

철도 환경에 적합한 사물인터넷 플랫폼의 요구사항 분석

김주엽*, 송용수*, 김용규**, 최상원^o

The Requirements of Internet of Thing Platform for Railway Environments

Juyeop Kim*, Yong-Soo Song*, Yong-Kyu Kim**, Sang Won Choi^o

요약

최근 각국 정부에서는 사물인터넷 (IoT) 에 대한 산업 육성에 힘을 쓰고 있으며, 이런 정책적 흐름와는 병렬적으로 각 산업계에서는 IoT 개념을 활용하여 기존의 서비스를 업그레이드 하거나 새로운 서비스를 제공할 수 있는 시스템 개발에 박차를 가하고 있다. 철도에서도 마찬가지로 이런 접근이 한국철도시설공단을 비롯하여 많은 기관에서 시도를 하고 있으며, 이런 개념이 잘 정립이 되고 철도에 적용되었을 때 기대효과가 상당히 클 것으로 기대하고 있다. 이에 따라, 본 논문에서는 IoT 실현의 핵심 기술인 IoT 플랫폼 기술에 대한 개념을 파악하고, 이를 통해 철도에 IoT 플랫폼 기술이 적용되기 위한 기술적 요구사항을 도출해보도록 한다.

Key Words : IoT, Railway, Quality of Service (QoS), Safety, Reliability

ABSTRACT

The governments in many country recently focus their efforts on developing the industry of Internet of Thing (IoT). At the same time, each industrial field considers to apply the IoT concept and develops their own IoT system for upgrading the existing services or launching new services. In the railway field, many organizations such as Korea Rail Network Authority (KR) expect that the IoT concept can bring many good effects and try to adopt IoT to their existing railway services. In this paper, we survey the current technology level of IoT platform, which is a core technology to realize IoT, and figure out the technical requirements and challenges to apply IoT platform to railway environments.

I. 서론

현재 다양한 산업 분야에서의 ICT 융합을 위해 사물인터넷(IoT)의 도입이 적극적으로 추진되고 있다. 미래창조과학부는 최근 「K-ICT 전략」을 통해 교통을 포함한 6대 분야 ICT 융합사업과 자동차 등 7개 전략

업종에 대한 IoT 실증사업 추진 계획을 공개하였으며, 이중 9대 전략 산업 육성으로 IoT가 포함되면서 관련 기술의 개발 및 적용이 활성화되고 있다.^[1] 이 9대 전략 산업 중 하나로, 지자체와 협력한 대규모 IoT 실증단지 조성(헬스케어 스마트시티, '15년 126억원), 7개 전략업종별 대규모 실증사업('15년 232억원) 등을 통

※ 본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술연구진흥센터의 정보통신-방송 연구개발사업의 일환으로 수행하였음. [B0101-16-1361, 국가 공공안전서비스를 위한 LTE기반 재난통신 시스템·단말 개발]

※ 본 연구는 한국철도기술연구원 주요사업의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

• First Author : Korea Railroad Research Institute, Signaling and Communications Research Team, jykim00@krii.re.kr, 정회원

^o Corresponding Author : Korea Railroad Research Institute, ICT Convergence Research Team, swchoi@krii.re.kr, 정회원

* Korea Railroad Research Institute, Railroad Type Approval Team, adair@krii.re.kr, 정회원

** Korea Railroad Research Institute, Signaling and Communications Research Team, ygkim1@krii.re.kr, 정회원

논문번호 : KICS2016-04-070, Received April 28, 2016; Revised July 22, 2016; Accepted July 25, 2016

해 IoT 산업 초기 수요 시장을 창출하고, 'IoT 글로벌 민관 협의체'를 통해 글로벌기업·대기업 등과 협력하여 국내 IoT 스타트업·벤처 등을 글로벌 전문기업으로 육성하기로 하였다. 이러한 IoT 산업 동향은 국내에만 국한되지 않고, 해외에서도 활발한 기술 및 서비스의 개발이 활발하게 이루어지고 있다. Cisco 및 Google 등 다양한 글로벌 IT 기업들이 사물인터넷에 대한 기술 개발에 박차를 가하고 있으며, AT&T, Verizon, Telefonica, Vodafone 등의 이동통신 사업자는 사업 영역 확장 개념에서 IoT 서비스 사업을 위한 준비를 진행하고 있다.^[2]

한편 IoT 시스템에서 가장 중요한 요소 중 하나는 IoT 플랫폼으로, 센서 정보 수집/전달/제공 및 사물의 제어 등 다양한 IoT 응용시스템이 가진 공통 기능 부분을 수행한다. 이 IoT 플랫폼은 IoT 서비스 개발의 부담을 최소화함으로써 수요자 중심의 서비스 개발이 활성화될 수 있다는 측면에서 IoT의 실현에 필수 요소로 부각되고 있다. 이런 IoT 플랫폼의 중요성과 향후의 수요를 고려하여 현재까지는 민간 기업, 연구소 등 다양한 성격의 기관에서 IoT 플랫폼에 대한 개발이 가장 활발하게 진행되었으며, IoT 플랫폼 구현을 위해 필수적인 원천 기술들이 상당부분 개발이 이루어졌다고 볼 수 있다.^[3,4]

이런 기술적 life-cycle 및 성숙도 등의 기술 동향을 고려할 때 현 시점에서는 지금까지 개발되어온 IoT 플랫폼을 철도를 비롯한 다양한 응용 분야에 적용시키는 시도가 필요하다. 특히 철도용 IoT 플랫폼의 활용을 통해 경제적 관점에서 철도의 많은 부분에 대한 ICT화를 촉진시킬 수 있으며, 이로 인해 유지보수 및 안전 관리 비용의 절감 효과를 도모할 수 있다. 실제로 한국철도시설공단에서는 '사물인터넷 기반 지능형 철도안전관리 시스템 구축사업 기본계획 수립용역'을 통해 사물인터넷 시스템의 현장 적용계획을 검토하는 등 IoT 시스템의 철도 적용이 가시화가 되고 있다.^[5-7]

또한 궁극적인 교통 ICT 융합 실현을 위해서는 철도, 도로교통, 소방 및 경찰 등 공공안전에 대한 통합적 관제가 필요하며, 이를 위해서 높은 신뢰성, 가용성 및 안전성 등이 보장되는 개방형 ICT 인프라 플랫폼 구축 필요하다. 기개발된 ICT 기반 철도운영 안전성 및 효율성 향상 기술 및 연관 ICT 응용 기술을 활용하여 철도 전반적인 안전성 및 운영효율성 향상을 도모하기 위한 확장 적용 또한 필요하다. 실제로 한국철도시설공단에서는 '사물인터넷 기반 지능형 철도안전관리 시스템 구축사업 기본계획 수립용역'을 통해 사물인터넷 시스템의 현장 적용계획을 검토하는 등

IoT 시스템의 철도 적용이 가시화가 되고 있다.

