



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2011-0049113
(43) 공개일자 2011년05월12일

(51) Int. Cl.

H01Q 25/00 (2006.01) H01Q 3/00 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2009-0105973

(22) 출원일자 2009년11월04일

심사청구일자 2009년11월04일

(71) 출원인

인하대학교 산학협력단

인천 남구 용현동 253 인하대학교

(72) 발명자

정재학

서울특별시 서초구 서초2동 무지개아파트 3동 1207호

김남리

인천광역시 남구 관교동 동아아파트 3동 1101호

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

김전우

전체 청구항 수 : 총 7 항

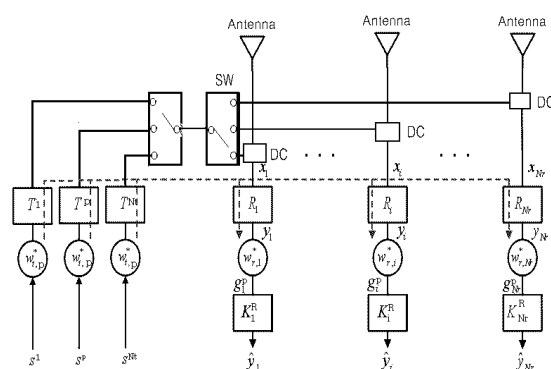
(54) 배열 안테나 시스템의 평균 내부순환 안테나 교정 방법

(57) 요약

본 발명은 배열 안테나 시스템에서 빔 형성을 하는 경우와 송신 전력을 할당하는 경우에 필요한 RF 송수신기의 진폭과 위상의 오차를 교정하는 평균 자동 내부순환 교정 방법으로서, 보다 구체적으로는 (1) RF 수신기의 양자화 오차를 최소화하기 위해, 최대 이득을 갖는 제p번째 RF 송신기를 선정하는 단계; (2) 상기 단계 (1)에서 구해진 최대 이득을 갖는 제p번째 RF 송신기를 이용하여 RF 수신기 응답을 통해 RF 수신교정계수벡터를 구하는 단계; (3) 상기 단계 (2)에서 구해진 RF 수신교정계수벡터의 산술평균을 취하여 평균 수신교정계수를 구하는 단계; (4) RF 송신기의 양자화 오차를 최소화하기 위해, 최대 이득을 갖는 제p번째 RF 수신기를 선정하는 단계; (5) 상기 단계 (4)에서 구해진 최대 이득을 갖는 제p번째 RF 수신기를 이용하여 RF 송신기 응답을 통해 RF 송신교정계수벡터를 구하는 단계; 및 (6) 상기 단계 (5)에서 구해진 RF 송신교정계수벡터의 산술평균을 취하여 평균 송신교정계수를 구하는 단계를 포함하는 것을 그 구성상의 특징으로 한다.

본 발명에서 제안하고 있는, 배열 안테나 시스템의 평균 내부순환 안테나 교정 방법에 따르면, 양자화로 인한 오차를 줄일 수 있을 뿐만 아니라, 여러 개의 RF 송수신 배열 안테나 특성을 통계적인 방법을 이용하여 보정함으로써 단일 RF 송수신기에 의한 단점을 효과적으로 보완할 수 있다.

대 표 도 - 도1



(72) 발명자

서종필

인천광역시 남구 주안6동 더월드스테이트 129동
2802호

안재진

경기도 고양시 일산동구 장항2동 호수마을 304동
701호

특허청구의 범위

청구항 1

- (1) RF 수신기의 양자화 오차를 최소화하기 위해, 최대 이득을 갖는 제p번째 RF 송신기를 선정하는 단계;
- (2) 상기 단계 (1)에서 구해진 최대 이득을 갖는 제p번째 RF 송신기를 이용하여 RF 수신기 응답을 통해 RF 수신 교정계수벡터를 구하는 단계;
- (3) 상기 단계 (2)에서 구해진 RF 수신교정계수벡터의 산술평균을 취하여 평균 수신교정계수를 구하는 단계;
- (4) RF 송신기의 양자화 오차를 최소화하기 위해, 최대 이득을 갖는 제p번째 RF 수신기를 선정하는 단계;
- (5) 상기 단계 (4)에서 구해진 최대 이득을 갖는 제p번째 RF 수신기를 이용하여 RF 송신기 응답을 통해 RF 송신 교정계수벡터를 구하는 단계; 및
- (6) 상기 단계 (5)에서 구해진 RF 송신교정계수벡터의 산술평균을 취하여 평균 송신교정계수를 구하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는, 배열 안테나 시스템의 평균 내부순환 안테나 교정 방법.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 단계 (1)에서,

다음의 수학적식을 이용하여 최대 이득을 갖는 제p번째 RF 송신기를 선정하는 것을 특징으로 하는, 배열 안테나 시스템의 평균 내부순환 안테나 교정 방법.

$$\max_p g_i^1, \dots, g_i^p, \dots, g_i^M$$

여기서, g_i^p 는 제p번째 송신기에서 임의의 제i번째 RF 수신기에 의한 내부순환응답을 나타내며, 내부순환응답이 최고가 되는 제p번째에서 가장 큰 RF 수신기 응답 R_i^p 을 갖는다.

청구항 3

제2항에 있어서, 상기 단계 (2)에서,

다음의 수학적식과 같이, RF 수신교정계수벡터를 구하는 것을 특징으로 하는, 배열 안테나 시스템의 평균 내부순환 안테나 교정 방법.

$$K_i^R = [K_{1,i}^R, \dots, K_{q,i}^R, \dots, K_{N_r,i}^R]$$

여기서, $K_{q,i}^R$ 는 제q번째 안테나의 RF 수신기 내부순환응답과 제i번째 수신기 내부순환응답의 비를 나타내며, RF 수신 시 각 안테나별 가중치 벡터 $w_{r,i}^*$ 를 이용하여 다음 수학적식과 같이 표시될 수 있다.

$$K_{q,i}^R = \frac{g_q^p}{g_i^p} \frac{w_{r,i}^*}{w_{r,q}^*} = \frac{R_q^p}{R_i^p}$$

청구항 4

제3항에 있어서, 상기 단계 (3)에서,

다음의 수학적식을 이용하여 평균 수신교정계수를 구하는 것을 특징으로 하는, 배열 안테나 시스템의 평균 내부순환 안테나 교정 방법.

$$\overline{K_i^R} = \frac{1}{N_t} \sum_q K_{q,i}^R$$

여기서, K_i^R 는 RF 수신기 보정을 위한 제q번째 RF 송신기에 의한 교정계수를 나타내며, N_t 는 송신 안테나의 개수를 나타낸다.

