

RFID 리더를 위한 중재 알고리즘의 모델링 및 시뮬레이션

류원상*, 안시영**, 김용택*, 배성우*, 송의석***, 정명섭*, 성영락*, 오하령*, 박준석*
*국민대학교 전자공학과, **애드팩, ***디스텍 디스플레이
e-mail : wonsange@gmail.com

Modeling and Simulation of an Arbitration Scheme for RFID readers

Won Sang Ryu *, Si Young Ahn**, Yong Taek Kim*, Sung Woo Bae*, Eui Seok Song***,
Myoung Sub Jeong*, Yeong Rak Seong*, Ha Ryoung Oh* and Jun Seok Park*
*Dept. of Electronic Engineering, Kookmin University, **AddPac, ***Disteck Display Inc.

요 약

RFID (Radio Frequency IDentification) 리더의 동작 영역은 리더의 감도와 전력이 도달할 수 있는 거리에 의해 제한된다. RFID Shower 는 근접한 리더로부터 전송되는 신호를 증폭하여 리더의 동작 영역을 확장한다. 그러나, RFID Shower 의 동작 영역 안에 여러 리더들이 있을 경우 리더들간의 신호 충돌이 발생한다. 이를 해결하기 위해 중재 알고리즘이 제안되었다. 본 논문에서는 RFID 리더들을 위한 중재 알고리즘을 DEVS 형식론에 기반하여 모델링하고 시뮬레이션 하여 성능을 측정, 비교하였다.

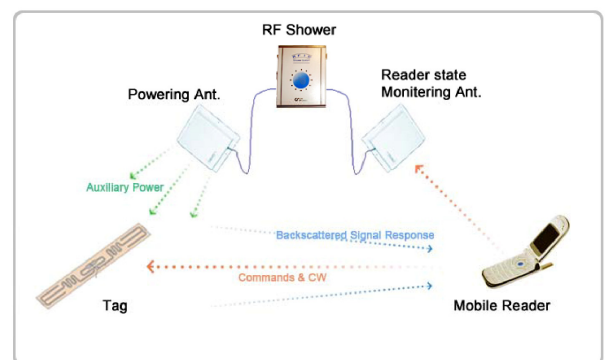
1. 서론

UHF-대역 RFID (Radio Frequency IDentification) 시스템은 860~960 MHz 대역을 사용하고, 역산란(backscatter) 변조 개념을 기반으로 한 EPC Class 1 Generation 2 와 ISO/IEC 18000-6 프로토콜을 사용한다 [1][2]. 최근 주목 받고 있는 모바일 RFID 는 RFID 기술을 모바일 기술에 접목시킨 것으로 넓은 분야에 적용이 가능하다. 그러나 모바일 RFID 리더는 배터리 문제 때문에 전송 전력이 줄어들어 리더의 동작 영역이 제한되고, 태그와의 통신도 어렵게 된다. 이런 문제점을 해결하기 위해 RFID Shower 가 제안되었다.

RFID Shower 는 리더의 동작 영역을 Shower 의 동작 영역으로 확장하여, 리더가 Shower 의 동작 영역 안에 있는 태그와 통신할 수 있도록 신호를 증폭해주는 기능을 한다. 즉, Shower 의 동작 영역 안에 있는 모바일 리더는 Shower 를 중재 매개체로 하여, 모바일 리더의 동작 영역보다 먼 거리에 있는 태그와 통신할 수 있게 된다. 하지만 같은 시간 Shower 의 동작 영역 안에 다수의 리더가 있을 경우, 리더들의 동작 영역은 Shower 의 동작 영역으로 완전히 겹치게 되어 리더간의 충돌 문제가 발생하고, 리더들은 태그와 원활한 통신을 할 수 없게 된다. 이러한 충돌 문제를 해결하기 위해 중재 알고리즘이 제안되었다[3].

