

논문 16-3-14

동일 주파수 무선통신 시스템의 발진방지를 위한 간섭잡음제거기

Interference Cancellation System to Prevent the Oscillation of the Wireless Communication System using the Same Frequency

김선진, 김남영
(S. J. Kim and N. Y. Kim)

Abstract

In this paper, the interference cancellation system, which is used to cancel the feedback signal in the wireless communication system with the same frequency, is studied. The time-varying feedback signal generated from transmitter antenna to receiver antenna reduces the performance of the receiver system. The interference cancellation system using adaptive feedback method(AF-ICS) is suggested to prevent the oscillation of the receiver system and maintain the maximum output power of the power amplifier by the reduction of time-varying feedback signal and also this paper conforms that the oscillation disappears from the output signal by the cancellation of the feedback signal and the total output power is satisfied the system specification.

Key Words : Interference, Adaptive, Interference cancellation, Repeater, Feedback signal

1. 서론

송신 안테나의 종단에서 방사된 송신신호가 수신단으로 케환하여 원하는 수신신호와 결합되어 입력되는 경우, 케환신호는 수신기에 간섭잡음으로 작용하며, 간섭잡음은 잡음원(noise source), 매개경로(coupling path) 및 수신기(receptor)로 구성된다[1].

송신신호의 케환은 동일 주파수를 사용하는 무선통신 시스템에서 발생하는 일반적인 현상이며, 케환신호는 수신기의 기능을 저하시키는 주요한 원인이 된다. 이러한 케환신호의 영향을 억제 및 제거하기 위하여 간섭잡음제거기의 응용이 제안되고 있으나

시분변 고정 케환신호를 가정하고 있다. 그러나, 무선환경 및 무선채널은 시분변 고정변수로 가정할 수 없으며 실시간적으로 변화하면서 수신단으로 케환된다[2-4].

본 논문에서는 송신 안테나로부터 출력된 무선 송신신호가 진폭(amplitude), 위상(phase) 및 지연시간(delay time) 등의 변수가 변화하면서 수신단으로 케환하는 케환신호를 제거할 수 있는 적응성 간섭잡음제거기를 제안하였다. 특히 변화하는 케환신호에 실시간적으로 적응하여 케환신호를 제거하여 수신기에서 발생하는 발진현상을 방지하며, 전력증폭기의 출력을 지속적으로 최대의 출력을 유지할 수 있도록 하고, 케환신호에 의하여 발생하는 출력신호의 변화를 복원할 수 있는 적응성 케환방식을 이용한 간섭잡음제거기(AF-ICS: interference cancellation system using feedback method)에 관한 연구이다 [5-7].

광운대학교 전자공학과
(서울시 노원구 월계동 447 1)
Fax : 02 941 5688.
Corresponding Author : kimsunjin@orgio.net
2002년 11월 6일 접수, 2002년 12월 2일 1차 심사완료,
2003년 1월 9일 최종 심사완료.

2. 안테나의 분리도

안테나는 무선통신 시스템의 초단에서 음성 및 화상 데이터를 전송하고 수신하는 장치로서 송신을 위하여 송신기의 전력 및 고주파 에너지를 전파 에너지로 변환하여 무선공간으로 방사하며, 수신을 위하여 무선공간의 전파 에너지를 흡수하여 전력으로 변환하여 수신기에 공급하는 에너지 변환장치이다[8]. 또한, 송신신호의 케환현상은 동일 주파수를 사용하지 않는 시스템(예 : 이동통신 기지국 및 단말기)에서도 발생되고 있으며, PCS 대역에서 발생하는 송신신호의 케환을 방지하기 위하여 SAW 듀플렉스 필터를 사용하는 경우, 낮은 삽입손실, 대전력에 대한 내구성 및 SAW 신호의 발생과 검출을 위한 interdigital transducer(IDT) 전극 피치의 극소화(0.5 um 이하)가 필요하다[9]. 그러나, 본 논문에서는 논의의 편의를 위하여 이동통신에 이용되고 있는 동일 주파수를 사용하는 RF 중계기(OFR : on-frequency repeater)를 기준으로 분석하고 있다.

동일 주파수를 사용하는 무선통신 시스템은 다양하게 분류할 수 있으며, 무선 중계기는 무선통신에서 발생하는 음영지역을 보완하거나 RF 신호영역에서 발생하는 공백(gap)을 보완하는 기능을 한다. 무선 중계기는 주파수 제어(controlled)된 광대역 선형 RF 증폭기로서, 무선채널로부터 관련된 주파수 스펙트럼을 선택하여 증폭하고 필요한 음영지역으로 재방사하는 기능을 가진다. 이러한 기능을 수행하는 중계기에서 고려하여야 할 주요한 요소는 다중 반송파 부하를 위한 전력, 송신 및 수신 안테나 상호간의 결합율(coupling ratio)과 분리도(isolation), 동시방송(simulcasting), 서비스 영역(coverage), 시스템 균형 및 원근효과 등이다. 특히, 주파수 변환 및 복조 중계기에 비하여 동일 주파수 중계기가 가지는 중요한 결합은 수신과 송신을 위하여 동일한 주파수를 사용하기 때문에 발생하는 안테나 상호간의 결합율과 분리도이다.

결합율 및 분리도를 결정하는 변수는 주엽(main lobe)과 후엽(back lobe)의 비율을 나타내는 안테나 전후방 비율(front to back ratio), 안테나 사이의 무선채널 감쇄량 및 안테나 사이의 지형지물이나 구조물에 의하여 발생하는 차폐 등이다. 동일한 주파수를 사용하여 송수신을 하는 중계기는 입력과 출력 안테나 사이의 주파수 분리도는 없으며, 수신신호와 케환신호의 결합에 의하여 발생하는 입력전압과 출력전압의 상관관계는 다음과 같다.

$$v_o(t) = \frac{F_g}{1 - F_g^* \cdot R_g} v_i(t) \quad (1)$$

여기서, F_g , R_g 은 순방향 및 역방향 경로의 전압이득을 나타내며, 그림(1)은 식(1)과 같이 OFR에서 발생하는 케환현상을 도식화한 것이다[5].