본 논문에서는 응용 분야를 철도로 한정하였을 때, 사물인터넷 플랫폼이 응용 적용이 되기 위해 필요한 기본적인 요구사항을 정의해보도록 한다. IoT 플랫폼의 정의 및 철도에서의 적용 시나리오를 기반으로 철도 환경에 필요한 IoT 플랫폼의 요구사항을 도출해보도록 한다. 그리고 이런 요구사항을 충족시키기 위해 필요한 기술들을 각 플랫폼 요소별로 고찰을 해보도록 한다.

II. 사물인터넷 플랫폼 개요

일반적으로 IoT 개념은 물리적이거나 가상의 대상물(Things)이 정보 및 통신 기술을 활용하여 서로 상호작용을 하여 기존 서비스의 고도화 혹은 새로운 서비스를 제공하는 인프라를 뜻한다. IoT에 대한 구체적인 해석은 아래와 같이 기관별로 서로 상이한 경향이 있다.^[8,9]

- 모든 사물에게까지 네트워크 연결을 제공하는 네트워크의 네트워크 (ITU, 2005)
 - 대상물들(objects)간에 통신 가능한 네트워크와 서비스 (EU policy Outlook RFID, 2007)
 - 데이터 수집과 통신능력을 이용해 물리적, 가상적 대상들을 연결하는 글로벌 네트워크 인프라 (CASAGRAS Final Report, 2009)
 - 표준화된 통신 프로토콜에 기반한 독자적이면서 자체주소를 가진 상호연결된 대상물들의 전세계(world-wide) 네트워크 (EU IoT in 2020, 2008)
- 이렇게 IoT에 대한 시각이 다양한 이유는 IoT 개념이 센서나 단말과 같은 물리적인 장치부터 모니터링 현시와 같은 서비스까지 전 계층을 복합적으로 포함하고 있으며, 다양한 분야에 응용되면서 그 형태가 다양하게 변하기 때문이다. 이런 복잡하고 다양한 IoT를 쉬운 모델을 통해 이해하기 위해서, IoT를 구조적으로 디바이스, 정보·통신, 그리고 서비스 어플리케이션의 3개 계층으로 나눌 수 있다. 디바이스 계층은 사물에 대한 센싱, 제어를 담당하고, 정보 및 통신 계층은 디바이스로부터 정보를 취득, 저장, 처리하여 적절한 상대방에게 전달한다. 그리고 서비스 및 어플리케이션 계층은 서비스 개발을 위한 다양한 인터페이스를 제공하고 이를 활용하여 생산된 정보를 소비한다.

여기서 중요한 점은, IoT 개념을 구현한 시스템들이 다양한 형태로 존재하나, 위의 IoT 계층 모델로 볼 때 많은 공통 부분을 가진다는 것이며, 이 부분은 플랫폼 형태로 대체가 가능하다는 점이다. IoT 플랫폼

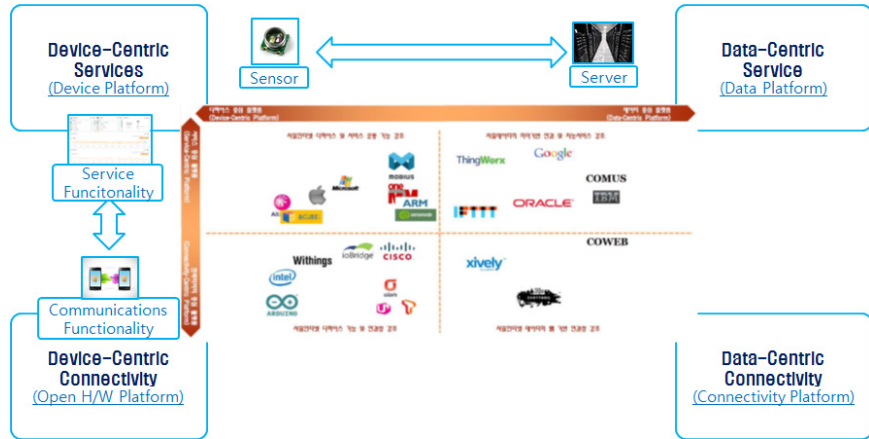


그림 1. 다양한 IoT 플랫폼의 분류
Fig. 1. Categorization of the IoT Platforms

개념은 센서를 포함한 디바이스 단의 일부 정보 취득/처리 기능과 정보 전달 기능, 그리고 일부 서비스 기능의 공통 부분을 추상화시키고 이를 오픈 플랫폼 개념으로 제공하게 되면, 다양한 응용 형태의 IoT에 대해서 단일화된 형태의 인터페이스로 접근이 가능하게 된다. 이는 기기종 간 연결로 인한 개발 부담을 최소화하고 수요자 중심의 서비스 개발을 활성화될 하는데 결정적인 역할을 할 수 있다. 예를 들어, 최신 정보통신 기술에 익숙하지 않은 철도 분야의 장비 개발업체에서도 IoT 플랫폼을 활용하면 손쉽게 IoT 시장으로 진입할 수 있게 된다.

IoT 플랫폼에 대한 형태 및 범주는 이를 개발하는 각 기관별로 서로 상이한 시각을 가지고 있다.^[10-12] 기관별 IoT 플랫폼을 쉽게 이해하기 위해서 크게 대상으로 하는 사물이 디바이스 중심 혹은 데이터 중심 인지 여부와 대상으로 하는 기능이 서비스 제공 혹은 유무선 연결성 제공인지 여부에 따라 네가지 분류로 나누어 생각할 수 있다. 가령 IoT 플랫폼이 센서 디바이스 측 사물의 유무선 연결 기능에 중점을 두면 오픈 H/W 플랫폼 분류에 속할 수 있으며, 대표적으로 Arduino나 Intel 측 플랫폼이 이에 해당된다. 반대로 대상이 데이터이며 서비스 기능에 초점이 맞춰진 IoT 플랫폼은 사물 데이터 플랫폼 분류에 속하며, 대표적으로 Thingworx나 Google 측 플랫폼이 이에 해당된다. 특정 응용 분야에 IoT 플랫폼을 적용할 때는 경우에 따라 아래의 분류 및 관련 속성을 기반으로 여러 개의 IoT 플랫폼을 조합해서 사용할 필요가 있다.

