

논문 2014-51-1-10

단일채널 모노펄스수신기에 관한 연구

(A Study on 1-Channel Monopulse Receiver)

권혁자*, 이영진*, 정진우*

(Hyuk-Ja Kwon[Ⓒ], Young-Jin Lee, and Jin-Woo Jung)

요약

본 논문에서는 새로운 구조의 단일채널 모노펄스수신기 및 동작 절차를 제시하였다. 또한, 제안한 수신기와 일반적인 3채널 모노펄스수신기를 비교 분석 하였으며, 시뮬레이션을 통해 제안한 수신기에서 획득되는 모노펄스기울기가 3채널 모노펄스수신기와 동일함을 검증하였다. 제안한 수신기는 3채널의 수신기 및 신호처리를 요구하는 일반적인 3채널 모노펄스수신기에 비해 1채널의 수신기를 요구하고 신호처리가 필요 없으므로 수신부 및 처리부의 구조가 간단하고, 크기, 무게, 비용, 소모전력 측면에서 절감 등의 이점을 갖고 있다. 또한, 제안한 모노펄스수신기는 수신기의 검출기에 의해 측정된 합 및 차 신호의 동위상 결합전력에서 역위상 결합전력의 차이를 이용하여 모노펄스 추적을 수행하므로 모노펄스 추적절차가 용이하다.

Abstract

In this paper, we proposed the 1-channel monopulse receiver which has the new configuration and described the operation procedures. Also, we compared and analyzed the proposal receiver and the general 3-channel monopulse receiver. As a result, it is apparent that the monopulse ratio of the proposal receiver is equal to that of the 3-channel monopulse receiver. The proposal receiver achieve the simple receiver configuration and the simple tracking procedures, as contrasted with the 3-channel monopulse receiver. Also, the proposal receiver has advantages in terms of size, weight, cost and power. Because the proposal monopulse receiver require 1-channel receiver and need not the signal processor in comparison with 3-channel monopulse receiver which require 3-channel receiver and need the signal processor.

Keywords: 1-channel monopulse receiver, 3-channel monopulse receiver, monopulse ratio

I. 서론

모노펄스시스템은 표적의 오차각 정보를 추출하는 시스템으로써 레이더, 위성통신 및 데이터링크 등의 응용분야에 표적탐지 및 통신신호 추적을 위해 널리 적용되고 있다. 모노펄스시스템은 수신신호를 4개의 혼안테나와 모노펄스비교기를 통해 합신호 및 차신호(방위각방향, 앙각방향)를 형성하고, 합/차 신호의 진폭 비 (Monopulse ratio : 모노펄스기울기)를 이용하여 표적을 추적하는 시스템이다. 일반적인 모노펄스시스템은

안테나, 모노펄스비교기, 모노펄스수신기 및 모노펄스 처리기로 구성할 수 있으며 수신구조에 따라 3채널, 2채널, 단일채널 모노펄스시스템으로 분류 할 수 있다. 3채널 모노펄스시스템은 합신호, 방위각 차신호, 앙각 차신호에 대하여 각각 모노펄스수신기 및 처리기를 거쳐 모노펄스 추적을 수행하는 시스템이며, 2채널 모노펄스시스템은 방위각/앙각 차신호가 스위칭 되어 모노펄스 추적을 수행하는 시스템이다. 3채널 모노펄스시스템은 3채널 모노펄스수신기를 가지며, 2채널 모노펄스시스템은 2채널 모노펄스수신기를 가진다^[1]. 그리고 본 논문에서 제안하는 단일채널 모노펄스시스템은 합/차 신호가 결합되어 단일채널 모노펄스수신기를 이용하는 시스템이다. 단일채널 모노펄스시스템은 단일채널의

* 정회원, 삼성탈레스 통신시스템그룹
(Samsung Thales, Comm. Sys. Group)

Ⓒ Corresponding Author(E-mail: hyukja.kwon@samsung.com)
접수일자: 2013년8월28일, 수정완료일: 2013년12월26일

수신기를 이용하기 때문에 무게, 크기, 비용, 소모전력 측면에서 3채널 및 2채널 모노펄스시스템과 비교하여 이점을 갖는다.