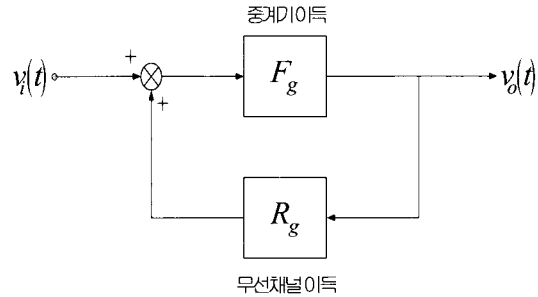


그림 1. OFR의 등가 블록도.

Fig. 1. Equivalent block diagram of the OFR.

상기의 식에서 순방향 경로의 이득이 중계기의 이득과 동일하다고 가정하면 출력특성은 역방향 경로의 이득에 의하여 결정되며, 역방향 경로 신호가 순방향 경로 신호의 반파장 길이에 근접하여 지거나 또는 안테나의 분리도가 충분히 크지 않으면 간섭이 발생하여 수신기에 영향을 주게 된다.

식(1)에 의하면, $|F_g^* \cdot R_g| \approx 1$ 이 되는 경우에는 발진이 발생하게 된다. 이와같이 OFR의 설계 및 설치/운영에 있어서 직면한 주요한 문제는 시스템의 안정성을 위하여 송신기와 수신기 사이의 충분한 분리도를 확립하는 것이다. 분리도는 시스템의 안정도 여유(stability margin)로 알려진 변수로서 중계기의 전기적 이득보다 더 커야하며 무조건적 안정성을 가지기 위하여는 10~20 dB 정도가 커야 한다. 그러므로, 안테나의 분리도는 중계기의 최대이득을 제한하는 요인이 되며, 다음과 같이 이득과 분리도의 상호관계식이 성립한다.

$$I > G + SM \quad (2)$$

여기서, I, G, SM 은 각각 안테나 분리도(dB), 중계기 이득(dB), 안정도 여유(dB)를 나타내며, 안테나 분리도를 향상하기 위한 방안으로 사용된 간섭잡음제거기에 대한 최초의 적용은 Plessey(사)의 군수용 단일 채널 중계기 Groundsat이다.

3. 기존 방식의 간섭잡음제거기

그림(2)는 케환간섭잡음을 제거하기 위하여 송신 안테나에서 수신 안테나의 수신단으로 케환되는 케환신호의 진폭의 크기와 위상차가 동진폭 및 역위상(180°의 위상차)의 특징을 가지는 신호, 즉 케환신호에 대응하는 대응신호(counterpart signal : 제거신호 또는 상쇄신호라고 함)를 생성하는 기존 방식의 간섭잡음제거기와 이를 응용한 무선중계 시스템의 개략적 블록도이다[6,10,11]. 그림(2)와 같은 간섭잡음제거기를 응용한 무선중계 시스템에서는 오직 대응신호에서 설정한 고정변수에 의하여 대응신호와 동일한 진폭, 역위상 및 동일한 시간지연을 가지는 케환신호만을 제거할 수 있으며, 다양한 무선환경의 변화에 적응하지 못한다.

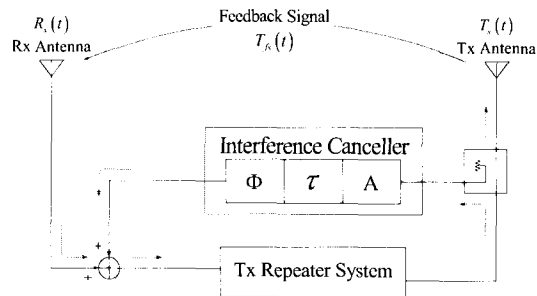


그림 2. 기존 방식의 무선중계 시스템.
Fig. 2. General wireless repeater system.

4. 간섭잡음제거 이론

4.1 아날로그 간섭잡음제거의 기본개념

정보를 포함하고 있는 원하는 신호와 원하지 않는 신호(unwanted signal)가 혼합된 신호 중에서 원하지 않는 신호인 간섭잡음을 제거하기 위하여 응용하는 간섭잡음제거기의 기본적 개념은 그림(3)과 같다 [6,7].

간섭잡음제거기의 개념은 기준신호를 이용하여, 원하지 않는 신호와 상관성(correlation)을 가지는 신호를 신호제어기(signal controller)에서 생성하고, 신호제어기에서 생성된 제거신호를 이용하여 신호결합기에서 결합하여 주신호에 포함되어 있는 원하지 않는 신호를 차감하여 상쇄하는 것이다. 적응성 기법을 이용하여 원하지 않는 신호성분인 간섭잡음과 유사한 대응신호(상쇄 또는 제거신호)를 생성하여 신

호결합기에서 결합하여 원하지 않는 간섭잡음을 차감하는 것으로 곱셈연산이 발생하지 않으며, 감산 또는 가산의 계산이 필요하게 된다.

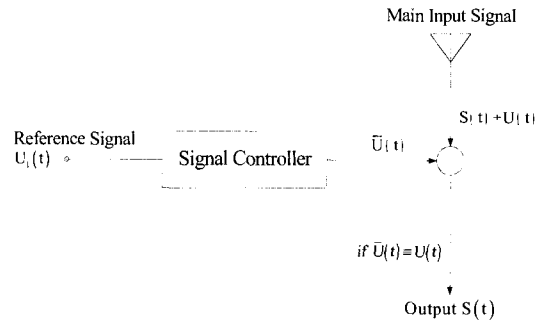


그림 3. 간섭잡음제거 개념도.
Fig. 3. Concept of the interference cancellation.

