

사물인터넷을 위한 향상된 LLRP 어댑테이션 프레임워크

허세현⁰¹ 김성훈¹ 하민근¹ 김대영¹

¹ 한국과학기술원 전산학과

shheo@resl.kaist.ac.kr shkim08@kaist.ac.kr minkeun.ha@kaist.ac.kr kimd@kaist.ac.kr

ELFIN: Enhanced LLRP-enabling Framework for the INternet of Things

Sehyeon Heo⁰¹ Seonghoon Kim¹ Minkeun Ha¹ Daeyoung Kim¹

¹KAIST Computer Science Department

요약

사물 인터넷의 패러다임이 소개된 이후 다양한 방법론과 표준이 제안되고 있다. 그 중 EPCglobal은 각각의 사물에 유니크한 Electronic Product Code(EPC)를 부여하여 RFID 기술을 통해 식별 및 제어를 할 수 있는 표준을 제공하고 있다. 이 표준은 기업 사용자가 제품의 공급망(Supply chain)을 관리하기 위한 목적에서 만들어졌기 때문에 사물 인벤토리 명령이 한번에 하나씩만 수행될 수 있도록 정의되어 있다. 하지만 사물 인터넷 환경에서 수많은 사용자가 동시에 접속하여 각각 다른 용도로 리더를 사용하려고 할 경우 이 구조는 심각한 퍼포먼스 저하로 이어질 수 있다. 이에 이 논문에서는 EPCglobal에 포함된 표준 중 물리적 태그를 직접 읽는 RFID 리더의 표준인 LLRP를 소프트웨어적으로 구현한 오픈 소스 리더 플랫폼인 ELFIN 리더를 제안하고, 상기한 퍼포먼스 저하 문제를 해결하기 위한 다중 ROSpec 처리 방법을 제시하고 테스트하였다. 또한 제안된 ELFIN 리더 구현의 태그 처리 성능을 측정하고, 기존의 6LoWPAN 센서 네트워크를 어댑테이션을 통해 LLRP 표준 리더처럼 작동하게 하는 테스트를 진행하여 ELFIN 리더의 기능을 검증하였다.

1. 서론 및 배경

EPCglobal[1]은 Electronic Product Code(EPC)를 포함한 다양한 표준을 통해서 RFID 기술을 산업에서 쉽게 사용할 수 있도록 지원하고 있는 단체이다. 바코드 및 전자문서 등의 표준을 제공하는 국제 표준 기구 GS1에 인수된 이후로, EPCglobal은 사물 종류만 구분이 가능하던 기존의 바코드를 대신하여 제품마다 유니크한 EPC 태그를 부착 혹은 내장하고, RFID 리더를 이용하여 이 태그들을 요소요소에서 인식 및 추적함으로써 생산자와 거래 파트너 사이의 물류 흐름을 통합 관리할 수 있는 표준을 보급하고 있다. EPCglobal 아키텍처 프레임워크 표준에는 레이어 최하단의 물리적 태그 관련 표준, 이 태그를 읽기 위한 리더 관련 표준, 그리고 리더에서 전송된 데이터를 정제 및 관리하는 상위 레이어의 표준들이 포함되어 있다. 이 중 리더 관련 표준에는 현재 deprecated 상태인 Reader Protocol (RP)와 Low Level Reader Protocol (LLRP)가 있는데, 이 논문에서 구현한 LLRP 표준에는 리더 제어 명령의 기본 단위인 Reader Operation Spec(ROSpec), ROSpec에 포함되어 각각의 안테나를 제어하기 위한 Antenna Inventory Spec(AISpec), 태그에 내장된 메모리를 제어하는 Access Operation Spec(AccessSpec), 그리고 RFID 안테나의 상태를 체크하기 위한 RFSurveySpec이 정의되어 있다.

