RFID 리더의 다중접속 프로토콜

안동헌* | 양훈기* | 양성현* | 김영수**
광운대학교*, 경희대학교**

요 약

본 논문에서는 RFID 리더충돌 회피를 위해 제시된 다양한 RFID 리더 프로토콜을 소개한다. 이를 위한 배경지식으로 RFID 네트워크에서의 리더 충돌 환경, 리더의 채널 엑세스 과정 및 리더 간섭분석 툴에 대해 기술한다. 각각의 리더충돌 회피 방식에 대해서 알고리즘 적용가능 범위, 장단점 뿐 아니라 구체적인 프로토콜 및 시뮬레이션을 통해서 각 방식의 상대적인 성능 차이를 비교한다.

I. 서 론

RFID(Radio Frequency Identification)는 모든 사물에 전자 태그를 부착하고 무선 통신 기술을 이용하여 사물의 정보 및 주변 상황정보를 감지하는 인식 기술로서 리더와 태그, 그리고 리더를 지원하는 호스트로 구성된다. 국제 표준으로 권고되고 있는 RFID 사용 주파수는 13.56MHz, 400MHz, 900MHz, 2.4GHz 등이 있으며 이 가운데 900MHz가 비교적 전파 특성이 우수해서 국내외적으로 특히 주목을 받고 있다.[1]

900MHz 대역을 사용하는 수동형 RFID 시스템의 경우 리더는 태그로 부터 반사된 전력을 수신하게 되므로 리더의 송신 출력은 크고 수신 전력은 상대적으로 미약한 특징이 있다. 그러므로 근거리에 다른 리더가 동작하고 있는 경우 원하는 신호 전력에 비해 다른 리더로 부터 오는 간섭 전력이 커져 간섭영향을 받게 된다.

RFID 시스템 환경에서 충돌은 크게 태그 충돌과 리더 충돌로 분류 할 수 있다. 태그 충동 방지를 위해 Binary tree, Slotted Aloha 등 다양한 방법들이 제시되었고 국제표준 안으로 발표되었다.[2] 리더 충돌은 크게 리더 간 간섭(Reader to Reader Interference)과 다중 리더에 의한 태그 간섭(Multiple Reader to Tag Interference)으로 나뉜다. 리더간 간섭을 완화하기 위해서 Gen2 프로토콜에서 dense 모드 등이 발표되어 작업 공간에서의 리더 밀도를 높이는 방법이 제시되었다.[3] 또한 POI(Probability of Interference) 개념을 이용해서 리더간 최소 이격 거리 및 리더 밀도에 따른 간섭 확률 분석에 대한 연구가 발표되었다.[4] 유럽 ETSI에서는 LBT(listen before talk) 방식을 적용해서 리더간 간섭을 완화시키는 리더 프로토콜을 제안하였다.[5][6] 하지만 제시된 방법들은 리더 간 간섭을 완화시키는데 도움을 주지만 기본적으로 다중 리더에 의한 태그 간섭을 해결할 수는 없다. 다중 리더에 의한 태그 간섭을 완화시키기 위해서 DCS, Colorwave 방법 등 리더간 동기를 맞추어 TDMA를 적용시키는 방법들이 발표되었다.[7][8] DCS 방식은 프레임 크기가 모든 리더마다 동일해서 프레임 크기와 리더 개수간의 차이가 클수록 성능이 떨어진다. 이를 개선한 Colorwave 방식은 태그에서 발생한 태그 충돌을 태그 도움없이 리더가 감지할 수 있다는 가정에서 출발하지만 이것이 가능하게 되기에는 또 다른 복잡한 프로토콜이 추가되어야 할 것이다. 더욱이 인접한 리더간 프레임 길이가 유사할 때 성능이 최적화 되나 때때로 프레임 개수차이가 점점 더 벌어질 경우가 발생하여 성능 열화를 일으킬 수 있다.[9]

Colorwave 등 태그에서의 충돌을 감지하기 위해서 또 다른 control 채널을 추가하여 리더간 통신을 하도록 하는 pulse 방법이 최근 발표되었다.[10] 이 방법에서는 control 채널이 데이터 채널과 다른 주파수를 사용하므로 태그와 통신을 하면서도 리더간 통신을 가능하게 해서 다중 리더에 의한 태그 간섭을 줄일 수 있는 방법이다. 태그의 복잡도가 높아진다는 단점이 있지만 Colorwave 나 LBT 방식에 비해서 throughput을 획기적으로 개선할 수 있다.

마지막으로 Colorwave 와 유사하게 TDMA로 동작하면서도 프레임 크기를 동일하게 가져가서 빈 슬롯을 줄이면서 throughput을 높일 수 있는 방법이 제시되었다. 이 방법은 메인 리더(main reader)가 정해지기 위한 과정이 요구되는 단점이 있지만 colorwave 방식에서 나타나는 프레임 크기 불균형에 따른 성능 열화는 없다.[11][12]

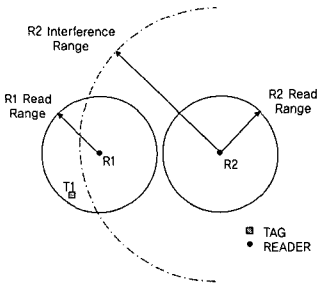
본 논문에서는 II장에서 다양한 리더 충돌회피 방법 제시에 앞서 배경지식으로 RFID 리더 간섭 및 충돌 환경을 소개하며 또한 Gen2 프로토콜을 소개해서 한 리더가 채널을 엑세스하는 과정을 제시하며 또한 POI을 이용해서 리더 간섭을 분석하는 방법 및 시뮬레이션 결과를 소개한다. III장에서는 기존에 리더 충돌 방지를 위해 발표되었던 여러 가지 충돌 완화 방법들을 소개하고 IV장에서 결론을 맺는다.

II. RFID 네트워크

1. RFID 충돌(Collision) 분류

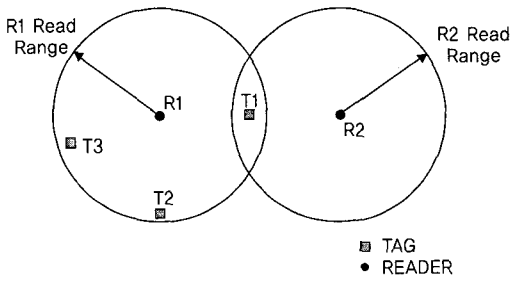
RFID 시스템 환경에서 충돌은 크게 태그 충돌과 리더 충돌로 분류 할 수 있다.태그 충돌은 리더의 전계 범위 내에 있는 태그들이 리더 신호에 동시에 응답하므로 써 발생하는 충돌로서 이를 해결하기 위해 다양한 태그 충돌 알고리즘이 제시되었다. 리더 충돌은 크게 리더 간 간섭과 다중 리더에 의한 태그 간섭으로 나뉜다.