본 논문에서는 3채널 모노펄스수신기를 이용하는 3채널 모노펄스시스템구조와 동등한 추적성능을 가지면서 신호처리가 단순한 단일채널 모노펄스시스템에 적용 가능한 단일채널 모노펄스수신기의 구조 및 동작 절차를 제시하였다. 또한, 제안한 단일채널 구조와 3채널 모노펄스시스템 구조를 비교 및 분석함으로써, 제안한 단일채널 수신기를 이용한 시스템이 3채널 모노펄스시스템과 동일한 모노펄스기울기를 획득할 수 있음을 증명하고 그 조건을 제시하였다.

II. 모노펄스수신기 분석

1. 일반적인 3채널 모노펄스수신기

그림 1은 일반적인 3채널 모노펄스시스템의 구조를 나타낸 것이다.

3채널 모노펄스시스템은 그림 1과 같이 4개의 혼 안테나, 모노펄스비교기, 저잡음증폭기(LNA: Low Noise Amplifier), 믹서, 증폭기 및 진폭/위상 검출기 등으로 구성된 3채널의 모노펄스수신기가 필요하다. 또한, 수신기간의 위상동기를 위해 공통의 국부 발진부를 사용하여야 한다. 이 때 3채널의 자동이득조절은 합채널의 수신기를 통해서 이루어지며, 방위각 오차각과 양각 오차각은 위상검출기를 통해 검출된다^[2].

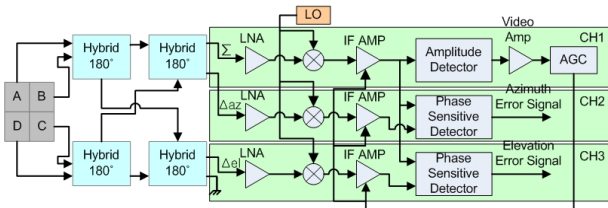


그림 1. 3채널 모노펄스시스템 구조
Fig. 1. 3-channel monopulse system configuration.

2. 제안하는 단일채널 모노펄스수신기

그림 2는 본 논문에서 제안하는 단일채널 모노펄스시스템 구조를 보여준다.

단일채널 모노펄스시스템은 4개의 혼 안테나, 모노펄스비교기, 저잡음증폭기(LNA: Low Noise Amplifier), 신호결합기, 위상변환기 및 믹서 등으로 구성된 단일채

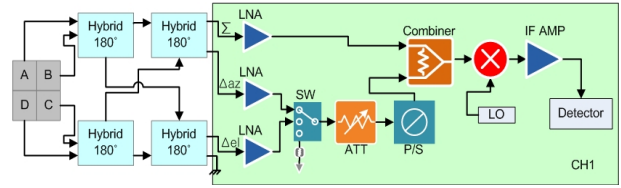


그림 2. 제안한 단일채널 모노펄스시스템 구조
Fig. 2. Proposal 1-channel monopulse system configuration.

널 모노펄스수신기로 구성된다. 제안하는 단일채널 모노펄스수신기는 모노펄스비교기로부터 인입되는 합/차 신호를 위상변환기와 신호결합기를 통해 동위상 및 역위상으로 신호를 결합하는 구조이다. 또한, 다음과 같은 절차에 의해 모노펄스기울기 인 합신호와 차신호에 대한 진폭 비를 추출할 수 있다.

1. 합/차신호의 동위상 결합에 의한 전력 추출
2. 합/차신호의 역위상 결합에 의한 전력 추출
3. 동위상/역위상 결합 전력 비교에 의한 좌우 구분
4. 모노펄스기울기 :
동위상 결합 전력 - 역위상 결합 전력

3채널 모노펄스수신기의 각 수신기로부터 얻어지는 합신호와 차신호의 전력 비인 모노펄스기울기는 제안된 단일채널 모노펄스수신기에서의 동위상 결합 전력-역위상 결합 전력과 유사하다.

본 논문에서는 제안한 단일채널 모노펄스수신기의 구조와 동작절차에 의해 3채널 모노펄스수신기와 동일한 모노펄스기울기를 획득할 수 있음은 다음과 같이 증명할 수 있다.

가. 신호결합기 입출력 파워 분석

그림 3은 일반적인 신호결합기의 구조를 보여준다. 신호결합기의 P_2, P_3 입력파워와 V_2, V_3 입력전원은 다음의 수식과 같이 표현될 수 있다.

