

수정형 지연 동기 루프 구조와 성능분석

正會員 林 聖 準*, 柳 興 均**

Modified Delay-locked loop structure and Performance Analysis

Sung-Joon Lim*, Heung-Gyoon Ryu** *Regular Members*

요 약

주파수 확산 스펙트럼 시스템에서 PN코드 추적(tracking)은 중요하다. DLL(delay-locked loop)은 정확한 동기를 이루는데 필요하다. 본 논문에서는 확장된 추적 범위를 갖는 DLL을 제안하였다. DLL 설계시 추적 지터와 추적 범위 사이는 상반(tradeoff) 관계가 있다. 일반적으로 상관기를 많이 사용하여 추적 범위를 확장한 DLL은 루프 잡음이 증가한다. 추적 범위를 확장한 DLL내의 가지 중 가장 확실한 2개를 선택함으로써 지터는 줄일 수 있다. 이런 방법은 수정된 DLL의 S곡선을 약간 변형시키지만 루프의 잡음 전력을 크게 감소시킨다. 이렇게 제안한 DLL의 지터값은 여러경우의 동기식, 비동기식 DLL의 지터값과 비교하였다. 지터는 일반적으로 반송파 대 잡음 전력비와 루프의 잡음 대역폭에 의해 크게 변하기때문에 본 논문은 반송파대 잡음 전력비에 따라서 비교하였다.

ABSTRACT

In spread spectrum systems PN-code tracking is a crucial performance aspect. The delay-locked loop(DLL) is an appropriate device to guarantee fine synchronization. In this paper, a modified extended tracking range DLL is proposed. In the design of a DLL there is a tradeoff between tracking jitter and tracking range. The loop noise in an extended tracking range DLL is normally increased since more correlators are used. The jitter performance is improved by selecting the two strongest extended DLL branches. This modifies the extended DLL detector S-curve only slightly while reducing the noise power in the loop considerably. And, we compare the extended DLL jitter and coherent, noncoherent DLL jitter. The DLL jitter is directly proportional to carrier to noise power and code loop noise bandwidth. Jitter performance is analyzed as a function of carrier to noise power ratio.

I. 서 론

지난 몇 년동안 주파수 역확산 기술에 대한 관심이 고조되었으며 다양한 분야에 응용되었는데 특히 이 기술은 TDMA나 FDMA와 비교해서 뛰어난 장점을 지닌 CDMA(Code Division Multiple Access)를 기본으로 하는 이동 통신 분야에 적용되고 있다. 최근들어

* 한국전자통신연구원 전파용역연구실
 ** 충북대학교 전자공학과
 論文番號: 96345-1105
 接受日字: 1996年 11月 5日

초소형 전자기술의 급속한 발전덕택으로 복잡한 디지털 알고리즘을 적용할 수 있게 되었다.

주파수 역확산방식의 시스템에서 정확한 코드 위상 시간 예측은 매우 중요하다. 이 코드 위상 시간을 클럭 오프셋이나 이동통신의 경우에는 특히 도플러 효과의 영향을 받는다. 일반적으로 직접 시퀀스 시스템에서 DLL을 이용한 PN코드 추적이 널리 사용된다. 코드 위상 예측은 수신 신호와 국부 발생하는 PN코드를 이용한 진상, 지상 코드를 비교함으로써 할 수 있다. 코드 위상 시간 에러는 PN코드 클럭 발생기를 구동시켜 코드 위상 시간을 조정한다. 이것을 페루프 추적 제어 시스템이라 한다. 그림 1과 같이 기존의 DLL방식은 참고문헌 [1], [2], [3]과 같이 이론적으로 널리 연구되어졌다. 참고문헌 [4], [5]에는 추적범위를 확장한 DLL에 관한 내용이 있다. 참고문헌 [4], [5]에서 언급한 DLL방식은 2개의 상관기를 사용하는 기존의 DLL방식과는 달리 훨씬 많은 상관기를 사용한다. 이 DLL방식은 추적범위를 확장하였지만 추적 지터 또한 증가한다. 따라서 본 논문은 추적 지터를 감소하면서 추적 범위를 확장시킨 DLL을 제안하였다. 본 논문에서 언급한 모든 그림과 공식은 동기식 DLL을 참고하였으며 확산코드의 최대개열을 사용하였다. 그리고 개선한 DLL의 이론은 비동기식 DLL과 다른 확산 시퀀스에도 적용할 수 있다. 본 논문은 먼저 2장, 3장에서는 기존의 DLL과 개선된 DLL을 비교하고 4장에서는 개선된 루프의 선형 성능 분석을 하였고 5장에서는 기존의 동기식 루프와 비동기식 루프의 경우와 성능을 비교하여 한 도면의 그래프상에 나타내었고 마지막으로 6장에서는 결론을 맺는다.