청구항 5

제1항에 있어서, 상기 단계 (4)에서,

다음의 수학적식을 이용하여 최대 이득을 갖는 제p번째 RF 수신기를 선정하는 것을 특징으로 하는, 배열 안테나 시스템의 평균 내부순환 안테나 교정 방법.

$$\max_p r_i^1, \dots, r_i^p, \dots, r_i^{N_r}$$

여기서, r_i^p 는 제p번째 수신기에서 임의의 제i번째 RF 송신기에 의한 내부순환응답을 나타내며, 내부순환응답이 최고가 되는 제p번째에서 가장 큰 RF 송신기 응답 T_i^p 을 갖는다.

청구항 6

제5항에 있어서, 상기 단계 (5)에서,

다음의 수학적식과 같이, RF 송신교정계수벡터를 구하는 것을 특징으로 하는, 배열 안테나 시스템의 평균 내부순환 안테나 교정 방법.

$$K_i^T = [K_{1,i}^T, K_{2,i}^T, \dots, K_{q,i}^T, \dots, K_{N_r,i}^T]$$

여기서, $K_{q,i}^T$ 는 제q번째 안테나의 RF 송신기 내부순환응답과 제i번째 송신기 내부순환응답의 비를 나타내며, RF 송신 시 각 안테나별 가중치 벡터 $w_{t,i}^*$ 를 이용하여 다음 수학적식과 같이 표시될 수 있다.

$$K_{q,i}^T = \frac{r_q^p}{r_i^p} \frac{w_{t,i}^* v_i}{w_{t,1}^* v_1} = \frac{T_q^p}{T_i^p}$$

청구항 7

제6항에 있어서, 상기 단계 (6)에서,

다음의 수학적식을 이용하여 평균 송신교정계수를 구하는 것을 특징으로 하는, 배열 안테나 시스템의 평균 내부순환 안테나 교정 방법.

$$\overline{K_i^T} = \frac{1}{N_r} \sum_q K_{q,i}^T$$

여기서, K_i^T 는 RF 송신기 보정을 위한 제q번째 RF 수신기에 의한 교정계수를 나타내며, N_r 은 수신 안테나의 개수를 나타낸다.

명세서

발명의 상세한 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 무선통신 네트워크(wireless communication network)에서 빔 형성하는 장치 및 방법에 관한 것으로서, 보다 구체적으로는 배열 안테나 시스템의 평균 내부순환 안테나 교정 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 무선이동통신 기술은 현재 와이브로(Wibro)와 HSDPA(High Speed Downlink Packet Access)의 3G 기술을 기반으로 영상과 인터넷의 무선전송 서비스를 제공하고 있다. 또한, 더욱더 빠르고 저렴한 무선통신 서비스를 제공하기 위해 3GPP LTE advanced와 IEEE 802.16m을 중심으로 차세대 무선통신표준화를 진행 중이다. 이와 같은 차세대 무선통신 기술의 핵심으로 사용되고 있는 다중 배열 안테나 기술은 같은 주파수 대역, 같은 송신 전력을 사용하는 경우에도 보다 많은 데이터를 전송할 수 있다. 그러므로 다중 배열 안테나 기술은 차세대 무선통신의 중요 기술로 인식되고 있다.

[0003] 다양한 다중 배열 안테나 기술 중에서 빔 형성 기법은 무선 시스템의 용량 증대와 더불어 간섭제어 기능이 있어서 무선통신 시스템에서 지속적으로 주목을 받아 왔다. 현재는 되먹임에 의한 코드북 빔 형성 기술을 간단한 빔 형성 방법으로 사용하고 있고, 이 밖에도 비트 오류율을 최소화할 수 있는 다중 송신 안테나의 전력 제어 기술도 사용되고 있다.

[0004] 배열 안테나의 연구 분야는 주로 기저대역의 신호처리 기법 개발에 초점이 맞추어져 있다. 이 경우 각각의 안테나와 RF 부분은 완전한 선형시스템으로 동일한 특성이 있다고 가정한다. 그러나 상기 방법은 실제 각 안테나의 RF송수신 단은 특성이 조금씩 다르고 RF 소자는 온도나 시간에 따라 특성이 변화하게 된다. 그러므로 이러한 RF단의 편차를 줄여주어 설계치 성능을 달성할 수 있게 하기 위하여 각 RF단의 위상 특성과 증폭 특성을 균일하게 해야 하며 이 기술을 안테나 교정(calibration)이라 한다.

[0005] 기존의 교정 방법으로는 내부에 부가적인 신호 발생기와 측정기를 이용하여 교정하는 방법과 외부의 기준신호를 이용하여 진폭과 위상의 차이를 적음 신호처리 알고리즘을 이용해 지속적으로 최소화시켜 교정하는 방법이 있다. 또한 미리 알고 있는 방향의 외부 기준신호를 발생시킨 뒤 LS(Least Square) 알고리즘의 역행렬을 이용해 진폭과 위상의 차이를 교정하는 방법도 있다. 그리고 최근에 내부에 부가적인 신호의 발생기나 측정기 없이 RF 송수신기 사이의 커플러를 이용하는 내부순환 방식도 제안되었고 단일 기준 RF단의 내부순환에 의한 RF 교정 방법도 제안되었다.

[0006] 그러나 상기의 내부순환에 의한 RF 교정 방법에서 단일 기준 RF단에 의해 교정할 때 기준이 되는 RF의 특성에 따라 교정되는 RF의 성능이 변화하는 문제점이 있다. 또한, RF 송신기의 보정 시 사용되는 RF 수신기의 증폭도가 낮을 경우 양자화에 의해 연산 오차가 발생하는 문제점이 있다. 뿐만 아니라, RF수신기의 교정 시 사용하는 RF 송신기의 증폭도가 낮을 경우에도 유사한 문제점이 발생한다.

발명의 내용

해결 하고자하는 과제

[0007] 본 발명은 기존에 제안된 방법들의 상기와 같은 문제점들을 해결하기 위해 제안된 것으로서, TDD(Time Division Duplex) 시스템에서 단일 RF 송수신기의 작은 값에 의한 양자화 오차를 줄이기 위한 방법을 제공하는 것을 그 목적으로 한다. 또한, RF 송수신 내부의 스위치와 커플러를 사용하여 다수의 RF 송수신에 의한 교정을 하고, 이의 평균 RF 송수신기 응답의 산술평균을 구함으로써, 단일 RF 교정에서 발생하는 교정 오차를 줄여주는 방법을 제공하는 것을 또 다른 목적으로 한다.