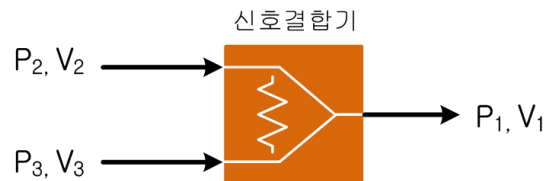


그림 3. 신호결합기 구조
Fig. 3. Combiner configuration.

$$P_2 = \frac{V_2^2}{2R}, V_2 = \sqrt{2RP_2} \quad (1)$$

$$P_3 = \frac{V_3^2}{2R}, V_3 = \sqrt{2RP_3} \quad (2)$$

신호결합기의 P_1 출력파워 및 V_1 출력전원은 다음의 수식과 같다^[3].

$$V_1 = \frac{1}{\sqrt{2}} V_2 + \frac{1}{\sqrt{2}} V_3 = \frac{1}{\sqrt{2}} (V_2 + V_3) \quad (3)$$

$$P_1 = \frac{V_1^2}{2R} \quad (4)$$

식 (1)~(4)에 의해, 신호결합기에 동위상 및 역위상으로 P_2, P_3 신호가 입력 될 경우의 출력파워 P_1 은 다음 수식과 같이 표현될 수 있다.

$$P_1^{\text{동}} = \frac{1}{2} (P_2 + 2\sqrt{P_2P_3} + P_3) \quad (5)$$

$$P_1^{\text{역}} = \frac{1}{2} (P_2 - 2\sqrt{P_2P_3} + P_3) \quad (6)$$

* Voltage 및 Power의 단위는 linear(mW) 값임

나. 제안한 수신기의 모노펄스기울기 분석

본 논문에서 제안한 단일채널 모노펄스수신기 구조 (그림 2)는 그림 4와 같이 나타낼 수 있다. 그림 4에서 P_{Σ} 은 합채널 입력파워, $P_{\Delta AZ}$ 및 $P_{\Delta EL}$ 는 방위각 및 양각 차채널 입력파워, A는 합채널 경로 이득, B는 차채널 경로 이득, P_2 는 신호결합기 합신호 입력파워, P_3 는 신호결합기 차신호 입력파워, P_1 는 신호결합기 합/차 결합 출력파워를 의미한다.

동위상 및 역위상 전력을 dBm 단위로 변환하면 다

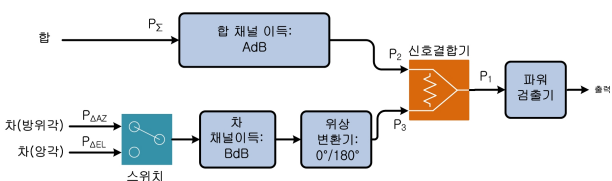


그림 4. 제안한 단일채널 모노펄스수신기 등가구조
Fig. 4. Designed 1-channel monopulse receiver configuration.

음과 같다.

$$P_{1,dBm}^{\text{동}} = 10\log P_1^{\text{동}} \quad (7)$$

$$P_{1,dBm}^{\text{역}} = 10\log P_1^{\text{역}} \quad (8)$$

제안한 수신기의 모노펄스기울기($\frac{\Delta}{\Sigma} P$)는 다음의 수식과 같다.

$$\begin{aligned} \frac{\Delta}{\Sigma} P &= P_{1,dBm}^{\text{동}} - P_{1,dBm}^{\text{역}} = 10\log P_1^{\text{동}} - 10\log P_1^{\text{역}} \\ &= 10\log \frac{P_1^{\text{동}}}{P_1^{\text{역}}} = 10\log \frac{P_2 + 2\sqrt{P_2P_3} + P_3}{P_2 - 2\sqrt{P_2P_3} + P_3} \\ &= 10\log \frac{(\sqrt{P_2} + \sqrt{P_3})^2}{(\sqrt{P_2} - \sqrt{P_3})^2} = 20\log \frac{1 + \sqrt{\frac{P_3}{P_2}}}{1 - \sqrt{\frac{P_3}{P_2}}} \quad (9) \end{aligned}$$

여기서,

$$P_2 = 10^{\frac{A}{10}} \cdot P_{\Sigma} \quad (10)$$

$$P_3 = 10^{\frac{B}{10}} \cdot P_{\Delta} \quad (11)$$

$$\frac{\Delta}{\Sigma} g = \frac{V_{\Delta}}{V_{\Sigma}} = \sqrt{\frac{P_{\Delta}}{P_{\Sigma}}} \quad (12)$$

그러므로,

$$\begin{aligned} \frac{\Delta}{\Sigma} P &= 20\log \frac{1 + \alpha \sqrt{\frac{P_{\Delta}}{P_{\Sigma}}}}{1 - \alpha \sqrt{\frac{P_{\Delta}}{P_{\Sigma}}}} \\ &= 20\log \frac{1 + \alpha \frac{\Delta}{\Sigma} g}{1 - \alpha \frac{\Delta}{\Sigma} g} \quad (13) \end{aligned}$$

