
FPGA를 이용한 RFID 시스템 기반 충돌 방지 알고리즘 구현

이우경* · 김선형* · 임해진**

Implementation of Anti-Collision Algorithm based on RFID System using FPGA

Woo-Gyeong Lee · Sun-Hyung Kim · Hae-Jin Lim

요 약

본 논문에서는 현재 900MHz 대역의 RFID에서 사용하는 ISO18000-6의 규격 중 Type-B의 전송 프로토콜과 충돌 방지 알고리즘을 개선해보고자 FPGA를 이용하여 RFID 시스템을 설계 및 구현하였고 그 성능을 측정하였다. 제안한 RFID 시스템에서의 충돌 방지 알고리즘을 기존의 이진 트리 알고리즘 및 bit-by-bit 알고리즘과 성능을 비교 분석 하였다. 태그의 개수가 증가할수록 제안한 알고리즘이 기존 알고리즘보다 우수한 성능을 보임을 OPNET 모의실험을 통하여 검증하였다. 개선한 Type-B의 전송 프로토콜과 충돌 방지 알고리즘은 Xilinx사의 FPGA 디자인 툴인 ISE7.1i를 사용하여 설계하였으며 Xilinx사의 FPGA 디바이스인 Spartan2칩에 구현하였다.

ABSTRACT

In this thesis, a RFID baseband system is implemented based on the international standard ISO/IEC 18000-6 Type-B using FPGA, and also anti-collision algorithm is implemented to improve the system performance. We compares the performance of the proposed anti-collision algorithm with that binary tree algorithm and bit-by-bit algorithm, and also validated analytic results using OPNET simulation. The proposed algorithm for Type-B transmission protocol and collision prohibition was designed using ISE7.1i which is a FPGA design-tool of Xilinx and implemented with Spartan2 chip which is a FPGA device.

키워드

RFID System, Anti-collision algorithm, binary tree algorithm, bit-by-bit algorithm

* 순천향대학교 정보기술공학부
** 강원대학교 전자정보통신공학부

접수일자 : 2005. 12. 27

I. 서 론

유비쿼터스 환경에서는 통신의 주체가 사람과 사람, 사람과 사물은 물론 사물과 사물을 포함하는 다양한 패러다임의 변화가 예견된다. 이러한 유비쿼터스 환경은 모든 사물을 부착된 센서를 통해 정보를 습득하고 관리하는 네트워크, 즉 USN(Ubiquitous Sensor Network)을 통해 구현이 가능하다. 그러나 이러한 네트워크의 구현을 위해서는 바코드와 같은 기존의 인식장치보다 좀 더 지능적이고 효율적인 인식장치가 필요하게 되었고 그 최적의 대안이 바로 RFID(Radio Frequency IDentification)이다.

RFID 기술은 사물을 전파를 매개로 하는 초소형 칩(chip)과 안테나를 태그 형태로 부착하여, 안테나와 리더기를 통하여 사물 및 주변 환경정보를 무선주파수로 네트워크에 전송하여 처리하는 일종의 비접촉형 자동식별 기술을 말한다. 이와 같은 RFID 기술은 유비쿼터스 환경을 가능케 하는 시작점에 속하는 핵심 신기술로써 미래의 IT 시장을 주도할 기술과 상품은 RFID 기술에 접목된다고 보아도 과언이 아니다.

사실상 RFID가 소개된 것은 20여년 전이지만, 그간에는 비용과 상용화 기술 등의 문제로 상업화하지 못했으나, 최근 널리 쓰이기 시작하였다. 상품이나 물류와 관련하여 기존에 널리 사용해온 바코드 방식과 달리, RFID 방식은 비접촉방식으로서 포장, 대상 표면의 재질, 환경 변화 등의 여부에 관계없이 항상 인식이 가능하다. 또한 마이크로칩이 내장되어 있어서 바코드보다 훨씬 많은 정보를 교환할 수 있으므로 물류, 재고관리, 도난방지 등에 적용할 수 있다. RFID는 지금까지 주로 10cm 이내의 접촉식 카드(13.56MHz)가 보편적이었으나, 900MHz 및 2.4GHz RFID 태그는 비접촉식으로 3m 이내의 거리에서 인식할 수 있다.