과제 해결수단

[0008] 상기한 목적을 달성하기 위한 본 발명의 특징에 따른, 양자화 오차의 최소화로 최대 이득을 갖는 다수 개의 RF

송수신 배열 안테나 특성을 통계적인 방법으로 교정하는 평균 RF 송수신기 교정 방법은,

(1) RF 수신기의 양자화 오차를 최소화하기 위해, 최대 이득을 갖는 제p번째 RF 송신기를 선정하는 단계;

(2) 상기 단계 (1)에서 구해진 최대 이득을 갖는 제p번째 RF 송신기를 이용하여 RF 수신기 응답을 통해 RF 수신 교정계수벡터를 구하는 단계;

(3) 상기 단계 (2)에서 구해진 RF 수신교정계수벡터의 산술평균을 취하여 평균 수신교정계수를 구하는 단계;

(4) RF 송신기의 양자화 오차를 최소화하기 위해, 최대 이득을 갖는 제p번째 RF 수신기를 선정하는 단계;

(5) 상기 단계 (4)에서 구해진 최대 이득을 갖는 제p번째 RF 수신기를 이용하여 RF 송신기 응답을 통해 RF 송신 교정계수벡터를 구하는 단계; 및

(6) 상기 단계 (5)에서 구해진 RF 송신교정계수벡터의 산술평균을 취하여 평균 송신교정계수를 구하는 단계를 포함하는 것을 그 구성상의 특징으로 한다.

바람직하게는, 상기 단계 (1)에서,

다음의 수학적식을 이용하여 최대 이득을 갖는 제p번째 RF 송신기를 선정할 수 있다.

$$\max_p g_i^1, \dots, g_i^p, \dots, g_i^{Nt}$$

여기서, g_i^p 는 제p번째 송신기에서 임의의 제i번째 RF 수신기에 의한 내부순환응답을 나타내며, 내부순환응답이 최고가 되는 제p번째에서 가장 큰 RF 수신기 응답 R_i^p 을 갖는다.

더욱 바람직하게는, 상기 단계 (2)에서,

다음의 수학적식과 같이, RF 수신교정계수벡터를 구할 수 있다.

$$K_i^R = [K_{1,i}^R, \dots, K_{q,i}^R, \dots, K_{Nr,i}^R]$$

여기서, $K_{q,i}^R$ 는 제q번째 안테나의 RF 수신기 내부순환응답과 제i번째 수신기 내부순환응답의 비를 나타내며, RF 수신 시 각 안테나별 가중치 벡터 $w_{r,i}^*$ 를 이용하여 다음 수학적식과 같이 표시될 수 있다.

$$K_{q,i}^R = \frac{g_q^p w_{r,i}^*}{g_i^p w_{r,q}^*} = \frac{R_q^p}{R_i^p}$$

더더욱 바람직하게는, 상기 단계 (3)에서,

다음의 수학적식을 이용하여 평균 수신교정계수를 구할 수 있다.

$$\overline{K_i^R} = \frac{1}{Nt} \sum_q K_{q,i}^R$$

여기서, K_i^R 는 RF 수신기 보정을 위한 제q번째 RF 송신기에 의한 교정계수를 나타내며, N_t 는 송신 안테나의 개수를 나타낸다.

바람직하게는, 상기 단계 (4)에서,

[0029] 다음의 수학적식을 이용하여 최대 이득을 갖는 제p번째 RF 수신기를 선정할 수 있다.

$$\max_p r_i^1, \dots, r_i^p, \dots, r_i^{N_r}$$

[0031] 여기서, r_i^p 는 제p번째 수신기에서 임의의 제i번째 RF 송신기에 의한 내부순환응답을 나타내며, 내부순환응답이 최고가 되는 제p번째에서 가장 큰 RF 송신기 응답 T_i^p 을 갖는다.

[0032] 더욱 바람직하게는, 상기 단계 (5)에서,

[0033] 다음의 수학적식과 같이, RF 송신교정계수벡터를 구할 수 있다.

$$K_i^T = [K_{1,i}^T, K_{2,i}^T, \dots, K_{q,i}^T, \dots, K_{N_r,i}^T]$$

[0035] 여기서, $K_{q,i}^T$ 는 제q번째 안테나의 RF 송신기 내부순환응답과 제i번째 송신기 내부순환응답의 비를 나타내며, RF 송신 시 각 안테나별 가중치 벡터 $w_{t,i}^*$ 를 이용하여 다음 수학적식과 같이 표시될 수 있다.

$$K_{q,i}^T = \frac{r_q^p}{r_i^p} \frac{w_{t,i}^* v_i}{w_{t,1}^* v_1} = \frac{T_q^p}{T_i^p}$$

[0037] 더더욱 바람직하게는, 상기 단계 (6)에서,

[0038] 다음의 수학적식을 이용하여 평균 송신교정계수를 구할 수 있다.

$$\overline{K_i^T} = \frac{1}{N_r} \sum_q K_{q,i}^T$$

[0040] 여기서, K_i^T 는 RF 송신기 보정을 위한 제q번째 RF 수신기에 의한 교정계수를 나타내며, N_r 은 수신 안테나의 개수를 나타낸다.

효 과

[0041] 본 발명에서 제안하고 있는, 배열 안테나 시스템의 평균 내부순환 안테나 교정 방법에 따르면, 양자화로 인한 오차를 줄일 수 있을 뿐만 아니라, 여러 개의 RF 송수신 배열 안테나 특성을 통계적인 방법을 이용하여 보정함으로써 단일 RF 송수신기에 의한 단점을 효과적으로 보완할 수 있다.

발명의 실시를 위한 구체적인 내용

[0042] 이하에서는 첨부된 도면들을 참조하여, 본 발명에 따른 실시예에 대하여 상세하게 설명하기로 한다.