전자는 (그림 1)과 같이 태그 T1이 리더 R1의 리딩 거리(Read Range)내에 있으면서 동시에 리더 R2의 간섭거리(Interference Range)내에 있는 경우이다. R1의 입장에서 보면 T1 으로부터 반사(Backscattering) 되는 신호에 비해 R2 간섭 신호 전력이 무시할 수 없는 정도가 되어 T1정보를 정



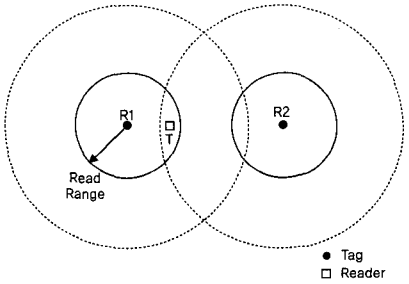
(그림 1) 리더간 간섭

확히 읽지 못하는 경우이다. 후자의 경우는 그림 2와 같이 R1의 리딩 거리 내에 있는 태그 T1, T2, T3 가운데 T1이 R2의 리딩 거리에 속하게 되는 경우이다.



(그림 2) 다중리더에 의한 태그 간섭

이때, T1는 두 리더의 Query를 해독하지 못하게 되고 R1은 리딩 거리 내에 2개의 태그만 존재하는 것으로 인식하게 된다. (그림 2)의 경우는 두 리더가 서로 캐리어 센싱이 가능한 영역에 있는 경우로서 CSMA방법을 적당히 조화시키면 해



(그림 3) 캐리어 센싱이 불가능한 태그 간섭

결할 수 있다. 다중 리더에 의한 태그 간섭의 보다 극단적인 경우는 (그림 3)과 같은 경우이다. 이 경우 R2리더는 R1리더의 캐리어 센싱 거리 밖에 있으나 T에서 수신되는 R1신호의 해독을 어렵게 만드는 정도의 간섭전력을 가지고 있는 경우이다. 이 경우에는 CSMA방법의 적용이 어렵다.

결론적으로 RFID 통신환경은 이동성을 가질 수 있는 다수의 리더에 다수의 태그가 통신을 해야 하며 태그가 수동형인 경우는 충동회피(Collision avoidance)에 참여 할 수 없어서 기존 무선센서네트워크 환경과는 전혀 다른 통신 환경을 가지고 있다.

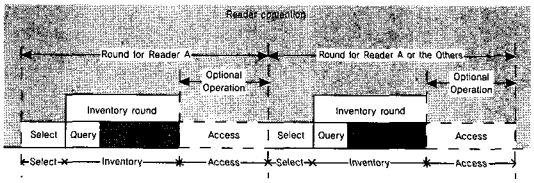
III. Gen2 프로토콜

(그림 4)는 Gen2 표준에 따른 리더의 태그인식 과정을 나타낸다. 리더의 동작은 Select, Inventory, Access 세 단계로 구분 되며, 각 동작에서 정의된 명령들을 이용해서 태그와 통신을 한다.

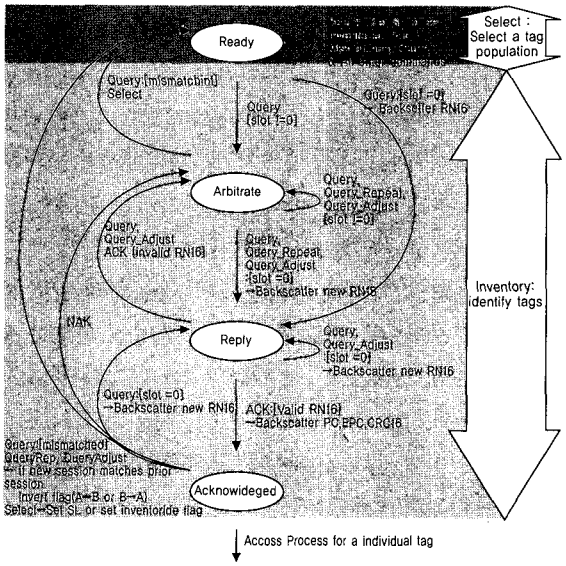
리더의 Select 동작에서는 읽고자 하는 태그를 모으는 과정으로 태그들을 선별하기 위해 Select 명령을 전송한다. Select 명령은 특정길이의 마스크 값을 사용하여 태그의 메모리와 비교 여부에 따라 세션 별 Selected flag와 inventoried flag의 값을 설정 하며, 설정된 flag의 값들은 이후 전송 되는 명령들의 처리 여부를 결정짓는다. 리더는 Inventory 동작에서 실제 태그들과 일대일 통신을 하기 위한 충돌방지알고리즘을 진행한다. 사용되는 명령은 Query, Query-Adjust, Query-Repeat, ACK, NCK 명령이며, ACK와 NAK를 제외한 명령들은 세션 필드를 포함하여 다중 리더 상황에서 명령들을 구별한다.

리더의 Access 동작 단계는 인벤토리 단계를 마친 태그와 일대일로 통신을 하는 단계이다. 이 동작 단계에서는 태그 메모리의 추가 정보를 읽거나 제공되는 메모리 공간에 쓰기 명령을 사용할 수 있으며, 해당 태그의 암호를 입력하여 영구적으로 kill 할 수 있다[3].

리더 명령에 따른 태그의 상태는 Ready, Arbitrate, Reply, Acknowldeged, Open, Secured, Killed 상태를 갖으며, 상태 천이도는 (그림 5)와 같다.



(그림 4) 리더의 태그 인식 과정



(그림 5) Gen2 태그 상태와 응답 조건

리더의 안테나 방사 패턴안의 태그들은 전력을 공급받아 Ready 상태가 되고, Select 명령, 또는 Query 명령을 기다린다. 태그는 Query 명령을 처리 한 후 Arbitrate 상태가 되는데, Query 명령의 가장 중요한 역할은 4비트의 Q 값을 전송하는 것이다. Q값은 태그들이 갖고 있는 RNG(Random Number Generator)를 재생성 함과 동시에 그 범위를 결정하며 발생된 랜덤 값을 태그마다 하나씩 갖고 있는 슬롯카운터에 저장하도록 한다.