III. 사물인터넷 플랫폼의 철도 환경 적용 시나리오

철도 환경에서의 IoT는 그림 2에 나타난 것처럼, 선로변이나 차량, 역사 등 철도와 관련된 기존 혹은 새로운 사물이 상호 작용을 위한 연결성을 가진 상태에서 고도화된 철도 서비스를 제공하는 것으로 볼 수 있다. 철도 차량은 자동차보다 더 복잡하고 다양한 부품들로 구성되어 있으며, 이러한 것들은 모두 상호작용을 하는 사물 대상으로 볼 수 있다. 뿐만 아니라, 선로변이나 역사에는 교량이나 터널과 같은 철도 시설물이나 각종 신호 장치, 전력선 관련 장치 등 철도 운영을 위한 수많은 사물들이 존재하며 이들 역시 상호작용 사물 대상으로 간주할 수 있다. 모니터링용 현상 상태 현시 등의 목적으로 일부 사물들은 IoT와 유사한 개념으로 상호작용을 하는 경우는 존재하나, 대부분의 철도 사물들은 자신만의 역할만 수행하며, IoT 개념에서의 상호작용을 하지 않는다고 볼 수 있다.

철도에서의 IoT 활용 시나리오는 주로 철도 차량이 운행되는 광활한 역내/역간 영역의 다양한 상태 모니터링 및 이를 활용한 철도 운영의 고도화라 볼 수 있다. 기본적으로, 두가지 구체적인 시나리오를 직관적으로 생각해 볼 수 있다. 먼저 IoT를 활용한 효율적인 유지보수를 통해 비용을 절감하는 것을 생각할 수 있다. 철도에서는 궤도나 노반, 각종 철도 시설물 및 장치 등 상당히 포괄적인 범위의 사물을 대상으로 유지보수를 해야 할 필요가 있다. 그런 반면 현재의 철도 유지보수는 상당 부분 고정 주기를 기반으로 이루어지므로, 이로 인한 비효율성으로 인해 유지보수 비용이 천문학적으로 발생하고 있다. IoT가 적용이 되면 각종 철도 사물에 대한 실시간 상태 진단이 가능하

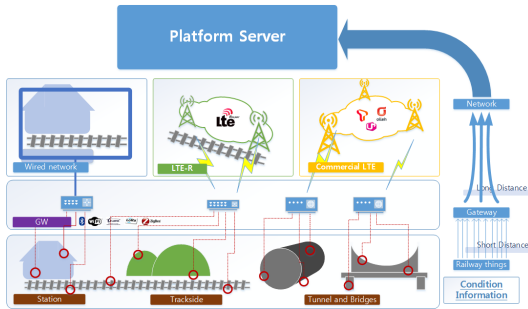


그림 2. 철도 환경에서의 IoT 활용 예시
Fig. 2. An Example of IoT Use Case in Railway

로, 이를 기반으로 유지보수가 이루어지면 비용 절감을 도모할 수 있다.

또한 안전 정보의 실시간 공유를 통해 철도 안전성을 보장할 수 있다. 철도 차량에는 많은 사람들이 탑승하는 만큼 대량 안전사고에 치명적으로 노출될 수 있다. 여기서 IoT를 활용하여 실시간으로 철도 운행 및 주변 환경 상태를 진단하면 안전사고를 상당부분 예방할 수 있다. 가령 특정 선로 부분이나 교량이나 터널이 붕괴 위험 상태가 되면 이를 실시간으로 감지하여 해당 지역의 철도 운행을 중단시킬 수 있다. 또한 안전사고가 발생된 후에도 IoT를 통해 수집된 정보를 기반으로 사후 처리를 효과적으로 수행하면 인명 피해를 최소화시킬 수 있다.^[13-18]

앞서 고찰한대로, 철도에 IoT를 적용하기 위해서는 IoT 플랫폼의 활용이 필수적이다. 우선 철도 환경에서의 IoT 활용 특성 상 상당 부분의 중복 부분에 대한 개발 부담을 방지하고 다양한 철도 사물 간 상호 연동/호환성을 보장하기 위해서 일관된 형태의 IoT 플랫폼 활용이 필요하다. 또한 온도, 습도, 진동, 전압/전류 등의 다양한 측정 센서들이 고장이 잦은 옥외 환경에서 저전력으로 구동을 시키기 위해서는 이들을 포괄할 수 있는 공통 H/W 및 S/W 플랫폼이 필요하다. 또한 각종 센서에서 발생한 정보나 센서에 대한 제어 정보를 한정된 무선 자원을 통한 효율적으로 다른 사물에 최적의 방법으로 전달하기 위해서 플랫폼을 통한 공통된 정보 전달 체계를 통해 정보 전달이 이루어지는 것이 필요하다. 이는 유선을 통한 일부 선로변 및 역사 센서 및 장치가 국지적으로 연결되는 현 수준을 넘어서 철도와 관련된 모든 기존 및 새로운 장치들이 서로 무선 기반의 네트워크로 연결이 되어 상호 작용이 손쉽게 이루어질 수 있는 환경이어야 한다. 특히 향후 각종 노선에 철도전용 통합무선망(LTE-R)이 구축되면 무선 통신을 통해 선로변 및 역사 등 철도 영역 내 모

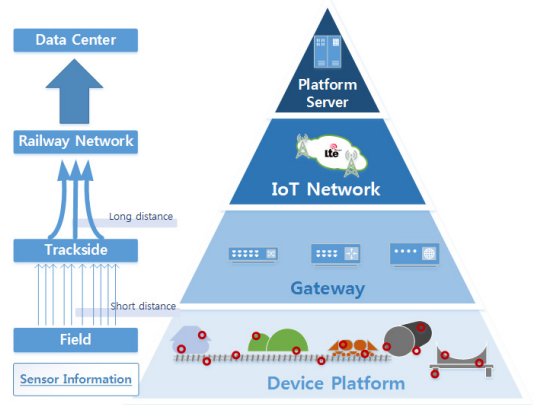


그림 3. 철도 환경에 적합한 IoT 플랫폼 구조
Fig. 3. The Architecture of IoT Platform in Railway Environment

든 대상물 간 무선 연결성이 손쉽게 확보될 수 있다.^[5]

IV. 철도용 사물인터넷 플랫폼의 기술적 요구사항

철도 환경에서의 사물인터넷 플랫폼은 그림 3과 같은 형태를 가질 것이며, 철도 사물에서 발생한 정보는 그림 3의 피라미드 형태의 정보 전달 체계를 통해 서버로 흘러가는 형태라 볼 수 있다. 플랫폼의 각 요소별 기능 및 성능에 대한 기술적 요구사항을 정리하면 아래와 같다.

