

UHF 대역 RFID 리더들의 충돌을 제거하기 위한 중앙 중재 방법

배성우¹ · 류원상¹ · 안시영¹ · 양정규¹ · 김윤호¹ · 김준형² · 오하령¹ · 성영락^{1†} · 박준석¹

A Centralized Arbitration Scheme to Avoid Collisions of UHF Band RFID Readers

Sung-Woo Bae · Won-Sang Ryu · Si-Young Ahn · Jung-Kyu Yang · Yun-Ho Kim ·
Jun-Hyung Kim · Ha-Ryoung Oh · Yeong-Rak Seong · Jun-Seok Park

ABSTRACT

In the passive UHF (860-960MHz) RFID communications, which consists of a set of readers and tags, the readers normally interrogate the tag by using the backscatter mechanism. (i.e., tag response). In practical RFID environment, where multiple readers or tags exist; the interference causes collisions. This paper proposes a centralized arbitration scheme for avoiding the collision problems among multiple readers. The proposed centralized arbitration scheme is modeled in software environments, and is verified with simulation results. Simulated performance is focused on completion time, utilization and response time, and the simulation results show that our proposed scheme provides satisfactory performance grade.

Key words : UHF RFID, Collision, Arbitration, DEVS

요 약

UHF 대역 수동형 RFID 시스템은 860~960 MHz 대역에서 리더와 태그가 역산란 변조 방식을 이용하여 통신한다. 따라서 다수의 리더와 태그가 동시에 존재하는 환경에서는 리더 신호 간에 간섭이 발생하고 원활한 통신이 어렵게 된다. 본 논문에서는 이러한 충돌 문제를 해결하기 위해 중재기를 사용한 중앙 중재 방법을 제안하고 제안된 방법의 성능을 평가하기 위하여 시스템을 모델링하고 시뮬레이션 하였다. 시뮬레이션은 완료시간, 이용도, 응답시간으로 평가하고, 제시한 중재 방법이 만족스러운 성능을 보임을 확인하였다.

주요어 : UHF RFID, 충돌, 중재, DEVS

1. 서 론

무선으로 정보를 전달할 수 있는 RFID (Radio Frequency IDentification) 시스템은 물류와 유통 분야 등에서 바코드를 대체할 기술로 주목 받고 있다. 바코드 시스템과 달리 먼 거리에서도 태그를 인식할 수 있고 여러 개의

태그를 인식할 수 있다³⁾. 그 중 UHF 대역 수동형 RFID 시스템은 860~960 MHz 대역의 주파수를 사용해 역산란(backscatter) 변조 개념을 기반으로 통신한다. 기본적인 수동형 RFID 시스템은 리더(Reader)와 태그(Tag)로 구성된다. 리더는 리더의 동작 영역 내에 있는 태그와 통신할 수 있으며, 태그는 리더로부터 받은 신호를 전력으로 변환하여 필요한 정보를 가공하고 다시 역산란 변조 방식으로 리더와 통신한다. 이러한 방식의 표준으로는 EPCglobal Class 1 Generation 2(ISO/IEC 18000-6 Type-C)와 ISO/IEC 18000-6 Type B 등의 프로토콜 등이 있다^{5,6)}.

근래에 들어 UHF 대역 RFID 시스템이 대중화됨에 따라 다중 리더 환경에서 통신을 원활하게 하기 위한 방법 연구가 활발히 진행되고 있다. 두 개 이상의 리더가 동시

* 이 연구는 정보통신진흥원(IITA) IT핵심기술개발사업과 구원장학재단 연구비지원에 의해 수행되었습니다.

2008년 10월 23일 접수, 2008년 11월 20일 채택

¹⁾ 국민대학교 전자공학과

²⁾ 경희대학교 교육대학원

주 저 자 : 배성우

교신저자 : 성영락

E-mail; baesungwoo@gmail.com, yeong@kookmin.ac.kr

에 태그와 통신을 하고자 할 경우, 서로 간에 신호 간섭에 의해 충돌 현상이 발생하고 원활한 통신을 하기 어렵다. 따라서 다양한 환경에서 발생하는 리더간의 간섭 현상을 기존 연구^[1,2,7,8,9]를 통하여 분석하고 새로운 기술을 개발해야 한다. TDM(Time Division Multiplex)방식의 Color-wave는 시간으로 나뉜 프레임 내에서 하나의 슬롯을 선택하여 태그와 통신하는 방식이다. 리더는 충돌확률을 계산하여 프레임의 크기를 조절하여 충돌을 줄인다^[8,9]. 계층적 충돌 알고리즘 방식은 리더 충돌을 방지하기 위하여 관리 리더와 보조 리더로 구성된 계층적인 구조를 형성하여 관리 리더가 보조 리더를 관리하여 충돌을 방지한다^[1]. 적응형 리더 충돌 방지 알고리즘은 확률적 주파수 천이 방식으로 채널을 점유하기 전 LBT(Listen Before Talk) 방식을 기반으로 타 채널로 천이할 때 리더의 밀집도와 채널의 사용률을 고려하여 랜덤 백오프(random backoff)하고 채널을 적응적으로 할당하여 충돌을 줄인다^[2].

RFID 시스템은 충돌 문제를 해결하기 위해서 충돌을 예방하는 방법(collision prevention)과 충돌을 회피하는 방법(collision avoidance)을 사용한다. 충돌을 예방하는 방법은 충돌이 발생할 수 있는 필요조건들 중 적어도 하나가 성립하지 않도록 보장하는 방법이다. RFID 환경에서 충돌을 예방하기 위한 방법으로 EPCglobal Class 1 Generation 2에서 밀집리더모드(DRM:Dense Reader Mode)가 제안되었다. 하지만 밀집리더모드는 채널 간격이 200 KHz인 현재 우리나라 규격에서는 적용이 매우 어렵고, 모바일 RFID 리더에 적합한 저가형 리더 구현에 어려움이 있다. 그리고 하나의 태그에게 동시에 여러 리더가 명령을 전송하는 경우에는 태그가 정상적으로 동작하지 못하게 된다. 또한 밀집리더모드로 동작하는 리더의 경우에도 리더 사이의 거리가 짧거나, 안테나의 방향에 따라서는 간섭을 막을 수 없는 경우가 발생한다. 즉 이용률이 저하되고 처리율이 감소될 수 있다.

충돌을 회피하는 방법은 채널 사용에 있어서 필요한 정보를 미리 제공받고, 이러한 추가적인 지식을 가지고 사용 가능성 유무를 판단하는 방법을 의미한다. 충돌을 회피하는 방법으로는 여러 가지 중재 방법이 있을 수 있으며, 크게 분산 중재 방법과 중앙 중재 방법으로 나눌 수 있다. 일반적으로 분산 중재 방법은 각각의 장치가 충돌을 피하기 위한 상태 확인 기능을 갖고 있어 스스로 충돌 문제를 회피하는 방법을 의미한다. 즉, 리더 스스로 채널의 사용 가능 여부를 판단하고 동작을 결정하여 충돌을 회피하는 방법을 나타낸다. 대표적인 분산 중재 방법으로는 LBT(Listen Before Talk)가 있다. LBT는 통신을 원

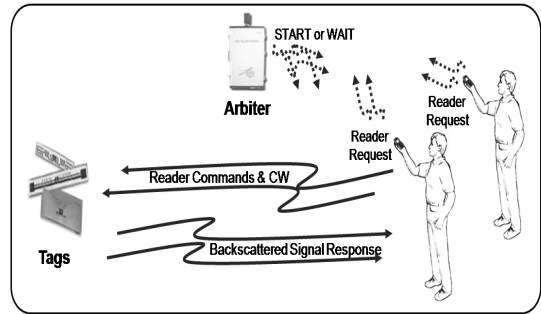


그림 1. RFID 중재기 시스템

하는 리더가 채널의 상태를 확인하여 현재 채널이 비어있을 때 태그와 통신을 하는 방식을 말한다. 채널의 상태는 CCA(Clear Channel Assessment)를 이용하여 채널의 사용유무를 알 수 있다. 하지만 이 방법의 경우 두 리더가 동시에 CCA를 수행한 후 통신을 시도하면 충돌이 발생할 수 있다. 즉, 분산 중재 방법은 충돌을 줄일 수는 있지만 완전히 제거하지 못한다. 또한 리더들의 안테나 방향에도 영향을 받으며, 적절한 신호 레벨을 규정하는 데도 어려움이 있다는 단점이 있다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 본 논문에서는 중앙 중재 방법을 제안한다.