그림(4)는 원하지 않는 간섭잡음신호를 제거하기 위한 아날로그 간섭잡음제거기의 개념도를 나타내고 있으며, 신호결합기에서 차감법에 의하여 발생하는 신호는 다음의 식과 같다.

$$Z(t) = S(t) + U(t) - \bar{U}(t) \quad (3)$$

여기서, Z, S, U, \bar{U} 는 각각 신호결합기의 출력신호, 원하는 신호, 원하지 않는 신호 및 기준신호 U_1 을 이용하여 원하지 않는 신호를 제거하기 위하여 신호제어기에서 생성된 대응신호를 나타내고 있다.

따라서, 신호결합기에서 차감법에 의하여 만들어진 출력신호를 나타내는 식(3)의 양변을 제곱하면 다음의 식(4)가 성립한다.

$$Z^2(t) = [S(t) + U(t) - \bar{U}(t)]^2 = S^2 + (U - \bar{U})^2 + 2S(U - \bar{U}) \quad (4)$$

또한, 식(4)에서 기대치를 취하고 각 신호에 대하여 상관관계를 이용하면, 다음의 식이 유도된다.

$$E[Z^2] = [S(t) + U(t) - \bar{U}(t)]^2 = E[S^2] + E[(U - \bar{U})^2] + 2E[S(U - \bar{U})] = E[S^2] + E[(U - \bar{U})^2] \quad (5)$$

신호전력의 기대치는 적응성 제어공정이 $E[Z^2]$ 을 최소화하는데 영향을 주지 않기 때문에 차감의 결과에 따른 최소 출력전력은 다음과 같다.

$$\min E[Z^2] = E[S^2] + \min E[(U - \bar{U})^2] \quad (6)$$

상기의 식(6)에서, 기대치 $E[Z^2]$ 을 최소화하는 것은 $E[(U-\bar{U})^2]$ 을 최소화하는 것을 의미하므로 다음의 식(7)이 성립한다.

$$Z(t) - S(t) = [U(t) - \bar{U}(t)] \quad (7)$$

차감의 결과로 전체의 출력전력을 최소화하기 위한 적응성은, 기준입력 $U_1(t)$ 가 원하는 신호의 최적의 최소제곱 추정치가 되기 위하여 출력 $Z(t)$ 를 유도하는 것과 동일하다. 따라서, 최소 출력전력은 $E[Z^2] = E[S^2]$ 이며, 이 조건이 성립되는 경우의 대응신호 $\bar{U}(t)$ 는 원하지 않는 신호 $U(t)$ 와 동일하게 되고, 그리고 신호결합기의 출력신호 $Z(t)$ 는 $S(t)$ 와 동일하게 된다.

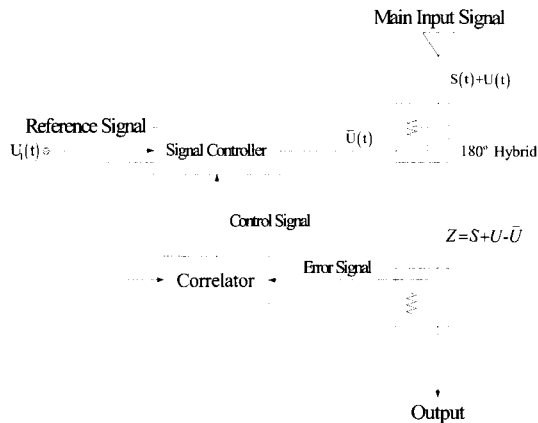


그림 4. 원하지 않는 간섭잡음제거 개념도.
Fig. 4. Concept of the unwanted signal cancellation.

4.2 간섭잡음제거 이론

수신단으로 케환하는 케환신호를 제거하기 위한 이론적 분석은 그림(5)를 이용할 수 있다. 송신 안테나에서 방사된 케환신호는 수신단에서 원하는 신호와 결합되어 수신 안테나를 통과하게 된다. 또한, 표본화기로 동작하는 신호분배기에서 표본화된 표본신호는 감쇄기, 시간지연기, 위상변환기를 경유하면서 진폭과 시간지연 및 위상의 계수 값이 조정되어 케환된 케환신호를 제거하기 위한 대응신호로 변환되어 신호결합기로 전송된다. 출력된 송신신호가 수신단으로 케환하는 케환신호는 출력신호의 일부분이며 케환경로의 경로특성에 따라 진폭의 크기와 위상이

변화된다. 따라서, 송신신호, 케환신호 및 원하는 수신신호를 각각 다음의 식(8)과 같이 정의하면 수신 안테나의 수신단에서 합성되는 새로운 수신신호(합성된 수신신호)는 식(9)와 같으며, 대응신호(상쇄신호)를 식(10)과 같이 정의한다[7].

$$\begin{aligned} T_s(t) &= A \sin(\omega t) \\ T_{fs}(t) &= A_f \sin(\omega t - \phi) \\ R_s(t) &= B \sin(\omega t) \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} R_{input}(t) &= T_{fs}(t) + R_s(t) \\ &= A_f \sin(\omega t - \phi) + B \sin(\omega t) \end{aligned} \quad (9)$$

$$T_{cs}(t) = C \sin(\omega t - \theta) \quad (10)$$

신호결합기에서 식(9)와 식(10)의 신호가 결합되고, 케환신호와 상쇄신호가 동진폭, 역위상의 조건, 즉 $A_f = C$ 및 $\phi = \theta + \pi$ 의 조건이 성립되면 오직 원하는 수신신호만이 신호결합기의 출력으로 잔류한다는 것을 식(11)에서 나타내고 있다.

$$\begin{aligned} T_{x\ input} &= R_{input}(t) + T_{cs}(t) \\ &= T_{fs}(t) + R_s(t) + T_{cs}(t) \mid_{A_f=C, \phi=\theta+\pi} \quad (11) \\ &= A_f \sin(\omega t - \phi) + B \sin(\omega t) + C \sin(\omega t - \theta) \\ &= B \sin(\omega t) \end{aligned}$$

식(11)은 신호결합기에서 케환신호가 대응신호(상쇄신호)에 의하여 상쇄되고 원하는 신호만이 잔류하게 되어 증폭기의 입력신호가 됨을 나타내며, 대응신호는 케환신호에 대하여 동진폭, 역위상 및 동일한 시간지연의 조건을 만족하는 경우에 완전 상쇄가 가능하다.