여기서,

$$\alpha = \sqrt{\frac{10^{\frac{B}{10}}}{10^{\frac{A}{10}}}} = \sqrt{10^{\frac{B-A}{10}}} \quad (14)$$

이때, 차채널의 이득과 합채널의 이득 차이로부터 얻어지는 α 를 약 0.1~0.13의 값을 갖도록 수신기를 설계 (합/차 채널의 이득차이를 18~20dB 정도 갖도록 설계) 하면, 본 논문에서 제안한 단일채널 모노펄스수신기의 기율기 $\frac{\Delta}{\Sigma} P$ 는 3채널 모노펄스수신기의 일반적인 기율기 $2 * \frac{\Delta}{\Sigma} g$ 와 거의 유사한 값을 가진다.

α 가 0.1 ~ 0.13의 값을 갖도록 하는 수신기의 합/차 채널의 이득 설계 값은 다음과 같다.

- $\alpha = 0.13$: 합/차 채널 이득차이 18dB
- $\alpha = 0.11$: 합/차 채널 이득차이 19dB
- $\alpha = 0.10$: 합/차 채널 이득차이 20dB

또한, 합/차 채널의 동위상 및 역위상 결합을 위해 차채널 경로에 6bit 이상의 위상변환기를 구성한다. 동위상 및 역위상 결합을 위한 위상조정은 네트웍분석기를 이용하여 합채널의 위상 측정 후 합채널 대비 차채널이 동위상 및 역위상의 위상을 갖도록 차채널 경로의 위상변환기의 위상을 조정한다.

III. 모노펄스기율기 분석결과

안테나 합/차 패턴을 통해 획득한 모노펄스기율기와 일반적인 3채널 모노펄스시스템의 모노펄스기율기는 동일하므로, 본 논문에서는 이득이 42dB이며, 3dB 대역폭이 $1.2^\circ (\pm 0.6^\circ)$ 인 고 지향성 안테나의 합/차 패턴을 통해 획득한 모노펄스기율기(일반적인 3채널 모노펄스시스템의 모노펄스기율기)와 본 논문에서 제안한 단일채널 모노펄스수신기에서의 모노펄스기율기를 비교분석하였다.

표 1은 $\pm 1^\circ$ 범위에서 0.1° 간격으로 안테나 합/차 신호의 이득 값 및 안테나 패턴에 의한 모노펄스기율기를 보여준다. 여기에서 모노펄스기율기는 일반적으로 사용되는 전체 기율기가 아니며 제시된 방식과의 비교를 정확하게 하기 위해 각도차 만큼의 기율기값을 나타낸 것이다.

본 논문에서 제안한 단일채널 모노펄스수신기의 α 값 변화 따른 모노펄스기율기를 분석하여 표 2에 나타내었다.

표 3 및 그림 5는 안테나 출력 단에서의 모노펄스기율기와 본 논문에서 제안한 단일채널 모노펄스수신기의

표 1. 안테나 합/차 이득 패턴 및 모노펄스기율기
Table 1. Antenna sum/delta gain pattern and monopulse ratio.

각도(°)	안테나 이득(dBi)		$\frac{\Delta}{\Sigma} g$
	Σ (합)	Δ (차)	
-1	31.37	36.97	1.91
-0.9	34.20	36.77	1.34
-0.8	36.48	36.41	0.99
-0.7	38.34	35.85	0.75
-0.6	39.84	35.06	0.58
-0.5	41.05	33.94	0.44
-0.4	42.00	32.40	0.33
-0.3	42.72	30.21	0.24
-0.2	43.22	26.91	0.15
-0.1	43.52	21.02	0.07
0	43.62	0.00	0.01
0.1	43.52	21.02	0.07
0.2	43.22	26.91	0.15
0.3	42.72	30.21	0.24
0.4	42.00	32.40	0.33
0.5	41.05	33.94	0.44
0.6	39.84	35.06	0.58
0.7	38.34	35.85	0.75
0.8	36.48	36.41	0.99
0.9	34.20	36.77	1.34
1	31.37	36.97	1.91

표 2. 제안한 수신기의 모노펄스기율기
Table 2. Monopulse ratio of the proposal receiver.

