

전력선통신 기반 저압원격검침 시스템의 공간 정보를 활용한 지능형 배전망 지리정보시스템 구축에 관한 연구

A Study on the Implementation of Geographic Information System for an Intelligent Power Distribution Network with Location Informations of Power Line Communication-based Automatic Meter Reading System

서 충 기* · 이 승 곁*
(Chung-Ki Seo · Seung-Gol Lee)

Abstract - In this paper, geographic information system(GIS) for an intelligent power distribution network was implemented with location informations acquired from automatic meter reading system, where the location informations of power line communication(PLC) modems installed at customer side were collected at data concentration units(DCUs) of headend equipment via PLC and then were transmitted to front end processor server. By displaying the connection status of the power distribution network on GIS map, operation of advanced metering infrastructure(AMI) or management of power grid system could be performed intuitively and in real time, because the configuration state of the power grid could be easily monitored. The feasibility of the proposed system was confirmed with the especially constructed laboratory-level test bed and the verification test of the system will be carried out for a real power distribution network.

Key Words : Smart grid, Geographic information system, Advanced metering infrastructure, Putomatic meter reading, Data concentration unit, Power line communication

1. 서 론

전통적으로 지리정보시스템(geometrical information system, GIS)은 기상, 토목 및 수문 해석 등의 분야에서 주로 사용되어 왔으나 최근에는 ICT, GPS, 빅데이터 및 사물인터넷(IoT) 등의 활성화에 힘입어 정보통신 및 전력분야를 포함한 다양한 분야에 응용되고 있다. 특히 전력분야에서는 송, 변전 및 배전망의 구축이나 유지보수에 주로 활용되고 있으며, 전력망의 효율적인 구축과 관리를 위해서는 송전, 변전 및 배전 단계별 전력망 구성도가 반드시 필요하다. 이에 따라 각 단계별 시설물 및 전력전송장치의 위치에 기반을 둔 GIS(T-GIS, Web GIS)가 운영되고 있다. 현재 한국전력공사에서 운영 중인 송, 변전 및 배전 GIS는 관리자가 수작업으로 시스템 정보를 데이터베이스(Database, DB)에

입력하고 GIS는 이 입력 정보를 DB 서버로부터 가져와 표시해주는 방식으로 서비스 되고 있다. 이는 현재의 전력공급 방식이 공급자에서 수용가로의 일방향 송, 변전 및 배전 방식이기 때문이다. 그러나 전력시장의 패러다임이 변화되면서 공급자 중심의 단방향 송, 변전 및 배전 방식에서 수요자가 적극적으로 전력 시장에 참여하는 양방향 스마트그리드(Smart Grid, SG) 및 저압원격검침(Automatic Meter Reading, AMR) 서비스가 활성화되고 있다. 양방향 스마트그리드 및 AMR 서비스의 단말 장치인 저압원격검침 전력선통신(Power Line Communication, PLC) 모델의 보급이 확대됨에 따라 이를 이용한 지능형 배전 시스템 구성이 가능하게 되었다. AMR의 활성화에 따라 수용가에 구축되어 있는 배전망을 GIS 맵(map)과 온라인으로 연동함으로써 직관적, 가시적으로 전력망 구성 상태를 실시간으로 확인하고 전력망의 설계, 유지보수 및 다양한 스마트그리드 서비스에 이용할 수 있도록 지능형 배전망 구축 GIS인 지능형계량인프라용 GIS 시스템(AmiGIS)을 새롭게 제안, 구축하였다. AMR 및 GIS에 대한 구성, 새롭게 제안한 AmiGIS의 동작 시나리오에 대해서 개략적으로 기술하였고 구현 방법과 실험 결과 위주로 본문에서 상세하게 기술하였다. 또한 향후 시스템을 이용한 활성화 방안 및 기대효과에 대하여 결론에 기술하였다.

† Corresponding Author : Dept. of Information Technology and Telecommunications Engineering, Inha University, Korea.

E-mail:sglee@inha.ac.kr

* Dept. of ICT solution, KEPCO KDN, Korea. / Dept. of Information Technology and Telecommunications Engineering, Inha University, Korea.

Received : January 06, 2015 ; Accepted : February 11, 2015

2. 본 론

2.1 기존 알고리즘

기존 PLC AMR 시스템은 센터장비인 AMR 혹은 FEP(Front End Processor) 서버, headend 장비인 데이터집중장치(Data Concentration Unit, DCU), Repeater용 PLC 모뎀, 수용가 단말인 PLC 모뎀과 계기로 구성되어 있다. 계기에서 수집된 전력검침 데이터는 PLC 모뎀과 DCU를 거쳐 FEP 서버로 전송되며[1] 각 단계별로 장비간의 데이터 전송에 필요한 표준 규약이 제정되어 있다.[2,3,4] FEP과 DCU에는 FEP 프로토콜[4], DCU와 PLC 모뎀에는 KSX4600-1/ ISO12139-1[3] 및 한전일반구매규격(저압원격검침용 데이터 집중장치)[4], 그리고 PLC 모뎀과 계기에는 DLMS 프로토콜[2]이 각각 적용되어 데이터 전송을 수행한다. 상기 기술한 PLC AMR의 개략적인 구성에 대하여 그림 1에 나타내었다.