중앙 중재 방법은 하나의 장치가 인접 다른 장치들의 동작을 중재하여 충돌을 회피하는 방법을 의미한다. RFID 중재기(이하 중재기)라고 불리는 장치를 이용하여 인접한 리더들의 동작을 중재함으로써 충돌을 회피하는 방식을 제안한다.

그림 1은 RFID 중재기 시스템을 개략적으로 나타낸 것이다. 태그와 통신을 원하는 리더가 중재기에 중재 요청 명령을 보내면 중재기는 리더에게 중재 응답을 한다. 이때 중재 응답은 허가 응답과 대기 응답으로 구분된다. 중재 허가 응답을 받은 리더는 태그와 통신하고, 그렇지 못한 리더는 임의의 시간 동안 대기한 후 다시 중재기에 중재 요청 명령을 전송한다. 이 방식을 적용하기 위해서는 RFID 중재기의 설치 외에도 리더의 하드웨어 혹은 소프트웨어가 수정되어야 한다.

본 논문에서는 리더와 중재기 간의 통신 방식으로 리더와 태그 간의 통신 방식을 그대로 채용한다. 이럴 경우 리더의 하드웨어 변경 없이 소프트웨어의 수정만으로 제안된 방식을 구현할 수 있으므로 설치비용을 최소화할 수 있는 장점이 있다.

중앙 중재 방법의 성능을 검증하기 위해, RFID 중재기 시스템을 이산사건 시스템을 기술하는 수학적 언어인 DEVS(Discrete EVent Systems Specification) 형식론^[4]

으로 모델링 하였다. 또한 모델링된 결과를 DEVS 형식론의 추상화된 시뮬레이터인 DEVSsim++^[10]을 사용하여 시뮬레이션 하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 본 논문에서 사용한 DEVS 형식론에 대해서 간략하게 설명한다. 3장에서는 일반적인 RFID 환경에서의 충돌 문제들에 대하여 살펴보고, 중앙 중재 방법에 대해서 설명한다. 4장에서는 모델링 한 모델의 구조 및 시뮬레이션 시나리오를 살펴보고, RFID 중재기 시스템 모델을 설계한 방법에 대해서 설명한다. 5장에서는 4장에서 설계한 모델의 시뮬레이션 한 결과를 통하여 중앙 중재 방법의 성능을 평가하고 마지막으로 6장에서 결론을 맺는다.

2. DEVS 형식론

Ziegler의 DEVS(Discrete Event System Specification) 형식론은 이산사건 시스템을 모듈별로 나누어 계층적으로 모델링 할 수 있는 방법을 제공한다^[4]. 이산사건 시스템(Discrete Event System)이란 시스템의 상태 변수가 유한개의 이산적인 값들로 구성되며, 임의의 시간에 발생하는 사건에 의해 상태변수의 값이 변화될 수 있는 동적인 시스템을 말한다. 이러한 시스템은 임의의 시간에 순간적으로 상태전이를 일으키며 한 상태에서 머무는 시간이 불규칙적인 시스템으로 특징지을 수 있다.

DEVS 형식론에서는 atomic 모델과 coupled 모델로 시스템을 기술한다. Atomic DEVS 모델은 기본 단위 모델로서 시스템의 구성 요소의 동적 특성을 시간명세 상태전이 시스템(timed state transition system) 레벨에서 기술한다. Atomic 모델은 표 1과 같은 항들로 명세할 수 있다.

Atomic 모델은 입출력 포트를 통하여 다른 모델들과 상호 통신하며 동작한다. X는 입력 사건들의 집합을 나타내며, Y는 출력 사건들의 집합을 나타낸다. 그리고 상태

변수 집합 S는 모델이 가질 수 있는 모든 가능한 상태를 포함한다. 모델의 상태는 외부에서 입력 사건을 받았을 때는 외부 천이 함수 δ_{ext} 에 의해, 현 상태에서 내부적으로 정해진 시간이 경과했을 때는 내부 천이 함수 δ_{int} 에 의해 상태 천이 규칙이 정해진다. 시간 전진 함수 t_a 는 외부 입력 사건 없이 한 상태에서 머물 수 있는 시간으로 정의되며, 이 시간이 경과하면 내부 천이를 겪게 된다. 출력 함수 Y는 각 상태에서 어떤 출력 사건을 발생시킬지를 정하며, 내부 천이 함수가 발생할 때 사건이 발생한다.

계층적으로 분해되어 모델링 된 시스템의 구성 요소 모델들을 서로 결합하는 기능은 두 번째 모델 형식인 coupled 모델에 의해서 제공된다. Coupled 모델은 시스템의 각 구성 요소 모델들이 서로 어떻게 연결되어 신호를 교환하는 지를 기술한다. Coupled 모델은 atomic 모델들 또는 coupled 모델들을 구성 요소로 가지며 각 구성 요소들과 요소들 간의 연결 상태를 표 2와 같은 항들을 사용하여 표현한다.

여기서 .IN과 .OUT 확장자는 각각 해당되는 DEVS 모델의 입력단자 집합과 출력단자 집합을 나타내고, EIC, EOC, IC는 구성요소 모델들과 coupled 모델 사이의 입출력 연결을 나타낸다. 이들 연결 관계들이 coupled 모델의 연결 형식을 정의하며 이들을 사용하여 DEVS 모델들을 계층적으로 연결하는 것이 가능하다. SELECT 항은 두 개 이상의 모델들이 같은 시간에 내부 천이를 일으키도록 스케줄 되었을 때 어느 것부터 내부 천이를 시킬 것인지 결정하는 함수이다.

DEVSsim++는 DEVS 형식론을 시스템 모델링 도구로 사용하며 DEVS 형식론의 추상화된 시뮬레이터를 시뮬레이션 엔진으로 사용한 이산사건 시스템 모델링 및 시뮬레이션 환경이다^[10]. 모든 환경을 객체지향 언어인 C++로 구현함으로써 DEVS 형식론의 모듈화, 계층적 시스템 모델링 의미론을 완전히 소화하였으며 모델 표현력과 효율성을 향상시켰다.

표 1. Atomic DEVS 모델

AM = $\langle X, Y, S, \delta_{int}, \delta_{ext}, \lambda, t_a \rangle$	
X	input events set
Y	output events set
S	sequential states set
δ_{int}	$S \rightarrow S$: internal transition function
δ_{ext}	$Q \times X \rightarrow S$: external transition function $Q = \{(s,e) \mid s \in S \text{ and } 0 \leq e \leq t_a(s)\}$
λ	$S \rightarrow Y$: output function
t_a	$S \rightarrow Real$: ime advance function

표 2. Coupled DEVS 모델

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

3. 중재 알고리즘

3.1 충돌 문제

UHF 대역의 RFID 환경에서는 다수의 리더와 다수의 태그가 존재할 수 있다. 다수의 리더와 다수의 태그가 통신하고자 할 경우 상호간의 신호 간섭으로 인한 충돌 문제가 발생하게 된다. 신호 충돌이 발생하면 리더는 태그를 인식하지 못한다. 그러므로 통신에 실패한 리더는 태그를 인식하기 위해서 신호를 재전송하여야 한다. 즉, 충돌 문제는 통신 부하와 전송 지연을 야기한다.

RFID 환경에서의 일반적인 충돌 상황은 그림 2와 같이 세 가지 경우가 있다. 그림 2(a)는 태그의 응답 신호 간에 충돌이 발생하는 경우이다. 한 리더의 동작 영역 안에 여러 개의 태그가 존재할 때, 하나의 리더의 신호에 여러 태그가 응답하여 충돌이 발생한다. 태그는 매우 적은 기능을 갖기 때문에, 인접한 모든 RFID 리더의 신호에 대하여 응답하게 된다. 그러므로 리더는 동시에 응답한 태그들의 신호를 해독할 수 없어 통신을 완료하지 못하게 되는 것이다. 이런 충돌 상황을 방지하기 위해 ISO/IEC 18000-6 Type A와 EPCglobal Class 1 Generation 2 표준에서는 ALOHA 기반 충돌 중재 방법을 사용하고, ISO/IEC 18000-6 Type B 표준에서는 적응형 바이너리 트리 충돌 중재(adaptive binary tree collision arbitration) 방법을 사용하여 충돌 문제를 해결한다.