본 논문에서는 RFID Shower 에서의 중재 알고리즘의 성능을 측정, 비교하기 위해 RFID Shower 시스템을 모델링하고, 시뮬레이션 하였다. 우선, RFID Shower 시스템을 이산사건 시스템을 기술하는 수학적 언어인 DEVS (Discrete Event Systems Specification) 형식론

[4]에 기반하여 모델링 하였다. 제안된 RFID Shower 를 RF 적인 측면 보다는 시스템 동작적인 측면에서 분석하여, 유한개의 동작 상태가 임의의 시간에 변화하는 이산사건 시스템으로 모델링 한 것이다. 그리고, DEVS 형식론의 추상화된 시뮬레이터인 DEVSsim++[5]을 사용하여 모델을 시뮬레이션 하였고, 성능을 측정, 비교하였다.



(그림 1) RFID Shower 시스템

2. DEVS 형식론

Ziegler 의 DEVS(Discrete Event System Specification) 형식론은 이산사건 시스템을 모듈별로 나누어서 계층적으로 모델링 할 수 있는 방법을 제공한다[4]. DEVS 형식론은 모델을 계층적으로 분해해서 표현하기 위해, 다음과 같이 atomic DEVS 모델과 coupled DEVS 모델 클래스를 사용한다.

Atomic DEVS = $\langle X, Y, S, \delta_{int}, \delta_{ext}, \lambda, ta \rangle$

X : input events set
 Y : output events set
 S : sequential states set
 $\delta_{int} : S \rightarrow S$: internal transition function
 $\delta_{ext} : Q \times X \rightarrow S$: external transition function
 $Q = \{(s,e) | s \in S \text{ and } 0 \leq e \leq ta(s)\}$
 $\lambda : S \rightarrow Y$: output function
 $ta : S \rightarrow Real$: time advance function

Coupled DEVS = $\langle X, Y, M, EIC, EOC, IC, SELECT \rangle$

X : input events set
 Y : output events set
 M : DEVS components set
 $EIC \subseteq CM.IN \times M.IN$: external input coupling relation
 $EOC \subseteq M.OUT \times CM.OUT$: external output coupling relation
 $IC \subseteq M.OUT \times M.IN$: internal coupling relation
 SELECT : subset of M \rightarrow M : tie-breaking function

DEVS 형식론에 관한 보다 자세한 내용은 참고문헌 [4]를 참조하기 바란다.

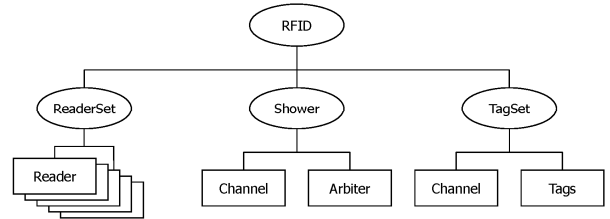
3. 중재 알고리즘

모바일 RFID 리더는 배터리 문제 때문에 리더의 동작 영역이 제한된다. RFID Shower 는 이런 모바일 RFID 에서 리더의 동작 영역을 확장하기 위해 사용된다. RFID Shower 가 모바일 RFID 리더의 동작 영역을 Shower 의 동작 영역으로 확장하여, 모바일 RFID 리더는 보다 먼 거리의 태그와 통신할 수 있게 된다. 그러나 Shower 의 동작 영역 안에 여러 리더들이 있을 경우, 리더들의 동작 영역은 Shower 의 동작 영역과 같게 되어 동작 영역이 겹치게 된다. 그러면 리더 간의 충돌 문제가 발생하게 되고, 리더들은 태그와 통신을 할 수 없게 된다. 이러한 충돌 문제를 해결하기 위해 중재 알고리즘이 제안되었다[3].

중재 알고리즘은 리더간의 충돌 문제가 발생할 때, 리더들을 서로 다른 시간에 동작하도록 하여 충돌 문제를 해결하는 것을 기본 개념으로 한다. 중재 알고리즘은 분산 중재(distributed arbitration) 방법과 중앙 중재(centralized arbitration) 방법으로 나눌 수 있다. 분산 중재 방법은 각각의 리더가 CCA(Clear Channel Assessment) 기능을 갖고 있어, 현재 채널의 사용 여부를 확인한 후 통신을 시작하여 충돌을 줄이는 방법이다. 그러나 이 중재 방법은 충돌을 줄일 수는 있으나 완전히 제거하지는 못한다. 중앙 중재 방법은 중재기(arbiter)를 두어 여러 리더들의 동작 순서를 중재하는 방법이다. 본 논문에서는 Shower 안에 중재기를 내장하여 Shower 영역 안에 있는 여러 리더들을 중재하도록 하였다. 그래서 채널을 중재 채널(arbitration channel)과 Shower 채널로 나누어 사용하였다. 중재 채널은 리더가 중재기로부터 중재 허가를 받기 위해 중재기와 통신하는 채널을 의미하며, Shower 채널은 리더가 Shower 를 통하여 태그와 통신할 때 사용하는 채널을 의미한다.

