

수동형 UHF RFID 인터페이스에 대한 Link budget 의 재해석 및 전파 환경 요소 분석

Passive UHF RFID Propagation Characteristics and Reconsideration of Link budget on Practical Communication Area

정진우, 박경태, 노형환, 박준석*, 김형석**
 (Jin-Woo Jung, Kyoung-Tae Park, Hyoung-Hwan Roh, Jun-Seok Park*, and Hyeong-Seok Kim)

Abstract : In this paper, we discuss the recent trends on the passive UHF RFID tag chip design techniques and several important system parameters. We also summarize link budget studies on both conventional and modern UHF RFID communications. The paper highlights the reverse link limited case, which has known to be the minor concern if reader continuous wave (CW) can reach the tag in sufficient level. This makes sense when the tag sensitivity is rather high (over 10-12 μ W); however, since the tag chip fabrication technologies have been developed by time, the tag chip threshold levels are now less-dominant in determining link margin. If the tag limitation can be alleviated, the forward link limited case can be resolved; thus, we rather focus on the path-loss problem. Since the path-losses are still exist in both forward and reverse links, and it can be doubled while CW travels the reader-tag-reader path because forward link and reverse link are on the same distance. Consider if reader receiver sensitivity is very high in the worst case. In this case, weaken tag response (i.e., backscatters) cannot reach the level that reader receiver can process tag data; bit-error rate can be higher. Overall, backscatter levels should be high enough so that reader receiver can correctly function. After discussing link budget, we carried out practical measurements on fading effects between two circularly polarized UHF RFID antennas in a small scale area.

Keywords: Passive UHF RFID, link budget, sensitivity, path-loss, fading effects

I. 서론

수동 소자의 공진효과에서 능동 소자의 신호 변환에 이르기까지, 무선 송수신 시스템에 가장 중요한 설계 지침 사항 중 하나인 잡음특성을 파악하는 것은 매우 중요하다. 절대온도 이상의 모든 물체는 전자파의 형태로 에너지를 복사하며, 이러한 전자파 복사는 불분명하게 그 형태나 레벨을 지닌다. 때문에, 이러한 모든 복사 매체는 특정 대역의 무선신호 전파에 악영향을 미치는 잡음성분으로 이해되는 것이 보통이다. 잡음은 시간영역에서 변화할 수 있는 진폭, 위상, 혹은 편면과 합, 시간 지연으로 인한 불분명한 신호의 합 등으로 표현 될 수 있다 [1],[2].

이러한 잡음의 성분의 합이 비록 무선신호에 대한 광목할 만한 영향력을 끼치는 것이 아니다 하더라도, 무선 송수신 시스템의 증폭기와 같이 이득을 가지는 소자를 생각한다면 잡음 특성을 무시할 수 없다. 즉, 아무리 낮은 레벨의 잡음이라 할지라도 그것이 이득을 얻어 증폭이 된다면 심각한 시스템 오류로 작용할 가능성이 높아지는 것이다 [그림 1. 참조].

이러한 이유로 잡음 특성 및 무선신호의 위상 혹은 진폭, 시간 지연 등을 통합적으로 고려하여 시스템의 출력 레벨 등을 결정 짓는 과정을 링크버지(link budget)이라고 한다.

지속적인 무선 시스템의 발전에 따라, 링크버지는 단순히 상용화된 시스템간의 출력레벨 조정 및 중재에 활용되는 관점에서 벗어나 보다 포괄적인 기능을 수행하는데 기여할 수 있어야 한다. 본 논문에서 기술되어있는 연구는 수동형 UHF

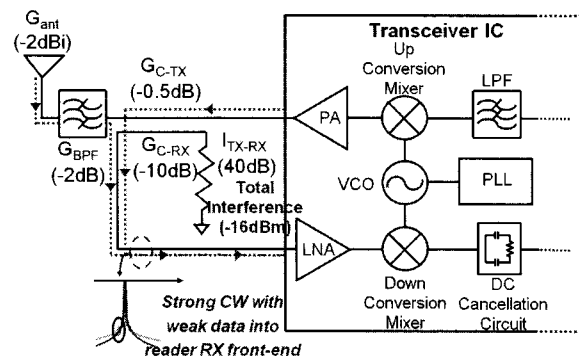


그림 1. RFID 리더 시스템 내부 잡음 문제와 야기되는 간섭신호 현상

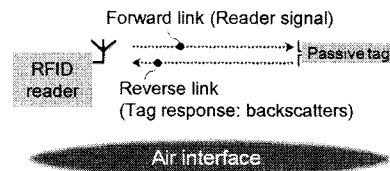


그림 2. UHF RFID 링크 구성

RFID 태그의 칩 기술의 최근 동향을 반영하고, 이를 링크버지 [그림 2. 참조]의 재해석에 접목시키려는 목적에서 출발하였다. 만일 신호 증폭 시스템과 같은 응용 네트워크를 설계하고자 한다면 어떠한 신호를 증폭시켜야 할지에 대한 관점에 대해 보다 명확한 정보를 제공할 수 있을 것이다.