그림 2(b)는 하나의 태그가 하나 이상의 리더의 동작

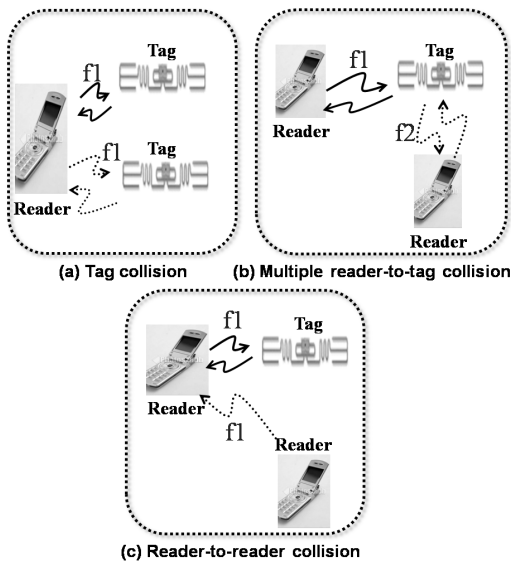


그림 2. RFID 환경에서의 충돌 문제

영역 안에 있을 때 발생한다. 태그는 매우 적은 기능 때문에 통신을 위한 하나의 주파수를 선택하지 못한다. 태그는 넓은 범위의 주파수 대역 신호에 대하여 응답하므로 하나 이상의 리더의 신호에 응답하려 하므로 리더 신호 간에 충돌이 발생하여 태그는 리더의 명령신호를 인식하지 못하게 된다. 이와 같은 충돌을 방지하기 위해서 리더들 사이에 중재 알고리즘이 필요하다.

그림 2(c)는 한 리더가 태그와 통신하고 있을 때 다른 리더의 동작 신호가 태그의 응답 신호에 간섭을 미치는 경우를 보여준다. 다른 리더로부터 발생된 명령 신호가 태그를 통하여 역산란 된 신호보다 강하여 리더와 태그가 통신하는 것을 방해하게 된다. 리더 신호간의 충돌 문제는 본 논문에서 제안한 중재 방법을 이용하여 해결할 수도 있으며, 서로 다른 주파수를 할당하는 기술인 주파수 호핑 기술 등을 사용하여 충돌을 방지할 수도 있다.

3.2 중앙 중재 방법

본 논문에서 제안하는 중앙 중재 방법은 중재기라고 부르는 장치를 사용하여 다수의 리더들의 동작 순서를 중재하는 방법이다. 중재기는 다수의 리더가 동시에 태그와 통신하고자 할 경우 리더의 동작 순서를 다르게 하여 충돌을 방지하는 역할을 한다. 중재기가 리더들 간의 동작 순서를 중재하기 위해서는, 한 중재기의 동작 영역 안에 있는 모든 리더들과 중재기를 네트워크로 연결하여야 한다. 하지만 이를 위해서 리더가 다른 통신 프로토콜을 지원하도록 하는 것은 리더의 가격을 상승시키는 요인이 되며, 기존의 리더를 사용할 수 없는 단점이 있다. 그러므로 중재기와 리더들과의 통신을 위해서 기존의 RFID 프로토콜을 확장하여 사용하도록 한다. 즉, 중재기는 리더로부터 중재 요청 명령을 수신하면, 수동형 태그의 반사변조 응답과 같이 리더의 송신 캐리어 주파수와 일치하는 응답 신호를 발생한다. 리더들은 마치 RFID 태그를 액세스하는 것처럼 중재기와 통신하여 중재되는 것이다. 하지만 중재기는 내부적으로 태그보다 훨씬 복잡한 회로를 가지고 있고, 자체 전력원도 가지고 있다. 그러므로 중재기는 보다 멀리 떨어진 리더들이 전송한 특정 주파수의 미약한 신호를 인식할 수 있다.

그림 3은 중재기를 사용한 중앙 중재 방법의 기본 구조를 나타낸다. 중앙 중재 방법은 여러 리더간의 신호 충돌 문제가 발생할 때 리더들을 다른 시간에 동작하도록 하여 충돌 문제를 해결한다. 제안하는 중앙 중재 방법은 중재기라고 부르는 장치를 사용하여 허가 응답을 받은 리더만이 태그와 통신할 수 있으므로, 서론에서 언급한 CCA를

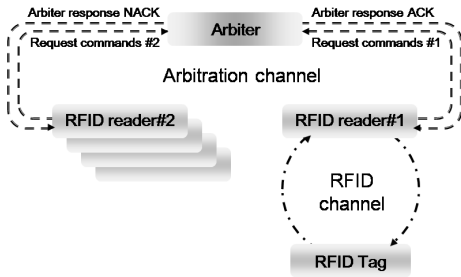


그림 3. 중재기를 사용한 중앙 중재 방법

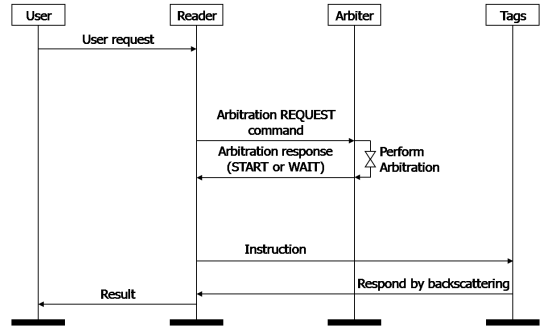


그림 5. 중재기를 사용한 동작 시나리오

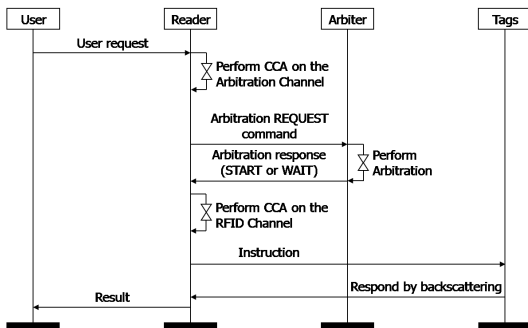


그림 4. CCA와 중재기를 함께 사용한 동작 시나리오

사용한 분산 중재 방법보다 성능 향상이 기대된다. 또한, 기존의 리더가 CCA 기능을 갖고 있는 리더라면 중재기를 사용한 중앙 중재 방법과 같이 사용할 수 있다. 분산 중재 방법을 함께 사용하면 리더가 중재기에 중재를 요청할 때 발생할 수 있는 충돌 문제 혹은 중재기를 사용할 경우 발생할 수 있는 충돌을 줄일 수 있어 보다 효율적인 통신이 예상된다. 일반적인 중앙 중재 방법은 분산 중재 방법이 없어도 사용할 수 있다.

그림 4는 CCA를 사용한 분산 중재 방법과 중재기를 사용한 중앙 중재 방법을 같이 사용한 경우의 동작 시나리오를 나타낸다. 사용자의 요청이 발생하면(또는 설정된 주기가 되면) 리더는 중재기에 중재 요청 명령을 보내기 위해 중재 채널에 대하여 CCA를 수행한다. CCA를 통해 현재 중재 채널의 사용 여부를 확인하고, 채널이 사용 가능하다면 중재 채널을 통해 중재기에 중재 요청 명령을 보낸다. 중재기는 중재 기능을 수행하고, 리더에게 중재에 관한 응답을 한다. 중재 허가 응답을 받은 리더는 태그와 통신하기 위해 RFID 채널에 CCA를 수행한다. RFID 채널이 사용 가능하다면 RFID 채널을 통해 태그와 통신하게 된다. 여기서 중재 채널은 중재기와 리더가 통신하기 위한 채널을 의미하며, RFID 채널은 중재기가 정해주는 리더와 태그가 통신하는 채널을 의미한다.

중재기를 사용할 경우 발생할 수 있는 부하를 제거하기 위해, 중재 허가를 받은 한 리더와 다음에 사용할 중재 허가를 받은 다른 한 리더가 대기할 수 있도록 하였다. 이 기능을 히든 중재(hidden arbitration)라고 부른다. 이 기능을 사용하기 위해서는 리더가 CCA 기능을 갖고 있어야 한다. 중재기로부터 중재 허가를 받고 RFID 채널을 사용하기 위해 대기하는 리더는 RFID 채널에 CCA를 수행하여 사용 여부를 확인한 후 태그와 통신하므로 RFID 채널 사용 시 충돌을 회피할 수 있고, 통신 부하를 줄일 수 있다.