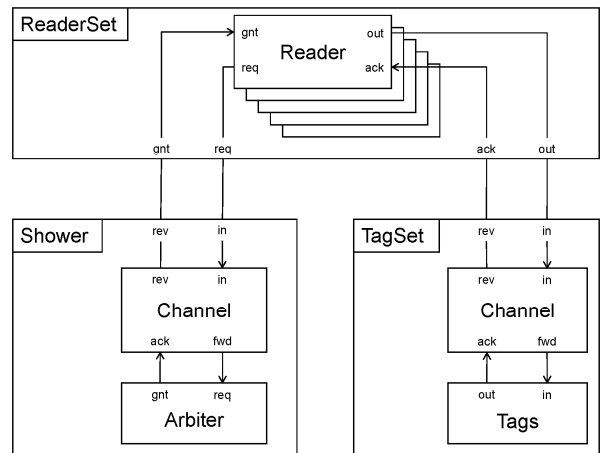
4. 모델링

본 논문에서는 DEVS 형식론에 기반하여 RFID Shower 를 모델링 하였다. 그림 2 는 RFID Shower 모델의 계층적 구조를 나타낸다. 여기서 Reader 모델과 Tags 모델은 일반적인 RFID 리더와 태그를 의미한다. 그리고 Shower 모델 안의 Channel 모델은 중재 채널을 의미하며, TagSet 모델 안의 Channel 모델은 Shower 채널을 의미한다.



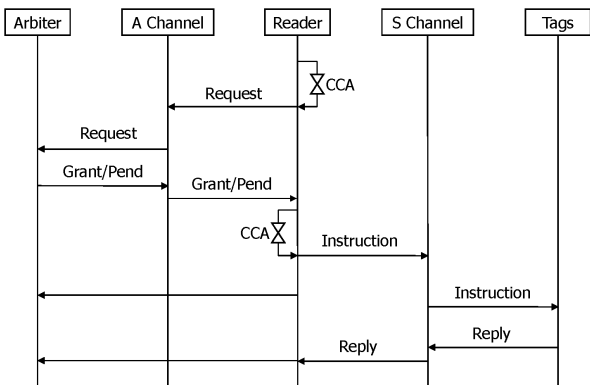
(그림 2) RFID Shower 모델의 계층적 구조

그림 3 은 RFID Shower 모델의 각 구성 요소들간의 입출력 포트 연결을 나타낸 것이다. 그림과 같이 연결된 각각의 모델들은 입출력의 변화에 따른 상태 천이의 발생으로 동작하게 되고, 각 모델들의 동작으로 인해 전체 모델이 동작하게 된다.