4.1 철도용 IoT 플랫폼의 기능/성능 요구사항

공통적으로 철도용 IoT 플랫폼은 아래와 같은 사항이 요구된다.

- 새로 개발되는 다양한 철도 ICT 응용 서비스가 원활하게 개발 및 구동되기 위해서 다양한 API를 제공해야 한다.
- 기존의 철도 대상물을 활용한 철도 ICT 응용 서비스가 철도용 IoT 플랫폼을 기반으로 동작하기 위해서 기존 호환성 (backward compatibility)을 최대한 보장해야 한다.
- 철도 대상물 간 다양한 상호작용을 구현하기 위해서 철도 환경에서 가능한 제어 명령 및 반응 동작의 추상화가 체계적으로 이루어져야 하며, 제어 명령 및 반응 전달 및 처리 동작이 각각의 중요도를 기반으로 우선순위적 처리가 가능하도록 기능을 제공해야 한다.
- 철도 대상물 간 일관된 규칙의 식별자를 기반으로 항상 서로 탐색이 되고 연결성이 보장될 수 있어야 하며, 철도 대상물 간 정보 전달 시 end-to-end 수준

- 의 보안성이 유지되도록 기능이 제공되어야 한다.
- 유사한 특성의 철도 대상물끼리 그룹을 맺어 손쉬운 관리를 할 수 있고, 그룹을 단위로 상호 작용이 이루어질 수 있도록 기능을 제공해야 한다.
- 약속된 특정 이벤트가 발생하면 상대방 철도 대상물에서 인지를 할 수 있도록 설정 및 인지에 대한 기능을 제공해야 한다.
- 각 상호작용 별로 중요성을 기반으로 우선순위가 매겨지고, 철도 대상물이 정보 별로 이 우선순위를 공통적으로 인식할 수 있도록 기능을 제공해야 한다.
- 각 상호작용 별로 성능적 요구사항 (지연시간, 주기성, 전송률, 우선순위 등) 기준이 정의되고, 이것이 철도 대상물이 공통적으로 인식할 수 있도록 해야 한다.
- 상호 작용을 하기 위한 철도 대상물 간 상호작용을 허용하기 위한 등록 과정이 가능하여야 하며, 이때 상대 철도 대상물의 특성이나 우선순위 등을 고려하여 상호작용 허용 여부를 결정하고 및 인증 과정을 수행할 수 있어야 한다.
- 가혹한 선로변 및 차량 내 환경 조건 (온도 및 진동 등)에서도 신뢰성 높은 상시 동작을 할 수 있어야 한다.
- 철도 환경에서의 통상적인 장비 교체주기 기간 동안 배터리 교체 없이 상시 동작이 가능해야 한다.

앞에서 제시한 철도용 IoT 플랫폼 모델의 구성 별로 요구사항을 검토하면 아래와 같다.

4.1.1 철도용 IoT GW 및 디바이스의 요구사항

- 철도 필드 내 철도 대상물 (정보를 생성하는 센서 및 다양한 장치 및 제어 명령을 실행하는 다양한 actuator 등)과 호환이 수월하게 될 수 있는 형태이어야 한다.
- 센서 측에서는 전원 공급이 불가능한 경우가 많으므로, 디바이스 플랫폼의 경우 사용자로 하여금 저 전력 동작을 위한 다양한 운영 방법을 제공할 수 있어야 한다.
- 선로변이나 차량 등 철도 환경에서 사용될 수 있는 수준의 신뢰성을 가져야 한다.
- 각 철도 대상물 별로 식별자를 할당받아야 하며, 연결성을 원하는 상대방 철도 대상물의 식별자를 쉽게 파악하고 탐색할 수 있도록 기능이나 API가 제공되어야 한다.
- 철도 필드 (선로변 및 차량, 역사 등)에 존재하는 기존의 다양한 철도 대상물과 연결이 가능하도록

- 가급적 많은 물리적/논리적 인터페이스를 포함하여 근접한 철도 대상물과의 국지적 네트워킹을 형성할 수 있어야 한다.
- 수집하는 정보의 요구사항을 이해하고, 이를 기반으로 철도 대상물로부터 정보를 수집하고 요구사항을 맞추면서 효율적으로 철도용 IoT 플랫폼에게 전달할 수 있어야 한다.
- 특히 안전과 관련된 정보는 최우선적으로 취급되어야 하며, 허용되는 지연 시간 내에 고신뢰성으로 전달이 되도록 하여야 한다.
- 철도 인프라 측 (플랫폼 서버)으로부터의 다양한 제어 명령을 이해하고 이에 대해 철도 대상물에 대해 적절한 형태로 명령을 내리는 처리 동작을 수행할 수 있어야 한다.
- 철도용 IoT 플랫폼 서버 및 원거리의 철도 대상물과의 통신 연결성을 확보하기 위해서 철도전용 통합무선망(LTE-R)과 같은 이동통신 시스템을 통한 무선 접속 혹은 백홀 등의 유선 접속이 가능해야 한다.
- 철도용 IoT 플랫폼 서버로부터 오는 제어 명령에 대한 무결성 점검이 가능해야 하며, 허용되지 않은 다른 철도 대상물에 대해 수신된 제어 명령의 보안이 유지될 수 있어야 한다.
- 필요 시 어느 수준의 양 이하의 수집 정보에 대한 자체적 저장이 가능해야 한다.
- 철도 대상물의 위치를 파악하고 이를 철도용 IoT 플랫폼 서버에게 보고할 수 있어야 하며, 대상물의 특성에 따라 위치 보고의 주기 및 위치 정확성이 결정되어야 한다.
- 상호 작용을 하기 위한 상대 철도 대상물 및 철도용 IoT 플랫폼 서버와의 상호작용을 허용하기 위한 등록을 수행할 수 있어야 하며, 상대 철도 대상물 혹은 철도용 IoT 플랫폼 서버의 특성이나 우선순위 등을 고려하여 상호작용 허용 여부를 결정하고 및 인증 과정을 수행할 수 있어야 한다.
- 특정 이벤트가 발생 시 인지를 받거나 제어 명령을 받기 위해 철도용 IoT 플랫폼 서버에게 구독을 신청하는 과정을 수행할 수 있어야 한다.
- IoT 플랫폼 서버로부터의 구독 요청을 처리하고 특정 이벤트가 발생하였을 때 인지를 전달하는 과정을 수행할 수 있어야 한다.