한편, 제안하는 중앙 중재 방법은 중재기만 사용하여 동작할 수 있으며, 그림 5의 시나리오는 CCA 기능을 제외한 중앙 중재 방법의 시나리오이다. 앞서 설명한 CCA와 중재기를 함께 사용한 경우의 시나리오에서 CCA 동작을 제외한 다른 부분은 같다. CCA 기능이 없으므로, 리더가 중재기에 중재 요청을 보낼 때 충돌이 발생할 수 있다. 하지만 리더와 중재기가 통신하는 시간은 굉장히 짧은 시간이므로 충돌에 의한 동작 효율은 크게 변화하지 않는다. 충돌이 발생할 경우 랜덤 백오프(random backoff) 기능을 사용하여 임의의 시간 뒤에 다시 중재 요청 명령을 보내게 된다. 그림 4와 같이 히든 중재를 사용하는 경우에는 충돌을 최소화할 수 있다.

제안하는 중재기 시스템을 사용하기 위해서는 중재기라는 장치가 추가되어야 하며, 기존 리더의 동작도 변경되어야 한다. 3.3과 3.4에서 중재기와 리더의 상태를 통하여 동작을 살펴볼 것이며, 각 상태도는 그림 5의 중재기만 사용한 기본적인 중앙 중재 방법의 시나리오를 기준으로 중재기와 리더의 동작을 설명한다.

3.3 중앙 중재 방법에서 중재기의 동작

중재기는 4개의 상태를 갖고 동작하고, 각 상태 전이

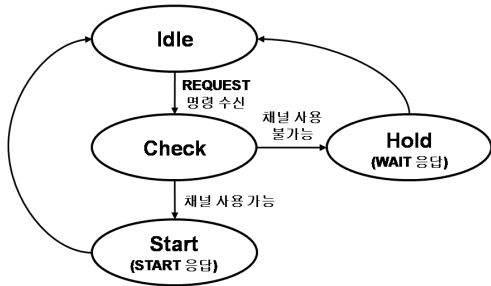


그림 6. 중재기의 동작 상태도

규칙은 그림 6과 같다.

- **Idle** 상태 : 중재기의 초기 상태이고, 리더로부터 REQUEST 명령을 기다리는 상태이다. 중재기는 중재 채널을 통하여 임의의 리더로부터 REQUEST 명령을 수신하면 **Check** 상태로 천이한다.
- **Check** 상태 : 중재기가 REQUEST 명령을 송신한 리더의 RFID 채널 사용 가능 여부를 판단하는 상태이다. 리더의 REQUEST 명령을 수신하면 중재기는 우선 현재 RFID 채널을 사용 중인 리더가 있는지 확인한다. 중재기는 RFID 채널의 사용 가능 여부를 판단한 후, 채널을 사용하고 있는 리더가 없으면 **Start** 상태로 천이하고, 사용 중인 리더가 있으면 **Hold** 상태로 천이한다.
- **Start** 상태 : 중재기가 REQUEST 명령을 송신한 리더에게 통신 허가 응답을 하는 상태이다. 중재기는 리더에게 START 응답을 한 후, **Idle** 상태로 천이한다.
- **Hold** 상태 : 중재기가 REQUEST 명령을 송신한 리더에게 통신 불가 응답을 하는 상태이다. 중재기는 리더에게 WAIT 응답을 한 후, **Idle** 상태로 천이한다.

3.4 중앙 중재 방법에서 리더의 동작

리더는 6개의 상태를 갖고 동작하며, 각 상태 천이 규칙은 그림 7과 같다.

- **Ready** 상태 : 리더의 초기 상태이고, 사용자의 요청이 발생하면 **Request** 상태로 천이한다.
- **Request** 상태 : 사용자의 요청에 따라 중재 요청 명령을 중재기에 전송하고 **Arbitration** 상태로 천이한다.
- **Arbitration** 상태 : 중재기로부터 중재 요청에 대한 응답을 기다리는 상태이다. START 응답을 수신하면 **Interrogate** 상태로 천이하고, WAIT 응답 혹은 잘못된

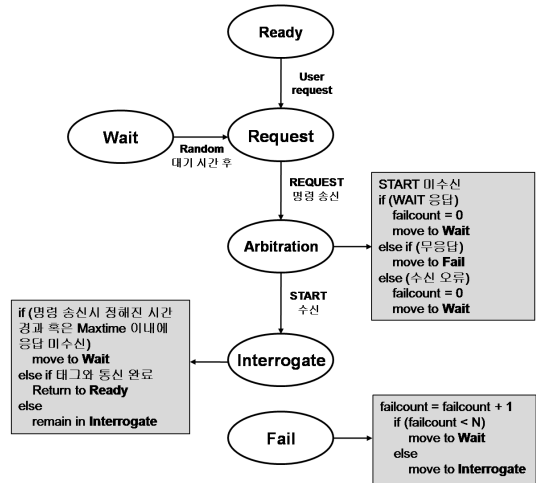


그림 7. 리더의 동작 상태도

된 응답을 수신하면 **Wait** 상태로 천이한다. 그리고 미리 정해진 시간 이내에 응답을 수신하지 못하는 경우에는 **Fail** 상태로 천이한다.

- **Interrogate** 상태 : START 응답을 수신한 리더가 태그와 통신하는 상태이다. START 응답을 수신한 리더는 정해진 시간 이내에 태그로 명령을 송신해야 하고, 태그로 명령을 송신 후 중재기가 정해진 시간 이내에 태그로부터 응답을 받아야 한다. START 응답을 수신한 리더가 정해진 시간 이내에 태그로 명령을 송신하지 못하면, 다시 처음부터 다시 시작하여야 한다. 리더는 정해진 시간 이내에 태그로 명령을 송신 후, 중재기가 정해진 시간 이내에 태그로부터 응답을 받을 경우 **Ready** 상태로 천이하고, 그렇지 못할 경우 **Wait** 상태로 천이한다.
- **Wait** 상태 : 리더가 다음 중재 요청을 위해 대기하는 상태이다. 임의의 시간 동안 대기 후 **Request** 상태로 천이한다.
- **Fail** 상태 : 중재기의 존재 여부를 판단하는 상태이다. 리더는 중재기가 존재하지 않는 지역에서도 단독으로 태그와 통신할 수 있어야 하므로 이 상태가 필요하다. **Fail** 상태에서는 응답을 수신하지 못한 횟수를 카운트 한다. 응답을 수신하지 못한 횟수가 정해진 횟수(N) 이상일 경우, 중재기가 없다고 판단하고 중재 없이 태그와 직접 통신하기 위해 **Interrogate** 상태로 천이한다. 정해진 횟수(N)를 넘지 않았다면, 리더는 중재기는 존재하지만 응답을 수신하지 못한 것으로 판단하고 **Wait** 상태로 천이한다.

4. 모델링 및 시뮬레이션 시나리오

4.1 모델링

본 논문에서는 UHF 대역 RFID 중재기 시스템을 DEVS 형식론에 기반을 두어 모델링 하였다. 일반적인 RF 시스템은 연속적인 값을 가지는 상태 변수가 연속적으로 변화하는 연속 시스템이라고 말할 수 있다. 하지만 본 논문에서는 제안된 RFID 중재기 시스템을 RF적인 측면 보다는 시스템 동작적인 측면에서 분석하였다. 그래서 유한개의 동작 상태가 임의의 시간에 변화하는 이산사건 시스템으로 생각하여 DEVS 형식론에 기반을 두어 모델링 하였고, DEVSsim++을 사용하여 모델을 시뮬레이션 하였다.