II. 동기식 DLL

그림 1은 기존의 동기식 DLL의 블록 다이어그램을 나타낸다.

수신 신호는 국부적으로 발생하는 PN코드를 이용한 진상, 지상 코드에 각각 곱해진다. 진상, 지상 코드의 시간간격은 $2\delta T_c$ 이다. 파라미터 δ 는 진상, 지상 채널의 정규화된 타이밍 오프셋이다. 일반적으로 흔히 사용하는 시간간격은 1 Δ 루프라 부르는 $\delta=0.5$ 일때와 2 Δ 루프라 부르는 $\delta=1.0$ 일때이다. 두 가지는 각각의 저역통과필터를 거쳐 PN코드와 자기상관을 구해 고

결과를 서로 감산한다. 이 출력값은 루프에러신호 $e(t)$ 를 만든다. 이 루프필터는 국부 PN코드발생기를 구동시키는 VCO(voltage controlled oscillator)의 입력신호를 발생한다. 루프필터는 추적이러가 낮게 유지되게끔 설계한다. 기존의 동기식 DLL에서 저역통과필터(LPF)와 루프필터는 통합될 수 있다. 왜냐하면 선형 필터링 동작은 감산으로 대체할 수 있기 때문이다.

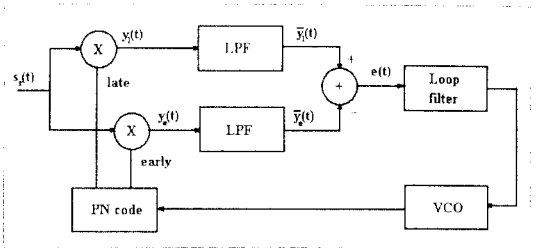


그림 1. 일반적인 동기식 DLL
Fig. 1 Conventional coherent DLL

지인 동기 루프의 변별 특성을 나타내는 S곡선을 $S(\epsilon)$ 라 부르는데 그림 2에 나타내었다. 이 그림은 이상적인 코드 자기상관 함수(ACF)에 대한 기존의 동기식 DLL 경우를 나타낸다. 이것은 위상 검출기 출력 $S(\epsilon)$ 를 시간에러 ϵ 의 함수로 나타낸 것이다. 그림 2의 각각 3개 곡선은 기존의 동기식 루프가 각각 $\delta=0.25, 0.5, 1.0$ 일때이다. 선형 추적 범위 TR_{lin} 는 $S(\epsilon)$ 가 추적 에러 ϵ 에 선형적으로 비례하는 영역을 나타낸다. 선형 추적 범위는 δ 가 감소시에 감소한다. 전체적인 추적 범위 TR_{ov} 는 검출기가 VCO를 구동하기 위한 제어신호를 발생할 수 있는 영역을 나타낸다. 전체적인 추적 범위로 δ 에 따라 변한다. 루프의 추적범위를 벗어났다는 것은 동기를 잃었다는 것을 의미하며 초기 동기 과정으로 돌아가 동기를 일치시키는 과정을 수행한다.