EPCglobal 표준이 발표된 이래로 다양한 RFID 미들웨어와 리더 구현체가 제안되었는데, 예를 들어 대표적인 오픈 소스 RFID 프로토타이핑 플랫폼 Accada [2] (현 Fosstrak)에는 EPCglobal

Reader Protocol(RP)을 준수하며 다양한 Hardware Abstraction Layer(HAL)을 지원하는 Accada Reader라는 리더 구현체가 포함되어 있다. 이런 리더 구현체들은 각각 기존의 표준에서 해결하지 못했던 문제점들을 보완하는 기능들이 추가되어 있는 경우가 많다. 하지만 기존 구현체의 대부분은 deprecated 상태인 RP 표준을 기반으로 하고 있고 최신의 EPCglobal 표준인 LLRP [3]를 지원하기 위한 추가적인 지원이 부족한 상황이다. 게다가 현재 표준인 LLRP는 사물 인터넷 환경에 바로 적용할 경우 심각한 퍼포먼스 저하로 이어질 수 있는 문제점을 내재하고 있다. 이에 이 논문에서는 LLRP 표준을 준수하는 새로운 오픈 소스 리더 구현체 Enhanced LLRP-enabling Framework for the INternet of Things (ELFIN) 리더를 제안하고, 실제 사물 인터넷 환경을 지원하기 위해 필요한 기능을 추가하였으며, 성능 측정, 추가기능 테스트 및 실제 센서 네트워크와의 연동 실험을 수행하여 그 결과를 정리하였다.

2. 사물 인터넷을 위한 기존 표준의 확장

EPCglobal은 기본적으로 제품 공급망 관리를 효율적으로 하기 위하여 만들어진 표준이다. 각 사물마다 독립적인 EPC를 부여하고 식별하여 필요하다면 일련의 방법을 통해 직접 사물을 제어할 수도 있다는 점에서 사물 인터넷 패러다임에서 필요로 하는 요구사항들을 만족하고 있지만, 특정 관계자만이 아닌 모든 사물 인터넷 사용자를 지원하기 위해서는 아직 미흡한 부분이

존재한다. 그 중 하나로 이 논문에서 개선하고자 하는 부분이 다중 ROSpec을 지원하는 기능이다.

기존 LLRP 표준에 의하면 각 리더에서는 한 번에 하나의 ROSpec만이 실행될 수 있고, 다른 우선도가 높은 ROSpec을 실행해야 할 때에는 선점(Preemption)을 통해 기존 ROSpec을 정지한 후 새로운 ROSpec을 실행해야만 한다. 기존의 공급망 관리 체계 시나리오에서는 안정적이고(stable) 고정된(fixed) 리더들이 비교적 소수의 사용자를 대상으로 기능을 제공하고 있지만, 수많은 사물 인터넷 사용자가 EPCglobal의 상위 레이어에 동시에 접속하여 필요한 정보를 요청할 경우에는 선점을 통한 단일 ROSpec 구동 방식으로는 확연한 한계가 존재한다. 모든 리더가 가능한 모든 범위를 스캔하여 정보를 상위 레이어에 저장하는 방식으로 이 요청들에 대응할 수 있지만, 센서 네트워크 등의 저전력 센서들이 안테나의 역할을 할 경우에는 필요하지 않은 정보를 수시로 요청해야 하므로 주로 배터리로 작동하는 센서들의 네트워크에서는 사용하기 부적합하다. 또한, 각 안테나 별로 다른 기능을 수행하고 싶을 경우 ROSpec을 구성하는 각각의 AISpec을 이용해야 하는데, 이 AISpec들은 독립적으로 추가 및 제거가 불가능하며 오직 그것을 포함하는 ROSpec을 제거하고 새로 등록하는 방식으로만 변경이 가능하기 때문에 작동중인 ROSpec 내에서 불필요해진 AISpec만을 제거하는 등의 작업이 불가능하다. 이는 안테나가 이동하거나 동적으로 추가/제거될 수 있는 사물 인터넷 환경에서 사용되기에는 한계가 존재한다.

이런 문제를 해결하기 위하여 이 논문에서는 다중 ROSpec을 스케줄링하고 작동하기 위한 구현을 추가하였다. ELFIN 리더는 각각의 ROSpec마다 구조적 추상화 컴포넌트로 만들어진 가상 RFID 환경에서 인벤토리 및 기타 작업을 수행하며, 필요한 경우 통신 추상화 컴포넌트를 통해 최신 정보를 받아와서 가상 RFID 환경을 업데이트한 후 사용하는 방식으로 작동한다.

