

논문 2007-44CI-4-6

수동형 RFID 시스템 적용을 위한 Isolation 개선 방법

(A Method to Improve Isolation for Passive RFID Applications)

김재권*, 범진욱**

(Jaekwon Kim and Jinwook Burm)

요약

송신 시스템과 수신 시스템에 동일한 주파수를 사용하는 pulse-modulated 방식의 RFID (Radio Frequency Identification) 시스템에서 송신 시스템과 수신 시스템 사이의 isolation 특성은 중요한 문제점이다. 제안된 방법은 송신 시스템에 스위치와 믹서, 오실레이터를 사용하여 RFID 시스템의 송신 시스템과 수신 시스템 사이의 isolation 특성을 개선하였다. 제안된 시스템은 송신 시스템에서 up-convert된 출력 신호와 수신 신호의 주파수를 다르게 하여 isolation 특성을 개선한 것이다. 이 방법을 사용하여 20 dB의 isolation 특성 개선 효과를 얻었다.

Abstract

The isolation between transmitter and receiver has been a critical problem in a pulse-modulated RFID (Radio Frequency Identification) system where transmitter and receiver use the identical frequency. A method using a switch, a mixer, a BPF (band-pass filter), and an additional oscillator in the transmitter is proposed to improve the isolation between transmitter and receiver in an RFID system. The proposed system up-converts the outgoing wave from a frequency different from the received signal and improves the isolation. The proposed method provided additional 20 dB improvement on the isolation.

Keywords: Surface Acoustic Wave, Passive RFID system, Heterodyne receiver

I. 서론

RFID 시스템은 수신 시스템과 tag 사이에 back-scattered 신호 변조로 구성되어있는 무선 통신 시스템이다. 최근 RFID 시스템은 사물의 위치정보와 ID (Identification) 식별을 위한 무선송수신 시스템이 급속도로 발전되고 있다^[1].

RFID 기술은 현재 사용되고 있는 바코드 (bar code) 시스템을 대체할 수 있는 기술로 주목받고 있다. 따라서 RFID 기술을 이용한 활용 범위는 지금보다 넓은 영역에서 활용될 것이다. 또한 세계의 IT (Information

Technology) 산업은 RFID 기술 활용을 위해 활발히 연구될 것이다. RFID 기술이 바코드를 완전히 대체하기 이전에 많은 문제점을 해결하고 기술을 발전 시켜야 한다. 세계의 여러 IT 기업들이 RFID 시장을 선점하기 위하여 많은 연구와 개발이 진행 중이다.

기본적인 RFID 시스템은 안테나, 송수신 시스템, tag 와 마이크로프로세서로 구성되어있다. RFID 시스템은 송수신 시스템과 작은 크기의 여러 개의 고주파 tag 정보를 처리할 수 있는 프로세서로 구성된다. 따라서 동시에 여러 개의 사물을 인식할 수 있는 RFID 기술은 바코드 기술보다 뛰어나며 대체하여 사용할 수 있다. RFID 기술은 여러 산업 현장에서 적용이 가능하며, 센서 기술을 접목하여 교통이나 환경을 감시, 조절하는데 사용할 수 있다.

RFID 시스템은 tag에 전원 사용 유무에 따라 크게 능동형 시스템과 수동형 시스템으로 분류된다. 수동형

* 학생회원, ** 정회원, 서강대학교 전자공학과
(Dept. of Electronic Eng., Sogang University)

※ 본 연구는 정보통신부 및 정보통신 진흥 연구원의 대학 IT연구센터(차세대 RFID/USN 기술 연구센터) 육성, 지원 사업의 연구결과로 수행되었음
접수일자: 2007년6월7일, 수정완료일: 2007년6월25일

tag는 전원이 필요 없으며 저가로 제작이 가능하다. 수동형 tag의 전원은 송신 시스템으로부터 인가되는 송신 신호의 전력을 사용한다. 에너지와 반사 신호를 효율적으로 만들어내는 기술이 수동형 tag 제작에 필요한 기술이다. 따라서 수동형 RFID 시스템은 송신 전력을 tag에서 반사시켜 돌아오는 신호를 수신 시스템에서 관측하는 방법으로 송수신 신호의 전력차이가 매우 크다. 송신 전력은 수신 전력보다 매우 크므로 송신 시스템과 수신 시스템 사이에 매우 큰 격리도가 요구된다.