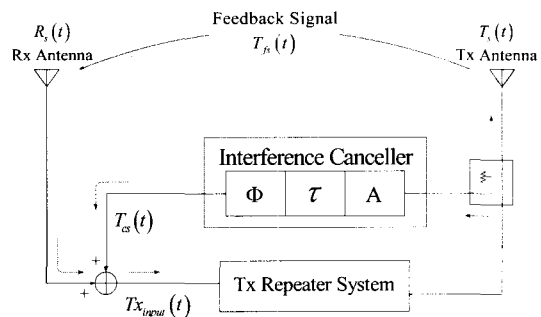


그림 5. 케환간섭잡음의 제거이론.
Fig. 5. Cancellation theory of the feedback signal.

4.3 신호결합기 및 상쇄율

상쇄기법을 이용한 신호결합기의 기본적 동작원리는 그림(6)과 같이 두개의 신호가 입력되는 경우에 하나의 신호를 주입력으로 하고 다른 하나의 신호는 주입력에 대하여 위상을 반전시키고 크기를 동일하게 하여 신호결합점에서 더하는 경우, 두개의 입력신호는 결합점에서 상호상쇄되어 출력신호가 나타나지 않는 효과를 이용한 것이다.

그림(6)에서 주경로(path 1) 및 보조경로(path 2)의 입력신호를 v_1, v_2 로 정의하고, 각각의 입력신호가 서로 동진폭, 역위상의 조건을 만족하면 신호결합기의 출력신호 v_o 는 다음과 같은 결과를 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned}
 v_o(t) &= v_1(t) + v_2(t) \quad | \quad A_2 = A_1, \theta_2 = \theta_1 + 180 \\
 &= A_1 \cos(\omega t + \theta_1) + A_2 \cos(\omega t + \theta_2) \\
 &= A_1 \cos(\omega t + \theta_1) + A_2 \cos(\omega t + \theta_1 + \pi) \quad (12) \\
 &= A_1 \cos(\omega t + \theta_1) - A_1 \cos(\omega t + \theta_1) \\
 &= 0
 \end{aligned}$$

그림(7)은 식(12) 및 그림(6)에 대한 실험의 결과로서 주경로의 신호를 보조경로의 신호에 의하여 상쇄(제거)되도록 설정하여 실측한 결과로서 약 51 dB의 상쇄량을 나타내며 변수의 제어에 따라서 최대 상쇄량은 약 70 dB 정도까지 얻을 수 있다.

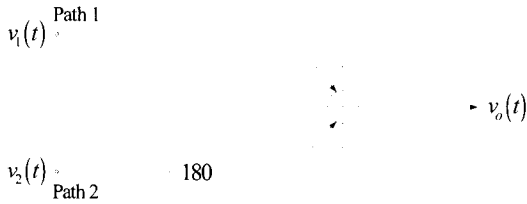


그림 6. 신호결합기의 개념도.
Fig. 6. Concept diagram of the signal combiner.

신호결합기의 각 경로를 통하여 입력되는 입력신호의 진폭 및 위상의 상관관계가 각각 동진폭 및 역위상의 조건이 성립되며 손실이 발생되지 않는 경우, 이러한 신호결합기를 이상적 신호결합기로 정의할 수 있다. 신호결합기에 인가되는 주경로의 신호는 신호결합점(상쇄점)에서 보조경로(path 2)의 신호에 의하여 상쇄가 이루어지는 경우, 주경로(path 1)의 입력신호 대비 출력신호의 비율을 상쇄성능(cancellation performance : CP) 또는 상쇄계수(cancellation factor : CF)라고 한다[12].

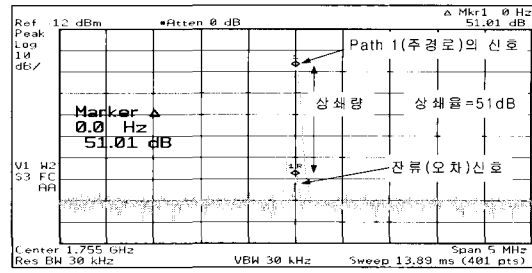


그림 7. 신호결합기의 실험결과.
Fig. 7. Test result of signal combiner.

상기와 같이 정의되는 상쇄계수 또는 상쇄성능을 결정하는 핵심적 변수는 진폭불평형, 위상불평형 및 지연시간부정합 등이다. 따라서, 이상적 신호결합기에서 주경로의 입력신호는 보조경로의 입력신호에 의하여 완전상쇄가 이루어지며 상쇄계수는 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 CF &= 10 \log \left(\frac{P_{out, avg}}{P_{in, av}} \right)_{A_2 = A_1, \theta_2 = 180} \\
 &= 10 \log \left(\frac{A_1^2 + A_2^2 + 2A_1 \cdot A_2 \cos \delta \theta}{A_1^2} \right) \quad (13) \\
 &= 10 \log \left(1 + \frac{A_2^2}{A_1^2} + 2 \cdot \frac{A_2}{A_1} \cdot \cos \delta \theta \right) \\
 &= 10 \log(0) \quad (dB)
 \end{aligned}$$

4.4 광대역 신호제거 변수분석

이상적인 광대역 신호제거는 무제한적 대역폭에서 무한량이 제거되어야 한다. 그러나, 진폭, 위상 및 시간지연의 부정합은 무제한적 대역폭 및 무한량의 제거에 대한 한계를 주기 때문에 유한한 대역폭에서 유한량의 신호제거(억압)가 가능하다. 그리고 이상적 광대역 신호제거는 모든 주파수 대역(광대역)에서 동일한 정도의 신호제거를 얻을 수 있음을 의미하며, 기준경로의 신호와 동적경로(주경로) 신호는 동일한 진폭의 크기(동진폭), 역위상 및 동일한 시간지연 특성을 요구한다. 그림(8)과 같이, 광대역 신호의 제거특성은 진폭변수와 위상변수의 정밀도 및 편차에 의하여 만곡에 의한 진폭의 큰 편차 및 중심 주파수를 기준으로 (-) 및 (+)의 기울기 특성을 가진다. 만곡특성과 기울기 특성을 나타내는 주요 원인은 진폭제어신호의 부정합(un-balance), 위상변환기의 평탄도(광대역 선형성) 및 시간지연 특성에 의하여 발생하기 때문에 제거신호의 진폭 및 위상이 동진폭, 역위상(광대역 선형성) 및 시간지연이 동일하여야 한다.