4.1.2 철도용 IoT 플랫폼 서버의 요구사항

- 다양한 철도 대상물에 대한 식별자를 관리하고 탐색이 실시간으로 가능해야 한다.

- 철도 대상물로부터 등록 과정을 수용할 수 있어야 하며, 이 과정에서 철도 대상물에 대한 등록 허용 여부 결정 및 인증 과정을 수행할 수 있어야 한다.
- 다양한 철도 대상물로부터 효율적인 방법으로 정보 수집을 수행할 수 있어야 하며, 특히 철도에 할당된 한정된 주파수를 효율적으로 활용하고 열차 제어 및 철도 음성 통신과 같이 기존의 철도 운영에 있어서 필요한 철도 통신 서비스에 지장을 주지 않도록 정보 전달이 이루어져야 한다.
- 수집하는 정보의 중요도 및 성능적 요구사항 (지연 시간, 주기성, 전송률, 우선순위 등)을 파악하고 이에 맞게 정보 수집이 되도록 대상물과의 통신 연결성이 관리되어야 한다.
- 특히 실시간성을 요구하는 정보에 대해서는 정보 발생 시 최소한의 지연으로 수집을 할 수 있도록 하여야 하며, 안전과 관련된 정보는 최우선적으로 수집이 되고 허용되는 지연 시간 내에 고신뢰성으로 전달이 되도록 통신 연결성이 관리되어야 한다.
- 정보를 소비하는 client (응용 서버 혹은 관리자 개인)가 정보를 활용하기 쉽도록 가능하면 정보 요구 전에 정보를 미리 수집하고 가공을 해놓아야 하며, 이를 위해서 모든 철도 대상물로부터의 수집 및 가공된 정보를 저장할만한 충분한 저장소를 보유하여야 한다.
- 수집 및 저장된 정보를 정보 소비자가 원하는 형태로 쉽게 가공할 수 있도록 API를 제공하며, 플랫폼 서버는 API를 기반으로 정보를 가공할 수 있어야 한다.
- 철도 대상물에 대해 제어 명령을 전달할 수 있어야 하며, 제어 명령의 요구사항 (지연시간, 손실율, 주기성, 우선순위 등) 특성을 파악하고 이를 만족시킬 수 있도록 전달이 되어야 한다.
- 수집 및 가공된 정보는 허용된 사용자 혹은 철도 대상물만 접근할 수 있도록 보안이 유지되어야 하며, 제어 명령에 대한 보안 및 무결성이 보장되어야 한다.
- 철도 대상물의 위치 정보를 파악하고 있어야 하며, 대상물의 특성에 따라 위치 파악의 주기 및 정확성에 대한 관리를 하여야 한다.
- 특정 이벤트가 철도 필드에서 발생할 때 인지를 받을 수 있도록 특정 철도 대상물에 대한 이벤트 구독 과정을 수행할 수 있어야 하며, 특정 이벤트 발생 시 특정 철도 대상물에게 제어 명령을 내릴 수 있도록 인지를 전달하는 과정을 수행할 수 있어야 한다.

- 철도 대상물의 동작 과정을 추적할 수 있도록 특정 조건 (철도 대상물 식별자 혹은 특정 이벤트 발생 여부 등)에 대한 상호 작용 정보를 자동으로 수집할 수 있어야 한다.

4.2 철도 환경 적용을 위한 IoT 플랫폼 관련 기술 수요

위의 철도 환경에 대한 요구사항을 충족시키기 위해서 기존의 IoT 플랫폼은 아래 관점에서 추가적으로 기술적 이슈가 있는지 여부를 검토해 볼 필요가 있다.

4.2.1 철도 환경에 최적화된 고신뢰성/저전력 디바이스 설계

- 철도 선로변 환경에서 요구되는 $-40^{\circ}\text{C} \sim 70^{\circ}\text{C}$ 온도에서 플랫폼의 H/W가 정상 동작이 가능하도록 부품 구성 및 기구 설계가 이루어져야 한다.
- 철도 (선로변 혹은 차량)에서 요구하는 수준의 진동 환경에서 정상 동작이 가능하여야 하며, 이를 위해서 진동에 강인한 물리적 기구 특성이 설계에 반영되어야 한다.
- 다양한 전파 차폐 환경에서도 무선 통신이 가능하도록 안테나 설계 및 통신 방식 결정이 이루어져야 한다.
- 유지보수 비용의 절감 및 IoT 체계 기반 운영의 신뢰성 향상을 위해서 디바이스 플랫폼의 교체 주기가 길고 유지보수성이 용이해야 하며, 이를 위해서는 철도 관련 수요처에서 요구하는 수준의 고장률 및 교체/수리 시간으로 만족시킬 수 있는 설계가 반영되어야 한다.
- 유지보수 비용의 절감을 위해 한번의 배터리 교체로 2~5년 사용이 가능할 정도로 배터리 교체 빈도가 줄어들어야 하며, 이를 위해 다양한 관점에서의 저전력 H/W 설계, 저전력 동작 알고리즘 개발, 그리고 energy harvesting 기법의 개발을 통해 배터리 수명을 개선시킬 필요가 있다.

4.2.2 철도 정보에 최적화된 정보 수집 및 전달 알고리즘

- 배터리 수명 연장을 위해 불필요한 동작을 줄일 필요가 있으며, 이를 위해서는 정보 수집 동작을 최적화시키는 제어 기술이 필요하다.
- 수집 및 제어 정보의 유형 및 관련 서비스의 품질 (Quality of Service) 요구사항을 인지하고 이에 맞게 정보 수집 및 제어 처리 동작을 최적화하는 기술이 필요하다.