본 논문에서는 수동형 RFID 시스템 중 SAW ID tag를 사용하였다. 본 논문에서는 송신 시스템과 수신 시스템 사이의 격리도를 증가시킬 수 있는 방법을 제시하였다. 제안된 방법을 사용하여 SAW를 이용한 수동형 RFID 시스템 제작, 측정하여 격리도가 증가함을 보였으며, 수동형 RFID 시스템의 응용 범위를 넓게 하였다. 또한 제안된 기술은 여러 RF 시스템에 사용할 수 있다.

II. 수동형 RFID 시스템

RFID 기술에는 능동 (active) 소자와 수동(passive) 소자를 이용하는 두 가지 방법이 있으며, 수동형 tag는 전원이 필요 없으며 저가로 활용할 수 있다. 또한 수동형 tag는 능동형 tag와 비교하여 센서 노드 활용이 간단하다. 특히 SAW ID tag는 수동형 tag중에서도 제작이 간단하다. SAW ID tag는 압전물질 반사판을 배열하는 제작 방법을 통해 정보를 저장할 수 있다.

RFID 시스템 중 수동형 RFID 시스템(그림 1)은 송신 시스템과 수신 시스템에 동일한 주파수를 사용하기 때문에 송신 시스템과 수신 시스템 사이의 격리도 확보가 중요하여 분리시켜야 한다.

수동형 RFID 시스템은 송신 신호의 크기와 수신 신호의 크기가 매우 큰 차이가 나기 때문에 문제점이 발생한다. 따라서 송신 시스템과 수신 시스템 사이에 100 dB 이상의 격리도 특성이 요구된다. 하지만 송신 시스템과 수신 시스템에 같은 주파수를 사용하기 때문에 격리도를 확보하는 것은 매우 어렵다.

일반적으로 수동형 RFID 시스템에서 송신신호와 수신신호 사이의 격리도를 확보하는 방법으로는 좋은 격리도 특성의 스위치를 사용하거나 스위치(그림 1 (a)의 스위치 참고)를 직렬로 여러 개의 스위치를 연결하여 격리도를 확보하는 방법과, 수신 시스템에 유입된 송신 신호를 커플러를 이용하여 제거해 주는 방법이 사용된

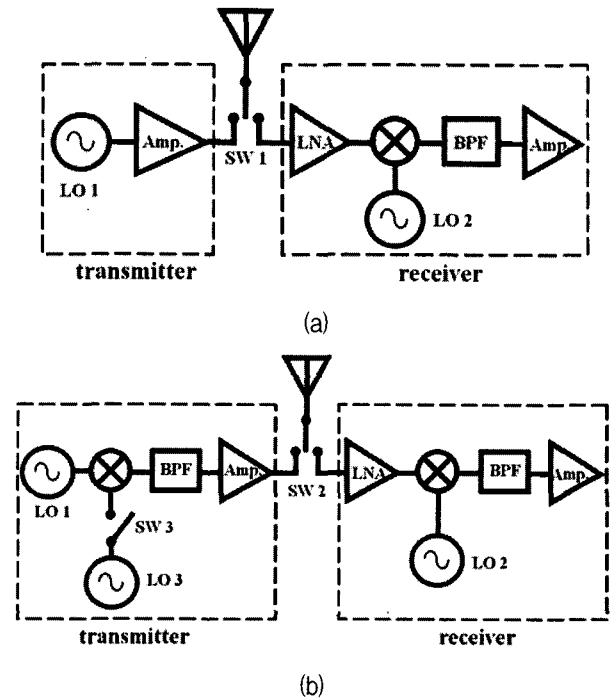


그림 1. (a) 스위치를 사용하여 격리도를 확보한 일반적인 RFID 송수신 시스템, (b) 오실레이터와 믹서, BPF를 이용한 제안된 RFID 송수신 시스템
 Fig. 1. (a) The conventional passive RFID reader only with switch isolation and (b) the proposed passive RFID reader with improved isolation using swithces and frequency conversion network.