그림 8은 RFID 중재기 시스템 모델의 구조를 나타낸다. 본 논문에서는 중재기 시스템 모델을 *ReaderSet*, *ArbiterSet*, *TagSet* coupled 모델로 구성하였다. *ReaderSet* 모델은 여러 *Reader* 모델들로 구성되어 있으며, *ArbiterSet* 모델은 *Channel* 모델과 *Arbiter* 모델, *TagSet* 모델은 *Channel* 모델과 *Tags* 모델로 구성되어 있다. *Reader* 모델과 *Tags* 모델은 일반적인 RFID 리더와 태그들을 의미한다. *ArbiterSet* 모델 안의 *Channel* 모델은 중재 채널을 의미하며, *TagSet* 모델 안의 *Channel* 모델은 RFID 채널을 의미한다. 중재 채널이란 리더가 중재기에 중재 요청을 할

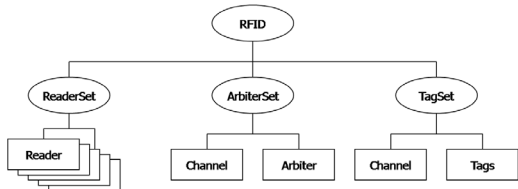


그림 8. RFID 중재기 시스템 모델의 계층적 구조

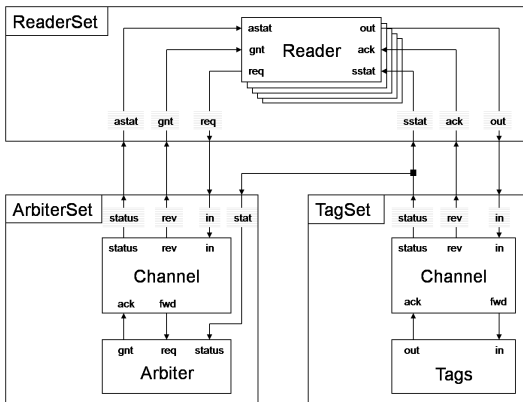


그림 9. RFID 중재기 시스템 모델들의 입출력 구조

때 사용하는 통신 채널을 나타내며, *Arbiter* 채널은 중재 허가를 받은 리더가 태그와 통신할 때 사용하는 채널을 나타낸다.

그림 9는 RFID 중재기 시스템 모델에서 구성 요소 모델들의 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.

4.2 시뮬레이션 시나리오

이 절에서는 앞에서 모델링 한 RFID 중재기 시스템 모델의 시뮬레이션 시나리오를 설명한다. RFID 중재기 시스템 모델을 중재기 기능과 CCA 기능을 포함한 경우의 시나리오를 대표적으로 설계하였다. 그림 10은 RFID 중재기 시스템의 시뮬레이션 시나리오를 나타낸다.

시나리오를 간단하게 설명하면, 사용자의 요청이 발생하면 *Reader*는 CCA를 통해 A Channel의 사용 여부를 확인한다. A Channel이 사용 가능한 상태이면, *Reader*는 *Arbiter*에 중재 요청 명령을 보낸다. *Arbiter*는 중재 요청 신호를 보낸 *Reader*에게 중재 응답을 하고, *Reader*와 *Arbiter*와의 통신이 종료된다. 중재 허가를 받은 *Reader*는 R Channel에 CCA를 수행하여 채널의 상태를 확인한다. R Channel이 사용 가능한 상태이면, 중재 허가를 받은 *Reader*는 R Channel을 통해 *Tags*와 통신하게 된다.

본 논문에서 시뮬레이션 한 모델은 채널을 중재 채널(arbitration channel)과 RFID 채널(RFID channel)로 나누어 사용하였고, 시나리오에서는 간단하게 A Channel과 R Channel로 표현하였다. 그리고 모든 리더 모델은 CCA 기능을 지원한다고 가정하였다. 그러나 DEVS 형식론에서는 한 모델이 자기 자신 이외의 다른 모델의 상태를 알아낼 수 없기 때문에 CCA를 표현하기 위해 자신의 상태

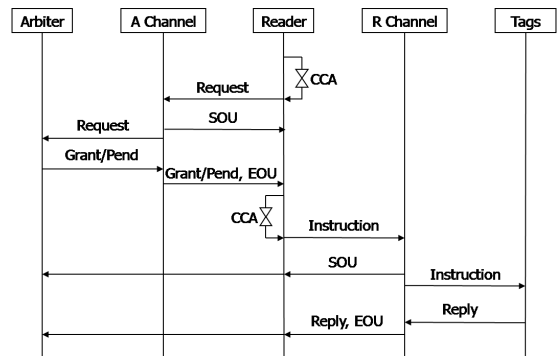


그림 10. RFID 중재기 시스템의 시뮬레이션 시나리오

를 다른 모델에 알리기 위해 SOU(Start of Use), EOU(End of Use)를 추가하였다. 즉, Reader 모델이 Channel 모델의 상태를 알아내는 것은 불가능하지만, Channel 모델이 Reader 모델들에게 자기 자신의 상태를 알리도록 하여 Reader 모델이 Channel 모델의 상태를 알 수 있게 하였다. 그림 10과 같이, 한 Reader 모델이 Channel 모델과 통신하기 시작하면, Channel 모델은 SOU를 다른 리더들에게 전송하여 현재 Channel 모델이 사용 중임을 알린다. 그리고 Channel 모델의 사용이 종료되면, Channel 모델은 EOU를 다른 리더들에게 전송하여 Channel 모델의 사용이 종료됨을 알리게 되는 것이다. A Channel과 R Channel은 같은 방식으로 동작하도록 하였다.

4.3 모델의 설계

본 논문에서 모델링 한 RFID 중재기 시스템 모델은 ReaderSet, ArbiterSet, TagSet coupled 모델로 이루어져 있다. 그리고 각각의 coupled 모델의 구성 요소로는 Reader, Tags, Channel, Arbiter atomic 모델이 있다. 각각의 atomic 모델의 동작을 모두 살펴볼 수는 없으므로, 본 논문에서는 대표적으로 Reader 모델의 설계 방법과 동작에 관해서만 설명하겠다.

Reader 모델은 통신 패킷을 발생시키는 모델이다. 일반적인 RFID 리더를 나타내며, DEVS 형식론에 기반을 두어 모델을 설계하고, 동작하도록 하였다.

그림 11은 Reader 모델의 동작을 중심으로 시나리오를 표현한 것이다. 앞에서 설명한 DEVS 형식론에 기반하여, 입출력 발생 시점을 기준으로 상태를 IDLE, REQ, GNTWAIT, INUSE, ACKWAIT로 나누었다. 여기서 상태(phase)는 DEVS 형식론에서 atomic DEVS 모델의 상태 변수 집합의 구성 요소이다. DEVS 형식론에서는 모델의 동작 단계를 여러 상태로 나누어 구성하여, 각 모델

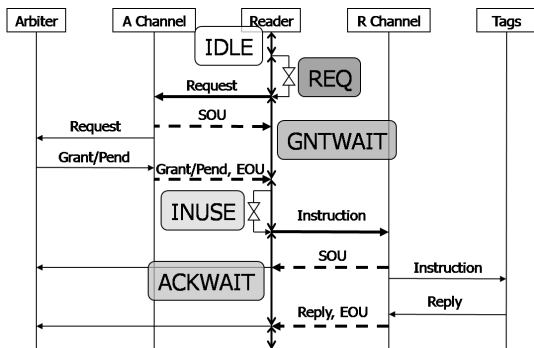


그림 11. Reader DEVS 모델의 동작 시나리오

은 상태 천이로 인하여 동작하게 된다.

IDLE 상태는 Reader 모델의 초기 상태로, 사용자의 요청이 발생하면 δ_{in} 의 발생으로 REQ 상태로 변화 된다. REQ 상태는 중재 채널에 CCA를 수행하여, 현재 채널의 사용 유무를 확인하는 구간이다. 중재 채널이 사용 가능하다면, δ_{in} 의 발생으로 인해 GNTWAIT 상태로 변화되고, δ_{in} 가 발생하는 시점에서 중재 요청 신호를 발생시킨다. GNTWAIT 상태는 중재를 요청한 리더가 중재 허가 신호를 기다리는 구간이다. 중재 신호를 받는다면 δ_{ext} 에 의해 상태가 변화게 된다. 중재 실패 신호를 받는다면 IDLE 상태로 돌아가 다시 접속을 시도하게 되고, 허가 신호를 받는다면 INUSE 상태로 변화게 된다. INUSE 상태는 중재 허가를 받은 리더가 RFID 채널에 CCA를 수행하는 구간이다. REQ 상태에서의와 같이 채널이 사용 가능하다면 δ_{in} 에 의해 ACKWAIT 상태로 변화게 되고, δ_{in} 가 발생하는 시점에서 태그로 명령어를 전송하게 된다. ACKWAIT 상태는 중재 허가를 받은 리더가 RFID 채널을 통하여 태그로 명령어를 전송한 후, 태그로부터 응답을 기다리는 구간이다. 태그로부터 응답 신호를 받게 된다면, δ_{ext} 에 의해 IDLE 상태로 변화고 다시 앞의 과정을 반복하게 된다.