링크버지의 재해석에 관한 수식의 전개와 이에 관한 연구에는 수학적 가정의 기반이었으며, 이는 페이딩(fading effects) 현상에 밀접한 관련이 있다. 이를 실험으로 증명하였다.

* 박준석 (전자공학부, 국민대학교)
 논문집수 : 20xx. x. x., 채택확정 : 200x. x. xx.
 정진우, 박경태, 노형환: 국민대학교 UCRC Lab.
 (firebirdjin@gmail.com, hhroh@gmail.com, jspark@kookmin.ac.kr)
 김형석 : 중앙대학교 전자전기공학부 교수 (kimcaf2@cau.ac.kr)
 ※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (IITA-2008-C1090-0801-0003)

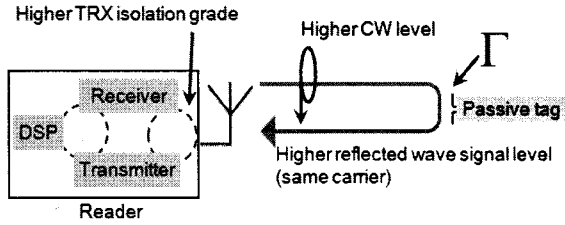


그림 3. 수동형 UHF RFID 통신상에서의 이상적인 순방향 링크 구성

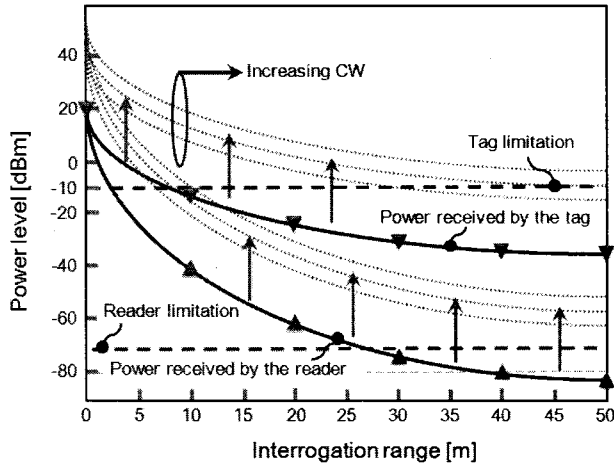


그림 4. 인식거리 대 전력밀도 감쇄현상

II. 링크 버짓

에너지는 송신안테나로부터 전자기파 형태로 공기 중으로 방사된다. 전자기파를 이루는 세가지 요소 (크기, 위상, 주파수) 에 변화를 주어 메시지를 코딩하고, 근처지역의 한 지점으로 전송하는 것이다. 주기신호는 그 크기 및 위상이 주파수 영역에 걸쳐 계속적으로 변화하지 않는다. 대표적인 예가 바로 진행파 (Continuous Wave) 신호이다. 진행파는 통신시스템의 수신부를 이루는 회로에 인가되는 전압을 유도하며, 송신 신호와 동일한 동작 주파수 구간에서 동작을 할 것이다. 바로 이 인가 전압은 전송 거리를 거치는 과정에서 자연적인 감쇄현상으로 인해 그 크기가 감쇄되어 있다. 전파 거리에 따른 시간 지연은 송신신호의 진행파상수(k)가 전송거리(r)를 거쳐 증가함에 따라, 수신부로 인가되는 신호의 주파수 오프셋(offset)으로 작용하게 된다. 여기서 보다 정확한 위상 특성은, 실제 시스템을 다루는데 있어 매우 난해한 부분이 많으므로 해당 특성에 대한 파라미터는 더 이상 언급하지 않기로 한다. 앞서 언급된 전압을 RFID 통신상에서 어떻게 측정하고 가지적으로 표현할 수 있을 것인가가 관건이다. 이에 링크 버짓에 대한 연구가 진행 중이다 [3].

