저손실 재구성 분배기를 이용한 빔 성형 배열 안테나 설계

Design of Beam-Forming Array Antenna with a Reconfigurable Power Divider

태현성 · 손왕익 · 장형석 · 오경섭 · 유종원

Hyun-Sung Tae · Wang-Ik Son · Hyung-Seok Jang · Kyoung-Sub Oh · Jong-Won Yu

요 약

본 논문에서는 새로운 구조의 빔 성형 배열 안테나를 제안한다. 제안된 빔 성형 배열 안테나는 새로운 구조의 저손실 재구성 분배기 및 입체 배열을 통해, 빔 방향 및 빔 폭 제어 특성을 가진다. 여기서, 제안하는 재구성 분배기는 개별 안테나로의 재구성 가능한 RF 전력 분배 기능을 가지고 있기 때문에, 본 안테나에서의 핵심 기술이라 할 수 있다. 또한, 제안된 안테나의 연구 및 특성 입증에 위해, 본 논문에서는 입체형 빔 성형 배열 안테나를 재구성 분배기와 함께 구현하였으며, 실험적으로 RF 전력 분배 모드 제어를 통해 1:1부터 1:N까지 다양한 방사 모드를 가지고 있는 것을 확인하였다.

Abstract

In this paper, new beam-forming array antenna is proposed. The proposed beam-forming array antenna has control ability for beam-direction/width by employing low loss reconfigurable power divide and three-dimensional array structure. The reconfigurable power divider is key idea in the proposed antenna, because it has reconfigurable RF power distribution ability to each antenna. And, for research and verification of the proposed antenna, 3-dimensional beam-forming array antenna is implemented, and the experimental results show that the proposed antenna has various radiation modes from 1:1 to 1:N by adjusting RF power distribution.

Key words : Beam-Width Controllable Array Antenna, Reconfigurable Power Divider, Beam-Forming Array Antenna

I. 서 론

최근 각종 무선 통신에 대한 정확성 및 고속화 요구가 증가하면서 고품질의 빔 성형(beam-forming) 시스템을 이용한 무선 통신 기술이 점차 이슈화되고 있다^{[1]~[4]}. 빔 성형이란 안테나에서 방사된 에너지가 공간에서 특정한 방향으로 집중되는 신호를 처리하는 기술로, 그 목적은 원하는 방향으로부터 보다 세기가 강한 신호를 수신하거나 원하는 방향으로 신호

를 전달하는 것이다. 특히, 빔 성형 시스템에서는 무선 통신 시스템의 정밀화, 고속화 및 대용량화를 위해 높은 이득의 다양한 형태의 빔의 구현이 요구된다.

빔 성형 통신은 향상된 이득을 갖는 안테나를 사용할 경우, 고품질 데이터 통신에 적합한 환경을 구축할 수 있다. 이에 고이득의 정교한 제어가 가능한 위상 배열 안테나가 무선 통신 분야에서 지속적으로 연구, 이용되고 있다^{[5],[6]}. 그러나, 위상 배열 안테나의 경우, 위상 천이기 등에 의한 수 dB 이상의 전송

한국과학기술원 전기 및 전자공학부(Department of Electrical Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology(KAIST))

· Manuscript received December 16, 2011 ; Revised January 30, 2012 ; Accepted February 3, 2012. (ID No. 20111216-163)

· Corresponding Author : Jong-Won Yu (e-mail : drjwyu@ee.kaist.ac.kr)

손실이 발생하고, 또한 상대적으로 가격이 높은 특성 때문에, 실제 휴대용 무선통신에서는 그 기능 및 사용이 제한된다. 따라서, 휴대용 통신에 사용하기 위해 위상 천이기를 제거하고, 구조적인 배치 및 스위치 등을 이용하여 고정된 빔 폭으로 빔 성형을 수행하는 다양한 형태의 스위칭 빔 성형 배열 안테나가 연구되고 있다^{[7]~[9]}. 그러나, 이러한 스위칭 빔 성형 안테나의 경우, 빔 폭 등 빔 형태를 다양하게 제어할 수 있는 기능이 제한되어, 실제 그 사용 범위에 한계가 있다. 또한 이러한 안테나들의 경우에 대체적으로 배열 안테나의 개수가 적기 때문에, 안테나의 방사가 미치지 않는 영역이 상대적으로 많이 생기게 되며, 이는 통신 가능 영역이 제한되는 이유가 된다.