태그들은 자신의 슬롯카운터 값이 '0' 이 될 때 Reply 상태로가 되며, 리더에게 일대일 통신을 요청하기 위해 RN16이라는 16비트 랜덤수를 전송하게 된다. 그러나 동시에 슬롯카운터의 값이 0인 태그가 2개 이상이면 태그 응답 충돌이 발생하여 리더로부터 ACK를 받지 못하고 최하위 응답순위로 밀려나게 된다. 충돌이 없다면 태그는 ACK 명령을 받고, ACK에 포함된 RN16 값과 태그가 전송한 RN16을 비교 후

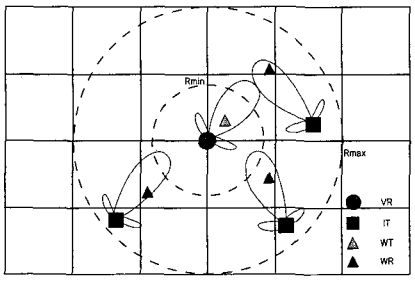
메모리에 있는 태그 정보인 EPC 값을 리더에 전송하여 Acknowledge 상태가 된다.

이 후 리더는 슬롯카운터의 값이 0이 되지 않은 태그들을 위해 Query-Repeat을 전송하여 태그들의 슬롯카운터 값을 1씩 감소시킨다. 또한, 인식하려는 태그의 수와 Q값으로 인한 슬롯카운터의 범위가 태그응답 충돌 및 시간 슬롯 낭비를 일으키는 것을 보완하기 위해 Q값을 조정함과 동시에 RNG를 재생성하는 명령인 Query-Adjust 명령을 사용한다.

IV. POI 기반 리더간 간섭분석

본 절에서는 다수의 리더들이 존재하는 간섭환경에서 (그림 1)에 나타난 리더간 간섭 정도를 보기위한 방법을 소개하고 리더간 간섭을 회피하기위해 요구되는 리더간 최소 이격거리를 추출하였다. 그림 6은 본절에서 리더간 간섭 분석을 위해 사용한 테스트환경이다. 시나리오는 수동형 RFID 시스템을 고려한 것으로 VR(Victim Receiver)는 분석하고자 하는 리더에 대응되고 WT(Wanted Transmitter)는 VR과 통신하는 태그이다. 리더가 수신기가 된 이유는 리더가 송신 후 태그로부터 backscattering 되는 신호를 수신하게 되며 backscattering되는 신호전력이 미약하므로 수신모드에 있는 리더가 VR이 되고 backscattering하는 태그는 WT가 된다. 주변 리더들은 VR이 WT부터 수신되는 신호에 대한 간섭원이 되므로 IT(Interfering transmitter)가 되고 IT와 통신중인 태그는 WR(Wanted receiver)이 된다.

WT에서 VR로 원하는 신호를 전송하며 이 신호는



(그림 6) 간섭분석 테스트 시나리오

dRSS(desired Received Signal Strength)가 된다. 또 VR 주위의 다수의 IT가 각각의 WR에 신호를 전송하며 이 IT 신호는 VR에 입장에서 보면 간섭전력으로 보인다. 이 간섭전력을 iRSS(interfering Received Signal Strength)라고 한다. 이 dRSS와 iRSS의 비가 C/I 값을 넘지 못할 경우 간섭이 발생한 것으로 판정할 수 있다.[13][14]

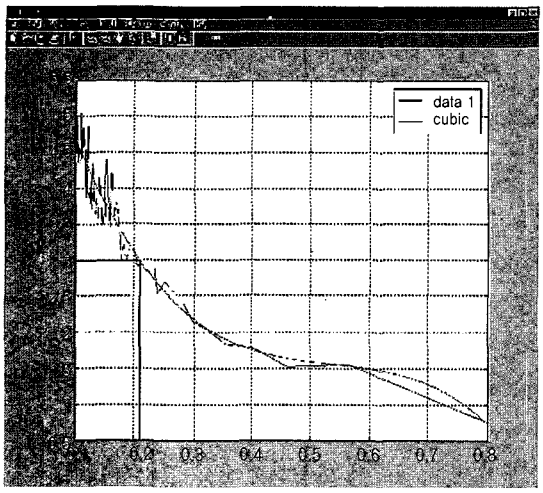
VR에 WT로부터 수신되는 dRSS는 우선 WT의 송신전력과 VR과 WT의 안테나 이득을 더하고 경로손실을 빼는 과정을 통해서 쉽게 구할 수 있다. iRSS는 크게 불요발사(unwanted emission)간섭, 블로킹(Blocking)간섭, 상호변조(Intermodulation)간섭, 이 3가지로 분류 할 수 있다. 블로킹 간섭은 VR 수신필터의 비이상적인 특성 때문에 근접채널을 사용하는 IT의 원하지 않는 전력이 수신되어 발생하는데 수신필터의 특성이 이상적이라고 가정하여 생략하며, 상호변조에 의한 간섭은 RFID 리더의 LNA가 충분히 선형성을 가지고 있다고 가정하여 생략하겠다. 불요발사 간섭은 VR의 수신필터에 IT의 전력이 수신 되었을 때의 간섭을 말한다. 간섭량은 IT의 방사마스크 내에 VR의 수신기 필터의 대역이 겹치는 구간에 대하여 적분을 하여 구할 수 있다. 이렇게 구한 dRSS와 iRSS의 비율을 가지고 간섭확률을 계산해낸다. 간섭확률을 P라고 하면 로 간섭확률을 구할 수 있다.

$$P = P\left\{\frac{dRSS}{iRSS} < \frac{C}{1} \setminus dRSS > sens\right\}$$

여기서, sens는 수신단에서 신호를 감지하기 위해 요구되는 최저한의 신호전력(sensitivity)을 말한다. dRSS가 수신단의 sensitivity[dBm]보다 크다는 조건하에서 원하는 신호 대 간섭신호의 비(dRSS/iRSS)가 시스템에서 요구되는 C/I이하가 될 확률을 계산한다. 또한, 간섭원이 한 개 이상일 경우에는 각각의 간섭원에 의한 간섭 확률을 모두 고려해 준다.