UHF 대역의 RFID 표준화와 관련하여 ISO/IEC JTC1 SC31 WG4에서 ISO18000-6 (960~960MHz 대역 무선접속 표준)의 표준으로 Type-A 및 Type-B 규격이 확정되었으며 이와 별도로 MIT Auto ID 센터를 중심으로 EPC (Electronic Product Code) 표준으로 Class 0와 Class 1 규격이 확정되었다. 최근에는 EPC Class 1 Generation 2 (EPC Class 1 Gen 2) 규격을 ISO에 상정하여, Type-A, B 표준 외에 Type-C 표준으로 통합하여 표준으로 채택되었으며, 현재 FDIS (Final Draft International Standard) 상태에 있다 [1], [2].

본 논문에서는 ISO/IEC18000-6에서 제안하고 있는 형식 중 Type-B의 맨체스터 부호화를 VHDL로 구현하여 기본적인 통신 프로토콜을 구성하고 기존의 충돌 방지 알고리즘으로 사용중인 순수 알로하 방식과 슬롯 알로하 방식 그리고 이진 검색 알고리즘인 베이직 방식, 다이나믹 방식, 베이직 슬롯방식과 bit-by-bit 방식들을 비교분석하였다[3]-[5]. 뿐만 아니라 본 연구에서는 이들 방식 중에서 RFID 시스템에 적합한 bit-by-bit 방식을 개선하여 태그 인식 과정을 단축시켰으며 리더기에서 태그로의 명령어 전송시 명령에 CRC코드에 의한 에러검출만 가능하였던 것을 보완하고자 리더기에서 태그로의 명령 전송시 컨볼루션 방식을 적용하여 시스템의 데이터 신뢰성을 향상시켰다. 또한 전체적인 시스템의 신뢰성 향상을 위해 FPGA를 이용하여 RFID 시스템을 설계 및 구현하였다[6]-[9].

II. 본 론

2.1 ISO/IEC 18000-6 Type B 표준 분석

RFID 리더에서 태그로의 명령 전송 구간을 순방향 링크(forward link)라고 하며, ISO/IEC 18000-6에서 설명하는 동작 환경은 그림 1과 같다[10]-[12].

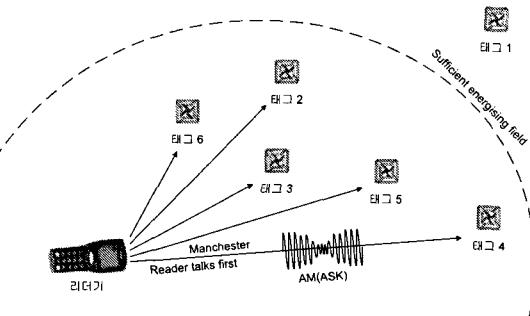


그림 1. 순방향 링크 동작 환경
Fig. 1 Forward link operations

일단 리더의 에너지 영역 안에 들어온 태그들은 리더로부터 일정 시간동안 에너지를 공급받은 다음, 모든 태그가 리더의 명령을 브로드캐스트로 받게 된다. 이러한 과정은 리더를 마스터로 하여 진행되며, 항상 리더가 태그에게 먼저 말을 건네는 것으로 시작된다. 리더에서 송신하는 데이터는 Type B의 경우 맨체스터(Manchester) 코드 형태로 부호화되어 최종 출력 신호는 ASK(Amplitude

Shift Keying) 형식으로 태그에게 보내진다.

태그에서 리더로의 응답 전송 구간을 역방향링크 (Return link)라고 하며, ISO/IEC 18000-6 Type B에서 설명하는 동작 환경은 그림 2와 같다.

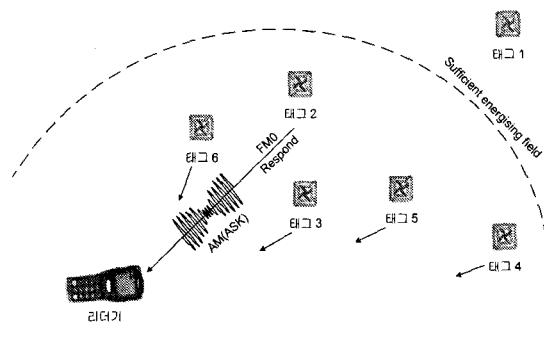


Fig. 2 Return link operations

역방향 링크에서 태그의 응답은 다수의 태그 간에 2진 트리(Binary tree)의 충돌조정(collision arbitration) 과정을 통해 인증이 완료된 1개의 태그가 정보를 전송하고 리더가 인증을 확인하는 과정을 반복하면서 진행된다. 역방향 링크의 데이터 부호화는 FM0 형식을 사용하고, 반사된 응답은 ASK 형식으로 변조되어 리더로 보내진다.