다. 그러나 스위치를 직렬로 연결하는 방법은 3~4개의 스위치를 직렬연결 하여도 스위치 이외의 여러 누설 (leakage) 원인으로 1개의 스위치를 사용할 때와 비교하여 격리도(isolation)가 크게 증진되지 않는다. 또한 커플러를 이용하여 수신 시스템에서 송신 신호의 leakage 성분을 제거해 주려면 송신 신호의 위상과 leakage 신호와 180위상 차이를 갖는 신호와 이 신호의 크기를 정확히 조절할 수 있는 부가적인 장치들이 필요하여 적용이 어렵다.

1. 수동형 RFID Transceiver

본 논문에서 제안하는 방법은 수동형 RFID 시스템에 적용하여 격리도를 개선시킬 수 있는 방법이다. 수동형 RFID 시스템의 일반적인 동작은 interrogation 펄스를 tag에 인가해 주고 되돌아오는 신호를 감지한다. 제안하는 방법과 RFID 시스템의 일반적인 방법 (conventional method)이 그림 1에 표시되었다. 그림 1 (a)에 나타난 일반적으로 사용되는 시스템은 안테나와 연결된 스위치(SW 1)로 송신 시스템과 수신 시스템을

선택하여 연결할 수 있다. 송신 신호가 tag로 전달될 때에는 안테나와 송신 시스템이 스위치를 통해 연결되고, tag에서 반사되어오는 신호를 수신 시스템이 스위치를 통해 안테나와 연결되어 신호를 수신하게 된다. 따라서 송신 시스템과 수신 시스템 사이의 격리도 특성은 스위치(SW 1)의 격리도 특성에 따라 결정된다.

제안된 방법은 그림 1 (b)에서와 같이 송신 시스템에서 송신 되는 신호를 발생 시키는데 믹서가 사용된다. 국부발진기(local oscillator: LO3)에서 발생된 신호는 스위치(SW 2, 3)가 on일 때 스위치(SW 3)와 믹서를 거치면서 시스템에 사용되는 중심 주파수로 바뀌게 된다. 중심 주파수로 up conversion 된 신호는 band pass filter (BPF), 전력 증폭기를 지나 안테나를 통하여 tag로 전달된다. 스위치(SW 2, 3)가 off일 때 오실레이터(LO3)에서 발생된 신호는 스위치3에서 차단되어 믹서로 전달되지 못하고, 오실레이터(LO1)에서 발생된 신호는 믹서를 통과 한 후 BPF에서 filtering되어 제거된다. 이때 스위치2와 스위치3은 동기 되어있다. 위와 같이 믹서와 스위치, BPF를 사용하여 수신 시스템에서 tag의 반사 신호를 수신하는 동안에 송신 신호를 제거하기 때문에 격리도를 증가시킬 수 있다.

수신 시스템은 single-heterodyne 방식으로 제작하였다^[2]. 수신 시스템 제작에 사용된 부품의 이득과 잡음 지수를 표 1에 나타내었다. 저잡음 증폭기 (LNA)의 기능은 안테나를 통해 수신된 신호 중 설계된 주파수의 신호만을 증폭시킨다. 저잡음 증폭기를 통해 증폭된 수신 신호는 믹서를 이용하여 IF (Intermediate Frequency) 주파수로 down conversion되고, BPF와 증폭기를 지나 오실로스코프를 이용하여 관측 한다. 이때 저잡음 증폭기의 잡음 지수(noise figure)와 BPF의 대역폭(bandwidth)은 수신 시스템의 sensitivity를 증가시키는데 중요하다.

수신 시스템의 잡음 지수는 각각 구성된 부품의 잡음 지수와 이득을 식 (1)을 이용하여 계산 할 수 있다. 제

표 1. 수신 시스템에 사용된 부품의 이득과 잡음지수

Table 1. Gain and noise figure of component used to receiver system.

	Gain	Noise Figure
LNA	23 dB	1.3 dB
Mixer	-5.2 dB	5.2 dB
IF Filter	-1.5 dB	1.5 dB
IF Amp.	30 dB	6.5 dB

작된 부품의 잡음 특성과 이득으로 계산된 수신 시스템의 잡음 지수는 1.6 dB 이었다.

$$F = F_1 + \frac{|F_2 - 1|}{G_1} + \frac{|F_3 - 1|}{G_1 G_2} + \frac{|F_4 - 1|}{G_1 G_2 G_3} \quad (1)$$

RFID 시스템에 사용되는 주파수는 900 MHz 대역과 433 MHz 대역 등이 있으며, 본 논문에 사용된 송수신 시스템과 SAW ID tag의 중심 주파수는 433 MHz로 설계하여 제작하였다. 송수신 시스템에 사용된 스위치는 single-pole double-through (SPDT) 스위치이며 일반적으로 사용되는 GaAs로 제작된 것이다^[3]. 오실레이터에서 발생된 신호의 주파수는 83 MHz(LO1), 363 MHz(LO2), 350 MHz(LO3)이다.