기존의 DLL의 성능 분석은 참고문헌 [2]를 참조하기 바란다. 가우시안 잡음에 대한 추적 지터(jitter) σ_j^2 는 다음과 같다.

$$\sigma_j^2 = \begin{cases} \frac{N_0 W_L}{4P} \frac{N}{N+1} & 0.5 \leq \delta < 1.0 \\ \frac{N_0 W_L}{4P} \frac{N}{N+1} 2\delta & 0.0 < \delta < 0.5 \end{cases} \quad (1)$$

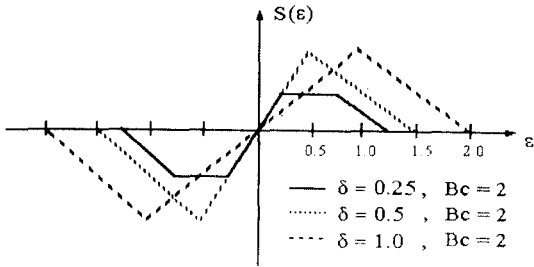


그림 2. 동기식 DLL의 S곡선
Fig. 2 S-curve for coherent DLLs

여기서 N 은 시퀀스 길이, P 는 신호 전력이며 $N_0/2$ 는 양측과 잡음 전력 밀도이고 W_L 은 루프 대역폭이다. 일반적으로 $\delta \leq 0.5$ 는 추적 지터를 감소시키지만 그림 2에서 보는 것처럼 선형 영역과 전체 추적 범위도 감소시킨다.

III. 제안한 4-Branch 동기식 DLL

참고문헌 [4], [5]는 확장된 추적 범위를 지닌 DLL을 제안하고 있다. 그 원리는 루프 에러 신호를 만드는 상관기를 2개 이상 사용함으로써 전체 추적 범위를 확장시키는 것이다. 그러나 상관기를 하나 추가할 때마다 추적 루프의 잡음 전력은 증가한다. 상관기의 갯수는 B_c 로 나타내고 기존의 DLL은 $B_c = 2$ 이다. 일반적으로 $B_c = 2n$ 이며 n 은 양의 정수이다. 여기서 진상, 지상 상관기 갯수는 같다. $\delta = 1.0$ 인 동기식 DLL의 추적 지터를 감소시키기 위한 방법이 참고문헌 [6]에 있다. 이와 같은 방법으로 확장된 추적 범위를 갖

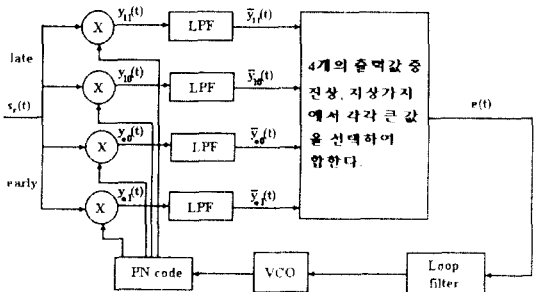


그림 3. 개선된 동기식 DLL
Fig. 3 Modified coherent DLL

는 DLL의 잡음 전력을 감소시킬 수 있다. 4개의 상관기로 구성하여 확장 범위를 개선시킨 DLL의 블록 다이어그램을 그림 3에 나타내었다.

입력신호는 DLL 내부에서 국부적으로 발생하는 PN 코드를 시간적으로 천이된 코드에 역확산된다. 지역 통과필터는 PN 코드 전체를 자기 상관한다. 각각의 가지에서 자기상관 값은 선택/합산 블럭에서 처리된다. 기본 알고리즘은 먼저 진상, 지상가지에서 각각 큰 값의 가지를 선택하고 이것을 합성한다. 그 결과로 루프 에러신호가 발생하고 이 신호는 궤환하여 국부 PN코드 발생기를 제어한다.

그림 4는 각각 T_c 의 간격으로 설정한 4개의 상관기 ($B_c = 4$)를 갖는 개선된 DLL의 S곡선을 나타낸다. B_c 가지중 단지 2개만이 루프잡음을 발생시키기 때문에 상관기의 갯수를 증가시키므로써 지터에 영향을 미치지 않고 추적 범위를 쉽게 확장할 수 있다.