실제 빔 성형 시스템에서 빠른 속도, 다양한 장애물 혹은 페이딩과 같이 통신 환경이 어려운 상태에 있는 경우, 통신 대상 간 원활한 신호 탐색을 위해 보다 넓은 형태의 빔이 필요하며, 좁은 형태의 빔은 통신의 효율을 저하시키는 원인이 된다. 반대로 넓은 빔만을 사용하여 빔 성형을 하는 안테나의 경우, 통신 가능 범위는 넓어지게 되나, 상대적으로 낮은 이득으로 인해 통신 감도가 낮아지고, 고품질 통신이 어려워진다. 따라서, 이러한 경우에는 빔 방향이 조절되는 동시에 통신 환경에 따라 빔 폭도 조절 가능한 빔 성형 안테나가 크게 요구될 것이다.

본 논문에서는 그림 1과 같이 910 MHz 대역의 다양한 방사 성능을 가지는 새로운 구조의 빔 성형 배열 안테나를 제안한다. 본 안테나는 그림 1과 같이 1개, 2개 그리고 4개의 안테나가 동시에 방사하는 기능을 가지고 있으며, 이를 통해 안테나의 빔 폭 및 빔 방향을 조절하여 통신 환경에 따른 효율적인 안테나 방사 모드를 가질 수가 있다. 또한, 인접하는 안테나의 동작을 통해 안테나 구조에 의해서 발생하게 되는 사각지대에 대한 방사도 커버할 수 있는 장점이 있다. 제안하는 안테나의 경우, RFID 리더기용 안테나로 활용 가능하며, 사용 환경에 따라 다양한 모드를 가지는 기능을 통해, 보다 인식 감도를 높일 수 있는 장점을 가진다.

이와 같이, 동시에 개별 안테나들을 손실을 최소화시키며, 자유롭게 동작시키기 위해서는 재구성 전력 분배기(reconfigurable power divider)가 필요하다.

그림 1. 제안하는 새로운 구조의 빔 성형 배열 안테나의 구조 및 방사 모드

Fig. 1. Proposed new beam-forming array antenna structure and radiation modes.

이는 입력 신호에 대해 원하는 포트에 대해서만 전력을 보내는 회로로, 원하는 안테나 동작 및 방사 패턴을 위해 급전 신호의 흐름을 제어할 수 있기 때문에, 본 논문에서 제안한 안테나의 핵심 기술이라 할 수 있다.

II. 저손실 재구성 전력 분배기 분석 및 설계

본 논문에서 제안한 빔 성형 안테나는 저손실 재구성 분배기 구현이 필수적 요소라는 것은 서론에서 서술하였다. 기존의 재구성 분배기는 Wilkinson 전력 분배기 등을 이용한 몇 건의 기술이 이 논문에서 소개되었으나^{[10][11]}, 이는 1×2 구조로 한정되어 있고, 다수

그림 2. 제안하는 재구성 전력 분배기
Fig. 2. Proposed reconfigurable power divider.

의 배열 안테나가 사용되어지는 빔 성형 안테나에는 적용이 힘들다. 또한, N-way 재구성 분배기에 대한 연구는 거의 수행되지 않았기 때문에, 제안하는 안테나를 구현하기 위한 N-way 재구성 분배기에 대한 분석이 필요하다. 그림 2는 1×N 재구성 분배기의 구성 요소 및 기본 동작 원리를 나타내고 있다.

우선, 재구성 분배기는 그림 (a)와 같이 스위치로 동작하는 전력 분배기(switched power divider)와 동작 포트의 개수에 따른 임피던스 정합을 만들기 위한 임피던스 정합 회로(impedance matching circuit)가 필요하다. 전력 분배기는 그림과 같이 $\lambda/4$ transformer 및 병렬 스위치가 각 출력별로 삽입되며, open일 경우 신호가 통과하고, short일 경우 $\lambda/4$ transformer에 의해 open으로 보여 신호가 전반사가 되게 회로를 설계한다. 또한, 이로 인해 변하는 전력분배기의 입력 임피던스를 실시간으로 정합시켜 주기 위하여 임피던스 정합 회로를 그림과 같이 적절한 위치에 병렬 스위치 및 $\lambda/4$ transformer를 이용하여 구성한다. 제안된 재구성 분배기는 N-배열을 구성하기 위해 $(2N-1)$ 개의 스위치가 필요하지만, 임피던스 정합 회로의 구현에 따라 가변적으로 변할 수 있다. 그