POI기반 알고리즘 시뮬레이션은 MATLAB을 이용해 수행하였다. 시뮬레이션 시나리오는 (그림 6)과 같다. 간섭원이 되는 리더들은 VR을 중심으로 r[m] 떨어진 지점에 WT가 존재하며, 간섭원이 되는 리더들은 VR을 중심으로 R_{min}과 R_{max} 사이에 하나 혹은 여러 개가 위치한다. VR과 IT간의 최소 떨어져야 하는 거리인 R_{min}는 일반적으로 간섭이 일어나지 않는다고 할 수 있는 3% 정도의 간섭확률이 되는 지점을 간섭원이 1개일 경우를 가정하여 정하였다.[15] 그림 7은 VR-IT

의 거리에 따른 간섭확률을 나타내었다. 여기서 간섭확률이 3% 되는 지점이 R_{min}이 된다. 〈표 1〉은 태그 효율과 VR-WT 간의 거리를 바꿔 가면서 구한 최소 이격거리 R_{min}이다.



〈그림 7〉 VR-IT의 거리에 따른 간섭 확률

〈표 1〉 VR-IT의 거리에 따른 간섭 확률(Rmin)

dVR-WT	태그효율	LBFH	FH
1m	-10dB	130m	600m
	-14dB	210m	920m
3m	-10dB	1200m	600m
	-14dB	1900m	9800m

리더가 채널을 선택하는 방식은 FH방식과 LBT방식을 가미한 FH방식으로 동일채널 간섭이 발생하지 않는 방식, 이 두 가지 경우를 가정하였다. 사용주파수 대역은 국내 900MHz 수동형 RFID 기준에 맞게 설정하였다.

〈표 2〉, 〈표 3〉은 VR를 중심으로 R_{min}과 R_{max}사이에 5개 및 10개의 활성 IT가 랜덤하게 분포되어 있다는 가정 하에 간섭확률을 계산한 것이다.

〈표 2〉 210m, VR-WT간 거리:1m, FHSS with LBT

	R_{max}:1Km	R_{max}:1.5Km	R_{max}:2Km
Tag효율(dB)	-14	-14	-14
5(5%)	1.11%	0.57%	0.51%
10(10%)	2.26%	1.39%	0.98%

〈표 3〉 210m, VR-WT간 거리:1m, FHSS without LBT

	R_{max}:1Km	R_{max}:1.5Km	R_{max}:2Km
Tag효율(dB)	-14	-14	-14
5(5%)	6.90%	5.15%	4.31%
10(10%)	13.61%	10.14%	8.26%

본 절에서는 간섭분석 방법을 Monte-Carlo 방식을 이용하여 계산하는 방법을 제시하였고 이를 수동형 RFID 시스템에 적용시켰다. FHSS를 사용하는 RFID 시스템에서 발생 가능한 간섭의 종류로는 불요발사 간섭, 블로킹 간섭, 상호변조 간섭 등 3가지 간섭이 있을 수 있으나 본 절에서는 주로 불요발사 간섭만을 고려하였다. 간섭분석 결과 LBT를 적용한 FH 방식은 VR과 IT가 1m 떨어진 경우에 간섭원이 10개가 있어도 최소이격거리 안에만 IT가 없다면 간섭확률은 3%이하를 유지하였고, 단순 FH방식의 경우에는 동일채널 간섭 때문에 간섭확률이 높았다. 리더의 수신필터 특성이 주어지면 추가적으로 블로킹간섭 효과를 추가 시킬 수 있으며 단순 FH을 사용하는 것 보다는 LBT를 적용시킨 FH을 사용하는 것이 요망된다.

V. 리더 충돌방지 알고리즘

1. Gen2 Dense 모드

Gen2 dense 모드는 RFID에 할당된 다수의 채널들을 홀수 채널, 짝수 채널로 구분한 후 리더→태그 전송 채널과 태그→리더 전송 채널이 겹치지 않도록 한 주파수 할당 방법이다. 이 경우 리더신호는 리더끼리, 태그 신호는 태그 신호끼리 간섭을 일으키게 되는데 이 경우 태그 backscattering 신호가 다른 리더의 리더→태그 신호 전력에 비해 충분히 크게 되어 리더간의 간섭거리를 줄일 수 있다.

2. LBT (CSMA) 알고리즘

LBT의 기본적인 원리는 전송하려는 통신 채널을 센싱 한 후 그 채널이 비어 있으면 전송을 하고 사용 중인 경우는 다른 채널로 변경한다. LBT동작과 관련된 변수로는 송신기의 최소 off-time, 수신기의 최소 listen-time, 송신기의 전송 시 최대 on-time, 랜덤 주파수 선택 시의 주파수 민첩성(Frequency Agility)등이 있다.[5]

송신기의 최소 off-time은 LBT를 사용하지 않는 사용자가 채널을 사용할 수 있게 하기위한 것이며 최소한 100ms 이상의 off-time을 가져야 한다. 수신기의 최소 listen-time은 전송하기 전에 채널이 사용 중인가 판단하기 위한 최소한의 시

간이며 고정된 부분과 의사랜덤 부분으로 나누어진다. 고정된 부분은 최소 5ms 이며 의사랜덤 부분은 0~5ms이다. 송신기의 전송 시 최대 on-time은 송신기의 채널 독점을 방지하기 위한 시간이며 단일전송 시는 최대 1s, 복수전송 시는 최대 5s 까지 가능하다.

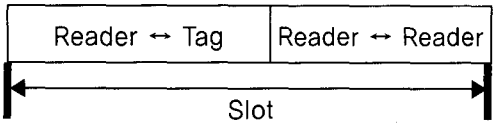
주파수 민첩성은 동일 채널상의 다른 사용자의 간섭발생을 최소화 하거나 사용하지 않는 채널을 선택하는 능력을 말하며 채널 선택확률은 모든 채널에 동일하다. LBT방식을 사용하는 시스템은 선택한 채널만을 센싱하도록 인접한 채널의 신호를 막아 줄 수 있는 높은 blocking 성능을 가진 수신기가 필요하다.

FHSS 시스템에서는 정보 전송 중에 정해진 dwell time이 되면 다른 채널로 호핑하게 되는데 이때 사용 중인 채널로 호핑하게 되면 전송할 수 없게 된다. 따라서 호핑하기 전에 LBT 방식을 사용하여 비어있는 채널로 호핑하여 정보를 계속 전송할 수 있게 된다. LBT를 사용하는 FHSS 시스템은 dwell time이 최소 LBT listen-time 인 5ms 보다 길고 400ms 이하여야 한다.

호핑한 채널에서 전송하기 전에 최소한 5ms 동안 센싱하는 동안 ACK가 돌아오면 전송을 시작한다. 5ms 안에 ACK가 오지 않으면 이 송신기는 100ms 동안 쉬어야 한다. dwell time이 5ms 이하인 Fast FHSS인 경우에는 LBT 방식을 사용하지 못한다.