각도(°)	α 값			$\frac{\Delta}{\Sigma} P$		
	α_1	α_2	α_3	$\frac{\Delta}{\Sigma} P_{\alpha 1}$	$\frac{\Delta}{\Sigma} P_{\alpha 2}$	$\frac{\Delta}{\Sigma} P_{\alpha 3}$
-1	0.13	0.11	0.10	4.25	3.77	3.35
-0.9	0.13	0.11	0.10	2.97	2.64	2.35
-0.8	0.13	0.11	0.10	2.18	1.94	1.73
-0.7	0.13	0.11	0.10	1.65	1.47	1.31
-0.6	0.13	0.11	0.10	1.26	1.13	1.00
-0.5	0.13	0.11	0.10	0.97	0.86	0.77
-0.4	0.13	0.11	0.10	0.72	0.65	0.58
-0.3	0.13	0.11	0.10	0.52	0.46	0.41
-0.2	0.13	0.11	0.10	0.33	0.30	0.27
-0.1	0.13	0.11	0.10	0.16	0.15	0.13
0	0.13	0.11	0.10	0.01	0.01	0.01
0.1	0.13	0.11	0.10	0.16	0.15	0.13
0.2	0.13	0.11	0.10	0.33	0.30	0.27
0.3	0.13	0.11	0.10	0.52	0.46	0.41
0.4	0.13	0.11	0.10	0.72	0.65	0.58
0.5	0.13	0.11	0.10	0.97	0.86	0.77
0.6	0.13	0.11	0.10	1.26	1.13	1.00
0.7	0.13	0.11	0.10	1.65	1.47	1.31
0.8	0.13	0.11	0.10	2.18	1.94	1.73
0.9	0.13	0.11	0.10	2.97	2.64	2.35
1	0.13	0.11	0.10	4.25	3.77	3.35

표 3. 모노펄스기울기 비교
Table 3. The comparison results of monopulse ratio.

각도 (°)	$2 * \frac{\Delta}{\Sigma} g$	$\frac{\Delta}{\Sigma} p$		
		$\frac{\Delta}{\Sigma} p_{\alpha 1}$	$\frac{\Delta}{\Sigma} p_{\alpha 2}$	$\frac{\Delta}{\Sigma} p_{\alpha 3}$
-1	3.81	4.25	3.77	3.35
-0.9	2.69	2.97	2.64	2.35
-0.8	1.98	2.18	1.94	1.73
-0.7	1.50	1.65	1.47	1.31
-0.6	1.15	1.26	1.13	1.00
-0.5	0.88	0.97	0.86	0.77
-0.4	0.66	0.72	0.65	0.58
-0.3	0.47	0.52	0.46	0.41
-0.2	0.31	0.33	0.30	0.27
-0.1	0.15	0.16	0.15	0.13
0	0.01	0.01	0.01	0.01
0.1	0.15	0.16	0.15	0.13
0.2	0.31	0.33	0.30	0.27
0.3	0.47	0.52	0.46	0.41
0.4	0.66	0.72	0.65	0.58
0.5	0.88	0.97	0.86	0.77
0.6	1.15	1.26	1.13	1.00
0.7	1.50	1.65	1.47	1.31
0.8	1.98	2.18	1.94	1.73
0.9	2.69	2.97	2.64	2.35
1	3.81	4.25	3.77	3.35

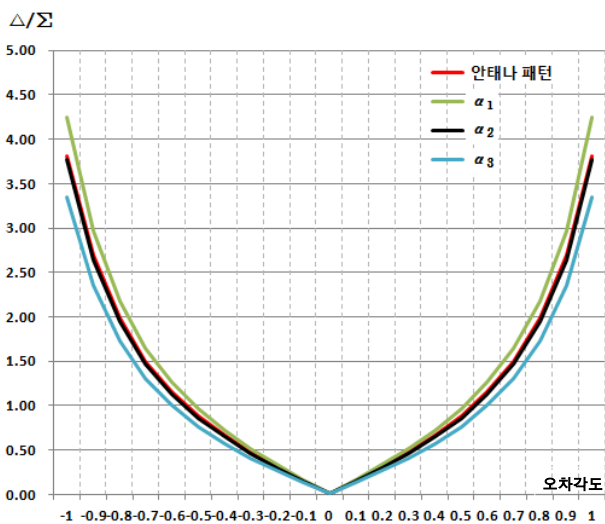


그림 5. 안테나 패턴에 의한 모노펄스기울기와 제안한 수신기의 모노펄스기울기

Fig. 5. Monopulse ratio by antenna pattern and monopulse ratio of the proposal receiver.