수정한 DLL을 실현시키기 위해 중요한 점은 전체적인 상관값의 결과를 선택/합산블럭의 입력신호로 한다. 지역통과필터는 심플 테이터에 맞는 대역폭을 설정해야한다. 지역통과필터는 상관값의 결과를 수행하기 위하여 적분 & 덤프 장치로서 구현하여야 한다.

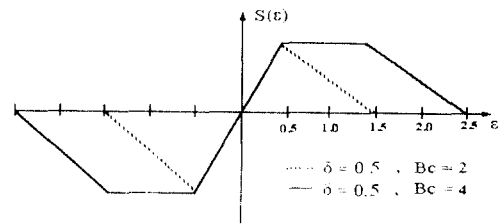


그림 4. $\delta = 0.5$ 인 동기식 DLL의 S곡선
Fig. 4 S-curve for coherent $\delta = 0.5$ -DLLs

IV. 성능 분석

기존의 동기식 DLL에 대한 성능 분석은 참고문헌 [2]에 있다. 본 논문에서 개선한 DLL의 선형분석은 상관기 앞단에서의 전력소모가 없다는 것을 제외하고는 참고문헌 [2]의 가정을 따르고 있다. 성능분석은 $\delta = 0.5$ 이고 4개의 상관기 가지수($B_c = 4$)의 경우를 고

려하였다. 선형분석은 작은 추적 오차와 백색임력잡음을 포함한다. 이것이 의미하는 것은 검출기의 출력은 항상 선형 추적 범위를 유지한다는 것이다. 확산 코드는 $c(t-T_d)$ 로 나타낸다. $T_d(t)$ 는 송신기와 수신기 사이의 타이밍 오프셋을 나타낸다. $\hat{T}_d(t)$ 는 $T_d(t)$ 에 대한 수신기에서 추정치를 나타낸다. 수신되는 신호는 다음과 같이 주어진다.

$$s_r(t) = \sqrt{P} c(t-T_d) + n(t) \quad (2)$$

여기서 P 는 신호전력을 나타내고 $n(t)$ 는 양측과 전력 밀도 $N_0/2$ 를 갖는 부가성 백색 잡음이다.

수신기의 블록 다이어그램은 그림 3과 같다. 수신신호 $S_r(t)$ 는 칩 주기를 T_c 로 나타내는 진상, 지상 확산 코드인 $c(t-\hat{T}_d \pm \delta T_c)$, $c(t-\hat{T}_d \pm (1+\delta)T_c)$ 와 상관된다.

파라미터 δ 는 진상, 지상상관기의 타이밍 오프셋이다. 위상에러는 다음과 같다.

$$\epsilon = (T_d - \hat{T}_d) / T_c \quad (3)$$

위상에러는 국부 발생하는 코드의 위상을 조절하기 위해 VCO를 제어한다. 상관기 출력은 다음과 같이 주어진다.

$$y_{e1}(t) = \sqrt{P} c(t-T_d) c(t-\hat{T}_d + (1+\delta)T_c) + n(t) c(t-\hat{T}_d + (1+\delta)T_c), \quad (4)$$

$$y_{e0}(t) = \sqrt{P} c(t-T_d) c(t-\hat{T}_d + \delta T_c) + n(t) c(t-\hat{T}_d + \delta T_c), \quad (5)$$

$$y_{d0}(t) = \sqrt{P} c(t-T_d) c(t-\hat{T}_d - \delta T_c) + n(t) c(t-\hat{T}_d - \delta T_c), \quad (6)$$

$$y_{d1}(t) = \sqrt{P} c(t-T_d) c(t-\hat{T}_d - (1+\delta)T_c) + n(t) c(t-\hat{T}_d - (1+\delta)T_c), \quad (7)$$