순방향 링크의 데이터 부호화는 맨체스터부호 방식을 사용하고 역방향 링크는 FM0를 사용하게 되며 그 과정 및 코딩 형태는 그림 3과 그림 4에 제시되어 있는 바와 같다. 여기서 맨체스터부호 기법은 2진 데이터에서 1은 네 가티브 에지를, 0은 포지티브 에지를 갖도록 부호화하고, FM0 기법은 그림 4에서와 같이 맨체스터코드에서 0은 그대로, 1은 토클 형태로 부호화한다.

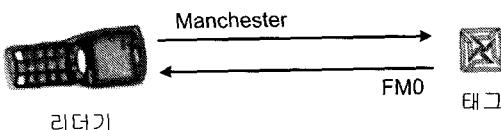
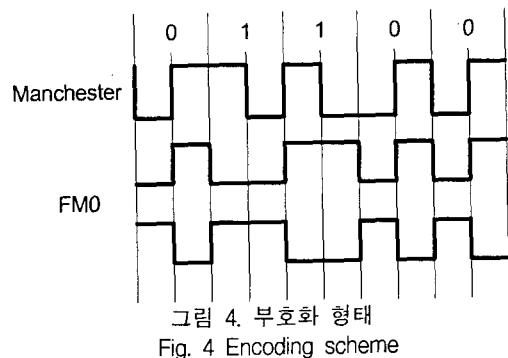


그림 3. 순방향과 역방향 링크의 데이터 코딩
Fig. 3 Data encoding for Forward and Return link



순방향 링크의 데이터율은 10kbit/s 그리고 40kbit/s를 가진다. 반면에 역방향 링크의 데이터율은 일반적으로 40kbit/s이지만 태그가 송신된 데이터율의 4배로 반송하여 160 kbit/s까지 전송율을 높일 수가 있다.

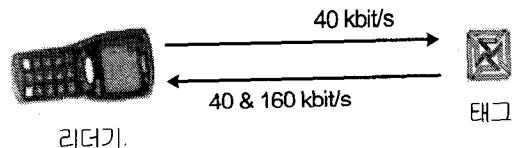


그림 5. 각 링크의 데이터율
Fig. 5 Data rates in Forward and Return link

리더가 브로드캐스트한 명령에 대하여 응답하는 다수 태그를 구분하여 한 태그를 선택하기 위한 과정을 충돌 방지(Anti-Collision)이라 한다. Type B는 충돌 조정을 위해 기본적으로 2진 트리 개념을 적용, 사용하게 되며 이 알고리즘은 충돌 발생 시 전체 태그를 세부 하위 그룹 단위로 나누면서 최종적으로 하나의 태그를 찾는 과정을 반복하여 진행된다.

리더가 다수의 태그를 구분하고 특정한 한 개의 태그와 데이터 교환을 위해 충돌 조정을 하는 과정에서 태그는 다양한 상태변화를 일으키며, 자신 및 다른 태그들에게 브로드캐스트 되는 명령을 각각의 현재 상태에 맞게 처리한다. Type B의 상태전이도(state transition diagram)를 그림 6에 도시하였다.

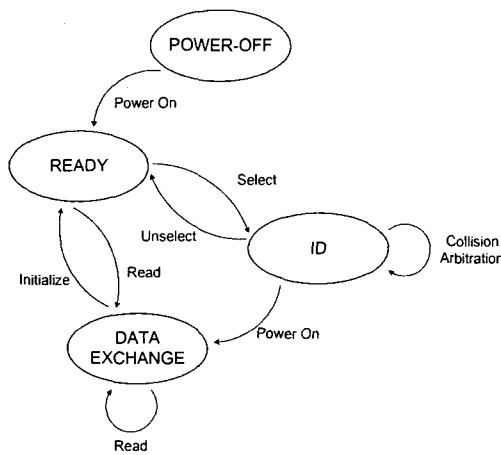


그림 6. 태그 상태전이도 (Type B)
Fig. 6 Tag state transition diagram (Type B)

태그 상태가 Power-OFF인 경우는 태그가 리더의 에너지 범위 밖에 있음을 표시한다. 태그가 유효한 리더 범위 내에 있을 경우에는 Ready 상태로 변화한다. 복수개의 태그들에 대하여 충돌 조정과정인 상태의 태그는 ID 상태를 가지며, 충돌 조정 과정이 완료되어 인증이 확인된 후, 명령이 수행되는 태그는 DATA EXCHANGE 상태를 각각 유지하게 된다[12],[18].