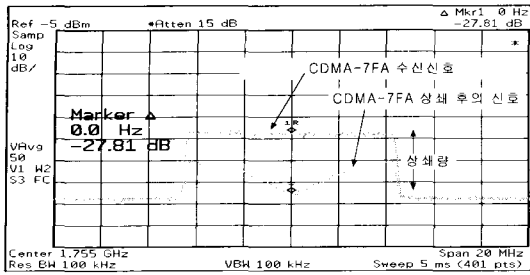


그림 8. 변수분석을 위한 신호제거 실험(7FA).

Fig. 8. B-CDMA signal cancellation(7FA).

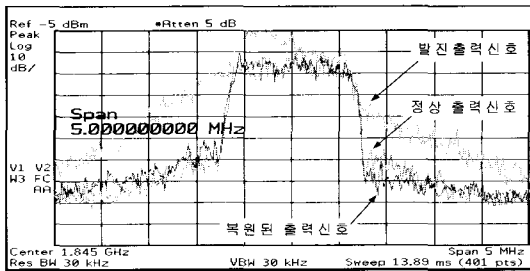


그림 9. 정밀한 변수제어 실험결과(CDMA-1FA).

Fig. 9. Test result of the detailed factor control

그림(9)는 광대역 신호제거를 위한 변수분석의 실험결과를 나타내는 그림(8)의 문제점을 해결하기 위하여 정밀한 진폭과 위상의 제어가 가능하도록 설계한 모듈의 실험결과이다. 발진신호는 케환손실(feedback path loss : FBL)이 OFR의 전기적 이득과 동일한 케환신호에 의하여 발생하는 출력신호이며 복원된 신호는 진폭과 위상의 정밀 제어에 의하여 케환신호가 신호결합기에서 제거되기 때문에 발진특성이 제거되어 정상적으로 복원된 신호이다. 상기의 실험결과와 같이 광대역 신호제거는 변수특성, 즉 진폭 및 위상변수의 정밀도와 편차 등에 의하여 만큼 및 기울기 특성을 나타내며, 진폭제어신호의 부정합성, 위상변환기의 평탄도 및 선형성, 시간지연 오차 등에 의하여 발생하므로 변수의 정밀한 제어가 필요하다.

5. AF-ICS의 구현 및 실험

적응성 케환방식을 이용한 간섭잡음제거기는 적응성검출기(adaptive detector), 적응성상태감시제거기

(adaptive status monitoring system), 상쇄신호생성기(cancellation signal generator) 및 신호분배기로 구성되며, 세부적 구성도는 그림(10)과 같다. 케환신호에 대응하여 동진폭, 역위상 및 동일한 시간지연을 가지는 제거신호(대응신호 또는 상쇄신호)를 생성하는 상쇄신호생성기는 가변감쇄기, 시간지연기(delay line) 및 위상변환기로 구성되며 수신단으로 케환된 케환간섭을 제거하기 위한 상쇄신호생성경로를 형성한다.

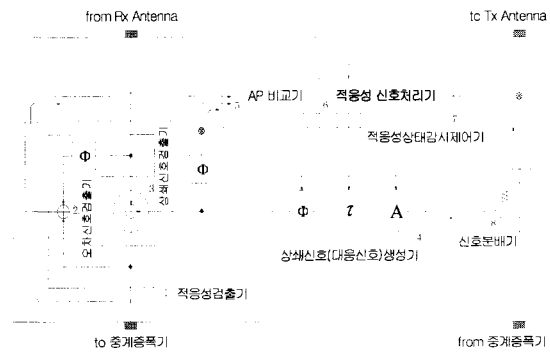


그림 10. 적응성 케환간섭잡음제거기 블록도.

Fig. 10. Block diagram of the AF-ICS.

5.1 시스템 구현 및 모의실험

AF-ICS의 핵심적 구성요소인 적응성검출기는 오차신호검출기(error signal detector) 및 상쇄신호검출기(cancellation signal detector)로 구성되며, 적응성검출기의 성능은 각각의 성능계수에 의하여 결정된다. 따라서, 각각의 성능계수, 즉 상쇄계수와 오차계수는 상호 일치하여야 하며 상쇄계수에 의하여 오차신호검출기의 오차계수 특성이 결정되므로 상쇄계수가 안정되도록 정밀하게 설계하여야 한다. 그림(11)은 적응성검출기의 개념도를 나타내며, 기능검증을 위한 모의실험은 Agilent Tech.의 ADS simulation tool을 이용하였다. 모의실험은 1.760 및 1.770 GHz에 각각 -45 dBm의 크기를 가지는 CW-tone을 신호원으로 사용하였으며, 오차신호검출기 및 상쇄신호검출기의 모의실험 결과는 표(1)과 같다. 오차신호검출기는 입력신호 ① 및 입력신호 ②를 이용하여 오차신호 ③을 생성하며 상쇄신호검출기의 기능을 수행하는 신호결합기의 주입력신호(수신 안테나 신호)와 출력신호를 비교분석하여 오차신호 ③을 검출하기 때문에 오차신호검출기의 성능지수, 즉 오차계수(error factor)는 상쇄신호검출기의 성능에 의존하며, 모의실험 결과에 따른 오차신

호검출기의 오차계수는 44 dB이다. 상쇄신호검출기는 입력신호 ④ 및 입력신호 ⑤를 신호결합기에서 결합하여 주입력신호인 입력신호 ④가 보조입력신호인 입력신호 ⑤에 의하여 결합되어 상쇄되고 상쇄되지 않은 신호성분(잔류신호)은 상쇄신호검출기의 출력단자를 통하여 출력되며 상쇄신호검출기의 성능지수, 즉 상쇄계수는 40 dB가 된다. 상쇄계수(CF)와 오차계수(EF)는 상쇄신호검출기와 오차신호검출기의 성능평가지수이다. 그러므로, EF는 입력신호 ① 및 입력신호 ②를 결합하여 오차신호검출기에서 케환신호를 검출할 수 있는 검출비율을 의미한다. 또한, CF는 입력신호 ④ 및 입력신호 ⑤를 신호결합기에서 결합하여 상쇄신호검출기에서 케환신호를 제거할 수 있는 케환신호의 상쇄비율을 의미한다.