[0043] 1. RF 수신기 교정 방법

[0044] 도 1은 본 발명에서 제안하는 내부순환 방식을 이용한 RF 수신기 교정 방식을 나타낸다. 도 1에서, T^p 는 제p번째 RF 송신기를 나타내고, $R_1, \dots, R_{N_r}$ 은 RF 수신기를 나타낸다. 또한, $g_1, \dots, g_{N_r}$ 은 각각의 RF수신기를 통하여 출력된 신호에 가중치를 곱하여 얻은 신호이다. RF 수신기에서 발생하는 신호의 편차를 보정하기 위해서는 최대 이득을 갖는 제p번째 RF 송신기를 선정하고, 선정된 제p번째 RF 송신기를 이용하여 RF 수신기 응답을 통해 RF 수신교정계수벡터를 구한 뒤 RF 수신교정계수벡터의 산술평균을 취하여 평균 수신교정계수 $\overline{K_i^R}$ 를 구한다. RF 수신기에서 발생하는 신호의 편차를 보정하기 위해서 수신 후 평균 수신보정계수 $\overline{K_i^R}$ 를 곱한다. 이 연산은

시스템 내부에서 가중치를 연산할 때 보정하여 주면 되므로 추가적인 하드웨어가 필요하지 않다. 구체적인 보정 방법은 다음과 같다.

[0045] 제i번째 선형 배열안테나를 통해 들어온 신호 x_i 에 의한 수신신호는 다음 수학적 식 1과 같이 나타낼 수 있다.

수학적 식 1

$$y_i = w_{r,i}^* R_i x_i$$

[0046]

[0047] 수학적 식 1에서, 수신 신호는 RF 수신기에 의해 진폭과 위상이 부정합된 신호이다. 이러한 수신 신호가 보정계수에 의해 보정되면 수학적 식 2로 나타낼 수 있다.

수학적 식 2

$$\hat{y}_i = K_i^R y_i$$

[0048]

[0049] 수학적 식 2에서, 보정계수 K_i^R 를 얻기 위해서 내부순환 장치를 이용하고 내부 RF 송신기를 기준으로 상대적인 교정치를 얻은 후 평균값을 이용한 교정치를 얻는다. 도 1에 도시된 바와 같이, 첫 번째 기준 송신 안테나부터 마지막 송신 안테나까지 각각의 커플러를 사용하여 기준 안테나를 포함하는 각 수신기에 RF 수신기로 내부순환시킨다. 이때, 임의의 RF 송신기를 사용하여 각 RF 수신기에 내부순환시킬 경우, 임의의 제a번째 RF 송신기 T^a 의 값이 최대가 되지 않으면, 제a번째 RF 송신기로 출력이 되어 제i번째 RF 수신기로 내부 순환한 내부순환 응답 $g_i^a = w_{r,i}^* R_i^a T^a w_{t,a}^* s^a$ 는 최대값을 갖지 못하고, 이를 개선하기 위해 아날로그 디지털 변환을 할 경우 양자화 시 오류가 커지게 된다. 따라서 다음의 수학적 식 3을 이용하여 최대 이득을 갖는 제p번째 RF 송신기를 선정한다.

수학적 식 3

$$\max_p g_i^1, \dots, g_i^p, \dots, g_i^{N_t}$$

[0050]

[0051] 수학적 식 3에서, g_i^p 는 제p번째 송신기에서 임의의 제i번째 RF 수신기에 의한 내부순환응답을 나타낸다. 내부순환 응답이 최고가 되는 제p번째에서 가장 큰 RF 수신기 응답 R_i^p 을 갖는다.

[0052] 최대 이득을 갖는 제p번째 RF 송신기 T^p 를 통하여 각 RF 수신기에 내부순환시킬 경우 RF 송신기의 제p번째에 의한 RF 수신기 응답은 $[R_1^p, \dots, R_i^p, \dots, R_{N_r}^p]$ 로 주어진다. 그러면 신호의 내부순환 응답 g_p 를, 다음의 수학적 식 4와 같은 결과 N_r 개로서 얻을 수 있다.

수학적 식 4

$$\begin{aligned} g_1^p &= w_{r,1}^* R_1^p T^p w_{t,p}^* s^p \\ &\vdots \\ g_i^p &= w_{r,i}^* R_i^p T^p w_{t,p}^* s^p \\ &\vdots \\ g_{N_r}^p &= w_{r,N_r}^* R_{N_r}^p T^p w_{t,p}^* s^p \end{aligned}$$

[0053]

[0054] 수학식 4에서, 기준으로 잡은 제p번째 RF 송신기로 출력이 되어 제q번째 RF 수신기로 내부 순환한 내부순환 응답과 제p번째 RF 송신기와 교정하고자 하는 제i번째 RF 수신기의 내부순환 응답의 비를 구하면 수학식 5로 산출될 수 있다.

수학식 5

$$\frac{g_q^p}{g_i^p} = \frac{w_{r,q}^* R_q^p T^p w_{t,p}^* s^p}{w_{r,i}^* R_i^p T^p w_{t,p}^* s^p} = \frac{R_q^p}{R_i^p} \frac{w_{r,q}^*}{w_{r,i}^*}$$

[0055]

[0056] 수학식 5는 제q번째 안테나의 RF 수신기 부정합 및 가중치와 제i번째 RF 수신기의 부정합 및 가중치의 비이다. 여기서, RF 수신시 각 안테나별 가중치 벡터는 알고 있는 값이므로 가중치 벡터의 곱에 의한 영향은 제거될 수 있다. 그러므로 가중치 벡터의 영향을 제거한 후의 교정을 위한 제p번째 송신 RF에 의한 교정계수 $K_{q,i}^R$ 는 다음 수학식 6으로 산출되어 진다. 이때 $K_{q,i}^R$ 은 제q번째 안테나의 RF 수신기 내부순환응답과 제i번째 수신기 내부순환응답의 비를 나타낸다.

수학식 6

$$K_{q,i}^R = \frac{g_q^p}{g_i^p} \frac{w_{r,i}^*}{w_{r,q}^*} = \frac{R_q^p}{R_i^p}$$

[0057]

[0058] 수학식 6을 통해, 교정계수벡터 $K_i^R = [K_{1,i}^R, \dots, K_{q,i}^R, \dots, K_{Nt,i}^R]$ 를 구할 수 있고, 이러한 교정계수벡터를 이용하여 다음 수학식 7과 같이 산술평균을 취하여 새로운 교정계수벡터를 얻을 수 있다.

수학식 7

$$\overline{K_i^R} = \frac{1}{Nt} \sum_q K_{q,i}^R$$

[0059]

[0060] 따라서 새로운 교정계수벡터 $\overline{K_i^R} = [\overline{K_{1,i}^R}, \dots, \overline{K_{q,i}^R}, \dots, \overline{K_{Nt,i}^R}]$ 를 얻게 된다. 새로운 교정계수벡터를 수학식 2에 대입하여 제i번째 RF 수신기의 부정합을 교정한 수신신호를 다음 수학식 8과 같이 산출할 수 있다.