A. 순방향 링크 버짓 (forward link budget)

수동형 태그는 별도의 전지(battery)를 가지고 있지 않으며, 자신의 동작 전력을 얻기 위하여 리더로부터 송출되는 전자기파를 정류하여 자신의 전원으로 이용한다. 수동형 태그가 정

상적으로 동작하기 위해서는 태그가 놓여진 위치에서 리더로부터 송출된 전자기파의 세기가 특정한 값 이상이 되어야 한다. 즉, 리더로부터 송출되어 태그에 도달하는 전자기파의 세기에 의해서 인식 영역이 제한될 수 밖에 없다.

수동형 RFID 태그 회로는 크게 다이오드 및 캐패시터로 구성된 Frontend 단과 스위칭 회로 그리고 메모리이다. 메모리에 저장된 태그 ID를 스위칭 회로가 리더로부터 전송된 전자기파를 스위칭하여 진폭변조된 응답신호를 생성해낸다. 따라서 진폭변조 과정에서의 효율을 높이기 위해서는 IC칩 (메모리)와 태그 안테나간의 임피던스 정합이 중요히 여겨진다. 모든 노력은 태그가 얻을 수 있는 에너지를 최대한 활용하는 것인데, 이상적으로는 리더의 출력레벨을 높임으로써 해결이 가능하다. 하지만 지역별 방사 기준 (최대 4W)을 고려한다면 이러한 방법은 불가하다. 따라서, 리더의 출력은 제한 되고, 공기 중으로 전파되어 태그에 도착한 에너지 (전력 밀도)는 현저히 감쇄되어 있는 상태이다 [그림 4. 참조].

B. 역방향 링크 버짓

역방향 링크 버짓에 대한 연구가 최근 이슈가 되고 있다. 역방향 링크는 태그의 응답신호, 즉 역산란 신호에 그 초점을 두고 있다. 근본적으로 자유공간상에 존재하는 신호 손실은 순방향 링크와 동일 하지만, 순방향 링크를 거쳐 이미 감쇄된 전력밀도가 태그의 불완전한 임피던스 정합문제로 인하여 한번 더 손실되고, 최종적으로 태그가 역산란 변조 과정을 거쳐 응답신호를 리더로 전송하는 과정에서 다시 한번 자유공간에서 전력손실을 받게 된다. 이에 더해, 태그의 응답신호는 공기 중으로 전파됨에 따라 다중경로 페이딩과 같이 불특정한 환경요소에 영향을 받을 것이다. 이런 경우, 최종적으로 리더 수신 안테나에 도착한 태그 응답신호는 그 자체의 진폭이 매우 감소되어 있으며, 위상차이 역시 괄목할 정도로 천이된 상태일 수 있다. 여기서 우리가 위상차는 변화를 두지 않고, 진폭 특성에만 초점을 맞추어 본다면 진폭 변조 방식으로 응답신호를 생성해내는 태그 출력은 효율성이 높지 않다는 것을 알 수 있다. 이는 곧, 불특정 환경변수에 강한 태그응답신호는 그 진폭이나 위상 특성을 이용하여 생성하는 것보다는 코드 체계가 확고해야 한다는 것이다. 또한 이러한 경우 사용되는 변조 방식이 바로 위상천이 변조방식 (Frequency shift keying: FSK) 이다. 태그 신호의 코딩 방법 중 대표적인 것이 바로 FM0 코딩 방식이다. OOK 방식과는 달리, FM0 코딩에 따르면 이진신호 '1'에 대한 태그 신호 상태가 높은 진폭일 수 있고 하강 낮은 진폭일 수도 있다. 리더는 이러한 신호를 구별할 수는 없으며, 다만 표준화된 신호 전송 구간이 있으므로 이를 참조하여 태그 신호를 구별해낼 수 있다. 태그로부터 역산란되어 되돌아오는 리더의 출력신호로부터, 태그 정보를 담고 있는 신호성분이 원래의 반송파 신호와 확실히 구별될 수 있을수록 리더가 태그 정보를 정확히 읽을 수 있는 확률이 높아진다. 따라서 부반송파를 사용하는 역산란신호로부터 태그 정보를 구별해 낼 수 있는 확률은 높아지는 것이다. 그러나 이러한 경우, 태그 정보를 담고 있는 신호성분이 부반송파로부터 필요이상으로 격리되어 있다면, 태그응답신호가 해당 리더로 관측되는 것이 아니라 또

다른 채널상의 리더에 의해 판독될 확률이 높다.