3. TDMA 기반 알고리즘

TDMA 기반 알고리즘을 사용하는 RFID 시스템에서 한 time slot은 리더와 태그간에 통신하는 구간과 리더와 리더간의 통신하는 구간으로 이루어져있다. 리더와 태그간의 통신 구간은 Gen2 프로토콜 등 태그 충돌 회피 알고리즘이 적용되면서 리더가 태그와 통신해서 태그 정보를 취득하는 구간이며 리더와 리더간 통신구간은 리더 충돌 회피나 동기화 등을 위해서 주위의 다른 리더와 통신하는 구간이다.

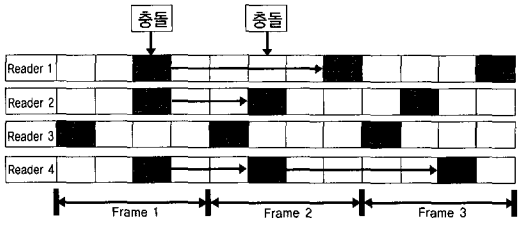


(그림 8) 슬롯 구조

1) Distributed Color Selection (DCS)

DCS는 리더들이 같은 크기의 프레임 내에서 하나의 슬롯을 선택해서 태그를 인식함으로써 리더간의 충돌을 방지하는 방법이다. DCS 알고리즘을 사용하는 리더는 충돌이 발생하면 자신이 사용하던 슬롯 위치를 변경하고, 리더들의 간섭이 발생하지 않는 경우에는 자신의 슬롯 위치를 유지하여서 다음 프레임에서 충돌이 발생할 수 있는 가능성을 줄인다. 충돌이 발생한 모든 리더는 각각 다음 프레임에서 사용할 슬롯위치를 선정하고 프레임 설정 정보를 간섭을 일으킬 수 있는 주변 리더들에게 전송한다.

프레임 정보를 받은 주변 리더들은 자신의 프레임 정보와 받은 프레임 정보에서 슬롯 위치를 비교하여 동일하면 자신의 슬롯 위치를 변경한다. 자신의 슬롯 위치를 변경한 리더는 변경 정보를 자신의 주변 리더들에게 전송하지는 않는다. DCS 알고리즘의 기본 철학은 한 프레임에서 충돌이 발생한 리더는 다음 프레임에서 리더 충돌 없이 태그를 인식할 수 있는 기회를 갖도록 하는 것이다. 다음 그림 9는 DCS가 실행되는 과정이다.



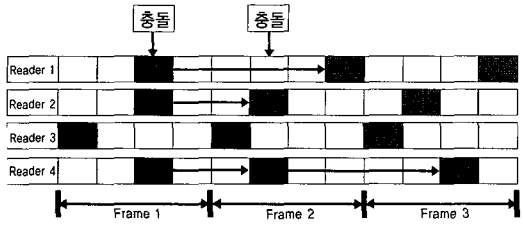
(그림 9) DCS 알고리즘

DCS는 리더들이 사용하는 프레임의 크기가 고정되어 있어서 구현이 간단하지만 프레임의 크기가 고정됨으로써 프레임의 크기가 리더의 개수 보다 적으면 슬롯의 할당이 빈번하게 이루어지면서 리더의 충돌 발생 확률이 늘어나고 효율이 급격히 떨어지게 된다.

2) Colorwave

DCS는 리더들이 사용하는 프레임 크기가 고정되어 있어서 구조는 단순하지만 리더의 개수가 프레임의 크기보다 많아지면 간섭확률이 크게 늘어난다는 문제점을 가지고 있다.

이 문제점을 보완한 방법이 프레임 크기를 적절하게 변경하여서 충돌확률을 줄여나가는 VDCS(Variable-Maximum Distributed Color Selection)로 Colorwave라고도 한다. 그림 10은 Colorwave가 실행되는 과정이다.



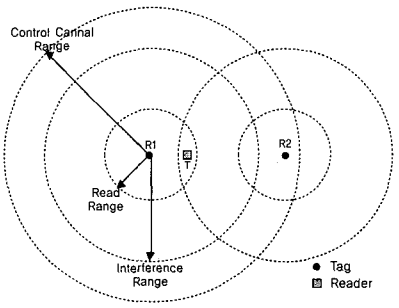
(그림 10) Colorwave 알고리즘

Colorwave는 리더들이 일정 시간 동안 자신이 경험한 충돌 확률에 따라 개별적으로 프레임의 크기를 변경하는 리더 충돌방지 기법이다. 첫 번째 과정에서 충돌을 많이 경험하는 리더는 자신의 프레임 크기를 증가시키고, 충돌이 적었던 리더는 자신의 프레임 크기를 감소시킨다. 이 방법을 사용하면, 충돌을 많이 경험하는 리더는 Color간의 간격을 증가시켜 리더 충돌을 줄일 수 있고, 반대의 경우에는 Color간의 간격을 줄여 태그를 인식할 수 있는 기회를 더 많이 확보할 수 있다. 두 번째 과정에서는 리더들은 일정시간 동안 자신에게 일어나는 충돌 횟수를 기록하고, 횟수가 일정 값 이상 되면 자신의 프레임 크기를 1슬롯씩 증가 시키고, 횟수가 정해진 값보다 작으면 프레임 크기를 1슬롯씩 감소시킨다. 리더는 변경된 프레임 크기를 주변 리더들에게 알리고, 주변 리더들은 전송된 프레임 크기, 자신의 프레임 크기, 자신의 리더 충돌 횟수를 고려하여 프레임 크기를 변경한다.

Colorwave는 프레임의 크기를 변경하기 위하여 UpSafe, UpTrig, DnSafe, DnTrig, 그리고 MinTimeInColor 등의 파라미터를 사용한다. UpSafe값 이상의 충돌 확률이 발생한 경우에는 프레임 크기를 증가 시키고, DnSafe값 이하의 충돌 확률이 발생한 경우에는 프레임 크기를 감소 시킨다. 리더는 간섭을 일으키는 주변 리더의 프레임 크기가 자신의 프레임 크기 보다 크고 UpTrig이상의 충돌 확률을 가진 경우에는 자신의 프레임을 주변 리더와 동일한 크기로 증가시키고, 주변 리더의 프레임 크기가 자신의 프레임보다 작고 DnTrig이하의 충돌 확률을 가진 경우에는 자신의 프레임을 주변 리더와 동일한 크기로 감소시킨다.