2. SAW RFID Tag

무선으로 사용할 수 있는 surface acoustic wave (SAW) 센서는 여러 가지 용도의 센서 시스템에 매우 쉽게 적용할 수 있다. SAW 소자는 수동형 RFID 시스템의 tag로 사용할 수 있으며, 제작 방법이 간단하다. 따라서 앞으로 무선 센서 시스템이나 수동형 RFID 시스템에 적용시킬 수 있다^[4].

송신 시스템으로부터 인가되는 고주파의 펄스 신호를 이용하는 저가의 레이더 시스템을 응용하여 안테나를 통해 SAW tag로 전달 할 수 있다. SAW tag의 안테나를 통해 입력된 송신 신호는 interdigital transducer (IDT)를 통해 전기 신호가 표면 탄성파로 변환되며, 압전기판의 표면을 따라 IDT의 양쪽 방향으로 진행한다^[5]. 진행하는 표면 탄성파는 반사판을 지나게 되는데, 이때 10 %의 표면 탄성파는 반사되어 IDT로 되돌아가고 90 %의 표면 탄성파는 계속 진행하게 된다. IDT로 되돌아온 표면 탄성파는 다시 전기적 신호로 바뀌어 안테나를 통해 수신 시스템으로 전달되며, 그림 2에 간단한 SAW 소자의 그림을 나타내었다.

실험에 사용된 SAW ID tag는 433 MHz 대역으로 제작하여 사용하였다^[6].

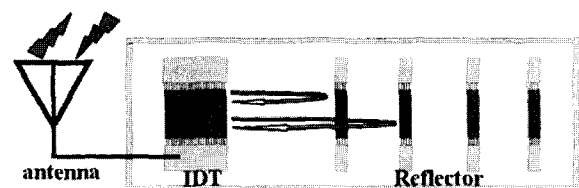


그림 2. 일반적인 SAW ID tag
Fig. 2. Schematic of a typical SAW ID tag.

III. 측정 결과

RFID 송수신 시스템과 SAW tag사이의 무선 거리는 30 cm이고, 이때 손실은 왕복신호를 기준으로 60 dB로 측정 되었다. TDR (Time Domain Reflectometry) 측정 결과 SAW tag에서 나오는 반사 신호의 크기는 0.013 이므로 삽입 손실은 37 dB로 계산되며 그 결과를 그림 3에 나타내었다. 따라서 송수신 시스템의 안테나에서 송신되는 신호와 수신되는 신호의 차이는 97 dB이며, 30 cm의 거리에서 수신 신호를 정확히 측정하기 위해서는 97 dB 이상의 송수신 시스템 격리도가 요구된다.

송신 시스템과 수신 시스템 사이의 격리도는 신호 발생기 (signal generator)와 주파수 분석기 (spectrum analyzer)를 이용하여 측정하였다. 송신 시스템의 오실레이터는 스위치 (SW 1, 2)의 on, off와 상관없이 항상 송신 신호를 발생 시킨다. 그래서 수신 시스템이 tag에서 반사되어 나오는 신호를 수신하는 동안에도 계속 송신 신호가 발생하여 송신 신호의 leakage가 수신 시스

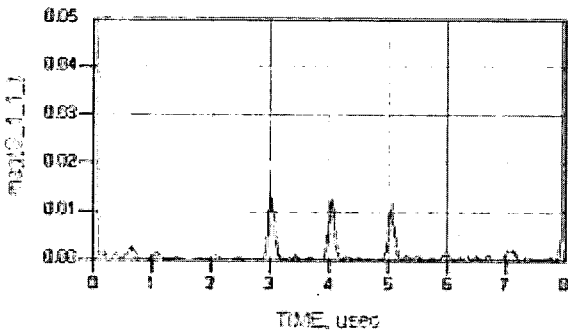


그림 3. SAW tag의 TDR 측정 결과
Fig. 3. TDR measured result of SAW tag.