수학식 8

$$\hat{y}_i = \overline{K_i^R} w_{r,i}^* R_i^p x_i$$

[0061]

[0062] 상기 방법을 모든 수신안테나의 RF단에 적용하면 각 RF 수신기의 상대적인 진폭과 위상의 차이를 교정할 수 있고, 여러 개의 RF 송수신 배열 안테나 특성을 통계적인 방법을 이용하여 보정함으로써 단일 RF 송수신기에 의한 단점을 보완할 수 있다.

[0063] 2. RF 송신기 교정 방법

[0064] RF 송신기의 교정 방법은 앞 절의 RF 수신기 교정 방법과 유사하다. RF 송신기의 교정 방법은 도 2에 도시되어 있다. 도 2에 도시된 바와 같이, 한 개의 기준 RF 수신기를 설정하고 이를 기반으로 각각의 RF 송신기를 커플

링을 통하여 경유시키고 기준 RF 송수신기에 대한 상대적인 값으로 보정을 한다. 도 2에서, R^p 는 제p번째 RF 수신기를 나타내고, $T_1, \dots, T_{N_t}$ 는 RF 송신기를 나타낸다. 그리고 $z_1, \dots, z_{N_t}$ 는 입력된 신호 $v_1, \dots, v_{N_t}$ 에 가중치를 곱한 뒤 RF 송신기를 통하여 얻은 신호이다. 최대 이득을 갖는 제p번째 RF 수신기를 선정하고, 선정된 제p번째 RF 수신기를 이용하여 RF 송신기 응답을 통해 RF 송신교정계수벡터를 구한 뒤 RF 송신교정계수벡터의 산술 평균을 취하여 평균 송신교정계수 $\overline{K_i^T}$ 를 구한다. RF 송신기에서 발생하는 신호의 편차를 보정하기 위해서 송신 후 평균 송신보정계수 $\overline{K_i^T}$ 를 곱한다.

[0065] 송신하려는 신호 $v_1, \dots, v_{N_t}$ 는 RF 송신기를 경유할 때 서로 다른 RF 송신기에 의한 진폭과 위상 부정합을 겪는다. 이렇게 부정합된 송신 신호는 다음 수학적식 9와 같이 표현된다.

수학적식 9

[0066]
$$z_i = T_i w_{t,i}^* v_i$$

[0067] RF 수신기 교정 시와 마찬가지로 제안된 자동 내부순환 방식은 송신 전에 교정계수 K_i^T 를 곱해서 다음 수학적식 10과 같이 산출된다.

수학적식 10

[0068]
$$\hat{z}_i = T_i w_{t,i}^* K_i^T v_i$$

[0069] 수학적식 10에서 교정계수 K_i^T 를 얻기 위해서 내부순환 장치를 이용하고 내부 RF 수신기를 기준으로 상대적인 교정치를 얻은 후 평균값을 이용한 교정치를 얻는다. RF 수신기 교정과 유사한 방법으로 임의의 RF 수신기를 사용하여 각 RF 송신기에 내부순환시킬 경우, 임의의 제a번째 RF 수신기 R^a 의 값이 최대가 되지 않으면, 제a번째 RF 수신기로 출력이 되어 제i번째 RF 송신기로 내부 순환한 내부순환 응답 $r_i^a = w_{r,i}^* R^a T_i w_{t,a}^* s^a$ 는 최대값을 갖지 못하고, 이를 개선하기 위해 아날로그 디지털 변환을 할 경우 양자화 시 오류가 커지게 된다. 따라서 최대 이득을 갖는 제p번째 RF 수신기를 다음의 수학적식 11과 같이 선택해 주어야 한다.

수학적식 11

[0070]
$$\max_p r_i^1, \dots, r_i^p, \dots, r_i^{N_r}$$

[0071] 여기서, r_i^p 는 제p번째 수신기에서 임의의 제i번째 RF 송신기에 의한 내부순환응답을 나타낸다. 내부순환응답이 최고가 되는 제p번째에서 가장 큰 RF 송신기 응답 T_i^p 을 갖는다.

[0072] 임의의 기준 수신 안테나를 포함한 모든 배열 안테나로의 송신신호 $v_1, \dots, v_{N_t}$ 를 순차적으로 제p번째 RF 수신기 R_p 로 내부순환시킬 경우 RF 수신기에 의한 RF 송신기 응답은 $[T_1^p, \dots, T_i^p, \dots, T_{N_t}^p]$ 로 주어진다. 이렇게 내부순환시킨 내부순환 응답 r_p 는 다음 수학적식 12와 같이 N_t 개만큼 산출된다.

수학식 12

$$\begin{aligned} r_1^p &= w_{r,p}^* R^p T_1^p w_{t,1}^* v_1, \\ &\vdots \\ r_i^p &= w_{r,p}^* R^p T_i^p w_{t,i}^* v_i, \\ &\vdots \\ r_{Nt}^p &= w_{r,p}^* R^p T_{Nt}^p w_{t,Nt}^* v_{Nt}. \end{aligned}$$

[0073]

[0074]

수학식 12에서 기준 안테나 제p번째에서 송, 수신된 신호의 내부순환 응답을 제i번째 안테나에서 송신된 내부순환 응답으로 나누면 다음 수학식 13과 같이 표현된다.

수학식 13

$$\frac{r_q^p}{r_i^p} = \frac{w_{r,p}^* R^p T_q^p w_{t,q}^* v_q}{w_{r,p}^* R^p T_i^p w_{t,i}^* v_i} = \frac{T_q^p}{T_i^p} \frac{w_{t,q}^* v_q}{w_{t,i}^* v_i}$$

[0075]

[0076]

수학식 13은 제q번째 안테나의 RF 송신기 부정합 및 가중치와 제i번째 RF 송신기의 부정합 및 가중치의 비이다. 여기서, RF 송신 시 각 안테나별 가중치 벡터는 알고 있는 값이므로 가중치 벡터의 곱에 의한 영향은 제거될 수 있다. 그러므로 가중치 벡터의 영향을 제거한 후의 교정을 위한 제i번째 수신 RF에 의한 교정계수 $K_{q,i}^T$ 는 다음 수학식 14로 산출되어 진다. 이때 $K_{q,i}^T$ 는 제q번째 안테나의 RF 수신기 내부순환 응답과 제i번째 수신기 내부순환 응답의 비를 나타낸다.