2.2 제안한 충돌 방지 알고리즘

이진 검색 알고리즘은 리더가 항상 태그 ID의 모든 비트(bit)를 요구한다는 단점이 있다[13]-[15]. 본 논문에서 제안한 RFID 시스템에서의 충돌 방지 알고리즘은 이러한 문제점을 해결하고 개선함으로써 태그인식과정을 단축시키고자 한다. 리더가 인식할 수 있는 범위 내의 모든 태그에게 ID의 N번째 비트의 전송요구를 하게 되면 모든 태그들은 리더의 요구에 대한 응답으로 N번째 비트를 전송하게 된다. 태그로부터 수신된 N번째 비트가 충돌이 아니면 N번째 비트를 메모리에 저장한 후, 다음 비트의 전송을 요구하게 된다. 그러나 충돌이 발생하면 메모리에 임의로 N번째 비트를 0을 저장한 후 다음 비트의 전송요구와 함께 N번째 비트가 1인 모든 태그를 비활성(inactive) 상태로 만든다.

비활성(inactive)상태는 알고리즘 수행 중 충돌이 발생했을 때 충돌이 발생한 비트가 1인 태그들이 일시적으로 리더의 다음 비트 전송요구에 응답하지 않는 대기상태이며, 하나의 태그가 인식되면 리더는 비활성상태의 태그들

을 리더의 전송요구에 응답할 수 있는 활성(active)상태로 되돌리게 된다. 만일 리더가 태그에게 마지막 비트 전송요구를 했을 때 충돌이 발생하면 ID 중 마지막 비트만 다른 두 개의 태그가 존재한다는 것을 알 수 있으므로 알고리즘에 의해 동시에 두 개의 태그를 인식할 수 있다.

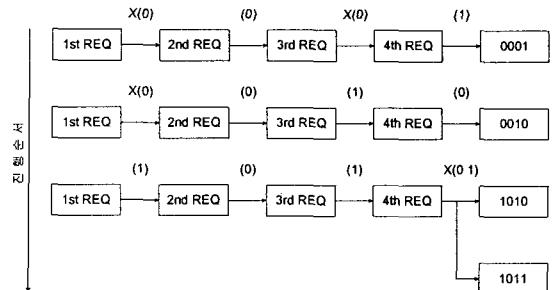


그림 7. 제안한 충돌 방지 알고리즘의 예
Fig. 7 An example of the prevention of collision of the proposed algorithm

그림 7에서 ID가 '1010'인 태그와 '1011'인 태그는 ID 중 마지막 비트만 다르기 때문에 리더가 마지막 비트 전송요구를 했을 때 태그로부터 수신된 데이터가 충돌이 발생하면 리더는 재전송 요구 없이 두 개의 태그를 동시에 인식하게 됨으로써 기존의 이진 검색 알고리즘에 비하여 모든 태그를 인식하기 위한 시간을 줄일 수 있고 태그가 전송한 비트의 수도 적기 때문에 태그에 의해 소모된 에너지도 적게 된다. 하나 또는 두 개의 태그 인식 과정이 끝나면 알고리즘 진행 동안 비활성상태로 되어 있는 태그를 활성상태로 만들고 다시 위의 과정을 반복함으로써 모든 태그를 인식할 수 있게 된다.

III. 시스템 구성 및 설계

3.1 RFID 시스템 구성

본 논문에서 실험을 위해 제작한 시스템의 기본 구성도는 그림 8과 같다. 크게 리더기와 태그로 이루어져 있으며 태그는 FPGA와 상용 RF모듈로 구성되어 있고 리더기는 데이터 송수신 제어와 채널코딩, 모니터링을 하기 위한 FPGA 블록 그리고 상용 RF모듈로 구성되어 있다. FPGA부는 데이터 프레임을 구성하고 전체 시스템의 I/O

를 담당하며 충돌 방지 알고리즘 및 데이터 코딩 등을 수행한다. 그리고 FSK 모듈부는 데이터를 FSK로 변조하여 전송하는 기능을 수행한다[16]-[18].