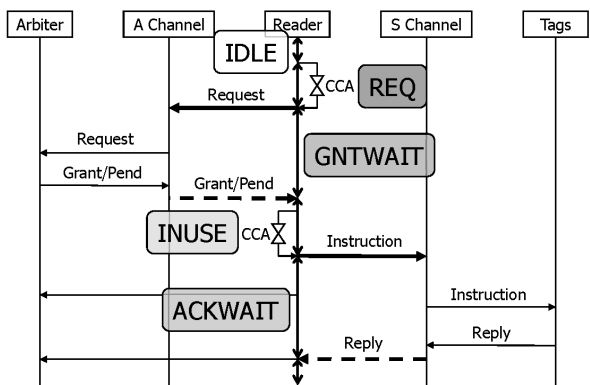
(그림 3) 각 구성 요소 모델들간의 입출력 연결 구조

그림 4 는 RFID Shower 모델의 시뮬레이션 시나리오를 나타낸다. 사용자의 요청이 발생하면 Reader 모델은 CCA 를 통해 A Channel 모델의 사용 여부를 확인한다. A Channel 모델이 사용 가능한 상태이면 Reader 모델은 Arbiter 모델에 중재 요청 신호를 보내고, Arbiter 모델은 중재 요청 신호를 보낸 Reader 모델에게 중재 결과를 보낸다. 중재 허가를 받은 Reader 모델은 S Channel 모델에 CCA 를 수행하여 S Channel 모델의 상태를 확인한다. S Channel 모델이 사용 가능한 상태이면, 중재 허가를 받은 Reader 모델은 S Channel 모델을 통해 Tags 모델과 통신하게 된다. 여기서 A Channel 모델과 S Channel 모델은 중재 채널과 Shower 채널을 의미한다.



(그림 4) RFID Shower 모델의 시뮬레이션 시나리오

본 논문에서는 hidden arbitration 기능을 사용하여 중재 오버헤드를 제거하였다. 이 기능은 리더가 분산 중재 방법을 사용하여 가능한 것이다. 중재 허가를 받고 Shower 채널을 통해 태그와 통신하는 한 리더 외에, 중재 허가를 받고 Shower 채널을 사용하여 태그와 통신하기 위해 대기하게 될 다른 한 리더를 두어 중재 오버헤드를 제거하였다. 이때 대기하는 리더는 Shower 채널에 CCA 를 수행하여 채널의 사용 여부를 확인한 후 사용하므로 충돌이 발생하지 않는다.



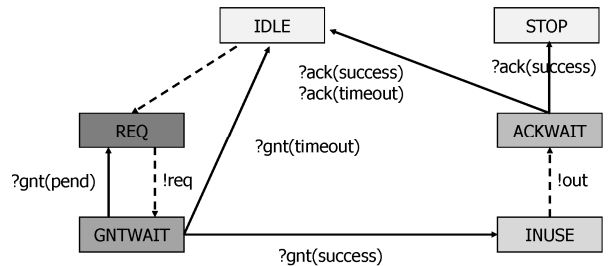
(그림 5) Reader 모델의 동작 시나리오

그림 5 는 Reader 모델의 동작을 중심으로 시나리오를 표현한 것이다. 앞에서 설명한 DEVS 형식론에 기반하여, 입출력 발생 시점을 기준으로 phase 를 IDLE, REQ, GNTWAIT, INUSE, ACKWAIT 로 나누었다. 여기서 phase 는 DEVS 형식론에서 atomic DEVS 모델의 상태 변수 집합의 구성 요소이다. DEVS 형식론에서는 모델의 동작 단계를 여러 phase 로 나누어 구성하고, 각 모델은 phase 천이로 인하여 동작하게 된다.

IDLE phase 는 Reader 모델의 초기 상태로, 사용자의 요청이 발생하면 REQ phase 로 변화 된다. REQ phase 는 중재 채널에 CCA 를 수행하여, 현재 중재 채널의 사용 여부를 확인하는 구간이다. 중재 채널이 사용 가능하다면, GNTWAIT phase 로 천이되고 중재기에 중재 요청 신호를 발생시킨다. GNTWAIT phase 는 리더가 중재 허가 신호를 기다리는 구간이다. 중재

실패 신호를 받는다면 IDLE phase 로 돌아가 다시 접속을 시도하게 되고, 중재 허가 신호를 받는다면 INUSE phase 로 변하게 된다. INUSE phase 는 중재 허가를 받은 리더가 Shower 채널에 CCA 를 수행하는 구간이다. REQ phase 에서와 같이 채널이 사용 가능하다면 ACKWAIT phase 로 변하게 되고 리더는 Shower 채널을 통하여 태그로 명령어를 전송하게 된다. ACKWAIT phase 는 중재 허가를 받은 리더가 Shower 채널을 통하여 태그로 명령어를 전송한 후, 태그로부터 응답을 기다리는 구간이다. 태그로부터 응답 신호를 받게 된다면, IDLE phase 로 변하게 되고 한번의 통신을 완료하게 된다.