림 (b)는 1×5 재구성 전력 분배기를 구현했을 때의 동작 원리를 설명한 그림으로, 5개중 4개의 포트에 신호가 흘러갈 경우, 전력 분배기의 입력 임피던스는 $Z_0/4$ 가 되고, 이에 점접(A)에서의 복소수 임피던스 정합 조건(conjugate impedance matching condition)을 만족시키기 위해서 적절한 임피던스 정합 회로를 선택하고, 이를 스위칭하여 점접으로부터 정합회로로 보이는 임피던스가 $Z_0/4$ 를 만족시키게 한다. 여기서 입력단에 P_{in} 의 전력이 입력되면, 출력단에는 각각 $P_{in}/4$ 의 전력이 출력되고, 이는 제안된 안테나가 손실이 거의 없는 상태로 빔 성형 특성을 갖게 되는 이유가 된다.

제안하는 재구성 분배기는 원하는 배열 수 및 동작 모드에 따라 가변적으로 재구성 분배기를 가장 간단하게 설계할 수 있는 구조를 가지고 있다. 또한, 분배기의 접합부와 입력 포트 사이에 임피던스 정합 회로를 설계하여, 포트 배열 및 임피던스 정합에 사용되는 스위치의 개수를 최소화 시켰으며, 또한 병렬 스위치 구조를 적용하여 스위치 삽입 손실의 영향을 최소화하였다. 따라서 제안하는 재구성 분배기는 사용되는 스위치를 최소화하여 확장성을 극대화시키고, 복잡성을 최소화하였으며, 또한, 모든 스위치를 병렬 구조로 구현하여 스위치 삽입 손실 등의 영향을 최소화하여, 전력 분배 특성을 극대화하였다.

표 1은 제안된 구조로 재구성 분배기를 설계한 경우의 각 배열별 삽입 손실에 대한 시뮬레이션 결과이다. 사용된 스위치는 삽입 손실 0.35 dB의 이상적인 스위치를 사용하였다. 표 1에서 알 수 있듯이, 배열 수가 늘어날수록 스위치의 개수가 늘어나게 되며, 이에 따른 전체적인 삽입 손실이 증가하는 것을

표 1. 제안하는 재구성 분배기의 각 배열별 삽입 손실 시뮬레이션 결과

Table 1. Simulated results for insertion losses of proposed reconfigurable divider.

배열 수	스위치 수	동작 모드별 삽입 손실(dB)				
		1:1	1:2	1:3	1:4	1:5
2	3	0.54	0.33	-	-	-
3	5	0.88	0.55	0.6	-	-
4	7	1.21	0.8	0.84	0.97	
5	9	1.54	1.05	1.09	1.19	1.35

확인할 수 있다. 이로부터 스위치가 전체적인 회로의 삽입 손실에 영향을 미친다는 결론을 얻을 수 있으며, 제한한 시스템의 경우 임피던스 정합회로를 전력 분배기 접합부와 입력 포트 사이에 임피던스 정합 회로를 설계하였기 때문에, 스위치의 사용을 최소화하였다. 이는 제안한 재구성 전력 분배기가 저손실 시스템이라는 것을 의미하며, 따라서, 재구성 전력 분배기를 이용하여 빔 성형 안테나 설계 시 적절한 시스템을 구현하여 사용되는 스위치의 개수를 최소화시킬 수 있도록 해야 한다.

그림 3은 본 논문에서 제안한 1×5 재구성 분배기의 회로도/기본 동작 및 제작된 PCB 보드이다. 본 논문에서 구현할 빔 성형 배열 안테나의 경우, 동작 안테나가 세 개의 모드(1, 2, 4-array)로 구현되기 때문에, 임피던스 정합회로를 2-array 용(스위치 ①)과 4-array 용(스위치 ②)만을 설계하여 불필요한 스위치의 사용을 최소화하였다.

제안하는 재구성 분배기를 설계하기 위해서는 각 모드별로 스위칭 임피던스 정합 회로에 대해 분석하고 그 파라미터를 결정하는 것이 중요하다. 이 파라미터는 재구성 분배기의 각 모드별 정합 조건을 만족시켜야 하며, 이는 스위칭 전력 분배 회로의 입력 임피던스(Z_{in1})와 임피던스 정합 회로의 입력 임피던스(Z_{in2}) 간의 복소수 정합 조건(conjugate matching condition)을 만족시켜야 한다는 것을 의미한다.