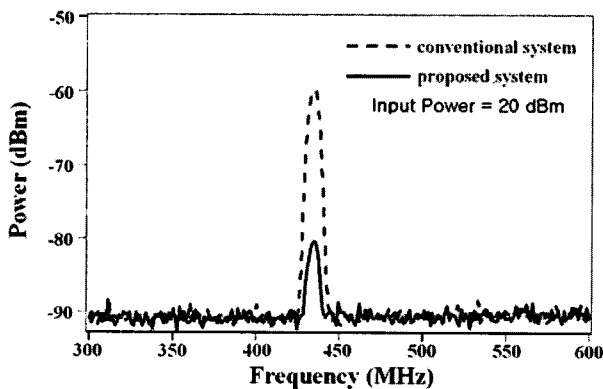
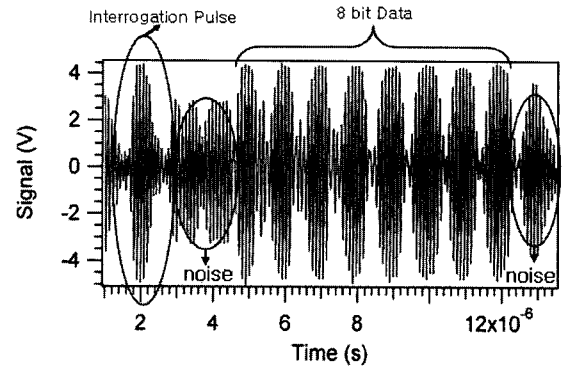
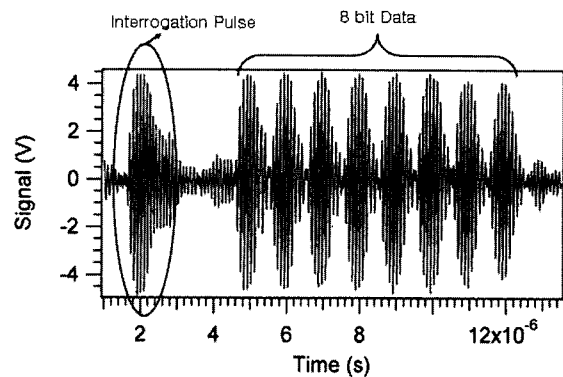


그림 4. 일반적인 송수신 시스템(실선)과 제안된 송수신 시스템(점선)의 격리도 측정 결과
Fig. 4. Measured isolation results of the conventional system(dashed line) and the proposed system(solid line).



(a)



(b)

그림 5. 일반적인 송수신 시스템(a)과 제안된 송수신 시스템(b)으로 8 bit SAW ID tag 측정 결과
Fig. 5. 8 bit SAW ID tag measured result of the conventional system(a) and the proposed system(b).

템으로 유입된다. 안테나와 수신 시스템이 스위치 (SW 1, 2)에 의해 연결되고 tag가 없는 상태에서 수신 시스템으로 유입되는 송신 신호의 leakage가 수신 시스템을 통해 출력된다. 이 상태는 tag의 반사 신호를 수신하는 상태와 동일하고, 이 때문에 송신 신호의 leakage는 수신 시스템에서의 노이즈 성분으로 작용한다.

스위치의 격리도만을 이용한 일반적인 방법(그림 1 (a))에서 20 dBm 송신 출력에 대해 수신 시스템을 통하여 출력되는 leakage 신호의 크기는 -60 dBm으로 측정되었다. 일반적인 방법에서 스위치만으로 확보할 수 있는 격리도는 80 dB이다. 제안된 격리도 개선 방법인 송신 신호를 두개의 오실레이터 (LO1, 3)와 스위치(SW 3), 믹서, BPF를 이용한 방법으로 제작한 송수신 시스템의 격리도는 20 dBm 송신 출력에 대해 수신 시스템을 통하여 출력되는 leakage 성분의 크기는 -80 dBm으로 측정되어 확보된 격리도는 100 dB가 되며, 스위치만

사용한 시스템과 비교하여 20 dB의 격리도 개선 효과가 있었다. 30 cm의 거리에서 일반적인 방법과 제안된 방법의 송수신 시스템으로 측정된 SAW tag의 측정 결과를 그림 5에 나타내었다. Interrogation 펄스와 반사판에서 반사되는 신호사이에 송신 신호의 leakage에 의해 발생된 잡음 신호가 있다. 일반적인 방법으로 제작된 송수신 시스템으로 측정된 잡음 신호의 전압 크기는 2.8 V_{pp}로 측정되었으며, 제안된 방법으로 제작된 송수신 시스템으로 측정된 잡음 신호의 크기는 0.3 V_{pp}로 측정되었다.