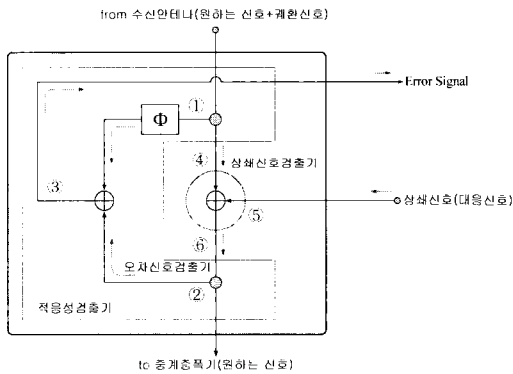


그림 11. 적응성검출기 개념도.
Fig. 11. Concept diagram of the adaptive detector.

표 1. 적응성검출기의 모의실험 결과.

Table 1. Simulation result of adaptive detector.

주파수(GHz)	상쇄계수(dB)	오차계수(dB)
1.760	40	44
1.770	40	44

5.2 발진특성

송출되는 송신신호가 수신 안테나로 케환되는 경우, 케환신호는 간섭잡음으로 작용하며, 수신기에 입력되는 경우, 수신기에 발진현상이 나타난다. 그림(12)는 중계증폭기가 동작하는 상태(입력 무신호 상태에서 시스템 전원을 인가한 상태)에 있을 때, 중계증폭기의 대역내에 나타나는 출력 noise floor(잡음층)를 케환손실(FBL) 150 dB로 설정하여 감쇄한 후,

입력단으로 케환한 경우의 출력특성을 나타내고 있다.

그림(13)은 동일한 실험조건을 이용하여 케환손실을 85 dB로 설정한 경우의 출력특성이며, 그림(14)는 84 dB의 케환손실에 대한 실험결과로 도통상태에서의 발진을 보여주고 있다.

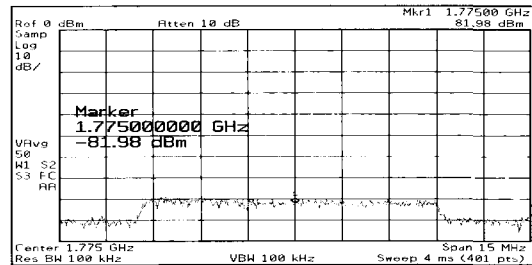


그림 12. 대역내 noise floor 특성(FBL=150 dB).
Fig. 12. In-band noise floor(FBL=150 dB).

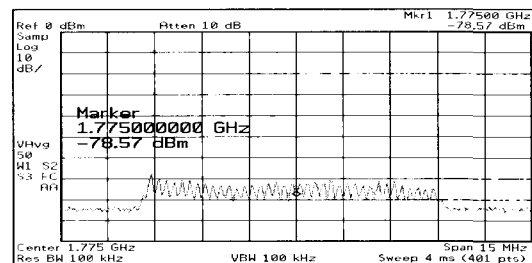


그림 13. 대역내 noise floor 특성(FBL=85 dB).
Fig. 13. In-band noise floor(FBL=85 dB).

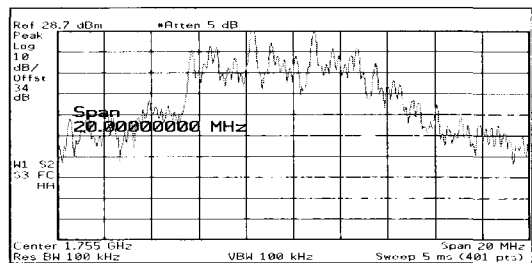


그림 14. 대역내 noise floor 특성(FBL=84 dB).
Fig. 14. In-band noise floor(FBL=84 dB).

다음의 그림(15), 그림(16) 및 그림(17)에서 나타나고 있는 실험결과는 송신신호가 수신단으로 케환하

는 경우에 나타나는 현상을 확인하기 위한 실험의 결과이며, 원하는 신호와 원하지 않는 케환신호가 혼합되어 수신되는 경우, AF-ICS 결합 전 및 결합 후의 출력신호의 변화를 측정할 수 있는 출력특성으로서 적응성 간섭잡음제거기의 적응성 특성을 보여주는 실험 결과이다. 그림(15)는 -58 dBm의 수신된 입력신호와 동일한 크기를 가지는 케환신호(-58 dBm)가 혼합되어 입력되는 경우의 출력특성이다. 동일한 크기의 케환신호는 중계기의 이득과 동일한 크기의 케환손실을 가지는 신호이다.

그림(16)은 그림(15)에서 나타나는 발진을 제거하기 위하여 AF-ICS를 접속하여 정상적으로 동작하는 경우, 케환신호와 동일한 크기, 역위상 및 동일한 시간지연을 가지는 상쇄신호를 생성하여 상쇄신호검출기에서 케환신호를 상쇄하는 경우에 나타나는 출력 특성이며, 그림(17)은 AF-ICS가 결합되지 않는 상태에서 중계중복기가 정상적으로 동작하는 경우의 출력신호로서 시스템 규격에 적합한 출력상태이다.