3. 시스템 구조

ELFIN 리더는 LLRP 1.1 표준을 기반으로 하는 가상 리더로, 단순한 가상 태그 생성기부터 LLRP를 지원하지 않는 레거시 리더 및 센서 네트워크까지 다양한 타입의 태그 리더들을 위한 어댑테이션 기능을 지원한다. 또한 LLRP 1.1 표준 상에서 C1G2 에어 프로토콜 관련 파라미터 및 RFID 안테나의 저 수준 조작과 관련된 몇 가지 파라미터를 제외한 대부분의 필수 요구사항들을 따르도록 개발되었다. ELFIN 리더는 C++ 및 이식 가능한 라이브러리로 개발되어 다양한 종류의 임베디드 시스템에서 이용할 수 있다. ELFIN 리더는 그림 1과 같이 크게 LLRP 표준 관련 오퍼레이션들을 수행하는 코어 오퍼레이셔널 컴포넌트(Core Operational Component, *LLRPImpl*), 실 세계의 리더-안테나-태그 구조를 추상화하는 구조적 추상화 컴포넌트(Structural Abstraction Component, *PhysicalReader*), ELFIN 리더와 실 세계 리더간의 통신을 추상화하는 통신 추상화 컴포넌트(Communicational Abstraction Component, *AbstractReader*), 그리고 EPCglobal의 상위 레이어와 통신하기 위한 메시징 컴포넌트(Messaging Component, *CConnectionFnCMgr*)로 구성되어 있다.

1) 코어 오퍼레이셔널 컴포넌트

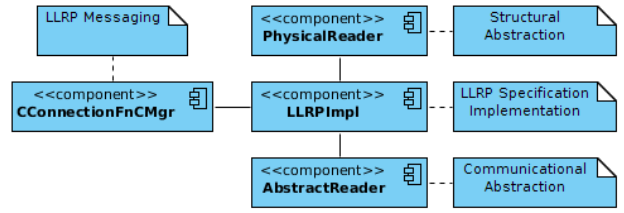


그림 1. ELFIN 리더 컴포넌트 다이어그램

코어 오퍼레이셔널 컴포넌트는 주어진 환경에 대하여 LLRP 1.1 표준에 기술된 코어 오퍼레이션들을 수행하기 위하여 이에 필요한 ROSpec과 AccessSpec 등을 저장, 관리 및 실행하는 기능을 가지고 있다. 표준에서 정의한 다양한 환경설정을 관리하고 실제 리더에 적용하는 등의 부가적인 기능도 담당한다.

2) 구조적 추상화 컴포넌트

구조적 추상화 컴포넌트는 실 세계의 RFID 환경의 구조를 추상화하여 나타내는 컴포넌트로, 안테나, GPI/GPO 포트, RFID 태그와 같은 실 세계 RFID 환경의 구성요소들을 각각에 대응하는 스텝(Stub) 클래스로 추상화할 수 있는 기능을 제공한다. 이를 이용하여 실제의 환경을 모방 및 에뮬레이션 하여 개발자가 프로그램적으로 RFID 환경을 조작하기 용이한 환경을 제공한다. 실제 리더를 연결하지 않을 경우에는 자체적으로 가상 RFID 환경 에뮬레이터로도 사용될 수 있다. 이렇게 만들어진 가상 환경은 캐시로서의 역할도 수행할 수 있으므로 이 논문에서 제안한 다중 ROSpec 환경에서 비약적인 성능 향상을 가져올 수 있다.

3) 통신 추상화 컴포넌트

통신 추상화 컴포넌트는 ELFIN 리더와 실 세계 리더와의 통신을 추상화하기 위한 컴포넌트로, 단일한 인터페이스를 통해 각 리더를 지원하는 어댑테이션 클래스를 운용할 수 있게 한다. 기존 리더 구현체들에서 제공하는 하드웨어 추상화 레이어(Hardware Abstraction Layer)와 흡사한 기능을 지원한다.