IV. 결 론

수동형 RFID 시스템은 송신 신호와 수신 신호의 전력 차이가 크기 때문에 송수신 시스템의 격리도 특성은 매우 중요하다. 송수신 시스템의 격리도를 증가시킬 수 있는 방법을 제안하여 일반적으로 스위치만을 사용하여 격리도를 확보하는 방법과 비교 측정하였다. 측정에 사용된 수동형 tag는 8 bit 데이터 용량의 SAW tag를 사용하였다. 수신 시스템은 heterodyne 방식으로 제작하였다.

제안된 방법으로 제작한 송신 시스템은 일반적인 송신 시스템과 비교하여 오실레이터(LO3)와 스위치(SW 3), 믹서, BPF가 추가로 사용된다. 송수신 시스템과 안테나로 연결되는 스위치(SW 2)와 동기된 스위치(SW 3)가 오실레이터(LO3)와 믹서 사이에 위치하여 안테나와 수신 시스템이 연결될 때에는 LO3의 신호가 믹서로 들어가는 것을 차단하고 믹서에서 나오는 신호는 LO1의 신호만 출력된다. 이 신호는 중심 주파수가 433 MHz인 BPF를 통과하면서 제거된다. 따라서 스위치의 상태가 안테나와 수신 시스템이 연결된 때 송신 신호로

부터 발생하는 leakage 신호는 감소하게 된다. 일반적인 방법의 송수신 시스템으로 측정된 결과의 잡음 신호의 크기는 2.8 V_{pp}이고, 전력으로 환산하면 -24 dBm이다. 제안된 방법의 송수신 시스템으로 측정된 결과 잡음 신호의 크기는 0.3 V_{pp}이고, 전력으로 환산하면 -44 dBm이다. 따라서 제안된 방법의 시스템이 일반적인 방법의 시스템과 비교하여 20 dB의 격리도 개선 효과가 있는 것이 측정되었다.

격리도 특성의 개선으로 레이더 방식의 송수신 시스템을 사용하는 수동형 RFID 시스템이나 SAW 소자를 이용하는 무선 RFID 시스템과 센서 시스템의 sensitivity 특성이 개선되어 정확한 정보의 수신이나 더욱 인식거리(interrogation distance)가 요구되는 무선 시스템으로 활용할 수 있겠다.

참 고 문 헌

- [1] U. Kaiser, "A low-power transponder IC for high-performance identification systems," *IEEE J. Solid-State Circuits*, vol. 30, pp. 306-310, Mar. 1995.
- [2] B. Razavi, *RF microelectronics*, Prentice Hall PTR, 1998.
- [3] Mini-Circuits, 부품번호 KSW-2-46
- [4] W. Buff, "SAW Sensor system application," *Microwave System Conference*, pp. 215-218, May 1995.
- [5] G. Scholl, "SAW-Based radio sensor systems for short-range applications," *IEEE microwave magazine*, pp. 68-76, Sept. 2004.
- [6] C. C. W. Ruppel, L. Reindl, R. Weigel, "SAW Devices and their Wireless Communications Applications," *IEEE microwave magazine*, pp. 65-71, June 2002.

저 자 소 개



김 재 권(학생회원)
2000년 청주대학교 전자공학과
공학사
2002년 서강대학교 전자공학과
공학석사
2003년 서강대학교 전자공학과
박사과정

<주관심분야 : RFID, RFIC, Remote Sensing>



범 진 욱(정회원)
1987년 서울대학교 물리학과
이학사
1989년 미시간대학교 물리학
이학석사
1995년 코넬대학교 응용물리학
이학박사

1995년~1996년 코넬 대학교 박사 후 연구원
1996년~1998년 Bell Labs. PMTS
1998년~현재 서강대학교 전자공학과 조·부교수
<주관심분야 : RFIC, RFID, Remote Sensing>