이와 같이 Reader 모델은 입출력 사건 발생 시점에서의 phase 천이로 인해 모델이 동작하게 된다. 그림 6 은 앞에서 설명한 Reader 모델의 동작을 phase 천이를 기준으로 표현한 상태도이며, ‘?’는 외부로부터의 입력을 나타내며 ‘!’는 내부적으로 발생하는 출력을 나타낸다. 여기서 STOP phase 는 시뮬레이션 할 때 리더가 태그와 통신하는 일정 횟수(사용자의 요청 횟수)가 완료되면, ACKWAIT phase 에서 STOP phase 로 천이되어 Reader 모델의 동작이 완전히 종료됨을 나타내는 phase 이다.



(그림 6) Reader 모델의 상태도

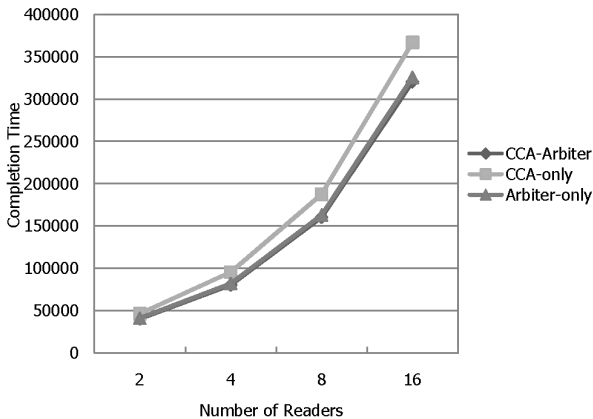
다른 모델들도 Reader 모델과 마찬가지로 시뮬레이션 시나리오를 통해 각 모델의 동작을 분석하여 모델을 구현하였다. 각 모델마다 동작 특성은 다르지만, 기본적인 모델의 구성과 동작 방법은 Reader 모델과 유사하므로 다른 모델들에 관한 설명은 생략하겠다.

5. 시뮬레이션

RFID Shower 모델을 시뮬레이션 하기 위하여 DEVS 형식론의 추상화된 시뮬레이터인 DEVSsim++을 사용하였다[5]. 본 논문에서는 중앙 중재 방법과 분산 중재 방법의 성능을 비교하기 위해 총 3 가지 경우의 결과를 비교하였다. 중앙 중재 방법만 사용하는 경우, 분산 중재 방법만 사용하는 경우, 두 가지 모두 사용한 경우를 측정하여 비교하였다. 두 가지 중재 방법을 모두 사용하지 않는 경우는 지속적인 통신 오류로 인하여 결과값 측정이 어렵기 때문에 제외하였다. 모두 한 리더당 20 번의 사용자 요청이 발생할 경우의 결과값이며, 10 번의 결과를 측정하여 각 경우의 평균적인 시간을 계산하여 비교하였다.

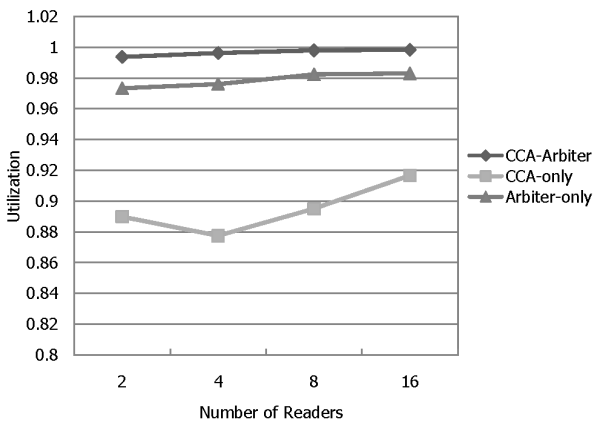
그림 7 은 완료 시간(Completion Time)을 측정한 것

이다. 완료 시간은 여러 리더가 통신을 시작하여 사용자가 요청한 수만큼의 통신이 모두 완료될 때까지의 시간을 측정한 것이다. 결과를 보면 CCA 만 사용한 경우가 가장 오랜 시간이 걸렸고, 중재기만 사용한 경우와 CCA 와 중재기를 같이 사용한 경우가 보다 짧은 시간이 걸린 것을 확인할 수 있다.