또한 진폭변조방식을 채택한 수동형 태그로부터 방사되는 역산란 신호는 리더로 재전송되는 과정에서 다음과 같은 신호 감쇄 영향을 받는다.

$$P_S(x) = \alpha_{BW} E_{tag} P_{TX} G_{TX} G_{RX,reader} \times 10^{2 \times PL(x)/10} \quad (1)$$

여기서의 $P_{TX} G_{TX}$ 는 태그로부터 전송되는 역산란 신호 레벨을 의미하며, $G_{RX,reader}$ 는 리더 수신 안테나 이득을 나타낸다. $PL(x)$ 는 자유공간의 경로(x , 단위: m) 손실을 의미한다. 역방향 링크가 순방향 링크와 동일한 경로 상에 존재하므로 역방향 링크로 전파되는 역산란 신호의 레벨이 거리의 4 제곱에 비례하여 감쇄된다.

III. 페이딩 측정 실험

앞서 표현된 수식 (1)은 페이딩 현상이 전파경로손실 특성 연구에서 별다른 효용이 없다는 가정하에 성립되었다. 페이딩 현상이란, 전파가 공기 중으로 진행되면서 발생하는 위상 변화 및 이에 따른 신호왜곡에 작용하는 환경적인 변수이며, 이에 관한 많은 연구가 진행되었다 [3]. 해당 연구들에 따르면, 안테나의 가시거리가 (Line-of-sight: LOS) 보장이 된다면, 페이딩 현상은 무시할 만하다는 것이 결론이다.

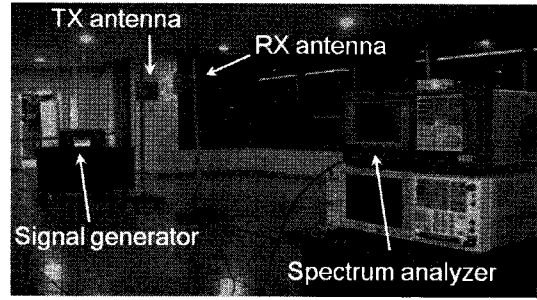
여기서 링크 버짓을 연구하는 과정에서 수학적 가정을 가시적으로 검증할 필요가 있다. 따라서 근거리 UHF RFID 통신 상에 발생 할 수 있는 페이딩 현상에 대한 실제적인 측정을 수행하였다 [그림 5, 6. 참조].

실험은 신호발생기로부터 UHF RFID 대역의 진행파가 공기중으로 전파되면, 스펙트럼 분석기에 입력되는 진행파의 스펙트럼 데이터를 스펙트럼 분석기와 직렬 포트로 연결된 Host PC에서 모니터링 하고, 데이터를 저장하는 순으로 진행되었다. 실험결과는 이제껏 소개되었던 근거리 RFID 통신에서의 페이딩 현상에 대해, 페이딩 현상이 효용이 거의 없다는 결론과 일치하였으며, 앞서 소개되었던 수식의 전개에 수학적 가정이 옳은 것을 검증할 수 있었다.

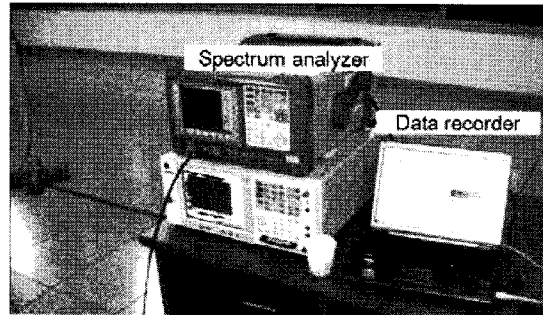
VI. 결론

ver

RFID 통신은 그 신호성분이나 소자의 공진특성이 환경적 요소에 매우 민감하다. 따라서 특별한 경우에는 발전과 같이 그 제어가 매우 힘든 사태가 발생하기도 한다. 본 논문은 이러한 RF 신호의 특성 중 가장 근본적인 자유공간 내 전파하는 신호의 감쇄현상에 대해 다루었고, 이와 관련된 링크버짓을 바라보는 관점에 대해 재고하였다. 무선 통신 기술이 점차적으로 발전하면서 종전의 기술적 제한 역시 줄어들고 있다. 이에 발맞추어 시스템을 새로운 시각으로 바라보는 것이 최선책이 될 수 있을 것이다. 해당 연구 결과는 차후에 역산란 신호 증폭기와 같은 무선 응용 시스템을 개발하고자 하는 이에게 정보를 제공해 줄 수 있을 것으로 판단된다.