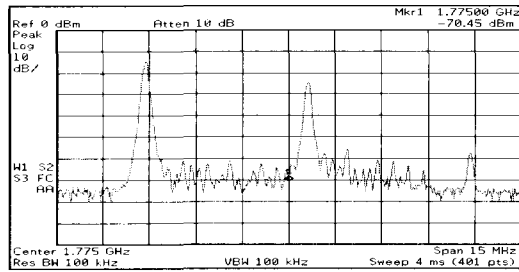


그림 15. 동일크기의 입력과 케환신호에 의한 발진 특성.

Fig. 15. Output oscillation characteristics by the input and feedback signal.

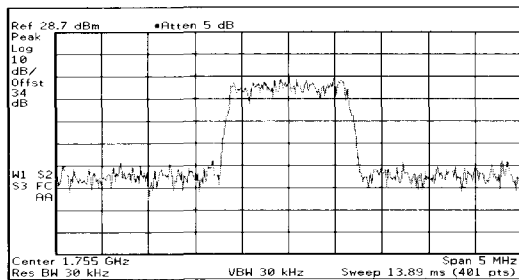


그림 16. 적응성 동작에 의하여 복원된 출력신호.

Fig. 16. Reconstructed signal by the AF-ICS.

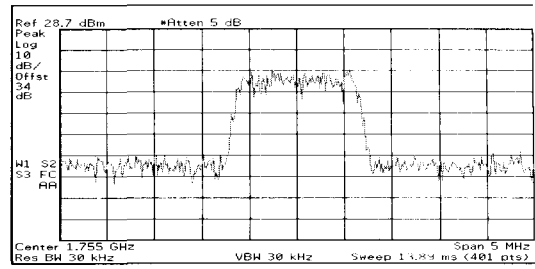


그림 17. 정상적인 중계중복기의 출력특성.

Fig. 17. Output signal of the normal repeater.

수신단으로 케환된 케환신호의 영향을 확인하기 위한 상기의 실험결과는 케환신호에 의하여 수신기는 발진하게 되며, 발진특성을 나타내는 출력상태가 AF-ICS의 결합에 의하여 케환신호를 상쇄한 결과의 출력은 발진을 나타내지 않으며 정상적인 중계기의 출력특성과 유사한 특성을 보여주고 있다. 따라서, 실험결과와 같이 동일 주파수를 사용하는 무선통신 시스템에서 발생하는 발진은 케환신호를 제거하므로써 발진을 방지할 수 있으며, 케환신호를 수신기의 입력단으로 입력되기 전에 제거(억압)하는 방안으로 간섭잡음제거기를 사용하는 것이 가능하다.

상기의 케환신호에 의하여 발생하는 발진특성의 실험결과에 의하여 AF-ICS는 수신단으로 케환하는 케환신호에 실시간적 적응하여 상쇄신호를 생성하며, 상쇄신호를 이용하여 신호결합기(상쇄신호검출기)에서 케환신호를 상쇄시켜 주어 수신기의 발진을 방지할 수 있다는 것을 알 수 있다.

5.3 OFR의 설계 및 특성실험

광대역 케환신호를 제거하기 위한 변수조건은 동진폭, 역위상 및 동일한 지연시간이다. 따라서, 수신단으로 케환하는 케환신호를 제거하기 위하여 신호결합기의 기능을 가지는 상쇄신호검출기에서 상기의 변수조건이 성립되어야 한다. 상기에서 설명한 제반의 문제점, 즉 동일 주파수를 사용하는 무선통신 시스템에서 발생하는 문제점을 해결하기 위한 방안으로 간섭잡음제거기를 응용하여 동일 주파수 중계기(OFR)를 설계하면 그림(18.a) 및 그림(18.b)와 같다.

그림(18.a)는 RF 모듈과 AF-ICS를 접속하는 방법을 나타내고 있으며, 그림(18.b)는 AF-ICS가 결합되어 있는 순방향 경로 및 역방향 경로를 포함한 RF 중계기 블록을 간단히 나타내고 있다.

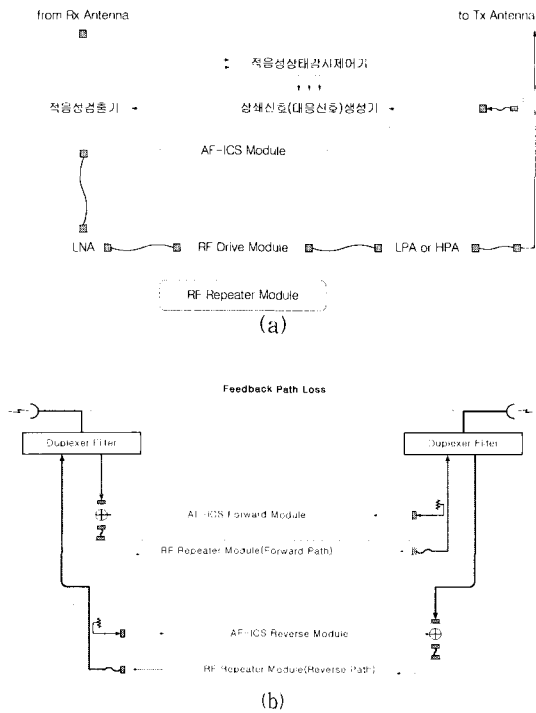


그림 18. AF-ICS를 응용한 RF 증계기 블록도.
 (a) RF 모듈과 AF-ICS의 결합.
 (b) 시스템 통합.

Fig. 18. RF repeater block diagram using AF-ICS.

(a) Connection between RF module and AF-ICS (b) System integration.

그림(18)의 시스템 구성도에 따라 95 dB의 이득을 가지며 20 Watts의 전력증폭기를 사용한 OFR 시스템을 구현하여 AF-ICS의 적응성 동작특성을 확인한다. 즉, 케환손실(FBL) 90 dB 및 95 dB에서 AF-ICS의 적응성 동작특성 및 최대출력전력의 변화를 확인하고 AF-ICS 결합 전 및 후의 출력전력과 요구규격의 값을 비교하여 적응성 동작이 이루어질 수 있는 적절한 케환손실점을 확인하기 위한 실험으로 1.865 GHz의 중심주파수를 기준으로 FA 단위로 인가된 CDMA 신호원에 대한 10 MHz 대역내의 total channel power는 표(2)와 같다.