이와 같이 Reader 모델은 입출력 사건의 발생으로 인한 상태의 변화로 인해 동작하게 된다. 그림 12는 이런 Reader 모델의 상태 천이를 나타낸 것이다. 앞에서 설명한 동작을 상태 변화를 기준으로 표현한 것이며, 점선은 δ_{in} 의 발생을, 실선은 δ_{ext} 의 발생을 나타낸다. 그리고 '?'는 외부로부터 발생하는 입력을 나타내며, '!'는 내부적으로 발생하는 출력을 나타낸다. 그림에서는 앞에서 나눈 상태 외에 STOP 상태가 추가된 것을 볼 수 있다. 이것은 시뮬레이션 할 때, 리더가 태그와 통신하는 일정 횟수(사용자의 요청 횟수)가 완료되면 ACKWAIT 상태에서 STOP 상태로 전이되어 그 Reader 모델의 동작이 완전히 종료됨을 나타낸다.

앞에서 설명한 동작은 Reader 모델의 기본적인 동작을

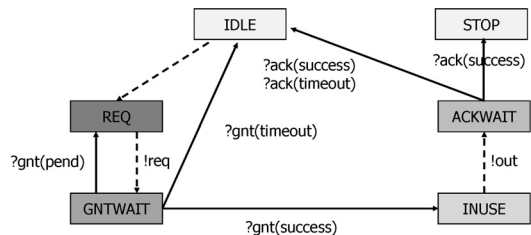


그림 12. Reader DEVS 모델의 phase 천이

설명한 것이다. 앞에서 설명한 내용 외에도 고려해야 할 사항들이 있다. 우선 GNTWAIT, ACKWAIT 상태에서 Reader 모델은 이전 출력에 따른 입력을 기다리게 된다. 이때 리더가 입력을 기다리는 시간이 길어지게 되면, 다른 리더들의 대기하는 시간이 길어지게 된다. 이와 같은 현상을 방지하기 위하여 종료(timeout) 시간을 설정하였다. 종료 시간 동안 응답이 없다면 통신을 종료하고 다시 IDLE 상태로 돌아가게 하여 한 리더의 채널 점유 시간을 제한한 것이다. 그리고 한 Reader 모델이 채널을 사용하고 있을 경우, 다른 Reader 모델은 채널에 CCA를 수행하여 채널의 사용 여부를 확인한 후, 사용을 할 수 없음을 알게 된다. 이때 다시 통신을 시도할 다음 시간을 정해줘야 하는데, 본 논문의 RFID 중재기 시스템 모델에서는 임의의 시간 뒤에 다시 시도하도록 설정하였다.

다른 모델들도 Reader 모델과 마찬가지로 시뮬레이션 시나리오를 통해 각 모델의 동작을 분석하여 모델을 구현하였다. 각 모델마다 동작 특성(상태 구성)은 다르지만, 기본적인 모델의 구성과 동작 방법은 Reader 모델과 유사하므로 다른 모델들에 관한 설명은 생략하겠다.

5. 시뮬레이션

앞에서 설계한 RFID 중재기 시스템 모델을 시뮬레이션 하기 위하여 DEVS 형식론의 추상화된 시뮬레이터인 DEVSim++을 사용하였다. 앞에서 간단히 설명한 DEVSim++은 KAIST에서 개발한 것으로, 객체지향 환경인 Visual C++에서의 MFC class를 사용하여, 표현력이 풍부하고, 실행 속도가 빠르다.

본 논문에서는 CCA는 사용하지만 중재기를 사용하지 않는 경우, 중재기는 사용하지만 CCA를 사용하지 않는 경우, 그리고 중재기와 CCA 모두 사용하는 경우의 결과를 측정하여 결과를 비교하였다. CCA와 중재기를 모두 사용하지 않는 경우의 결과는 지속적인 통신 오류로 인하여 결과 값의 측정이 어렵기 때문에 제외하였다.

그리고 각 경우의 완료 시간(completion time), 이용도(utilization), 응답 시간(response time)을 측정하여 성능을 비교하였다. 완료 시간은 리더가 통신을 시작하여 사용자가 요청한 수만큼의 통신이 완료될 때까지의 총 시간을 측정한 것이다. 시간이 짧을수록 보다 효율적인 통신을 했다고 할 수 있다. 이용도는 전체 통신 시간 중 RFID 채널의 사용 시간을 나타낸 것이다. RFID 채널이 지속적으로 사용되었다는 것은 중재기가 효율적으로 다른 시간에 태그와 통신하여 충돌을 효율적으로 제거했다는 것과 같

다. 그러므로 이용도 측정값이 1에 가까울수록 보다 효율적으로 통신했다고 말할 수 있다. 마지막으로 응답 시간은 사용자의 요청이 발생한 순간부터 리더가 태그로부터 응답 신호를 받을 때까지의 시간이다. 완료 시간은 한 번의 통신을 종료한 후 다음 통신 시작까지의 대기 시간이 포함되는 결과 값이지만, 응답 시간은 한 번의 통신이 완료될 때까지의 시간만을 측정하므로 예상 충돌의 발생 횟수 변화에 따른 결과 값의 변화의 폭을 비교해야 할 것이다. 설명한 세 가지 측정값을 각각 10번씩 실험하여 각 경우의 평균적인 시간을 계산하여 비교하였다.

5.1 사용자 요청 회수를 고정한 경우

아래 3가지 결과는 사용자가 총 80번의 요청을 할 경우 리더의 개수의 변화에 따른 각 경우의 결과 값이다. 이 경우에는 리더의 개수의 변화에 따라 한 리더당 사용자의 요청의 수가 달라지므로 그 변화를 고려하여 결과를 비교하여야 할 것이다.

그림 13은 완료 시간을 측정한 것이다. CCA만 사용한 경우가 가장 오랜 시간이 걸렸고, 중재기만 사용한 경우보다 CCA와 중재기를 같이 사용한 경우가 가장 적은 시간이 걸린 것을 볼 수 있다. 또한 CCA만 사용한 경우에는 리더의 개수에 따른 시간의 변화가 불규칙하지만, CCA와 중재기를 같이 사용한 경우에는 일정한 시간이 걸린 것을 볼 수 있다.

그림 14는 이용도를 측정한 것이다. 앞에서 설명하였듯이 RFID 채널의 사용 빈도를 나타내는 결과 값으로서 CCA와 중재기를 같이 사용한 경우가 가장 지속적으로 RFID 채널을 사용하여 통신한 것을 알 수 있다. 또한 리더의 수의 변화에 따른 RFID 채널의 사용 빈도의 변화도

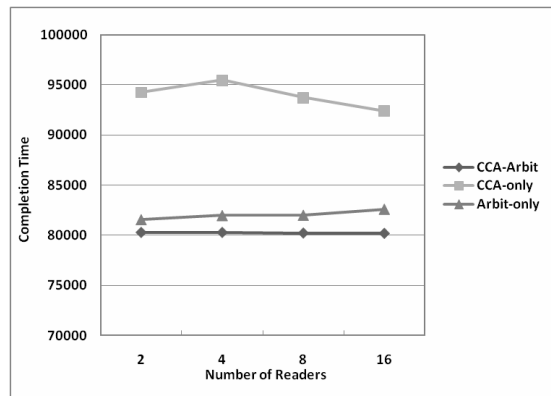


그림 13. 완료 시간 (Requests = 80)

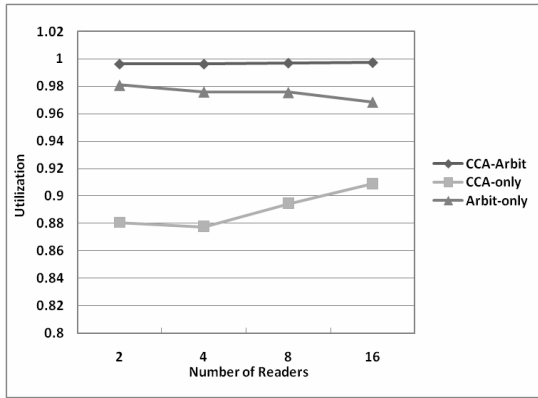


그림 14. 이용도 (Requests = 80)