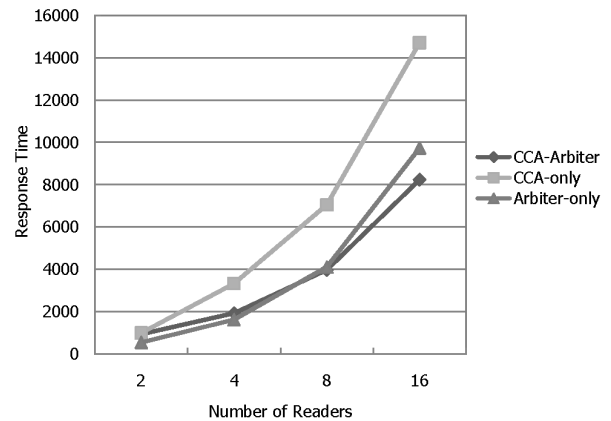
(그림 7) Completion Time

그림 8 은 이용도(Utilization)를 측정한 결과값이다. 이용도는 전체 통신 시간 중 Shower 채널의 사용 시간을 측정한 것이다. Shower 채널이 얼마나 지속적으로 사용되었는지를 나타내는 결과값이다. 앞서 살펴본 결과와 마찬가지로 CCA 만 사용한 경우가 가장 불규칙적인 채널 사용률을 보였으며, CCA 와 중재기를 같이 사용한 경우가 Shower 채널을 가장 지속적으로 사용한 것을 확인할 수 있다.



(그림 8) Utilization Time

그림 9 는 응답 시간(Response Time)을 측정한 것이다. 응답 시간은 사용자의 요청이 발생한 순간부터 리더가 태그로부터 응답 신호를 받을 때까지 걸리는 시간을 의미한다. 앞서 측정한 다른 결과들과 마찬가지로 CCA 만 사용한 경우가 가장 심한 변화폭을 보였으며, CCA 와 중재기를 같이 사용한 경우가 변화의 폭이 가장 적은 것을 확인할 수 있다.



(그림 9) Response Time

6. 결론

RFID Shower 는 모바일 RFID 리더의 동작 영역을 확장하여 보다 먼 거리의 태그와 통신할 수 있게 해준다. 그러나 다수의 리더와 태그가 Shower 의 동작 영역 안에 있을 경우 리더간의 신호 충돌이 발생하고, 이런 문제점을 해결하기 위해 중재 알고리즘을 사용하였다.

본 논문에서는 RFID Shower 에서 사용한 중재 알고리즘을 분석하기 위해, DEVS 형식론에 기반하여 RFID Shower 를 모델링 하고, DEVSIM++을 사용하여 구현한 모델을 시뮬레이션 하였다. 그 결과, CCA 와 중재기를 같이 사용한 경우가 가장 효율적으로 충돌을 제거하는 것을 확인하였다. 향후에는 제안된 RFID Shower 모델이 실제 환경에서의 모델과 잘 부합하도록 지속적인 보완 및 검증이 필요할 것이다.

감사의 글

본 연구는 한국기술연구소(MIC) 및 정보통신연구진흥원(IITA)의 지원아래 진행된 IT R&D 프로젝트와 Brain Korea 21 프로젝트의 일환임을 밝힙니다.

참고문헌

- [1] EPCglobal. EPCTM radio-frequency identity protocols class-1 generation-2 UHF RFID protocol for communications at 860MHz - 960 MHz, 2004.
- [2] ISO/IEC JTC 1. Information technology - radio - frequency identification for item management - part 6 : parameters for air interface communications at 860 MHz - 960 MHz, 2004.
- [3] Yeong Rak Seong, Ha Ryoung Oh, Jun Seok Park, Ho Jun Song, Byung Jun Jang, Sung Woo Bae, Hong Goo Cho, Eui Seok Song, Myoung Sub Jeong, and Juno Kim. Arbitration of UHF-band mobile RFID readers. In Proceedings of the 6th Asia Pacific International Symposium on Information Technology, pages 281-288, 2007.
- [4] Bernard P. Zeigler. Multifaceted Modeling and Discrete Event Simulation. Academic Press, 1984.
- [5] Tag Gon Kim. DEVSIM++ user's manual: C++ based simulation with hierarchical modular DEVS models, 1998.1