(a)



(b)

그림 5. Fading 현상 실험 현장사진

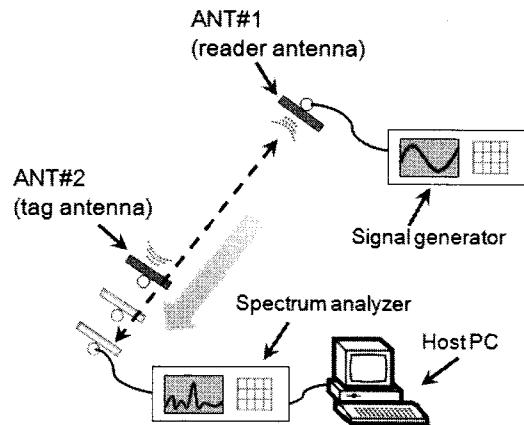


그림 6. 실험 구성도

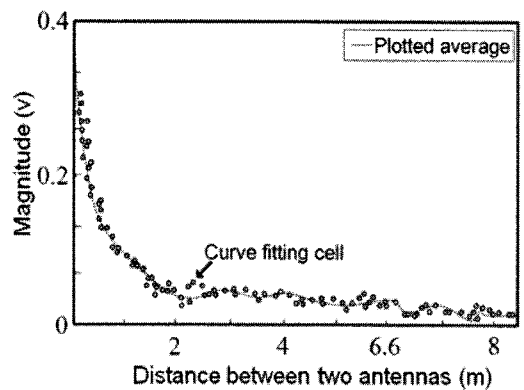
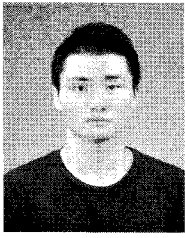
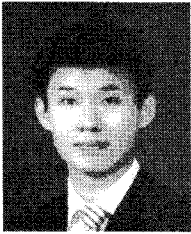


그림 7. 자유공간 전파 신호의 레벨 감쇄 현상 (측정 결과)



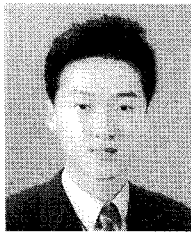
정진우

2007년 국민대학교 전자공학부 졸업.
2007년~현재 국민대학교 전자공학대학원 석사과정 재학중. 관심분야는 UHF RFID 시스템/소자 설계 및 전파환경 측정, 링크버짓 설계



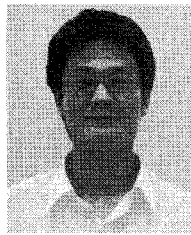
박경태

2007년 2월 국민대학교 공학사 졸업
2007년 3월~현재 국민대학교 전자공학과 (공학석사과정)
관심분야는 RFIC



노형환

2005년 국민대학교 공학사 졸업
2007년 2월 국민대학교 공학석사 졸업
2007년 3월~현재 국민대학교 전자공학과 공학박사과정
관심분야는 RFIC, EMC



박준석

1987년 국민대학교 공학사 졸업
1993년 국민대학교 공학석사 졸업
1996년 국민대학교 공학박사 졸업
이후 University of California at Los Angeles Ph.D 과정 수료
현 국민대학교 전자공학부 부교수



김형석

1985년 서울대학교 전기공학 공학사.
1987년 서울대학교 전기공학 공학 석사.
1990년 서울대학교 전기공학 공학박사
1990~2002 순천향대학교 정보기술공학부 부교수.
1997~1998 R.P.I 미국 방문 교수.

2002~현재 중앙대학교 전자전기공학부 교수.

관심분야 : 전자장 및 수치해석, RF 및 마이크로웨이브 소자 해석 및 설계, RFID 시스템 연구, IT-SoC 응용 회로, 전력 IT

참고문헌

- [1] J. W. Jung, J. H. Hwang, H. K. Kwak, H. H. Roh, J. S. Park, "Multipath fading measurement on the circularly propagated UHF RFID reader antennas in a practical area", *2008 Asia-Pacific Symposium on Electromagnetic Compatibility & 19th International Zurich Symposium on Electromagnetic Compatibility*, 19–22 May 2008, Singapore
- [2] J.W. Jung, H. H. Roh, J. C. Kim, H. G Kwak, M. S. Jeong, J. S. Park, "TX Leakage Cancellation via a Micro Controller and High TX-to-RX Isolations Covering an UHF RFID Frequency Band of 908-914MHz", *IEEE Transactions on Microwave and Wireless Components Letters*, accepted
- [3] P. V. Nikitin, K. V. S. Rao, "Antennas and Propagation in UHF RFID Systems", *2008 IEEE International Conference on RFID*, Las Vegas, USA, April 16-17, 2008