우선, 각 모드 내 스위칭 전력 분배기의 입력 임피던스(Z_{in1})는 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$Z_{in1}(1:2) = \frac{Z_0(Z_0 + Z_{s,open})}{3Z_0 + 2Z_{s,open}}, \quad (1)$$

$$Z_{in1}(1:4) = \frac{Z_0(Z_0 + Z_{s,open})}{Z_0 + 4Z_{s,open}}, \quad (2)$$

또한, 각 모드별 임피던스 정합 회로의 입력 임피던스(Z_{in2})는

$$Z_{in2}(1:2) = Z_0 \frac{\left(Z_0 / \frac{Z_0^2}{jZ_0 \tan \phi_1 / Z_{s,open}} \right) + jZ_0 \tan \theta_1}{Z_0 + j \left(Z_0 / \frac{Z_0^2}{jZ_0 \tan \phi_1 / Z_{s,open}} \right) \tan \theta_1}, \quad (3)$$

동작 모드	동작 출력수	스위치 동작		
		①	②	③~⑦
1:1	1	On	On	4-Switch on
1:2	2	Off	On	3-Switch on
1:4	4	On	Off	1-Switch on

(a) 회로도/기본 동작

(a) Schematic/operation

(b) 제작된 PCB 보드

(b) Fabricated PCB board

그림 3. 제안하는 1×5 재구성 분배기
Fig. 3. Proposed 1×5 reconfigurable divider.

$$Z_{in2}(1:4) = Z_0 \frac{\left(Z_0 / \frac{Z_0^2}{jZ_0 \tan \phi_2 / Z_{s,open}} \right) + jZ_0 \tan \theta_2}{Z_0 + j \left(Z_0 / \frac{Z_0^2}{jZ_0 \tan \phi_2 / Z_{s,open}} \right) \tan \theta_2}, \quad (4)$$

로 나타낼 수 있다. 이를 바탕으로 각 모드별 복소수 정합 조건($Z_{in1} = Z_{in2}^*$)을 통해 각 파라미터를 구하면,

$$\theta_1 = \tan^{-1} \left(\frac{\sqrt{2Z_{s,open}^2 - 4Z_0^2}}{2Z_0 + 2Z_{s,open}} \right),$$

$$\phi_1 = \frac{Z_{s,open}(\tan^2\theta_1 - 1)}{\tan\theta_1(2Z_0 + Z_{s,open})}, \quad (5)$$

$$\theta_2 = \tan^{-1}\left(\frac{\sqrt{(Z_0 + Z_{s,open})(Z_{s,open} - 2Z_0)}}{2Z_0 + 2Z_{s,open}}\right),$$

$$\phi_2 = \frac{Z_{s,open}(\tan^2\theta_2 - 1)}{\tan\theta_2(2Z_0 + Z_{s,open})}, \quad (6)$$

로 나타낼 수 있다. 여기서, $Z_{s,open}$ 은 스위치가 open일 때의 스위치의 입력 임피던스로, 이상적인 스위치의 삽입 손실이 α 라 할 때, $Z_{s,open}$ 은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$Z_{s,open} = Z_0 \frac{1 + 10^{-\frac{\alpha}{10}}}{1 - 10^{-\frac{\alpha}{10}}}, \quad (7)$$

이 때, 스위치 삽입 손실이 0.35 dB일 경우, 위의 식 (1)~(7)로부터 각 파라미터를 수치화할 수 있다. 이렇게 하여 구해진 파라미터는 각각 $\theta_1=33.2^\circ$, $\phi_1=36.3^\circ$, $\theta_2=25.2^\circ$, $\phi_2=56.9^\circ$ 이다.

본 전력 분배기는 FR-4 기판으로 제작되었으며, 사용된 스위치는 NEC UPG-2010TB(삽입 손실: 0.3 dB @ 910 MHz) 제품을 사용하였다. 스위치의 위상차는 실제 그림에서처럼 Micro-Strip 라인을 통해 보정되었으며, 스위치의 제어는 Atmega-128을 통해 구현하였다.