Colorwave 는 DCS 와 다르게 리더가 충돌 확률을 이용하여 자신의 프레임 크기를 능동적으로 변경할 수 있다는 특징을 가진다. 그러나 프레임의 크기의 변경은 리더에서 발생하는 충돌 확률에 따라 결정되므로, 어느 리더가 프레임 크기를 변경하고 주변 리더들에게 알리더라도 주변 리더들이 UpTrig 이상 또는 DnTrig 이하의 충돌 확률을 가지고 있지 않으면 프레임 크기를 변경할 수 없다. 리더들의 프레임 크기가 서로 달라지면 슬롯이 반복되는 주기가 달라져서, 프레임에서 충돌을 발생시키지 않는 슬롯 위치를 가지고 있는 리더가 있더라도 프레임이 반복됨에 따라 충돌이 발생할 수 있다. 또한 이런 충돌은 다시 프레임 크기의 변경을 발생시켜서 결국 프레임 크기의 변경과 충돌이 반복적으로 발생하게 된다.

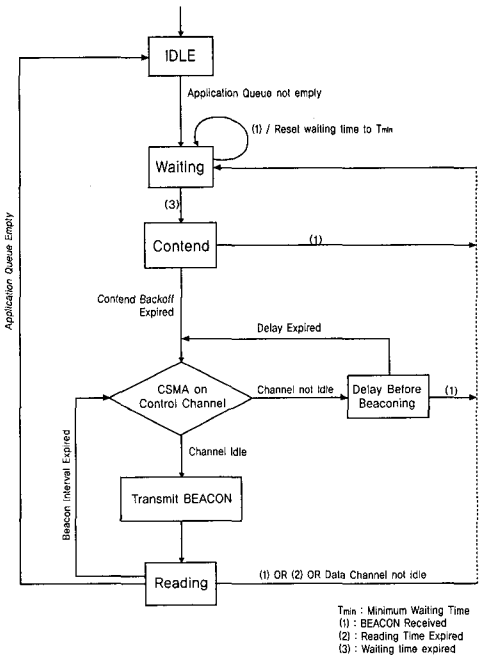
4. Pulse 알고리즘



(그림 11) 제어 채널 거리

(그림 11)은 기존 CSMA 방법으로 해결할 수 없는 RFID 네트워크의 전형적인 hidden terminal 환경이다. 즉, 리더들이 서로 케리어 센싱 거리밖에 위치해 있고 R1은 T와 데이터 채널로 통신하고 있으며 R2는 주변 태그에 신호를 전송중이다. 이 경우 T에서는 다중리더에 의한 충돌이 발생하며 이를 해결하기 위해서 Pulse 프로토콜에서는 리더 간의 통신이 가능한 또 다른 제어채널을 제안하였다. 제어 채널은 데이터 채널과 별도로 동작해야 하므로 다른 주파수가 할당되며 리더 간 충돌을 조정하기 위해서 제어 신호 전력은 데이터 신호 전력보다 크도록 설정하였다. 즉, (그림 11)에서 처럼

간섭 거리에 비해 제어 신호감지 거리가 더 커지도록 해서 hidden terminal문제를 해결할 수 있다. 한 리더가 태그와 통신을 하고 있을 때는 주변 리더에게 beacon신호를 주기적으로 제어 채널을 통해 송신하며 주변 리더들은 제어채널의 beacon 신호들을 계속 센싱하여 리더가 전송을 마칠 때까지 기다리고 beacon이 센싱되지 않을 때 즉, 데이터 채널이 idle상태가 되었을 때 주변리더들이 Pulse MAC 프로토콜을 적용해서 데이터 채널을 사용하게 된다.



(그림 12) Flow Chart for Pulse Protocol

(그림 12)는 Pulse 알고리즘에 대한 상태 천이도 이다. 리더가 태그를 읽고자 하면 idle 상태에서 waiting 상태로 천이한다. waiting 상태에서는 Tmin동안 대기하면서 beacon 신호를 검색한다. Tmin 내에 beacon 신호를 받으면 waiting time을 Tmin 으로 리셋 한다. Tmin 시간동안 beacon 신호를 받지 않으면 contend 상태로 천이해서 랜덤 backoff (contend_backoff)동안 기다린다. 랜덤 backoff 시간은 beacon 신호 주기의 정수배 시간으로 리더가 동시에 엑세스 확률을 줄여준다. contend 상태에서도 beacon을 받으면 다시 waiting 상태로 가며 랜덤 backoff가 끝날 때 까지 beacon을 받지 않으면 경쟁중인 리더가 없음을 확인 할 수 있어서 beacon을 보내고 태그 정보를 읽게 된다. 태그 정보를 읽는 중에도 계속 주기적으로 beacon을 보내며 beacon을 보내기 전에 제어 채널이 사용 중인지를 센싱 한다. 채널이 idle인 경우만 다시 beacon을 보내며 busy인 경우는 랜덤 backoff (delay before beaconing)을 다시 하여 채널이 idle 일 때까지 기다린다. Delay Before Beaconing 상태나 reading 상태에서도 제어채널을 통해서 다른 beacon이 수신되면 모두 waiting 상태로 돌아가야 한다.

Pulse 알고리즘의 성능을 기존 방법과 비교하기 위해서 시스템 throughput 및 시스템 효율을 다음과 같이 정의하고 Qualnet을 이용해서 시뮬레이션을 하였다.

$$\text{System Throughput} = \frac{\text{Total queries sent successfully(by all readers)}}{\text{Total time}}$$

$$\text{System Efficiency}(\%) = \frac{\text{Total queries sent successfully(by all readers)}}{\text{Total queries sent (successful + collided) by all readers}} + 100$$

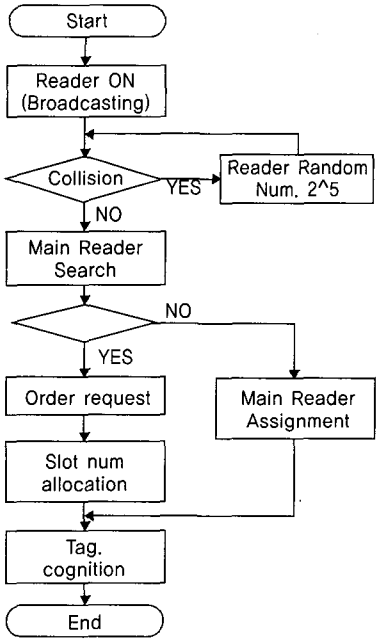
시뮬레이션 결과 Pulse 알고리즘이 기존 LBT/CSMA나 Colorwave에 비하여 throughput 및 효율면에서 50%이상 개선된 것으로 발표되었다.