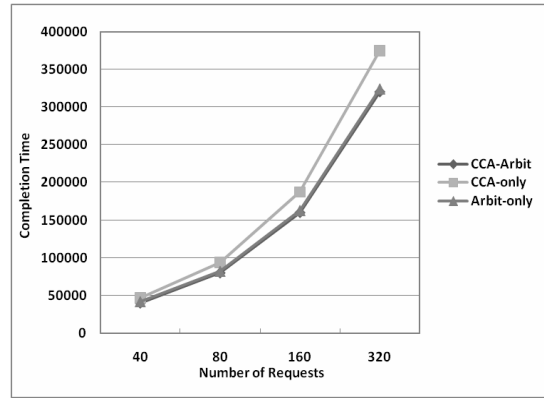


그림 16. 완료 시간 (Readers = 8)

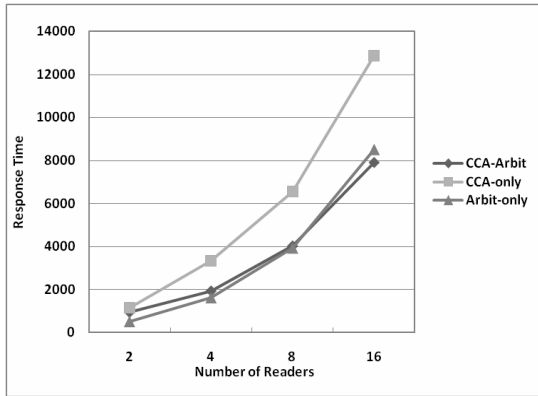


그림 15. 응답 시간 (Requests = 80)

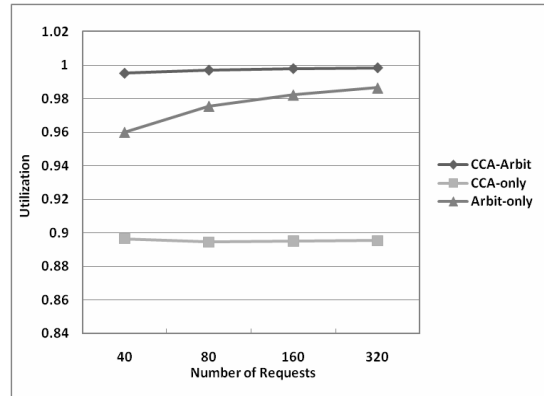


그림 17. 이용도 (Readers = 8)

가장 일정한 것을 볼 수 있다.

그림 15는 응답 시간을 측정하는 것이다. 이 결과는 리더의 개수의 변화에 따라 중재 요청시 충돌이 발생하는 수가 변화하므로, 변화의 정도를 비교하여야 한다. CCA만 사용하였을 경우가 리더의 개수의 변화에 따라 가장 심한 증가를 보였으며, 중재기만 사용한 경우는 CCA와 중재기를 같이 사용한 경우와 비슷한 결과를 보이지만, 변화의 폭으로 보면 CCA와 중재기를 같이 사용한 경우가 가장 적은 폭으로 증가하는 것을 확인할 수 있다.

5.2 리더 수를 고정한 경우

아래 3가지 결과는 리더의 개수를 8개로 고정하고 사용자의 요청 개수가 변할 때 측정된 결과 값이다. 이 경우에는 사용자의 총 요청 개수가 변화할수록 각 리더당 요청을 하는 수가 달라지므로 그 변화를 중점으로 결과를 확인하여야 한다.

그림 16은 완료 시간을 측정하는 것이다. CCA만 사용한 경우가 가장 오랜 시간이 걸리고, 중재기만 사용한 경우와 CCA와 중재기를 같이 사용한 경우는 거의 비슷한 시간이 걸린 것을 볼 수 있다. 중재기만 사용한 경우와 중재기와 CCA를 같이 사용한 경우는 그래프 상으로는 비교가 어렵지만, 수치상으로는 중재기와 CCA를 같이 사용한 경우가 좀더 적은 시간이 걸렸다.

그림 17은 이용도를 측정하는 결과 값이다. 이 결과 역시 CCA만 사용한 경우는 가장 안 좋은 결과를 보였으며, 중재기만 사용한 경우보다 CCA와 중재기를 같이 사용한 경우가 RFID 채널을 가장 지속적으로 사용한 것을 알 수 있다.

그림 18은 응답 시간을 측정하는 것이다. 이 결과는 사용자의 요청의 변화에 따른 결과 값의 변화의 폭을 비교하는 것이 중요하다. CCA만 사용한 경우는 사용자의 요청이 증가할수록 시간도 증가하고, 가장 오랜 시간이 걸리

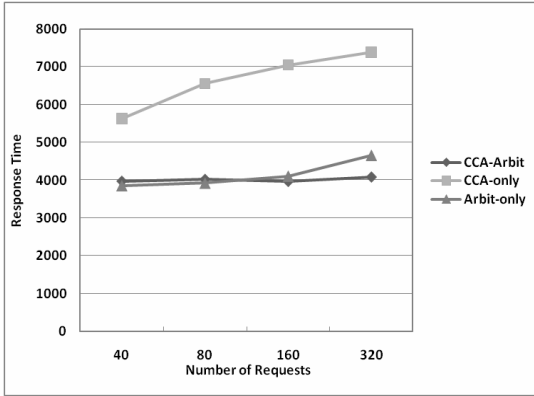


그림 18. 응답 시간 (Readers = 8)

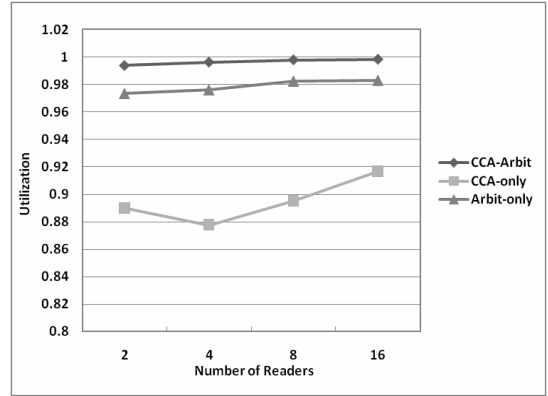


그림 20. 이용도 (Requests per Reader = 20)

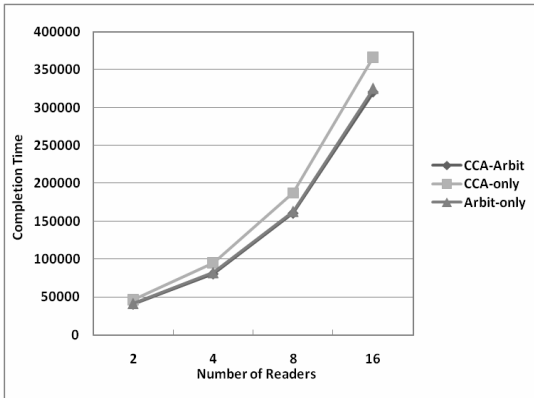


그림 19. 완료 시간 (Requests per Reader = 20)

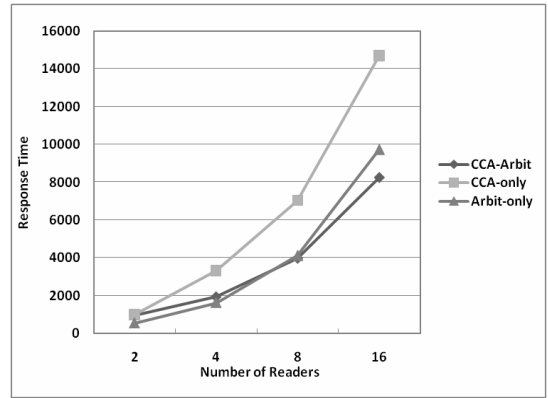


그림 21. 응답 시간 (Requests per Reader = 20)

는 것을 볼 수 있다. 중재기만 사용한 경우는 측정된 시간 상으로는 CCA와 중재기를 같이 사용한 경우와 비슷한 것 같지만, 사용자의 요청 수의 변화에 따른 변화의 폭이 보다 큰 것을 확인 할 수 있다. 즉, CCA와 중재기를 같이 사용한 경우가 사용자의 요청의 수의 변화에 상관없이 일정한 시간 동안 통신을 완료하는 것을 확인 할 수 있다.