또한, 그림 4는 제작된 1×5 재구성 분배기의 S-parameter 특성을 나타낸 것이다. On 포트는 중심주파수(910 MHz)에서 1:1 모드의 경우 약 -1.7 dB, 1:2 모드의 경우 -3.7 dB 그리고 1:4 모드의 경우 약 -6.7 dB의 전달 특성을 나타낸다. 즉, 각 모드별로 0.7~1.7 dB의 삽입 손실을 나타내는 것을 알 수 있으며, 이는 스위치의 삽입 손실에 의한 영향으로, 앞에서 설계한 정합 회로를 통해 분배기 내에서의 반사계수를 최소화한 것이기 때문에 최적화된 값이라고 볼 수 있다. 또한, Off 포트에서는 각 모드별로 약 -30~-25 dB의 전달 특성을 가지고 있으며, 반사 계수(S_{11})는 약 -20 dB 정도의 특성을 나타내고 있다. 따라서 제안하는 재구성 분배기의 특성을 이용하여 동작 안테나를 제어함을 통해 원하는 방향의 빔 방향 및 빔 폭에 대한 제어가 가능함을 확인할 수 있다.

(a) 1:1 모드

(a) 1:1 mode

(b) 1:2 모드

(b) 1:2 mode

(c) 1:4 모드

(c) 1:4 mode

그림 4. 측정된 1×5 재구성 분배기의 S-parameter 특성
Fig. 4. Measured S-parameter characteristics of 1×5 reconfigurable divider.

III. 저손실 재구성 전력 분배기를 이용한 빔 성형 배열 안테나 설계

본 장에서는 앞에서 소개한 재구성 전력 분배기를 이용하여 빔 성형 성능을 확인할 수 있는 입체형 5-배열 원형 편파 안테나를 그림 5와 같이 설계하였다. 제안하는 빔 성형 안테나의 단일 안테나로는 UHF 대역의 4-포트(0° , 90° , 180° , 270°) QSA(Quadri-filar Square Antenna) 원형 편파 안테나 구조가 사용되었다^[12]. 기판은 FR-4(유전율 4.6, 높이 0.6 mm) 이고, 자세한 방사 원리 및 설계 방법은 참고문헌에 자세히 설명되어 있다.

제안하는 입체형 배열 안테나의 경우, 5-방향으로 개별 안테나가 각각 방사가 가능하며, 또한 인접한 안테나를 동시에 작동시킴으로써, 안테나의 방사 세기가 작은 사각지대로의 방사가 가능하다. 또한, 다수의 안테나를 동시에 동작시킴으로써, 전 방향 방사가 가능하며, 다양한 기능을 수행할 수 있게 설계하였다. 물론 이는 2장에서 설명한 재구성 분배기를 통해 구현 가능하며, 배열을 적절하게 입체적 변형하여 구현한 것이다. 이것은 다양하게 안테나의 구조를 변형시켜서 다른 기능을 수행하는 안테나도 구현 가능하다는 것을 의미한다.

그림 6은 제작된 5-배열 입체형 원형 편파 안테나의 입력에서의 반사계수를 나타낸다. 제작된 안테나는 약 100 MHz 이상의 넓은 주파수 범위에서 -10 dB 이하의 반사계수를 가지는 광대역 특성을 나타내는데, 이러한 특성은 단일 안테나 급전 구조인 윌킨슨 파워 분배기의 광대역 특성으로부터 기인한 것이다^[12].

그림 7은 5-배열 원형 편파 안테나의 각 모드별 측정 패턴(x-y 방향 및 x-z 방향)을 나타낸다. 1:1 모드에서는 한 개의 정면 안테나가 동작하는 모드와 한 개의 측면 안테나가 동작하는 모드를 측정하였고, 1:2 모드에서는 두 개의 이웃하는 측면 안테나가 동작하는 모드를 측정하였다. 그리고 1:4 모드에서는 네 개의 측면 안테나가 동작하는 모드를 측정하였다. 그림 9로부터 1:1 모드에서는 약 1.6 dBic의 방사 이득 및 약 100° 의 3-dB 빔 폭을 가지는 것을 확인할 수 있으며, 정면 안테나 및 측면 안테나를 순차적으로 동작시킴으로써 빔 성형이 이루어지는 것을 확인

Parameter(mm)	W_a	W_g	W_{g2}	L_1
Value	60	100	200	60.5
Parameter(mm)	L_2	L_3	L_4	H_a
Value	2.5	4	3	15

그림 5. 제안하는 5-배열 입체형 원형 편파 빔 성형 안테나 구조

Fig. 5. Structure of the proposed 5-array circular polarized beam-forming antenna.