수학식 14

$$K_{q,i}^T = \frac{r_q^p}{r_i^p} \frac{w_{t,i}^* v_i}{w_{t,1}^* v_1} = \frac{T_q^p}{T_i^p}$$

[0077]

[0078]

수학식 14를 통해, 교정계수벡터 $K_i^T = [K_{1,i}^T, K_{2,i}^T, \dots, K_{q,i}^T, \dots, K_{Nr,i}^T]$ 를 구할 수 있고, 이러한 교정계수벡터를 이용하여 다음 수학식 15와 같이 산술평균을 취하여 새로운 교정계수벡터를 얻을 수 있다.

수학식 15

$$\overline{K_i^T} = \frac{1}{Nr} \sum_q K_{q,i}^T$$

[0079]

[0080]

이로부터 수신기의 새로운 교정계수벡터 $\overline{K_i^T} = [\overline{K_1^T}, \dots, \overline{K_q^T}, \dots, \overline{K_{Nr}^T}]$ 를 얻을 수 있다. 새로운 교정계수벡터를 수학식 10에 대입하여 제i번째 RF 송신기의 부정합을 교정한 송신 신호는 다음 수학식 16과 같이 산출할 수 있다.

수학식 16

$$\hat{z}_i = T_i^p w_{t,w}^* \overline{K_i^T} v_i$$

[0081]

[0082]

상기 방법을 모든 송신안테나의 RF단에 적용하면 각 RF 송신기의 상대적인 진폭과 위상의 차이를 교정할 수 있

고, 여러 개의 RF 송수신 배열 안테나 특성을 통계적인 방법을 이용하여 보정함으로써 단일 RF 송수신기에 의한 단점을 보완할 수 있다. 평균 내부순환 RF 송수신 교정계수는 안테나 수가 증가할수록 안정적이 된다.

[0083] 3. 평균 내부순환 교정방법 전산 모의실험

[0084] 본 발명에서 제안된 평균 내부순환교정 방법의 RF 송수신기 교정 성능을 알아보기 위해 전산모의실험을 하였으며 실험 조건은 다음과 같다. RF 송수신 안테나의 개수는 4개, 안테나 간 간격은 $\lambda/2$, 수신시 SNR은 10dB로 설정하고 RF 송수신기의 진폭에러와 위상에러는 수학식 17을 사용하였다.

수학식 17

$$\alpha_i = \left[(\beta_i - 0.5)\sigma_\alpha \sqrt{12} + 1 \right]$$

$$\Psi_i = \left[(\gamma_i - 0.5)\sigma_\psi \sqrt{12} \right], \quad i = 1, 2, \dots, M$$

[0085] 수학식 17에서 β_i , γ_i 는 0과 1 사이에 균일하게 분포된 임의의 수를 발생시켰고, σ_α : 0.2, σ_ψ : 20° 인 에러 모델을 실험의 조건으로 사용하였다.

[0086] 모의실험은 제안된 RF 송수신기 교정 방법에 의한 위상 부정합 교정성능을 검증하기 위해 DOA추정 알고리즘(MUSIC)을 통한 DOA 추정오류를 측정하였고, 진폭 부정합 교정성능을 검증하기 위해 교정 후 빔 패턴의 억제 깊이를 측정하였다. 그리고 배열안테나의 빔 형성 기법 이외에 송신 전력 할당을 할 경우에도 제안된 방법은 정확한 전력 할당을 함으로써 무선 채널의 비트오류율이 교정 전보다 향상됨을 보였다.

[0087] (1) 평균 내부순환교정 방법을 통해서 교정되는 오차 평가

[0088] 도 3은 평균 내부순환교정 방법을 통해서 교정되는 오차를 나타내었다. □는 이상적으로 오차가 없는 경우의 잡음에 의한 오차를 나타내고(Channel MSE, Ideal), △는 교정 전(Channel MSE, With RF error), ▽는 단일 내부교정 방법에 의한 오차(Channel MSE, Calibration), ○는 평균 내부순환 교정에 의한 오차(Channel MSE, Calibration with mean)를 나타낸다. 이중 평균 내부순환 교정 방법이 이상적인 방법에 보다 근접함을 알 수 있다.

[0089] (2) DOA 추정을 통한 수신기 위상부정합 교정성능 평가

[0090] 도 4는 수신 RF 단의 위상 부정합 교정성능 평가를 위한 실험결과이다. 도 4의 (a)는 부정합이 일어났을 때의 그래프이고, 도 4의 (b)는 교정 후의 결과 그래프이다. 모의실험결과, 도 4의 (a)에서 DOA를 20° 로 설정한 경우(Gain/Phase Error) 수신 RF 단이 이상적인 경우(No Effect)에 비하여 위상 부정합은 5.30° 의 오차를 발생하지만, 도 4의 (b)에서 보듯이 부정합을 교정한 후(Calibrated Signal)에는 0.10° 의 오차를 보였다.

[0091] (3) 빔 형성을 통한 수신기 진폭 부정합 교정성능 평가

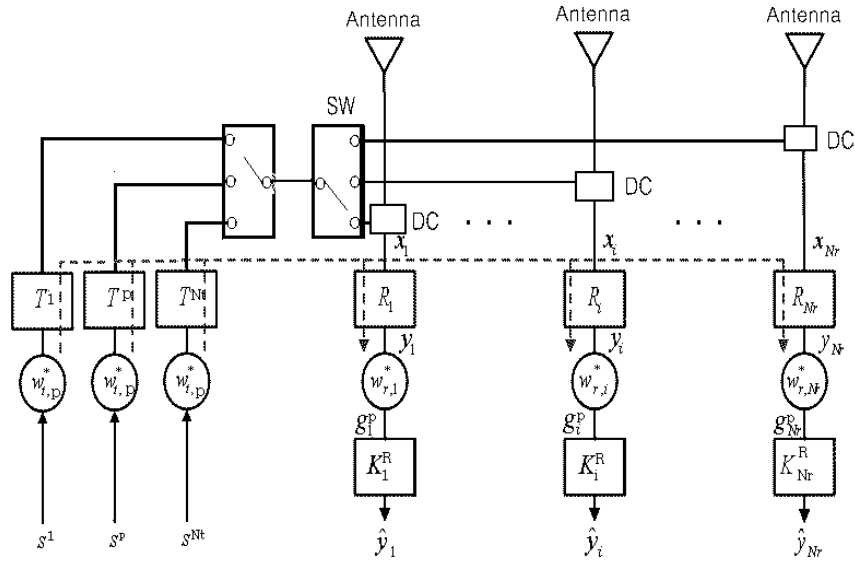
[0092] 도 5는 RF 수신기의 진폭 부정합 교정성능 평가를 위한 실험결과이다. 모의실험결과 RF 수신기에 부정합이 없는 이상적인 경우(Ideal)에 억제 깊이가 70dB이므로 RF 수신기가 교정된 후(Calibrated Beam Pattern)의 억제 깊이가 교정되기 전(Gain/Phase Error)의 경우보다 20.7dB 감소한 것으로 나타났다.