코드자체 잡음은 무시하고 장기(long term) 평균 y_{e1} (t)을 계산한 결과 다음과 같다.[2]

$$\bar{y}_{e0/d0}(t) = \sqrt{P} R_c(T_d - \hat{T}_d \pm \delta T_c) + \bar{n}_{e0/d0}(t) = \sqrt{P} R_c(\epsilon \pm \delta T_c) + \bar{n}_{e0/d0}(t) \quad (8)$$

$$y_{e1/d1}(t) = \sqrt{P} R_c(T_d - \hat{T}_d \pm (1+\delta)T_c) + n_{e1/d1}(t) \quad (9)$$

$$= \sqrt{P} R_c(\epsilon \pm (1+\delta)T_c) + \bar{n}_{e1/d1}(t)$$

이 식은 변수가 신호전력인 첫 번째 항에 따라 주로 변하고 두 번째 항은 백색잡음이다. 여기서 사용하는 알고리즘은 먼저 y 값에 따라 절대값이 가장 큰 두 개의 가치를 선택하여 지상 가지의 값은 양의 값으로 취하고 진상 가지의 값은 음의 값으로 취하여 합한다. 항상 선형 추적 범위에서 동작점 근처의 두 개의 상관값이 가장 크다. 결과식은 다음과 같다.

$$e(t) = y_{e0}(t) - y_{e1}(t) = \sqrt{P} S(\epsilon) + n'(t) \quad (10)$$

이 식의 결과값은 일반적인 DLL의 에러신호 값과 같다. 루프 에러 신호는 나머지 두 개의 상관기 가지의 잡음을 제거한다. 식 (10)에서 잡음을 계산하기 위해서는 참고문헌 [2]와 같은 가정하에서 $n'(t)$ 에 대한 자기 상관함수 $R_n(\tau)$ 를 계산해야한다. 입력코드와 같은 국부적으로 발생하는 코드와 상관한 입력잡음은 다음과 같다.

$$n'(t) = n(t) \cdot c(t-\hat{T}_d - \delta T_c) - n(t) \cdot c(t-\hat{T}_d - \delta T_c) \quad (11)$$

자기상관함수 $R_n(\tau)$ 는 다음과 같다.

$$R_n(\tau) = E\{n'(t)n'(t+\tau)\} \quad (12)$$

$$= N_0 \delta(\tau) (1 + \frac{1}{N}) \quad (13)$$

여기서 $\delta(\tau)$ 는 Dirac 함수라 한다. 위 식을 계산하기 위하여 설정한 가정은 $n(t)$ 와 $c(t)$ 는 독립변수이고 $c(t)$ 는 ± 1 만을 취하기 때문에 $c^2(t) = 1$ 이다. n' 에 대한 양측과 전력 밀도 $S_n(f)$ 는 $R_n(\tau)$ 에 대한 푸리에 변환이다.

$$S_n(f) = N_0 (1 + \frac{1}{N}) \quad (14)$$

$n'(t)$ 는 백색잡음확률(white random)이지 가우시안 개념이 아니다. 본 논문에서 제시한 4-Branch 동기식 루프의 추적 지터를 구하기 위해서 작은 추적 에러를 가정된 선형화한 모델을 분석하여 다음과 같이 페루프 전달함수 $H(s)$ 를 정의할 수 있다.

$$H(s) = \frac{\hat{T}_d(s)}{T_d(s)} = \frac{\sqrt{P}2(1+1/N)g_c F(s)}{s + \sqrt{P}2(1+1/N)g_c F(s)} \quad (15)$$

g_c 는 VCO 이득이고, $F(s)$ 는 루프필터의 전달함수이다. 추적에러분산은 다음과 같다.

$$\sigma_e^2 = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{S_n(f)|H(j2\pi f)|^2}{4P(1+1/N)^2} df \quad (16)$$

$$= \frac{S_n(0)W_L}{4P(1+1/N)^2} \quad (17)$$

$$= \frac{N_0W_L}{4P} \left(\frac{N}{N+1} \right) \quad (18)$$

여기서 W_L 은 다음과 같다.

$$W_L = \int_{-\infty}^{\infty} |H(j2\pi f)|^2 df \quad (19)$$

기존의 방식으로 $\delta=0.5$ 인 DLL의 추적지터값은 참고문헌 [2]를 참조한다.

또한 비동기식 $\delta=0.5$ 인 DLL의 추적지터값은 참고문헌 [7]를 참조한다.