그림 6. 제안하는 입체형 5-배열 원형 편파 안테나의 반사 계수

Fig. 6. Reflection coefficients of the proposed 5-array beam-forming antenna.

할 수 있다. 또한, 1:2 모드는 약 4 dBic의 방사 이득 및 약 70° 의 3-dB 빔 폭을 가지는 것을 확인할 수 있

으며, 두 개의 안테나 사이로 주 빔이 방사하는 것을 확인할 수 있다. 그리고 1:4 모드는 약 1 dBic의 방사

이득을 가지며, 수직 방향 및 안테나 하단을 제외한 전 방향이 3-dB 빔 폭의 영역에 들어오는 것을 확인

그림 7. 제안하는 입체형 5-배열 원형 편파 안테나의 방사 패턴(x-y 방향 및 x-z 방향)

Fig. 7. Radiation patterns of the proposed 5-array beam-forming antenna(x-y direction and x-z direction).

그림 8. 제안하는 입체형 5-배열 원형 편파 안테나의 각 모드별 축비 특성(x-y 방향 및 x-z 방향)
Fig. 8. Axial ratios of the proposed 5-array beam-forming antenna(x-y direction and x-z direction).

할 수 있다. 이는 4-안테나 모드가 전 방향에 가까운 방사를 한다는 것을 의미한다.

또한, 그림 8은 각 안테나 모드별 축비(axial ratio)를 나타낸 그래프이다. 각 모드별로 주 빔이 방사하는 축으로 측정을 하였으며, 각 모드별로 주 빔이 방사되는 각도 부근에서는 4-안테나 모드를 제외하고는 축비가 1 dB 부근인 것을 알 수 있다. 그리고, 빔 폭 및 측정 각도 별로 3-dB 축비 범위가 약 60~140°가 되는 것을 알 수 있다. 한편, 4-안테나 모드에서는 축비가 거의 전 범위에 걸쳐서 3 dB 이내 혹은 그 부근에 위치하는 것을 확인할 수 있으며, 이는 4-안테나 모드가 원형 편파의 방사 성능을 만족시키며 x-y 축의 전 방향으로 방사하는 것을 의미한다. 따라서, 각

모드별 방사 특성 및 축비 특성을 통해 제안하는 빔 폭 제어 빔 성형 안테나가 원형 편파 안테나에도 적용이 가능하다는 것을 확인할 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 910 MHz 대역의 저손실 재구성 전력 분배기를 이용한 새로운 구조의 빔 성형 안테나를 제안하였다. 제안하는 빔 성형 안테나의 경우, 기존의 빔 성형 안테나인 위상 배열 안테나 및 스위칭 빔 성형 안테나 제약 조건들을 개선하기 위해 연구되었으며, 특히 제안하는 재구성 전력 분배기는 시스템의 구조적으로 확장성을 극대화하고, 복잡성을 최소화

하였다. 또한, 저손실 설계를 위해 이론적인 분석을 수행하여 해결책을 제시하였고, 이를 실험을 통해 빔 성형 안테나의 저손실 급전 구조로서 적합하다는 것을 확인하였다. 또한, 입체형 5-배열 원형 편파 구조의 빔 성형 안테나를 직접 설계, 구현하여 제안된 구조가 빔 성형에 적합함을 확인하였다. 또한, 제안하는 안테나는 1:1, 1:2 그리고 1:4의 세 개의 모드가 존재하고, 1~4 dBic의 방사 이득 및 70°부터 전 방향에 가까운 범위까지 다양한 3-dB 빔 폭을 갖는 것을 확인하였다. 본 연구를 통해 제안한 재구성 전력 분배기를 이용한 빔 성형 배열 안테나 시스템은 기존의 빔 성형 안테나의 단점을 보완하고, 각종 무선 통신에서의 빔 성형 안테나의 적용 가능할 것으로 판단되며, 특히 제안하는 안테나의 경우 RFID 시스템에서, 사용 환경에 따라 다양한 모드를 가지는 기능을 통해, 높은 인식 감도를 가지는 안테나로 활용 가능할 것으로 예상된다.

