전자통신공학과 공학석사

1993年 2月 ~ 現在 : 금성사근무

※主關心分野 : 대역확산통신, 디지털통신



韓 榮 烈(Young Yeal Han) 正會員

1938年 6月 10日生

1960年 2月 : 서울대학교 전자공학과 공학사

1976年 5月 : 미주리주립대학교 대학원 공학석사

1979年 5月 : 미주리주립대학교 대학원 공학박사

1980年 ~ 現在 : 한양대학교 전자통신공학과 교수

1980年 ~ 1991年 : 본학회 이사 · 상임이사

1991年 ~ 現在 : 본학회 부회장