4) 메시징 컴포넌트

메시징 컴포넌트는 LLRP 표준 중에서 상위 레이어와의 통신을 담당하는 부분을 따로 분리하여 만들어진 컴포넌트이다. 상위 레이어와의 연결, 코어에서 만들어진 모든 메시지들의 전달 등 메시징에 관련된 모든 기능을 지원한다. 이 컴포넌트는 오픈 소스 라이브러리인 LLRP Toolkit[4]을 이용하여 구현되었다.

4. 테스트 및 분석

4.1. ELFIN 리더 응답 시간

ELFIN 리더의 순수한 태그 처리 성능을 분석하기 위해 실제 리더가 연결되지 않은 상태로 에뮬레이터 모드를 통하여 가상 RFID 환경을 구축하였고, 태그 개수와 안테나 개수의 증가에 따라 각각 응답 시간을 측정하였다. 여기서의 응답 시간은 START_ROSPEC을 통해 한번의 인벤토리 후 리포트를 하도록 설정되어 있는 ROSpec을 실행한 시간부터 RO_ACCESS_REPORT가 상위 레이어에 도착하는 시간까지를 의미한다. 이 테스트는 라즈베리 파이 에 설치된 ELFIN 리더를 Fosstrak에서 제공하는 LLRP Commander를 이용하여 조작하는 방식으로 진행되었고 그 결과를 표 1과 같이 정리하였다. 이 실험 결과에 선형 회귀법을 사용

	1(안테나)	5	10	20	50	100
100 (태그)	78.40(ms)	133.00	78.40	20.00	105.80	77.20
200	150.40	266.00	146.60	168.20	131.60	154.40
250	188.00	195.00	183.25	-	164.50	-
400	291.84	256.80	260.80	265.80	263.20	270.40
500	364.80	321.00	326.00	293.90	329.00	338.00
1000	609.55	742.00	781.60	587.80	714.00	676.00
2000	1219.10	1306.08	1569.60	1390.40	1284.32	1239.80
2500	1523.88	1632.60	1502.50	1537.00	1605.40	1492.13
4000	2438.20	2476.20	2404.00	2459.20	2295.60	2387.40
5000	3273.20	3061.20	3213.00	3154.00	3210.20	2920.20

표 1. ELFIN 리더 응답 시간 테스트 결과

하면 다음과 같이 태그 개수에 관한 일차 함수로 근사할 수 있다.

$$[\text{경과 시간 (ms)}] = [\text{태그 개수}] \times 0.612 + 21.13$$

위 공식에 따르면 안테나의 개수는 실제 처리 속도에 별다른 영향을 주지 않는 것을 알 수 있고, 이 함수의 기울기는 ELFIN 리더가 설치된 테스트 장비의 성능과 반비례한다. 이 실험에서 사용된 라즈베리 파이의 경우 0.612, 즉 태그 하나의 처리에 약 0.612 ms의 시간이 걸렸음을 알 수 있다.

4.2. 다중 ROSpec 처리 테스트

이 테스트에서는 사용된 ELFIN 리더는 각각의 ROSpec이 ELFIN 리더를 실행할 때 파라미터로 주어진 시간에 따라 Round-robin 방식으로 돌아가면서 실제 리더에 액세스하도록 구현되어 있다. 그리고 실행 주기가 10초로 설정된 ROSpec 1과 5초로 설정된 ROSpec 2를 동시에 실행시키고, 수신된 RO_ACCESS_REPORT의 도착 시간을 토대로 각 ROSpec이 다른 ROSpec을 멈추게 하지 않고 독립적으로 실행되었는지를 검증하였다. 그림 2를 보면, ROSpec 1이 약 10초마다 ROSpec 2는 약 5초마다 정상적으로 리포트를 보내고 있고 각각의 시간이 오버랩됨을 확인할 수 있다.