참 고 문 헌

- [1] K. Wu, L. Zhang, Z. Shen, and B. Zheng, "An anti-Jamming 5-element GPS antenna array using phase-only nulling", in *Proc. IEEE ITS Telecomm.*, pp. 370-373, Jun. 2006.
- [2] N. Karmakar, "Optical beam-forming phased arrays for UWB chipless RFID reader", *Handbook of Smart Antennas for RFID Systems*, Wiley-IEEE Press, pp. 243-281, 2010.
- [3] W. Wang, A. Krishnan, K. Lim, A. Feng, and N. Boonpoh, "A simple beam-forming network for 802.11b/g WLAN systems", in *Proc. IEEE Comm. Systems, International Conf.*, pp. 809-812, Nov. 2008.
- [4] L. C. Godara, "Application of antenna arrays to mobile communications, part II: beam-forming and direction-of-arrival considerations", in *Proc. IEEE*, vol. 85, pp. 1195-1245, Aug. 1997.
- [5] C. Song, A. Mak, B. Wong, D. George, and R. Murch, "Compact low cost dual polarized adaptive planar phased array for WLAN", *IEEE Trans. Antennas and Propagat.*, vol. 53, no. 8, pp. 2406-2416, Aug. 2005.
- [6] A. Dimitriou, A. Bletsas, and J. Sahalos, "Room-coverage improvements in UHF RFID with commodity hardware", *IEEE Antennas and Propaga. Magazine*, vol. 53, no. 1, pp. 175-194, Feb. 2011.
- [7] M. S. Sharawi, D. N. Aloï, "Design of an 8-element switched mode circular antenna array for vehicular direction finding", in *Proc. IEEE Wireless and Microwave Tech. Conf.*, pp. 1-4, Apr. 2011.
- [8] S. J. Ha, C. W. Jung, and Y. J. Kim, "Reconfigurable 3D beam steering for intelligent antenna system", *Microwave Opt. Technol. Lett.*, vol. 53, pp. 2615-2619, Aug. 2011.
- [9] D. Kim, S. Kim, Y. Kim, H. Lim, and J. Jang, "Switched microstrip array antenna for RFID system", in *Proc. Eur. Microwave Conf.*, pp. 1254-1257, Oct. 2008.
- [10] Y. Chung, R. Song, K. T. Kim, D. Ahn, and T. Itoh, "Power routing scheme with dual operating modes: two-way Wilkinson divider and one-way signal path", *IET Electron. Lett.*, vol. 40, no. 2, pp. 129-130, 2004.
- [11] T. Lehmann, F. Hettstedt, and R. Knoechel, "Reconfigurable Wilkinson power dividers with minimum number of switches", *IET Electron. Lett.*, vol. 45, no. 2, pp. 111-112, 2009.
- [12] W. I. Son, H. L. Lee, M. Q. Lee, S. B. Min, and J. W. Yu, "Compact square quadrifilar spiral antenna with circular polarization for UHF mobile RFID reader", in *Proc. IEEE Asia-Pacific Microw. Conf.*, pp. 2272-2274, Dec. 2010.

태 현 성

2005년 3월: Department of Electronics and Material Physics, Osaka University (공학사)

2011년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)

2011년 2월~현재: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사과정

[주 관심분야] 마이크로파/밀리미터파 회로(MMIC, Hybrid), 무선 통신 시스템, Beam-forming 통신

오 경 섭

1994년 2월: 전북대학교 전자공학과 (공학사)

1997년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)

2004년 8월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학박사)

2010년 2월~현재: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 연구교수

[주 관심분야] 마이크로파/밀리미터파 회로(MMIC, Hybrid), 무선 통신 시스템

손 왕 익

2006년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학사)

2008년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)

2008년 2월~현재: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사과정

[주 관심분야] 마이크로파/밀리미터파 회로(MMIC, Hybrid), 무선 통신 시스템, GPS/RFID 통신

유 중 원

1992년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학사)

1994년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)

1998년 7월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학박사)

2004년 2월~현재: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 부교수

[주 관심분야] 마이크로파/밀리미터파 회로(MMIC, Hybrid), 무선 통신 시스템

장 형 석

2008년 7월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학사)

2010년 7월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)

2010년 7월~현재: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사과정

[주 관심분야] 마이크로파/밀리미터파 회로(MMIC, Hybrid), 무선 통신 시스템, 무선 전력 전송