- [0094] (4) DOA 추정을 통한 송신기 위상부정합 교정성능 평가
- [0095] 도 6은 RF 송신기의 위상 부정합 교정성능 검증을 위한 실험결과이다. 도 6의 (a)는 부정합이 일어났을 때의 그래프이고, 도 6의 (b)는 교정 후의 결과 그래프이다. 모의실험결과, 도 6의 (a)에서 DOA를 20° 로 설정한 경우(Gain/ Phase Error) RF 송신기에 부정합이 없는 이상적인 경우(No Effect)에 비하여 위상 부정합은 3.80° 의 오차를 발생하지만, 도 6의 (b)에서 보듯이 교정을 거친 후(Calibrated Signal)에는 0.11° 의 오차를 보였다.
- [0096] (5) 빔 형성을 통한 RF 송신기 진폭 부정합 교정성능 평가
- [0097] 도 7은 RF 송신기의 진폭 부정합 교정성능 검증을 위한 실험 결과이다. 모의실험결과 RF 송신기에 부정합이 없는 이상적인 경우(Ideal)에 억제 깊이가 70dB이므로 부정합이 교정된 후(Calibrated Beam Pattern)의 억제 깊이가 부정합이 교정되기 전(Gain/Phase Error)의 경우보다 21.4dB 감소한 것으로 나타났다.
- [0098] (6) 송신 전력을 할당한 V-BLAST 시스템의 BER 성능
- [0099] 도 8은 제안된 내부순환 교정 방법이 다중안테나의 송신 전력 할당 시에 전송 성능에 미치는 영향을 나타내는 도면이다. 전송 방법은 TDD 시스템을 가정하였고, 송신 전력 할당 방법은 V-BLAST(Vertical-Bell Laboratories -Layered -Space-Time의 TPA(Transmit Power Allocation) 방법을 사용하였다. 송신 전력 할당은 균일 전력 할당방법과 채널에 최적화된 전력 할당 방법 모두 실험하였다. 일반적인 동일 전력 할당의 경우에도 RF 송신기의 오차에 의해 불균일하게 전력이 할당되기 때문에 성능이 저하됨을 알 수 있다. 이 경우 균일 송신 전력 할당 V-BLAST 시스템 보다 BER 10^{-2} 에서 약 3.1dB 나쁜 것을 확인할 수 있다. 송신 전력을 할당하는 방법을 사용하는 V-BLAST 시스템에서는 BER 10^{-2} 에서 제안된 평균 내부순환 교정방법을 이용한 것이 교정 전보다 약 5dB의 이득을 얻었다. RF 송수신기를 이상적으로 교정한 경우와 비교 시에 BER 10^{-2} 에서 약 1dB의 손실이 있었으나, 단일 교정 방식보다 1dB 이득을 얻고 있고 이 이득은 SNR이 좋아질수록 더욱 벌어진다.
- [0100] 본 발명에서 제안된 평균 내부순환 교정 방법은 배열안테나의 빔 형성 방법 이외에도 송신 전력 할당을 하는 TDD 시스템에서 비트 오류성능 개선이 일어남을 확인할 수 있다.
- [0101] 이상 설명한 본 발명은 본 발명이 속한 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의하여 다양한 변형이나 응용이 가능하며, 본 발명에 따른 기술적 사상의 범위는 아래의 특허청구범위에 의하여 정해져야 할 것이다.
- 도면의 간단한 설명**
- [0102] 도 1은 본 발명에 의해 제안된 배열 안테나 시스템의 RF 수신기 교정 장치 구조를 나타내는 도면.
- [0103] 도 2는 본 발명에 의해 제안된 배열 안테나 시스템의 RF 송신기 교정 장치 구조를 나타내는 도면.
- [0104] 도 3은 본 발명에 의해 제안된 평균 내부순환 교정 방법을 통해 교정되는 채널의 평균 오차 제곱의 합을 보여주는 도면.
- [0105] 도 4는 DOA 추정을 통한 RF 수신기 위상 부정합 교정 성능 평가를 보여주는 도면.
- [0106] 도 5는 빔 형성을 통한 RF 수신기 진폭 부정합 교정 성능 평가를 보여주는 도면.
- [0107] 도 6은 DOA 추정을 통한 RF 송신기 위상 부정합 교정 성능 평가를 보여주는 도면.
- [0108] 도 7은 빔 형성을 통한 RF 송신기 진폭 부정합 교정 성능 평가를 보여주는 도면.

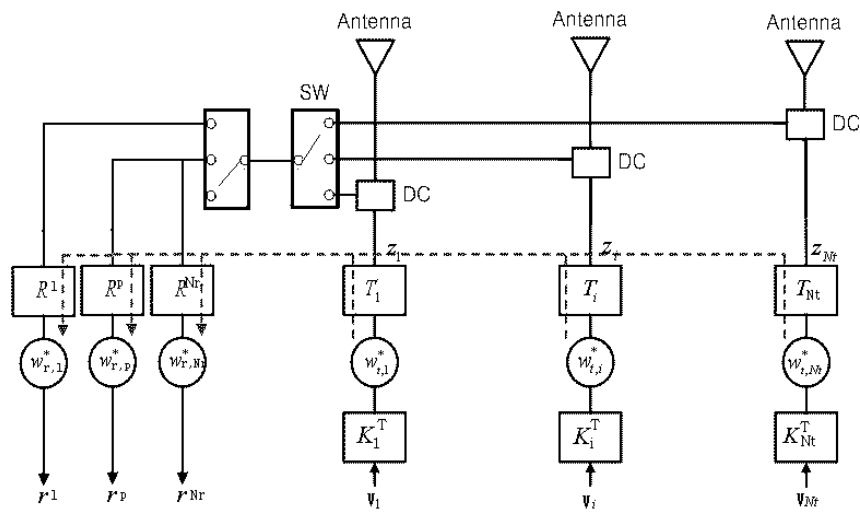
[0109] 도 8은 송신 전력을 할당한 V-BLAST 시스템의 BER 성능을 보여주는 도면.