V. 성능비교

표 1은 여러 가지 경우의 루프에 대한 추적 지터 σ_e^2 와 선형 추적범위 TR_{in} 그리고 전체 추적범위 TR_{ov} 을 비교한 것이다.

여기서 기존의 동기식, 비동기식 DLL방식의 TR_{in} 그리고 TR_{ov} 는 이미 정의되어 있다. 표 1은 기존의 동기식에서 $\delta=0.5$, $B_c=2, 4$ 일 때와 $\delta=1.0$, $B_c=2, 4$ 일 때의 결과 그리고 비동기식 $\delta=0.5$, $B_c=2$ 일 때를 4-branch 방식에서 $\delta=0.5$, $B_c=4$ 그리고 $\delta=1.0$, $B_c=4$ 일 때의 결과와 비교하였다. 표 1의 결과와 같이 4-branch 방식의 $\delta=0.5$ 인 루프는 추적 지터를 작게하고 추적 범위의 폭을 넓게 하는 효과가 있다.

$\delta=1.0$ 인 루프는 $\delta=0.5$ 인 루프와 비교해서 추적 지터는 증가하면서 TR_{in} 와 TR_{ov} 가 크다.

추적 범위가 넓은 DLL일수록 도플러효과에 강하며 넓은 추적 범위 때문에 생기는 코드 클럭이 정확히 맞지 않는 현상에도 강하다.

지터는 표 1에 나타난 것처럼 주로 반송파대 잡음 전력비와 루프 잡음 대역폭에 의해 크게 변한다. 일

표 1. 동기식, 비동기식 DLL의 추적 지터

Table 1. Tracking jitter for coherent and noncoherent DLLs

루프	δ	B_c	σ_e^2	TR_{in}	TR_{ov}
기존의 동기식	0.5	2	$1 \cdot \frac{N_0W_L}{4P}$	T_c	$3T_c$
기존의 동기식	0.5	4	$2 \cdot \frac{N_0W_L}{4P}$	T_c	$5T_c$
4-branch 동기식	0.5	4	$1 \cdot \frac{N_0W_L}{4P}$	T_c	$5T_c$
기존의 동기식	1.0	2	$4 \cdot \frac{N_0W_L}{4P}$	$2T_c$	$4T_c$
기존의 동기식	1.0	4	$8 \cdot \frac{N_0W_L}{4P}$	$2T_c$	$6T_c$
4-branch 동기식	1.0	4	$4 \cdot \frac{N_0W_L}{4P}$	$2T_c$	$6T_c$
비동기식	0.5	2	$\frac{N_0W_L}{2PS_L}$	T_c	$3T_c$

반적으로 동기식과 비동기식의 경우 지터를 나타내는 식이 차이가 있지만 비동기식의 경우 지터 값은 동기식보다 크다.

그림 5는 표 1에 나타난 각각의 경우에서 추적지터를 반송파대 잡음전력비(dB-Hz)가 변할 때 나타난 것이다. 여기서 반송파대 잡음전력비란 DLL의 입력 신호대 잡음전력비(SNR)를 말한다.

코드 루프 잡음 대역폭(W_L)은 18Hz 이하로 설정하여야 루프의 안정성을 유지하기 때문에 본 논문에서는 8Hz로 설정하여 시뮬레이션하였다[8].

표 1에서처럼 비동기식의 경우, 참고문헌 [7]을 인용한 추적지터 식에서 squaring loss(SL)가 -4dB, -7dB 일때의 결과이다.

그래프에서 보듯이 반송파대 잡음 전력비가 20 [dB-Hz]일 때 4-branch $B_c=4$, 4-branch $B_c=8$ 인 DLL은 B_c 에 상관없이 지터가 약 0.02인데 비하여 기존의 동기식 $B_c=4$ 인 DLL은 지터가 약 0.04, $B_c=8$ 인 DLL은 지터가 약 0.08로 각각 0.02, 0.06정도 개선됐음을 알 수 있다. 비동기식과의 정확한 비교는 어렵지만 그림 5와 같은 상황에서 적게는 약 0.08, 많게는 2.0 개선됨을 확인할 수 있다.