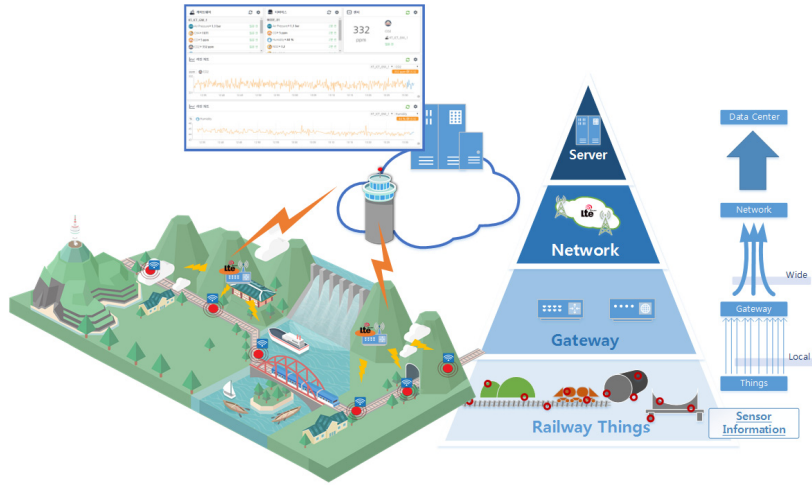


그림 4. 철도 환경에서의 IoT 플랫폼 요구사항
Fig. 4. The requirements of IoT Platform in Railway Environment

- 수집되는 다양한 유형의 정보를 Gateway 혹은 플랫폼 서버에 전달하기 적합한 형태로 가공을 하는 동작이 철도 환경에 맞게 정의되어야 한다.

4.2.3 선로변 및 철도 차량 환경을 고려한 Gateway/서버와의 정보 송수신 기술

- 수집된 정보를 저전력으로 Gateway 혹은 플랫폼 서버에 전달하기 위한 정보 전달 체계가 철도 환경 (정보 발생 유형, 전파 환경 등)에 맞게 설계되어야 한다.
- 근거리 통신 기반으로 IoT Gateway와의 정보 송수신이 가능하도록 통신 방식이 결정되고 저전력 H/W 및 S/W 구조가 설계되어야 한다.
- 필요 시, 원거리 통신 방식 (LTE-R 혹은 상용 LTE)을 통해 IoT 플랫폼 서버와 직접 접속이 될 수 있도록 H/W 및 S/W 가 설계되어야 한다.

4.2.4 철도 환경에 최적화된 Gateway H/W 설계

- 철도 선로변 환경에서 요구되는 $-40^{\circ}\text{C}\sim 70^{\circ}\text{C}$ 온도에서 플랫폼의 H/W가 정상 동작이 가능하도록 부품 구성 및 기구 설계가 이루어져야 한다.
- 선로변에서 요구하는 수준의 진동 및 풍동 환경에서 정상 동작이 가능하여야 하며, 이를 위해서 진동 및 풍동에 강한 물리적 기구 특성이 설계에 반영되어야 한다.
- 상시 운영되는 Gateway 시스템이 충분한 가용도와 5~10년 가량 지속적으로 사용 가능한 수준의 신뢰성을 달성하기 위해서는 H/W의 낮은 고장률과

S/W의 높은 안정성이 보장되어야 한다.

4.2.5 선로변 전반에 걸친 다수의 디바이스 플랫폼과의 정보 교환 및 관리 기법

- 저전력 동작을 수행하고 있는 디바이스 플랫폼과의 원활한 정보 송수신을 위해서 저전력 기반의 다양한 통신 방식이 지원되어야 한다.
- 다양한 철도 환경에서의 전파 차폐 시나리오가 있을 수 있으며, 이 때 디바이스 플랫폼과의 연결성을 유지하기 위해서는 송수신 성능의 향상이 필요하다.
- 많은 수의 디바이스 플랫폼과 다중 접속이 지원되어야 하며, 디바이스 플랫폼의 추가 및 제거 (고장 혹은 교체 등) 시나리오에서 이에 대한 효율적인 관리 기술이 필요하다.

4.2.6 철도 서비스를 고려한 플랫폼 서버와의 연결성 관리 기술

- 철도 환경에서의 센싱 및 제어 정보의 특성을 반영하여 Gateway에서의 효율적인 정보 선처리 및 전달 기법이 마련되어야 한다.
- 철도 환경에서의 모니터링 및 제어 상에서 요구하는 서비스 품질을 만족시키기 위한 통신 연결성 관리 기능이 제공되어야 한다.
- 철도 인프라와의 연결성 유지를 위한 원거리 통신 기능을 수행하기 위해서 상용 LTE 및 LTE-R 접속이 가능해야 한다.

- 4.2.7 철도 환경에서의 사물 정보의 전달 체계의 정립
- 케도를 따라 1차원적으로 넓게 존재하는 다양한 철도 사물과 효과적으로 정보를 주고받기 위해서는 상황에 따라 다양한 통신 방식을 조합할 필요가 있다.
 - 정보 전달의 신뢰성을 위해서는 이중화 개념이 포함되어야 하며, 이를 구현하기 위한 우회 정보 전달 경로의 관리가 필요하다.
 - 다양한 철도 서비스의 (특히 안전 관련 서비스의) 요구사항을 만족시키기 위해서 정보 별로 서비스 품질을 서비스 별로 관리하고 이에 맞게 통신 연결성을 유지할 수 있어야 한다.

- 4.2.8 다수의 철도용 Gateway 및 디바이스 플랫폼에 대한 원격 제어 기술
- 선로변에 넓게 포진된 다수의 Gateway 및 디바이스 플랫폼을 중앙 서버가 관리할 수 있도록 다양한 형태의 제어가 가능한 인터페이스가 제공되어야 한다.
 - 다수의 디바이스 플랫폼 및 Gateway의 펌웨어 업데이트 등이 철도 현장에 갈 필요 없이 on-air 형태로 수행될 수 있는 기능이 제공되어야 한다.