5. MRC (Main Reader Controlled) 리더 충돌 회피 알고리즘

Colorwave는 리더가 경험한 충돌확률을 기반으로 스스로 프레임의 크기를 변경하므로 프레임의 크기가 리더간에 달라짐에 따라서 충동 확률이 높아지고 전체적으로 슬롯을 사용하는 효율이 감소하는 문제점이 발생한다. 제안하는 알고리즘은 Colorwave의 장점인 프레임의 크기가 태그 개수에 따라서 변경되는 방법을 기반으로 같은 영역에 있는 리더들의 프레임 크기를 항상 같게 조절함으로써 성능을 향상 시키는 알고리즘이다.

본 절에서 제시하는 알고리즘은 같은 영역 안에 있는 하나의 리더가 나머지 리더들을 컨트롤하는 리더로 설정하여서 다른 리더들이 사용하는 슬롯의 순서와 전체 프레임의 크기를 정하고 관리하는 방법이다.

이 알고리즘은 슬롯의 개수가 달라서 발생하는 리더간의 충돌 확률을 줄일 수 있고 리더들의 프레임의 크기를 같게 함으로써 사용하지 않는 빈 슬롯의 발생을 줄일 수 있다. 다음 그림은 제시하는 알고리즘의 순서도로서 구체적인 동작 프로토콜은 다음과 같다.



(그림 13) MRC 알고리즘의 동작 흐름도

① 리더는 같은 영역에 있는 태그의 사용 유무를 파악하기 위해서 CW검색 작업을 수행한다.

② 초기에 태그 인식과정에서 충돌이 발생하는 경우에는 32 슬롯을 최대로 하는 임의의 Delay 시간이 지난 후에 태그 인식 작업을 처음부터 다시 시작한다.

③ 초기 태그 인식 작업에서 충돌이 발생하지 않는 경우에 1 슬롯의 크기동안에 메인 리더를 검색한다.(충돌이 발생하지 않지만 메인 리더가 존재할 수 있을 경우에 대비)

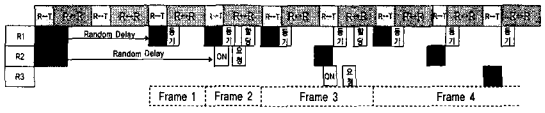
④ 리더 검색 과정에서 메인 리더가 존재하지 않으면 리더는 메인 리더 (Control Reader)가 되고 프레임 크기를 슬롯 한 개의 크기로 정하고 태그를 인식하기 시작한다.

⑤ 리더 검색 과정에서 메인 리더가 존재하면 메인 리더에서 프레임에서 슬롯의 순서를 요청한다.

⑥ 슬롯 순서를 요청 받은 메인 리더는 프레임의 크기를 조절하고 주위 리더들에서 프레임 크기 변경 정보를 알린 다음에 요청 받은 리더에게 해당 슬롯을 할당한다.

⑦ 슬롯 순서를 받은 리더는 다음 프레임부터 순서에 맞춰서 태그를 인식하기 시작한다.

처음에 2개의 리더가 동시에 태그를 접속하기 위해서 태그를 검색한다. 이때 충돌이 발생하므로 리더들은 일정한 지연 슬롯을 가진 후에 태그 접속을 시도한다. 그중에서 리더 1이 먼저 태그 접속을 시도하고 태그가 사용되지 않고 메인 리더가 없다는 것을 파악한 후에 R1에 메인 리더가 되는 설정 과정을 거친다. 이때 R1은 기준 동기를 만들고 슬롯의 R↔R 구간에서 동기 신호와 프레임의 정보를 R1의 영역에 뿌린다. R 2는 일정한 지연을 가지고 태그를 인식하는 작업을 수행한다. 이때 태그가 사용 중에 있으므로 R2는 메인 리더를 찾게 되고 메인 리더인 R1에 뿌리는 프레임으로 정보를 받은 후에 동기를 맞추는 작업과 메인 리더에게 슬롯의 할당을 요청한다. 슬롯의 할당을 요청 받은 메인 리더(R1)는 프레임의 크기를 조정하고 해당 정보를 뿌리는 작업과 슬롯의 할당 작업을 동시에 수행한다. 슬롯을 할당하면 프레임의 크기는 리더의 개수만큼 늘어난다. 일정한 시간이 지난 후에 R3이 들어오게 되면 같은 동작이 반복되게 된다. 그림 14는 알고리즘이 동작하는 과정을 나타내었다.



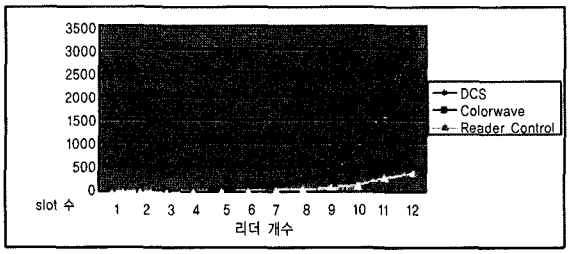
(그림 14) 리더들이 태그를 인식하는 과정

초기에 리더들은 태그를 인식하기 위해서 영역안 다른 리더를 찾는 작업을 수행하는데 태그를 인식하고 있는 리더가 존재하면 같은 영역에서 RFID 시스템을 컨트롤하는 리더를 찾아서 태그사용을 요청하고 프레임의 크기와 태그를 인식하는 순서 등의 기본정보를 받아서 태그를 인식할 준비를 한다. 태그를 인식하는 순서를 부여 받은 리더는 다음 프레임부터 순서에 맞춰서 태그를 인식하고 RFID 시스템을 컨트롤하는 리더는 변경 정보를 영역 안의 다른 리더들에서 알려준다.

이때 시스템에서 추가 가능한 리더의 개수는 알고리즘에서 전송 가능한 데이터의 크기에 따라서 다르게 설정할 수가 있다. RFID 시스템 안에서 컨트롤하는 리더가 없고 동시에 여러 개의 리더가 컨트롤하는 리더를 찾을 경우에는 일정 시간 후에 리더들은 컨트롤 리더가 설정될 수 있도록 랜덤한 지연시간을 가지고 다시 컨트롤 리더를 찾는다.

(그림 15)는 DCS, Colorwave, Reader Control 알고리즘에 대한 시뮬레이션 결과이다.

시뮬레이션은 비슷한 조건으로 수행하였고 프레임에서 슬롯의 램덤값을 찾는데 있어서 컴퓨터 램덤값이라는 점 때문에 실제와 약간의 차이가 있을 수 있다. 시뮬레이션 결과에서 보면 DCS보다 Colorwave의 성능이 리더의 개수가 늘어남에 따라서 성능이 차이 나는 것을 볼 수가 있고 Reader Control 알고리즘이 Colorwave 보다는 평균적으로 약 25% 정도의 성능 향상을 볼 수가 있었다.