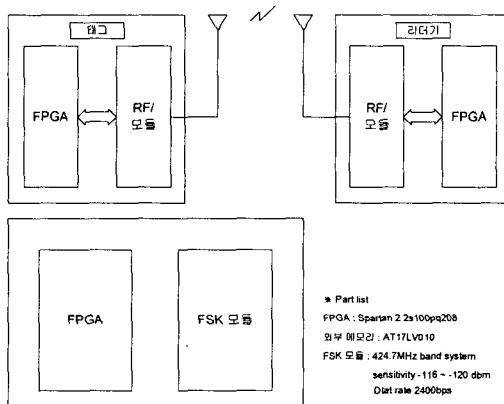


그림 8. 시스템 구성도 및 시스템 블록도
Fig. 8 System block diagram

3.2 프로그램 플로우 차트

3.2.1 리더기 동작 흐름도

리더기의 동작을 위하여 VHDL로 코딩하였으며, 동작 알고리즘의 흐름도는 그림 9와 같다.

- ① 명령대기 Reader의 Input port와 user의 시작명령을 감시하며 N에 초기 값($N=bit수-1$)을 부여한다.
- ② If $N>0$ 요구한 N번째 비트가 최하위 비트인지 그보다 상위 비트인지를 판단하여 동작방법을 결정한다.
- ③ Tag_ID의 N번째 비트 전송요구 구현한 충돌 방지 알고리즘에 근거하여 최초에 Tag_ID 비트 중 최상위 비트의 전송을 요구하며 Tag_ID의 완벽한 비트 구성성을 위하여 최하위 비트의 전송이 완료될 때까지 반복, 수행하게 된다.
- ④ 충돌(Collision) Search 수신된 비트들의 충돌 여부를 판단하며, 비트들의 충돌이 없을 경우에는 전송되어진 비트를 메모리의 N번째 비트에 저장하고, Tag_ID의 다음 비트를 요구하게 된다.
- ⑤ If $N=0$ N번째 비트가 최하위 비트인지를 판단하여 동작방법을 결정한다. 최하위 비트가 아닌 경우에는 메모리에 임의로 N번째 비트를 0으로 저장한 후,

N번째 비트가 0인 Tag_ID들의 다음 비트 전송요구와 함께 N번째 비트가 1인 모든 태그를 비활성(Inactive)상태로 만든다. 최하위 비트인 경우에는 마지막 비트만 다른 두 개의 태그가 존재한다는 것을 알 수 있으므로 알고리즘에 의해 동시에 두 개의 태그를 인식하게 되며 인식한 Tag_ID의 Tag_Data를 요구하게 된다.

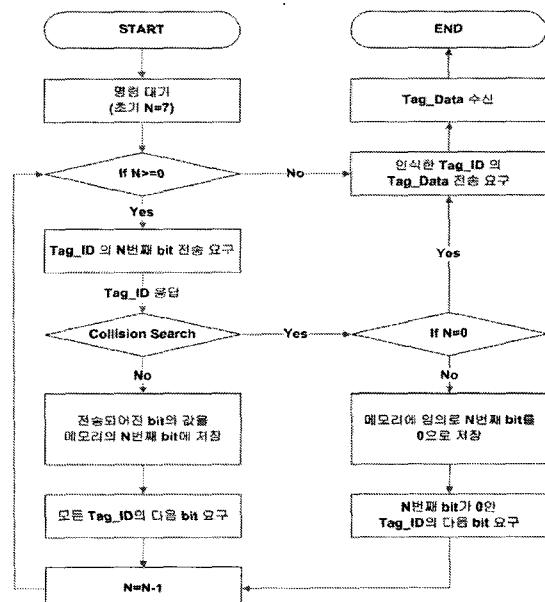


그림 9. 리더기의 동작 흐름도
Fig. 9 Flow chart for the operations of Reader

3.2.2 태그 동작 흐름도

태그의 동작을 위하여 VHDL로 코딩하였으며, 동작 알고리즘의 흐름도는 그림 10과 같다. 아래에 알고리즘에 대한 설명을 간략하게 기술하였다.

① 명령대기

Reader의 명령을 기다리며 Reader에서 전송되는 명령을 판단하여 동작방법을 결정한다. Tag_ID의 비트 전송이 끝나면 리더의 요청에 의해 Tag_Data를 전송하고 모든 동작을 완료하게 된다.

② If $N=7$

전송하고자 하는 비트가 Tag_ID의 최상위 비트인지를 판단하여 동작방법을 결정한다. 최상위 비트인 경우에는

비트를 전송하고, 최하위 비트를 전송할 때까지 반복, 수행한다.