도면

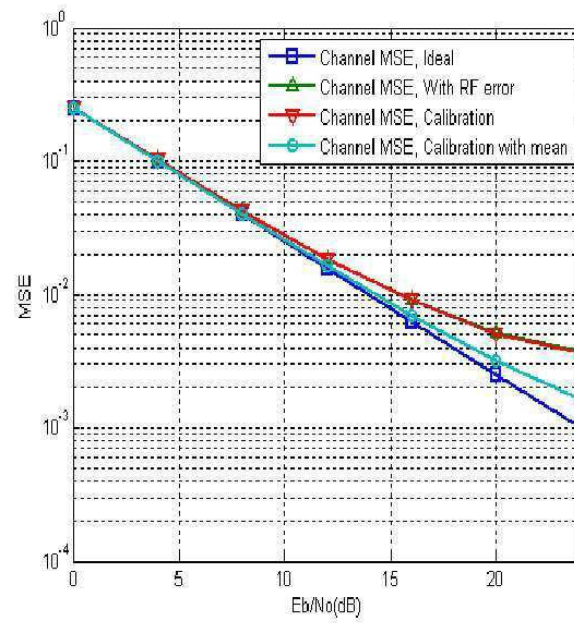
도면1



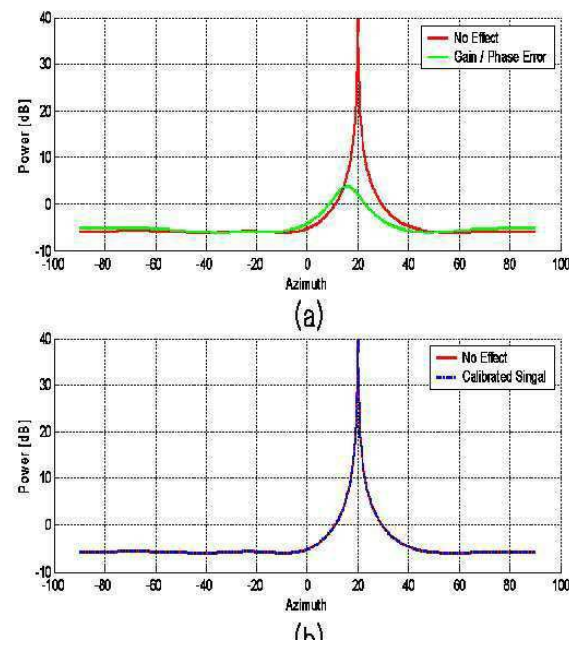
도면2



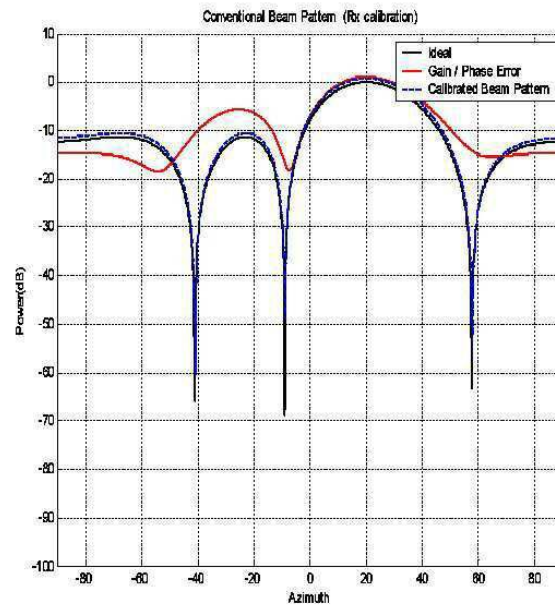
도면3



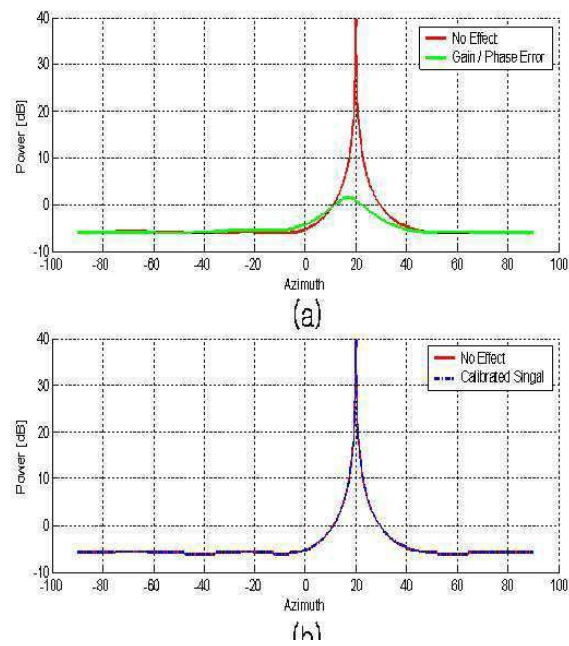
도면4



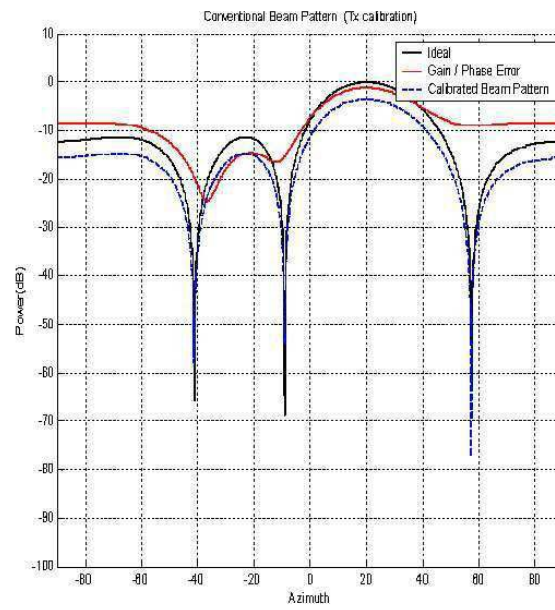
도면5



도면6



도면7



도면8