모노펄스기울기를 비교분석한 결과를 나타낸 것이다.

$\frac{\Delta}{\Sigma} g$ 는 안테나 합/차 이득패턴을 통해 획득한 모노펄스기울기(일반적인 3채널 모노펄스수신기의 모노펄스기

울기)이며, $\frac{\Delta}{\Sigma} p$ 는 제안한 1채널 모노펄스수신기의 모노펄스기울기를 의미하며 $\alpha_1 = 0.13$, $\alpha_2 = 0.11$, $\alpha_3 = 0.10$ 각 경우에 대한 모노펄스기울기를 분석하였다.

본 논문에서 제안한 단일채널 모노펄스수신기와 일반적인 3채널 모노펄스수신기의 모노펄스기울기는 표 3 과 그림 5의 비교결과와 같이 그 값이 유사함을 알 수 있다. 특히, 표 3 및 그림 5를 통해 제안한 수신기의 α 가 0.11의 값을 가질 경우 제안한 모노펄스수신기와 일반적인 3채널 모노펄스수신기의 모노펄스기울기가 거의 동일한 값이 얻어짐을 알 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 단일채널 모노펄스수신기의 구조와 동작 절차를 제시하였으며, 제안한 수신기를 이용한 단일채널 모노펄스시스템과 3채널 모노펄스시스템의 기울기를 비교 분석하였다. 안테나 패턴을 이용한 시뮬레이션을 통해 제안한 수신기에서 획득되는 모노펄스기울기가 3채널 모노펄스시스템의 기울기와 동일함을 검증하였다. 특히, 제안한 수신기 구조에서 α 가 0.11의 값을 가질 경우 모노펄스기울기가 거의 동일한 값이 얻어짐을 알 수 있었다. 또한, 필요에 따라 모노펄스기울기 및 형태를 안테나의 빔폭과 squint angle을 통해서 조절하지 않고 α 값을 조절하여 일정부분은 최소한의 노력으로 획득할 수 있음을 유추할 수 있다.

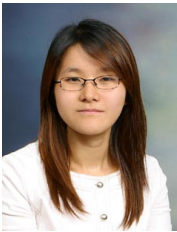
본 논문에서 제안한 구조의 모노펄스수신기는 오차각 측정 속도 및 신호변화에 대한 민감성이 3채널 모노펄스수신기에 비해 단점을 갖지만, 3채널 수신기 및 신호처리기를 요구하는 3채널 모노펄스수신기 대비 1채널 수신기를 요구하고 신호처리가 필요 없으므로 수신부 및 처리부의 구조가 간단하다. 또한, 수신기의 디텍터에 의해 측정된 합 및 차신호의 동위상 결합전력에서 역위상 결합전력의 차이를 이용하여 모노펄스 추적을 수행하므로 오차각 측정절차 및 좌우구분이 용이하다.

따라서, 항공기나 위성과 같이 크기, 무게, 비용, 소모 전력 등이 중요한 플랫폼에 탑재될 경우 획기적인 절감을 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

REFERENCES

- [1] Dean D. Howard, "Tracking Radar," in Radar Handbook, 2d edition. edited by Merrill Skolnik, McGraw-Hill, New York and London, 1990, Chapter 18.
- [2] Bassem R. Mahafza, "Radar Systems Analysis and Design Using MATLAB," Chapman & Hall/CRC, 2000.
- [3] David M. Pozar, "Microwave Engineering, second edition," in University of Massachusetts at Amherst.

저 자 소 개



권혁자(정회원)
2005년 동국대학교 전자공학과
(공학사),
2007년 동국대학교 전자공학과
(공학석사),
2005년~현재 삼성탈레스
통신시스템그룹

<주관심 분야 : 수신기 및 통신시스템 설계>



이영진(정회원)
2002년 한양대학교 전기/전자공학과
(공학사),
2003년 한양대학교 전기/전자공학과
(공학석사),
2010년~현재 삼성탈레스
통신시스템그룹

<주관심 분야 : 신호처리 및 통신시스템 설계>



정진우(정회원)
2005년 전남대학교 정보통신
공학부 (공학사)
2007년 전남대학교 전자정보통신
공학과 (공학석사),
2011년 전남대학교 전자컴퓨터
공학과 (공학박사)

2012년~현재 국방과학연구소

<주관심 분야 : 안테나 및 수치해석>