(그림 15) 시뮬레이션 결과

VI. 결 론

본 논문에서는 RFID 시스템에 적용가능한 여러 가지 리더 충돌 회피 알고리즘을 소개했으며 각 방법의 차이점을 비교하였다. TDMA 기반 알고리즘은 다중리더에 의한 태그 간섭을 해결하기 위해서 리더간의 동기에 기반을 둔 방법들이다. 이들 방법들은 기본적으로 다중리더에 의한 태그 충돌을 인식할 수 없어서 일부 태그들을 놓칠 수 있는 확률이 있었다. pulse 알고리즘은 제어 채널을 추가로 사용해서 이를 해결한 것으로 추가적인 채널 낭비는 있으나 성능을 크게 개선되는 효과가 있었다.

마지막으로 하나의 메인리더를 설정해서 매인리더의 컨트롤에 의해 리더가 동작하는 슬롯을 할당하는 방법은 colorwave 방법을 크게 개선 할 수 있었다. 하지만 이 경우 메인리더를 정하는 프로토콜이 추가 되어야 하는 단점을 지니고 있다.

리더충돌 문제는 RFID 기술의 확산에 가장 장애가 되는 문제점으로 이를 극복하기 위한 지속적인 연구가 진행 중이다. 더욱이 리더 충돌문제는 국가별 전파 상황이 서로 상이하여 작업종류에 따라 효과적인 방법이 다를 수 있으므로 모든 상황에 최적인 방법을 찾기 보다는 상황별 최적의 방법을 찾는 연구가 필수적이다.

[1] Klaus Finkenzeller, "RFID Handbook 2nd Edition," Wiley, 2003

[2] ISO/IEC JTC 1/SC 32/WG 4, Information Technology automatic identification and data capture techniques - Radio frequency identification for item management - Part 6: Parameter for air interference communications at 860MHz to 960MHz, ISO/IEC FDIS 18000-6, November 2003.

[3] EPC Global, "EPC Radio-Frequency identity Protocols class-1 generation-2 UHF RFID protocols for communications at 860MHz~960MHz version 1.0.9," EPC global, 2005

[4] 김영환 ,어필선 ,양훈기, 박승근, 강봉순, 김영수, 육종관, "몬테카를로(Monte-Carlo) 방법을 적용한 수동형 900MHz 대역의 RFID 간섭 분석", 2006년 1월 전자공학회 논문지 제 43 권 TC 편 제 1 호

[5] ETSI TR 102-313 v1.1.1 , "Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Frequency-agile Generic Short Range Devices using Listen-Before-Transmit (LBT)" July 2007.

[6] CEPT Administrations, "*Compatibility of planned SRD applications with currently existing Radio-communication applications in the frequency band 863-870MHz (ERC report 37)*," ERC within the CEPT, Feb 2004.

[7] J. Waldrop, D. W. Engles, S. E. Sarma, "Colorwave : A MAC for RFID Reader Networks," 2003 IEEE Conf. on Wireless Communication and Networking, March 2003.

[8] J. Waldrop, D. W. Engles, S. E. Sarma, "Colorwave : An Anticollision Algorithm for the Reader Collision Problem," 2003 IEEE International Conf. on

Communications, May 2003.

[9] 이수련, 이채우, "RFID 시스템에서의 Enhanced Colorwave 리더 충돌 방지 알고리즘" 2006년 2월 전자공학회 논문지 제 43 권 TC 편 제 2 호

[10] Shailesh M.Birari, "Mitigating the Reader Collision Problem in RFID Networks with Mobile Readers," M.S. Dissertation in Indian Institute of Technology Bombay, 2005.

[11] 안동헌, 양훈기, "RFID 시스템에서 리더 제어 방식의 리더 충돌방지 알고리즘에 관한 연구" 2006년 한국통신학회 추계학술대회

[12] 안동헌, 양훈기 "MRC (Main Reader Controlled)방식의 리더 충돌 회피 알고리즘", 한국통신학회 논문지 제출중

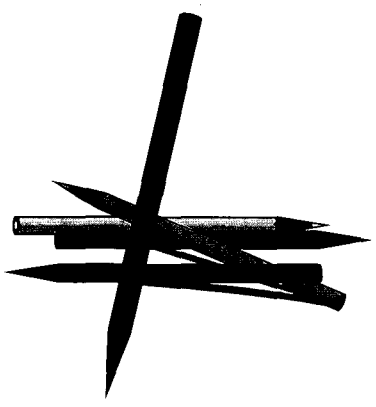
[13] CEPT Administrations, "*Monte-Carlo Simulation methodology for the use in sharing and compatibility studies between different radio services or systems (ERC report68)*," ERC within the CEPT, February 2000.

[14] Jerome Deloziere, Arnaud Toury, and Marc Le Devendec, "*SEAMCAT User Manual*," ERO, February, 2004

[15] Jakes, William C., Jr., "*Microwave Mobile Communications*," John Wiley & Sons,1974

감사의 글

본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT 연구센터 지원사업의 연구결과에 의한 것입니다. (IITA-2006-C1090-0603-0038)



약 력

안 동 헌

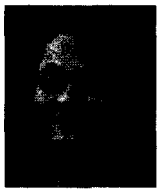
2000년 대진대학교 통신공학과 학사
2002년 광운대학교 전파공학과 석사
2003년 ~ 현재 광운대학교 전파공학과 박사과정
관심분야 : RFID/USN, SDR, 4G, 무선통신시스템

양 훈 기

1985년 연세대학교 전자공학과 학사
1987년 SUNY at Buffalo ECE 석사
1992년 SUNY at Buffalo ECE 박사
1993년 ~ 현재 광운대학교 전파공학과 교수
관심분야 : 무선통신시스템, UWB, RFID, 스펙트럼 공학

양 성 현

1983년 광운대학교 전기공학과 학사
1987년 광운대학교 전기공학과 석사
1992년 광운대학교 전기공학과 박사
1991년 ~ 현재 광운대학교 전자공학부 교수



김 영 수

1981년 연세대학교 전자공학과 학사
1983년 연세대학교 전자공학과 석사
1988년 미국 Arizona State University 전기 및 컴퓨터공학과 박사
1992년 ~ 현재 경희대학교 전자정보대학 전파통신공학 교수
관심분야 : 4G, RFID, SDR