실험결과 표(2)에 의하면, CDMA-3FA, 90 dB의 FBL를 가지는 케환신호가 수신단으로 케환입력되는 경우, AF-ICS를 결합하기 전에는 케환신호에 의하여 44.30 dBm의 출력을 나타내고 있으며, AF-ICS를 결합하여 AF-ICS의 적응성 동작에 의하여 케환

신호를 제거한 경우의 출력신호는 40.19 dBm으로 변화하였다. 이 출력신호는 시스템의 요구규격(40.98 dBm)에 거의 근접하며 약 4.11 dBm의 출력신호의 개선효과를 나타내고 있다.

표 2. OFR의 적응성 출력특성 결과(dBm/10MHz).

Table 2. Adaptive output power of the OFR.

FA	FBL (dB)	AF-ICS		CH pwr (dBm)
		결합 전	결합 후	
3	95	42.91	40.13	40.98
	90	44.30	40.19	
4	95	42.03	39.36	39.66
	90	43.38	39.90	

5.4 기타

중계기는 주파수 제어(controlled)된 광대역 선형 RF 증폭기이다. 특히, 동일 주파수를 사용하는 중계기(OFR)의 문제점은 안테나 상호간의 결합을 및 분리도이며, 문제점의 해결방안으로 간섭잡음제거기 기술의 응용이 제안되고 있다. 상기의 실험결과에 의하면 AF-ICS의 적절한 적응성 동작에 따라서 케환신호를 상쇄할 수 있고, 케환신호의 상쇄에 의하여 발진을 방지할 수 있으며, 요구규격에 적합한 출력전력을 얻을 수 있음을 확인하였다. 또한, OFR의 분리도 향상 및 발진방지, 지속적인 최대출력을 유지하기 위하여 AF-ICS 관련 기술의 응용이 가능함을 알 수 있다.

6. 고찰 및 결론

본 논문은 기존에 제시된 ICS 기술의 단점을 개선하기 위하여 적응성검출기, 적응성 케환 알고리즘 및 적응성상태감시제어 기능을 도입하여 실시간 변화하는 무선통신 환경에서 수신단으로 케환하는 케환신호를 실시간 적응하여 제거할 수 있는 시스템을 구현한 것으로 발진을 방지하고 출력신호의 개선효과를 가지고 있음을 확인하였다.

AF-ICS의 구현 및 실험에서는 약 13~15 dB의 적응성검출기 성능지수(CF 및 EF)를 얻을 수 있었으며, AF-ICS의 적응성 동작에 의하여 OFR의 이득과 동일한 케환손실(95 dB)을 가지는 케환신호는 완전제거가 가능하며, 발진특성도 제거되어 시스템의

특성규격에 만족한다. 약 5 dB가 작은 케환손실(90 dB)에서는 출력특성의 복원 가능성을, 약 10 dB가 작은 케환손실(85 dB)에서는 특성의 복원이 불가능하였다.

90 dB 보다 작은 케환손실에서 특성의 불완전성 및 출력신호의 복원 불가능의 원인은 적응성검출기의 성능지수 때문이다. 오차신호검출의 정밀도 및 상쇄신호검출기의 상쇄계수(CF)에 의하여 케환신호의 제거율이 결정되므로 오차신호검출기와 상쇄신호검출기의 성능지수는 상호 의존적이다. 또한, 오차계수 및 상쇄계수는 부정합이 발생하지 않도록 정밀하게 설계하여야 한다. 이와같이, ICS 기술의 응용은 동일 주파수를 사용하여 송수신을 행하는 모든 무선 통신 시스템 및 일반적으로 케환신호가 수신단으로 작용하는 모든 무선통신 시스템에 적용이 가능한 기술이다.

“Adaptive Signal Processing”, Prentice Hall Inc., p. 1, 1985.

- [8] 이병제, “안테나 기술 동향 및 개선점”, 전기전자재료학회지, 13권, 9호, p. 18, 2000.
- [9] 박용욱, “표면 탄성파(SAW) 필터 이론”, 전기전자재료학회지, 13권, 7호, p. 8, 2000.
- [10] 구관영, “이중 편파 안테나를 이용한 중계기의 간섭제거장치”, 한국특허 1019990020088(출원번호), 1999.
- [11] 고성선, “인접송수신 안테나간의 무선주파수 간섭제거시스템”, 한국특허 100226360000, 1999.
- [12] Sang-Gee Kang, Il-Kyoo Lee, and Ki-Suk Yoo, “Analysis and design of feedforward power amplifier”, Microwave Symposium Digest, 1997, IEEE MTT-S International, Vol. 3, p. 1519, 1997.

참고 문헌

- [1] 김기채, 이광식, 박원주, 이동인, “EMC/EMI 기본 측정량과 측정시설”, 전기전자재료학회지, 11권, 제4호, p. 318, 1998.
- [2] W. T. Slingsby and J. P. McGeehan, “Antenna isolation measurements for on-frequency radio repeaters”, Antennas and Propagation, 4-7 1995, Ninth International Conference on (Conf. Publ. No. 407), Vol. 1, p. 239, 1995.
- [3] W. T. Slingsby and J. P. McGeehan, “A high gain cell enhancer”, Vehicular Technology Conference, 1992, IEEE 42nd, p.756, 1992.
- [4] Elliott H. Drucker, “Development and application of a cellular repeater”, Vehicular Technology Conference, 1988, IEEE 38th, p. 321, 1988.
- [5] T. N. C. Wang, “On application of cellular or PCS off-air on-frequency repeaters”, Microwave Conference Proceedings, 1997. APMC '97, 1997 Asia-Pacific, Vol. 2, p. 537, 1997.
- [6] Rabindra N. Ghose, “Interference Mitigation Theory and Application”, IEEE Press Inc., p. 1, 1996.
- [7] Bernard Widrow and Samuel D. Stearns,