- 4.2.9 다양한 사물 정보의 효율적 저장 및 플랫폼 기반 제공 기술
- 다양한 형태의 철도 사물이 발생하는 센싱 정보들 한 서버에서 효과적으로 보유하기 위해서는 각 철도 사물이 발생하는 정보의 특성 (패턴 및 유형)을 파악하고 이에 맞게 선/후 처리가 될 수 있어야 한다.
 - 저장된 철도 정보를 다양한 기기 (PC, 휴대기기 등)에게 다양한 형태로 제공하기 위해서 일관된 형태의 user interface 및 application interface가 정의되어야 한다.
 - 특정 철도 정보를 모니터링하고 관련 이벤트 발생 시 특정 제어 동작을 수행하도록 하기 위한 일관된 형태의 user interface 및 application interface가 정의되어야 한다.

V. 결 론

본 논문은 IoT 실현의 핵심 기술인 IoT 플랫폼 기술에 대한 개념을 파악하고, 이를 통해 철도에 IoT 플랫폼 기술이 적용되기 위한 기술적 요구사항을 도출하였다. 요약하자면, 철도를 비롯하여 산업계에서 활용 가능한 mission critical IoT 플랫폼에게 기술적으

로 요구하는 바는 크게 고수명, 신뢰성, 그리고 정보의 적시전달성 등 세 가지로 압축될 수 있다. 이 세 가지 키워드에 대한 요구사항을 잘 고려하여 이를 해소할 수 있는 요소기술을 채택함으로써, 철도 환경에서 mission critical IoT 서비스를 제공 가능한 시스템 개발이 가능해질 것으로 보인다.

철도에 IoT 플랫폼 기술이 적용될 경우 다음과 같은 기대효과가 존재한다. 우선 경제적 측면에서, 전통적 철도 산업과 결합하여 새로운 부가 가치를 창출하게 될 것으로 예상된다. 일반적인 사물인터넷 관점에서 볼 때 2020년에 인터넷에 연결되는 사물의 수는 약 260억 개까지 증가할 것으로 전망되며(PC, 태블릿, 스마트폰 제외), 약 3,000억 달러의 시장(서비스, 제품) 창출과 1.9조 달러의 경제적 파급효과가 기대되며,^[19] 철도 분야에서도 다른 분야와 마찬가지로 사물인터넷의 도입을 통해 새로운 시장이 열리면서 비슷한 경향의 경제적 기대 효과가 있을 것으로 예상된다. 또한 유지보수 및 안전 사고 예방으로 인한 기회 비용 절감으로 인한 운영 측면에서의 경제적 기대 효과가 있을 수 있다. 한국철도시설공단의 사물인터넷 시스템 구축 기본 계획에서도 철도 서비스 운영 장애 감소 및 유지보수 비용 절감 : 철도시설물 성능을 사전에 예측하여 보수보강하는 체계로 변경되어 열차 운행 장애 10% 이상 저감할 수 있으며 유지보수비용도 10% 이상 절감할 수 있을 것으로 기대하고 있다. 그리고 사고처리 측면에서도 사고 처리의 효율성 향상으로 공공교통사고로 인한 사회기관비용 年 3625억원 및 인적/물적 피해비용 年 2조2836억원 절감 효과가 예상된다. (사회기관비용 1조2085억원x30%=3625억원, 인적/물적 피해비용 22조8360억원x10%=2조2836억원 (2013년 기준). 이뿐 아니라, 철도사고 예방으로 인명·재산피해 및 복구비용 50억/年 절감 효과도 존재할 것으로 예상된다. (철도사고 피해복구비 1,705억(최근 7년간) X 10% (예방효과) = 170억 (年 25억))^[20]

사회적 측면에서는 철도용 IoT 플랫폼의 활용을 통해 ICT 기반의 철도 응용 서비스의 활성화를 촉진할 수 있으며, 안전한 철도 실현이 가능할 것으로 보인다. 철도안전관리관련 자료 일체의 전산화 사업으로 국가 공간정보와 융합이 가능하며 또한 다른 국가기관 및 공공기관과의 연계 및 공동 활용 가능할 것이다. 이런 건설분야, 방재분야, IT분야 등의 접목을 통하여 상호 보완적인 관계형성 및 시너지 효과 창출을 통한 산업 발전이 촉진될 수 있을 것으로 보인다. 그리고 철도용 IoT 플랫폼의 구축 및 운영은 궁극적으로 안전하고 편리한 철도의 미래를 앞당김으로써 교통사고 및 체

증 감소로 인한 사회적 비용 절감, 배기가스 감소에 따른 환경개선, 관련 산업의 경쟁력 강화 및 활성화 등에 기여할 수 있다. 마지막으로 ‘재난·안전’분야와의 연계를 통해 재난·안전 사고의 예측, 상황인지, 대응 등의 도움을 통해 재난·안전 사고의 예방 및 피해 최소화를 도모하여 국민의 안전 보장에 기여할 수 있을 것으로 보인다.