③ If 요청한 Tag_ID의 bit

Reader에서 모든 Tag_ID의 다음 비트의 전송을 요청했는지, N번째 비트가 0인 Tag_ID의 다음 비트의 전송을 요청했는지를 판단하여 동작방법을 결정한다.

④ 비활성(Inactive)

알고리즘 수행 중 충돌이 발생했을 때 충돌이 발생한 비트가 1인 태그들이 일시적으로 리더의 다음 비트 전송 요구에 응답하지 않는 대기상태이며, 하나의 태그가 인식되며 리더는 비활성상태의 태그들을 리더의 전송요구에 응답할 수 있는 명령대기 상태로 만든다.

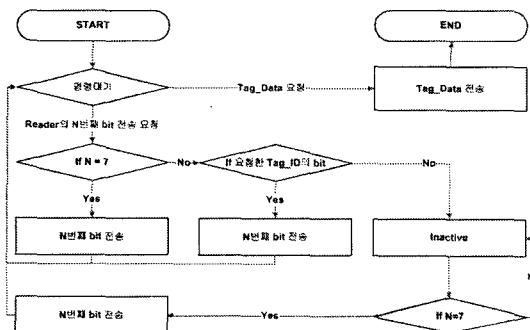


그림 10. 태그의 동작 흐름도

Fig. 10 Flow chart for the operations of Tag

IV. 실험 및 결과

4.1 ID 인식 테스트

실험은 전송속도 2,400bps로 진행하였으며, 리더기 1대와 태그 2대를 사용하여 시스템 동작을 확인하였다. 실험 장소는 리더기와 태그를 동일한 장소에서 가시 상태로 시스템간 거리를 3m로 했을 경우와 서로 막힌 다른 장소에 두었을 경우에 관해 측정하였다. 측정한 장소는 그림 11과 같으며 2위치는 리더기, 1, 3위치는 각각 태그의 위치이다.

그림 12는 프레임 오류 측정 결과를 보여주고 있다. 비가시 채널(non-line of sight)인 장소에서 측정시, 평균 프레임 오류율은 20.1개이고 가시 채널(line of sight)인 장소에서 측정시, 평균 프레임 오류율은 평균 9.8개로 오류율이 감소하는 것을 보여준다. 이는 비가시 채널 상태보다 가

시 채널 상태에서 실험을 반복해서 했을 경우 프레임 오류율값의 등락폭이 적음을 알 수 있다.

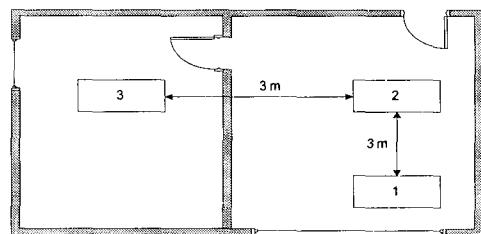


그림 11. 측정 장소

Fig. 11 Measurement environment

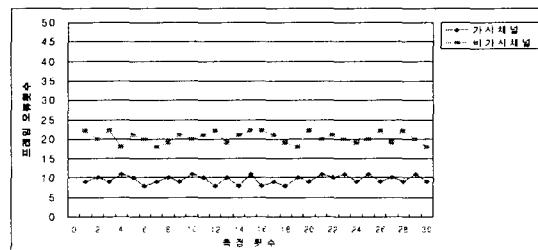


그림 12. 프레임 오류 측정 결과

Fig. 12 Measured results of Frame error

그림 13은 리더기가 태그를 인식하는 과정을 보여준다.

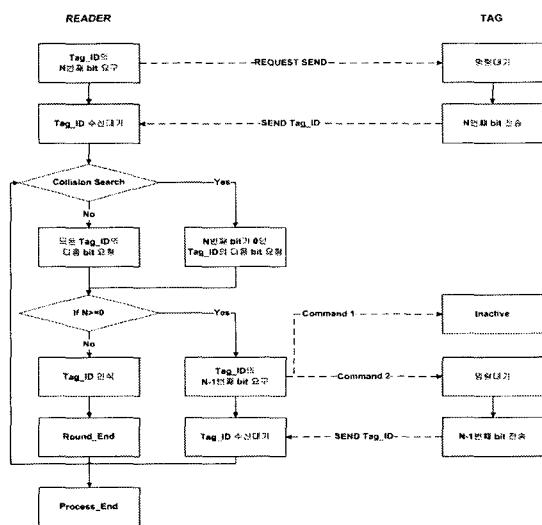


그림 13. 리더기와 태그간 ID 인식 과정

Fig. 13 ID recognition process between Reader and Tag

또한 RFID시스템 성능의 두 가지 중요한 척도인 태그를 인식하기 위해 필요한 시간과 태그에 의해 소모되는 에너지를 줄여보고자 기존의 알고리즘을 개선하여 구현하였으며 반복횟수와 태그가 보낸 총 비트수를 상용의 통신망관련 소프트웨어인 OPNET (optimum network performance)을 이용한 실험결과로 알고리즘의 성능을 평가하였다.