Reader	Message Type	Status Code	Time
LLRPReader	RO_ACCESS_REPORT	ROSPECID: 2	2014-Apr-19 00:47:06
LLRPReader	RO_ACCESS_REPORT	ROSPECID: 1	2014-Apr-19 00:47:05
LLRPReader	RO_ACCESS_REPORT	ROSPECID: 2	2014-Apr-19 00:47:00
LLRPReader	RO_ACCESS_REPORT	ROSPECID: 2	2014-Apr-19 00:46:55
LLRPReader	RO_ACCESS_REPORT	ROSPECID: 1	2014-Apr-19 00:46:54
LLRPReader	RO_ACCESS_REPORT	ROSPECID: 2	2014-Apr-19 00:46:51
LLRPReader	RO_ACCESS_REPORT	ROSPECID: 2	2014-Apr-19 00:46:46
LLRPReader	ENABLE_ROSPEC_RESPON	M_Success	2014-Apr-19 00:46:43

그림 2. 다중 ROSpec 테스트에서 수신된 RO_ACCESS_REPORT

4.3. 6LoWPAN 센서 네트워크 어댑테이션 테스트

이 테스트에서는 6LoWPAN 구현체인 SNAIL[5]의 게이트웨이를 리더로써 어댑테이션 하기 위한 통신 추상화 컴포넌트를 구현하여 6LoWPAN 센서 네트워크 게이트웨이를 ELFIN 리더에 연결하고 LLRP 리더로써 작동하도록 하였다. 그리고 임의의 EPC를 부여한 센서 노드를 6LoWPAN 네트워크에 추가하고 표준 LLRP 명령을 통해 이 센서 노드가 태그로써 읽히는지를 확인하는 방식으로 검증하였다. 그 결과 그림 3와 같이 6LoWPAN 네트워크 상의 노드를 ELFIN 리더에서 인식하고 저장하는 로그를 확인하였고, 이는 RO_ACCESS_REPORT의 형식으로 상위 레이어로 전달되었다.

```

LLRP_TRACE:
[wisn_inv_info] -----
LLRP_TRACE: [Tag 1] epc : 35 01 02 03 01 02 03 01 02 03 00 03
LLRP_TRACE: [Tag 1] Tag addr: 0x0001
LLRP_TRACE: [Tag 1] Ant addr: 0x0001(154 dBm) 0x0000(132 dBm)
LLRP_TRACE:
-----
LLRP_TRACE:

```

그림 3. ELFIN 리더를 통해 센서 네트워크에서 발견된 태그

5. 결론 및 향후 연구

이 논문에서는 사물 인터넷 패러다임을 실현하기 위한 표준 중 하나인 EPCglobal에 대해 설명하고 이 표준을 준수하여 만들어진 구현체들의 예를 소개하였다. 그리고 현 표준인 LLRP를 준수하면서 사물 인터넷 환경에 필요한 기능을 추가한 새로운 오픈 소스 리더 구현체 ELFIN 리더를 제안하였다. 또한 지금의 표준이 충분히 지원하지 못하는 사물 인터넷의 요구사항을 충족시키기 위하여 다중 ROSpec 동작 방식을 제안하였다. 현재 다중 ROSpec의 스케줄링은 단순한 Round-robin 방식이 이용되고 있지만, 향후 이 기능이 더 효율적으로 작동하게 하기 위해서는 각 ROSpec이 스캔 범위와 스캔 주기 등의 파라미터를 이용하는 개선된 스케줄링 방식을 찾을 필요가 있다.

사사

이 논문은 2012년도 대한민국 정부(미래창조과학부)의 재원으로 시행하는 한국연구재단 국제협력사업(2012-0008824)과 2013년도 삼성의 재원으로 시행한 Groceries Management System 개발 프로젝트의 지원으로 수행된 연구결과임

참고 문헌

- [1] GS1, EPCglobal, [온라인]. Available: <http://www.gs1.org/epcglobal>.
- [2] C. Floerkemeier, C. Roduner and M. Lampe, "RFID Application Development With the Accada Middleware Platform," *Systems Journal, IEEE*, vol. 1, no. 2, pp. 82-94, 2007.
- [3] EPCglobal, "Low Level Reader Protocol Version 1.1".
- [4] J. R. Hogerhuis, "LLRP Toolkit," 2007. [온라인]. Available: <http://www.llrp.org/>.
- [5] Sungmin Hong, Daeyoung Kim, Minkeun Ha, Sungho Bae, Sangjun Park, Wooyoung Jung, and Jae-eon Kim, "SNAIL: An IP-based Wireless Sensor Network Approach Toward the Internet of Things," *IEEE Wireless Communications*, vol. 17, no. 6, pp. 34-42, Dec. 2010.