5.3 리더당 사용자 요청 횟수를 고정한 경우

아래 3가지 결과는 한 리더당 20번의 사용자 요청이 발생할 경우의 결과 값이다. 이 경우에는 한 리더당 사용자의 요청의 발생의 수가 일정하므로, 리더의 개수를 변화시켜가면서 리더의 개수와 사용자의 요청의 수가 증가할 때 변화를 비교해 보았다.

그림 19는 완료 시간을 측정한 것이다. 앞서 살펴본 결과들과 마찬가지로 CCA만 사용한 경우가 가장 오랜 시

간이 걸렸고, 중재기만 사용한 경우와 CCA와 중재기를 같이 사용한 경우가 보다 좋은 결과를 보였다. 이 결과도 중재기만 사용한 경우와 CCA와 중재기를 같이 사용한 경우는 그래프 상에서 결과 값을 비교하기 어렵지만, 수치상으로는 중재기와 CCA를 같이 사용한 경우가 가장 적은 시간이 걸렸다.

그림 20은 이용도를 측정한 결과 값이다. 이 결과도 앞서 살펴본 결과들과 마찬가지로 CCA만 사용한 경우가 가장 불규칙적인 채널 사용률을 보였으며, CCA와 중재기를 같이 사용한 경우가 중재기만 사용한 경우보다 RFID 채널을 지속적으로 사용한 것을 확인할 수 있다.

그림 21은 응답 시간을 측정한 것이다. 앞서 측정한 다른 결과들과 마찬가지로 CCA만 사용한 경우가 가장 급격한 변화를 보였으며, CCA와 중재기를 같이 사용한 경우가 변화의 폭이 가장 적은 것을 확인할 수 있다.

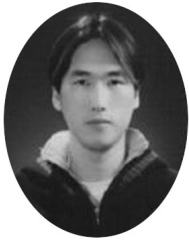
6. 결 론

최근 RFID의 사용 범위가 커지고 다양한 응용 분야에 적용되고 있다. 또한 국내에서는 RFID를 위한 대역폭이 작아서 많은 리더들이 한정된 대역폭을 나누어 사용해야 하는 모바일 환경을 요구하는 시스템들이 많아지고 있다. 따라서 본 논문에서는 모바일 환경의 다수의 리더와 태그가 존재하는 환경에서 발생 할 수 있는 충돌 문제를 회피하기 위해서 RFID 중재기 시스템을 제안하였다. 제안된 시스템에서는 중재기가 자신의 영역 안에 있는 리더들의 동작 순서를 결정하여 리더간의 충돌 문제를 해결한다.

제안된 시스템의 성능을 평가하기 위해 RFID 중재기를 DEVS 형식론에 기반하여 모델링하고 시뮬레이션 하였다. CCA와 중재기를 사용하지 않은 다중 리더 환경은 지속적인 통신 오류로 인하여 결과를 측정하기 어렵기 때문에 제외하였고 CCA와 중재기를 사용한 모델들에 대하여 시뮬레이션 하였다. 시뮬레이션 결과는 통신 완료시간, 이용도, 응답시간측면에서 분석하였으며 CCA와 중재기를 같이 사용한 경우가 가장 효율적으로 충돌을 제거하여 원활한 통신이 이루어진 것을 확인할 수 있었다. 향후, 본 논문에서 제안된 RFID 중재기 시스템 모델이 실제 환경에서의 모델과 잘 부합하도록 지속적인 보완 및 검증이 필요할 것이다.

참 고 문 헌

- 오정석, 황준호, 강유철, 이정희, 유명식, “RFID 시스템을 위한 계층적 구조 기반의 리더 충돌 방지 알고리즘”, *한국통신학회논문지*, 제33권, 제10호, 2008.10, pp. 987-996.
- 옥치영, 권성호, 최진철, 최길영, 모희숙, 이채우, “RFID 시스템에서의 적응형 리더 충돌 방지 알고리즘”, *전자공학회 논문지-CI*, 제45권, 제4호, 2008.7, pp. 53-63.
- 원준섭, 서현근, 이경호 (2006) “RFID시스템에서 알고리즘 기반 충돌방지 알고리즘의 성능 평가”, *한국시물레이션학회 추계학술대회논문집*, 2006.11, pp. 35-40.
- Bernard P. Zeigler. *Multifaceted Modeling and Discrete Event Simulation*. Academic Press, 1984.
- EPCglobal. EPCTM radio-frequency identity protocols class-1 generation-2 UHF RFID protocol for communications at 860 MHz - 960 MHz, 2004.
- 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.
- J. H. Kim, W. J. Lee, J. U. Yu, J. H. Myung, E. K. Kim, C. H. Lee, “Effect of Localized Optimal Clustering for Reader Anti-Collision in RFID Networks : Fairness Aspects to the Readers”, in *Proc. of IEEE Conf. on Computer Communications and Networks*, pp. 497-502, San Diego, USA, October 2005.
- J. Waldrop, D. W. Engles, S. E. Sarma, “Colorwave : A MAC for RFID Reader Networks”, in *Proc. of IEEE Conf. on Wireless Communication and Networking*, March 2003.
- J. Waldrop, D. W. Engles, S. E. Sarma, “Colorwave : An Anti-collision algorithm for the Reader Collision Problem”, in *Proc. of IEEE International Conf. on Communications*, May 2003.
- Tag Gon Kim. DEVSsim++ user’s manual: C++ based simulation with hierarchical modular DEVS models, 1998.



배 성 우 (baesungwoo@gmail.com)

2002 국민대학교 전자공학과 학사
2004 국민대학교 전자공학과 석사
2004~현재 국민대학교 전자공학과 박사과정

관심분야 : RFID, ASIC, Embedded system, 모델링&시뮬레이션



류 원 상 (wonsange@gmail.com)

2007 국민대학교 전자공학과 학사
2007~현재 국민대학교 전자공학과 석사과정

관심분야 : RFID, Embedded system, 모델링&시뮬레이션



안 시 영 (onsaiahn@gmail.com)

2003 국민대학교 전자공학과 학사
2007 국민대학교 전자공학과 석사
2008~현재 국민대학교 전자공학과 박사과정

관심분야 : RFID, Embedded system, Sensor network



양 정 규 (poohyjk3@gmail.com)

2005 국민대학교 전자공학과 학사
2007 국민대학교 전자공학과 석사
2007~현재 국민대학교 전자공학과 박사과정

관심분야 : RFID, Embedded system



김 윤 호 (unonet@nate.com)

2005 국민대학교 전자공학과 학사
2008 국민대학교 전자공학과 석사
2008~현재 국민대학교 전자공학과 박사과정

관심분야 : RFID, Sensor network, 모델링&시뮬레이션



김 준 형 (jhkim@khcu.ac.kr)

1979 서울대학교 전자공학과 학사
1984 한국과학기술원 산업전자공학과 석사
1989 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 공학박사
1984~1989 DACOM 행정전산사업단 주전산기안정화팀장
1991~1996 덕성여대 전산학과 교수
1996~2002 교육인적자원부 교육정보화담당관
2002~2006 경희사이버대학교 학장
2002~현재 경희대학교 교육대학원 교수

관심분야 : RFID, Embedded system, e-Learning systems



오 하 령 (hroh@kookmin.ac.kr)

1983 서울대학교 전기공학과 학사
1988 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사
1992 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 공학박사
1992~현재 국민대학교 전자정보통신공학부 교수

관심분야 : RFID, Embedded system, 실시간 처리, ASIC



성 영 락 (yeong@kookmin.ac.kr)

1989 한양대학교 전자공학과 학사
1991 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사
1995 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 공학박사
1996~현재 국민대학교 전자정보통신공학부 교수

관심분야 : RFID, 실시간 처리, 이산사건 모델링&시뮬레이션, 스케줄링



박 준 석 (jspark@kookmin.ac.kr)

1987 국민대학교 전자공학과 학사
1993 국민대학교 전자공학과 석사
1996 국민대학교 전자공학과 공학박사
1997~1998 Dept. of EE, UCLA PostDoc
2000~2003 순천향대학교 정보기술공학부 교수
2003~현재 국민대학교 전자정보통신공학부 교수

관심분야 : Mobile RFID, RFIC