그림 14는 각 알고리즘에서 태그의 개수에 따른 태그가 전송한 총 비트수를 나타낸 것이다. 이진 검색 알고리즘은 리더기로부터 전송요구가 있을 때마다 Tag_ID의 모든 비트를 전송한다. 그러나 제안한 알고리즘은 리더기로부터 전송요구가 있을 때마다 태그 ID 중 1비트만을 전송한다. 그림 14에서 100개의 태그를 인식하기 위해서 이진 검색 알고리즘은 4,998 bits를 전송하고 bit-by-bit 이진 검색 알고리즘은 800 bits를 전송한다. 그러나 제안한 충돌 방지 알고리즘은 100개의 태그를 인식하기 위해 600 bits만을 전송하므로 기존의 충돌 방지 알고리즘과 비교할 때 성능이 향상되었음을 알 수 있다.

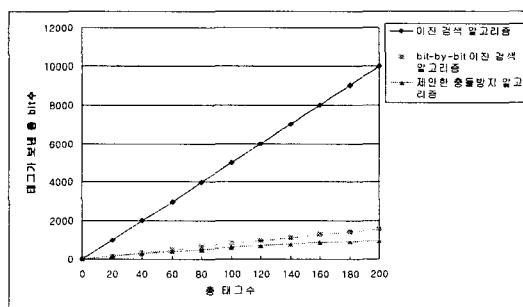


그림 14. 태그 개수에 대한 태그가 보낸 총 bit수
Fig. 14 The number of bits sent from Tag versus the number of Tags

또한 그 중에서 성능이 가장 우수하다고 알려진 bit-by-bit 이진 검색 알고리즘과 비교해 보았을 때 태그의 개수가 200개인 경우에는 약 70%의 성능향상이 있음을 알 수 있다. 따라서 제안한 알고리즘은 n개의 태그를 인식하기 위해 태그가 전송한 비트 수가 기존의 알고리즘에 비해 적기 때문에 태그를 인식하기 위한 시간이 단축되고, 태그에 의해 소모된 에너지도 적음을 알 수 있다.

그림 15는 bit-by-bit 이진 검색 알고리즘과 제안한 충돌 방지 알고리즘에서 태그의 갯수에 대한 반복횟수를 나타내었다 제안한 알고리즘을 bit-by-bit 이진 검색 알고리즘

과 비교하여 보았을 때 순차적인 200개의 태그 중 사용된 태그가 20개일 경우에는 약 15% 정도의 성능향상이 있고, 사용된 태그가 200개일 경우에는 약 89%의 성능향상이 있음을 보여주고 있다. 따라서 태그의 개수가 증가할 수록 제안한 알고리즘이 더욱 더 좋은 성능을 보임을 알 수 있다.

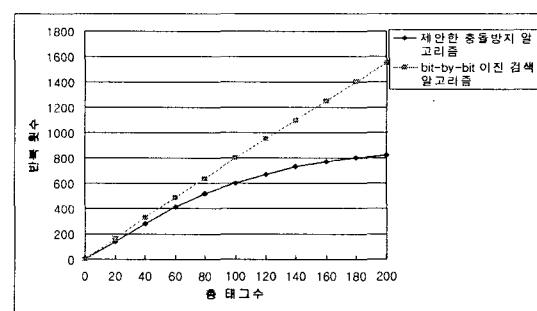


그림 15. 태그의 개수에 대한 반복횟수 비교
Fig. 15 Comparison of the numbers of repeat with the numbers of Tags

V. 결 론

본 논문에서는 현재 900MHz 대역의 RFID에서 사용하는 ISO/IEC 18000-6 규격 중 Type-B의 전송 프로토콜과 충돌 방지 알고리즘을 개선해보고자 FPGA를 이용하여 RFID 시스템을 설계 및 구현하였고 그 성능을 측정하였다. 개선한 Type-B의 전송 프로토콜과 충돌 방지 알고리즘은 Xilinx사의 FPGA 디자인툴인 ISE7.1i를 사용하여 설계하였으며 Xilinx사의 FPGA 디바이스인 Spartan2칩에 구현하였다.