결론적으로 말하면 기존의 방식으로 확장된 추적 범위를 갖는 DLL은 추적 지터가 증가한다는 단점을 가지는 반면 본 논문에서 제시한 방식으로 추적 범위

를 확장한 DLL은 추적범위가 넓으면서 추적 지터는 낮다는 장점을 갖는다.

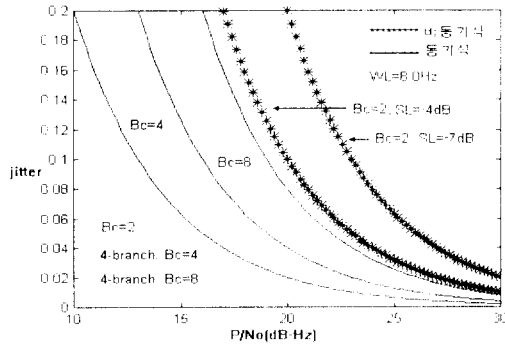


그림 5. DLL의 추적 지터 성능
Fig. 5 Tracking jitter performance of DLL

VI. 결 론

본 논문에서는 여러 가지 경우의 동기식, 비동기식 DLL의 추적 지터성을 도표화하여 정리하였고 한 도면의 그래프로 나타내어 서로 비교하였다. 그래프에 나타나듯이 본 논문에서 제시한 방식으로 추적 범위를 확장한 동기식 DLL의 분석결과 루프내의 잡음 전력이 감소하면서 성능이 크게 개선되었다. 이 기술은 상관기의 설계에 바로 적용할 수 있다. S곡선은 약간의 변형만이 있을 뿐이다. 수정한 방식으로 추적 범위를 확장한 DLL은 추적 범위를 개선하고자 하는 응용분야에 적용할 수 있다. 앞으로 루프내의 잡음 전력을 제한하기 위한 연구가 계속 수행되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. J. K. Holmes, "Coherent Spread Spectrum System," Wiley, 1982.
2. R.E. Ziener, R.L. Prterson, Digital Communications and Spread Spectrum Systems, Macmillan, New York, 1985.
3. M.K. Simon, J.K. Omura, R.A. Scholtz, B.K. Levitt, "Spread Spectrum Communications", Vol. 3, Computer Science Press, Rockville, 1985.

4. W.M. Bowles, "GPS Code Tracking and Acquisition Using Extended-Range Detection", NTC Record, Houston, 1980.
5. K. Wakabayashi, M. Nakagawa, T. Tsunogae, 1980, "Tracking Performance of Improved Delay-Locked Loop", NTC Record, Houston, 1980.
6. A. Wilde, "Modified Coherent PN-Code Tracking Delay-Locked Loop", PIMRC'94, Den Haag.
7. Urs P. Bernhard "Influence of Data Modulation and Doppler Effects on the Performance of a Delay Locked Loop" IEEE ISSSTA'94
8. Elliott D. Kaplan "Understanding GPS principles and applications" Artech House.
9. V. N. Fadeeva, "Computational Methods of Linear Algebra". New York: 1959 (Transl.: C. D. Benster)
10. U.P. Bernhard, A.L. Welti, "Optimal Design of a Noncoherent Second-order Delay-Locked Loop using the Exit-Time Criterion," IEEE Proceedings of ICC'93, Geneva, May 1993.
11. A. Polydore, C.L. Weber, "Analysis and Optimization of Correlative Code-Tracking Loops in Spread Spectrum Systems," IEEE Trans. Commun. Vol. COM-33, No. 1, 1985.

林 聖 準(Sung-Joon Lim) 정희원
 현재: 한국전자통신연구원 전파응용연구실 실장재직

柳 興 均(Heung-Gyoon Ryu) 정희원
 현재: 충북대학교 전자공학과 교수재직
 ※주관심분야: 디지털 통신 시스템, 통신회로 설계, 통신신호처리분야