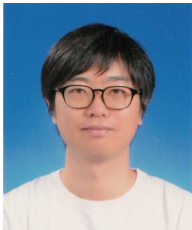
References

- [1] K.S. Kim and T. W. Park, *Presenting a K-ICT strategy for leading ICT and realizing creative korea*, MSIP, 2015, from [http://www.msip.go.kr/cms/www/news/news/report/_icsFiles/afieldfile/2015/03/25/150325%20%EC%84%9D%EA%B0%84%20\(%EB%B3%B4%EB%8F%84\)%20K-ICT%EC%A0%84%EB%9E%B5%20%EB%B0%9C%ED%91%9C.pdf](http://www.msip.go.kr/cms/www/news/news/report/_icsFiles/afieldfile/2015/03/25/150325%20%EC%84%9D%EA%B0%84%20(%EB%B3%B4%EB%8F%84)%20K-ICT%EC%A0%84%EB%9E%B5%20%EB%B0%9C%ED%91%9C.pdf).
- [2] IITP, *The current status and main issues of IoT*, IITP, 2014, from http://www.kosta.or.kr/mai/2015/download/ICT_Insight_04_IoT.pdf.
- [3] J. Kim, J. Lee, J. Kim, and J. Yun, “M2M service platforms: Survey, issues, and enabling technologies,” *IEEE Commun. Surv. Tuts.*, vol. 16, no. 1, First Quarter 2014.
- [4] A. Gluhak, S. Krco, M. Nati, D. Pfisterer, N. Mitton, and T. Razafindralambo, “A survey on facilities for experimental internet of things research,” *IEEE Commun. Mag.*, vol. 49, no. 11, pp. 58-67, Nov. 2011.
- [5] Y.-S. Song, J. Kim, S. W. Choi, and Y.-K. Kim, “Long term evolution for wireless railway communications: Test-bed deployment and performance evaluation,” *IEEE Commun. Mag.*, vol. 54, no. 2, pp. 138-145, Feb. 2016.
- [6] J. Kim, S. W. Choi, Y.-S. Song, Y.-K. Yoon, and Y. K. Kim, “Automatic train control over LTE: Design and performance evaluation,” *IEEE Commun. Mag.*, vol. 53, no. 10, pp. 102-109, Oct. 2015.
- [7] S.-G. Park, S.-T. Song, and C.-M. Jung, “Analysis of the status of the railway facility maintenance and its implications,” *2013 Autumn Conf. Annu. Meeting of the Korean Soc. Railway*, vol. 2013, no. 11, pp. 383-389, Nov. 2013.
- [8] M. S. Kang, *The current status of the open IoT platform technology*, KEIT PD Issue Report, vol. 10, no. 12, pp. 201-219, Nov. 2012.
- [9] S. T. Kim, J. S. Jung, J. K. Song, and H. Y. Kim, “The current status of IoT terminal platform and deployment of IoT ecosystem,” *ETRI J.*, vol. 29, no. 4, pp. 82-90, 2014.
- [10] C. S. Pyo, H. Y. Kang, N. S. Kim, and H. C. Bang, “The current technical status and future evolution of IoT(M2M),” *KICS Inf. and Commun. Mag.*, vol. 30, no. 8, pp. 3-10, Aug. 2013.
- [11] S. C. Choi, M. W. Ryu, N. Jin, and J. H. Kim, “The current status of IoT platform and service,” *KICS Inf. and Commun. Mag.*, vol. 31, no. 4, pp. 20-27, Mar. 2014.
- [12] J. H. Kim, J. S. Yoon, S. C. Choi and M. W. Ryu, “The current status and evolution of IoT platform development,” *KICS Inf. and Commun. Mag.*, vol. 30, no. 8, pp. 29-39, Jul. 2013.
- [13] A. K. S. Jardine, D. Lin, and D. Banjevic, “A review on machinery diagnostics and prognostics implementing condition-based maintenance,” *Elsevier Mechanical Syst. Sign. Process.*, vol. 20, no. 7, pp. 1483-1510, Oct. 2006.
- [14] A. Grall, C. Berenguer, and L. Dieulle, “A condition-based maintenance policy for stochastically deteriorating systems,” *Elsevier Reliability Eng. Syst. Safety*, vol. 76, no. 2, pp. 167-180, May 2002.
- [15] F. P. Garci, A. Marquez, F. Schmid, and J. C. Collado, “A reliability centered approach to remote condition monitoring. A railway points case study,” *Elsevier Reliability Eng. Syst. Safety*, vol. 80, no. 1, pp. 33-40, Apr. 2003.
- [16] P. Li, R. Goodall, P. Weston, C. S. Ling, C. Goodman, and C. Roberts, “Estimation of railway vehicle suspension parameters for condition monitoring,” *Elsevier Control Eng. Practice*, vol. 15, no. 1, pp. 43-55, Jan. 2007.
- [17] M. Boccione, A. Caprioli, A. Cigada, and A.

Collina, "A measurement system for quick rail inspection and effective track maintenance strategy," *Elsevier Mechanical Syst. and Sign. Process.*, vol. 21, no. 3, pp. 1242-1254, Apr. 2007.

- [18] S.-S. Kim, C. Park, Y.-G. Kim, and C. Park, "Parameter characteristics of rail inspection measurement system of HSR-350X," *Springer J. Mechanical Sci. Technol.*, vol. 23, no. 4, pp. 1019-1022, May 2009.
- [19] Y. S. Ko, "Study of policies of major countries on internet of things and market forecast," *Int. Commerce Inf. Rev.*, vol. 16, no. 5, pp. 27-47, Dec. 2014.
- [20] Y. C. Jang, et. al., "Estimation and assessment of road transportation accident expense in 2013," *KoRoad*, 2014-0245-088, pp. 67-80, Dec. 2014.

김 주 엽 (Juyeop Kim)



2000년 3월~2004년 2월: KAIST 전기 및 전자공학과 졸업
 2004년 3월~2010년 1월: KAIST 전기 및 전자공학과 박사
 2010년 3월~2011년 2월: KAIST Institute IT융합연구소 박사 후 연구원

2011년 4월~2013년 12월: 삼성전자 무선사업부 책임 연구원
 2014년 1월~현재: 한국철도기술연구원 ICT융합연구팀 선임연구원
 <관심분야> 차세대 이동통신 시스템, 사물인터넷, 철도 전용 통합무선망, SW 공학, ICT융합기술 연구개발

송 용 수 (Yong-Soo Song)



2003년: 연세대학교 석사
 2016년: 연세대학교 박사
 2003년~현재: 한국철도기술연구원 형식승인팀 선임연구원
 <관심분야> 이동통신시스템, 재난통신망, 철도전용 통합무선망, ICT융합기술 연구/개발

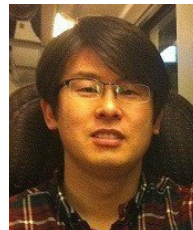
김 용 규 (Yong-Kyu Kim)



1984년: 단국대학교 학사
 1987년: 단국대학교 석사
 1993년: 프랑스 로렌 국립공학원 (INPL) DEA
 1997년: 프랑스 로렌 국립공학원 (INPL) 박사
 1997년~현재: 한국철도기술연구원 ICT융합연구팀 수석연구원

<관심분야> ICT융합기술 연구/개발

최 상 원 (Sang Won Choi)



1998년 3월~2002년 2월: 고려대학교 전기전자전공학과 졸업
 2002년 3월~2004년 3월: KAIST 전자전산학과 전기 및 전자공학 석사
 2004년 3월~2010년 1월: KAIST 전기 및 전자공학과 박사

2010년 2월~2014년 3월: 삼성전자 무선사업부 책임 연구원
 2014년 4월~현재: 한국철도기술연구원 ICT융합연구팀 선임연구원
 <관심분야> 차세대 이동통신 시스템, 통신 신호처리, 특수 목적 통신, 공공 안전망, 단말 알고리즘 개발, ICT융합기술 연구/개발