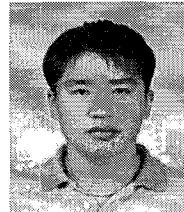
무선 전송시 성능을 개선하기 위하여 리더기에서 태그로의 명령어 데이터 전송시에 구속장 $k=3$ 이며 부호화율 = 1/2인 컨볼루션 부호를 사용하였고 비터비 알고리즘을 구현하여 전송된 데이터가 정확하게 복구되는 것을 확인하였다. 또한 충돌 방지 알고리즘을 개선하여 기존 알고리즘과의 성능을 비교, 분석하였으며 이러한 기저대역 시스템과 상용 FSK모듈을 사용하여 가시 채널과 비가시 채널에서의 프레임 오류율을 측정하여 구현한 RFID 시스템의 성능을 측정하여 태그 인식 시간의 단축과 적은 에너지 소모량 그리고 무선 데이터 전송시의 신뢰성을 향상시켰다.

향후 본 논문에서 구현한 시스템을 좀 더 정확한 필드 테스트를 통해 RFID 시스템에 적용한다면 RFID 시스템의 성능 향상에 크게 기여할 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

- [1] “RFID 태그 기술”, 전자부품연구소, 변상기.
- [2] “RFID HANDBOOK”, 영진닷컴, Klaus Finkenzeller, 이근호, 강병권 역, 2004.
- [3] “Digital communication”, McGraw-Hill, Jhon G. Proakis, 1995.
- [4] “Digital communication”, Prentice Hall, Bernard Sklar, 1998.
- [5] “wireless LAN Standards and Applications”, Artech House Publishers, Asuncion Santamaria, Francisco J, 2001.
- [6] “CDMA System Engineering Handbook”, Artech House Publishers, Jhong sam Lee, Leonard E. Miller, 1998.
- [7] “The Programmable Logic Data Book”, Xilinx inc, 2000.
- [8] “Digital Signal Processing”, Addison Wesley, Ifeachor, Jervis, 1993.
- [9] “Designing Telecommunication Applications Using Digital Signal Processing Functions with FPGAs”, Actel Corporation, June 1997.
- [10] “RFID 표준화 동향”, 주간기술동향, 김완석. 2004.
- [11] “TECHNICAL REPORT ON RFID TAG STUDY”, Tan Jin. Soon.
- [12] ISO18000-6
- [13] “Analysis of Tree Algorithms for RFID Arbitration”, Don R Hush, Cliff Wood.
- [14] “An Exact Analysis and Performance Evaluation of Framed ALOHA with Capture”, Anthony Ephremides, IEEE vol.37 No.2, 1989
- [15] “Efficient Memoryless Protocol for Tag Identification”, Ching Law, Kayi Lee, Kai-Yeung Siu.
- [16] “디지털 시스템 설계를 위한 VHDL”, 홍릉과학출판사, 김영철, 정연모, 조중희, 홍윤식, 2001.
- [17] “ISE를 이용한 VHDL 및 FPGA 실습”, 홍릉과학출판사, 김재철, 2003.
- [18] “REAL XILINX FPGA WORLD”, 엔트미디어, 김혁, 2003.

저자소개



이 우 경(Woo-Gyeong, Lee)

2004년 순천향대학교 정보통신공학과 졸업(공학사)
2006년 순천향대학교 정보통신공학과 졸업(공학석사)

※ 관심분야: 통신, 멀티미디어 정보통신일반



김 선 형(Sun-Hyung, Kim)

1979년 성균관대학교 전자공학 졸업(공학사)
1981년 성균관대학교 전자공학과 졸업(공학석사)

1987년 성균관대학교 전자공학과 졸업(공학박사)
1989년 ~ 현재: 순천향대학교 정보기술공학부 교수
※ 관심분야: 통신, 멀티미디어 정보통신일반



임 해 진(Hae-Jin, Lim)

1977년 성균관대학교 물리학과 졸업(이학사)
1979년 성균관대학교 전자공학과 졸업(공학석사)

1993년: 성균관대학교 전자공학과 졸업(공학박사)
1983년 ~ 2006.2: 삼척대학교 전자공학과 교수
2006.3 ~ 현재 강원대학교 공학대학 전자정보통신공학 부 교수

※ 관심분야: 통신, 멀티미디어응용, 정보통신일반