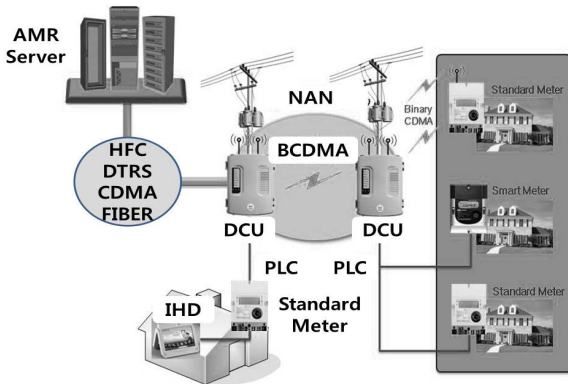


그림 1 PLC AMR 시스템 구성도
Fig. 1 PLC AMR system configuration

2.2 AmiGIS 제안

제안 시스템에 대한 이해를 돕기 위해 현재 운영되고 있는 WebGIS의 배전망 구성도를 그림 2에 나타내었으며, 개인 정보 보호 차원에서 지역 명칭 등을 제외하고 배전망 구성만을 표시하였다. 그림에서처럼 전력망의 신설 시 배전망 구성정보 표시를 위하여 관리자가 전력망 정보를 DB서버에 수작업으로 입력하고 GIS는 이 정보를 사용하여 배전망 구축정보를 맵에 표시하는 방식으로 운영되고 있다. 이러한 수작업 방식은 관리자에 의한 입력 오류를 발생시킬 수 있을 뿐만 아니라 관리 측면에서도 상당히 비효율적이다. 이러한 수작업 방식은 관리자에 의한 입력 오류를 발생시킴으로써 현장 작업자가 전력망을 효율적으로 유지 보수하는데 장애를 가중 시키고 있다. 배전망은 전국망으로써 전체가 복잡하게 구성되어 있고 배전자동화시스템, DCU, PLC 모뎀 그리고 계량기 등의 전력 장비가 다수 설치되어 있으며 전력선 통신을 이용한 디지털 검침, 수요반응, 전기차충전소 등을 위한 스마트그리드 서비스 인프라로서 활용될 예정이다. 이에 따라 배

전망은 기존의 단방향 전력공급이라는 역할에서 벗어나 양방향 전력 및 통신 서비스를 위한 역할을 수행해야 하기 때문에 안정적인 전력공급 및 통신을 위한 배전망과 계통 장치에 대한 효율적인 관리가 필수적이다. 그러나 현재의 배전망은 대부분 노후화된 설비가 많아 통신을 위한 인프라로서는 다른 통신망 - HFC, 전화선, 광망 등 - 에 비하여 절대적으로 열악한 환경이다. 이러한 단점은 노후화된 전력선과 계통장치에 대한 신속한 유지보수나 교체 등을 통해 극복 가능 하지만 복잡하게 얽혀 있는 배전망이나 계통 장치에 대한 데이터가 정확하지 않기 때문에 배전망의 신속한 장애 복구나 계통 장치들에 대한 관리가 효율적으로 진행되지 못하고 있다. 따라서 다수의 관리 인원이 배치되어 배전망 관리 업무를 수행하고 있는 실정이다.

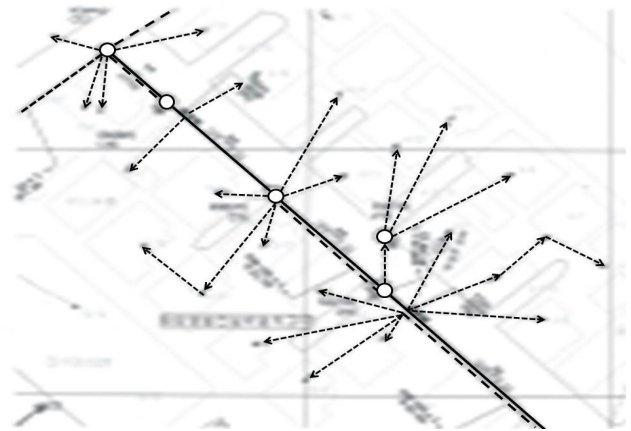


그림 2 WebGIS 배전망 구성도
Fig. 2 WebGIS distribution network configuration

그런데 전력산업의 패러다임 변화에 따라 지금까지의 전력 GIS에서는 사용되지 않던 수요자 중심의 양방향 SG 서비스가 본격적으로 시행되고 있으며, 양방향 SG 서비스의 핵심인 AMI는 2013년부터 본격적으로 구축되기 시작하여 제주 실증단지, SG 확산사업 및 PLC를 이용한 원격저압검침 등을 통해 2020년까지 전국망으로 구축될 예정이다. 기존 방식의 문제점을 해결하기 위해 본 연구에서는 향후 전국적으로 구축될 AMI를 적극 활용하는 방안을 제안하고자 한다. 새로운 AmiGIS는 수용가에 PLC 모뎀을 신규 설치하는 과정에서 PLC 모뎀으로부터 DCU로 위치정보가 자동으로 전송되고 이 정보가 DB서버에 자동으로 저장되는 방식을 사용한다. 그리고 모뎀의 위치정보는 DCU와 모뎀의 주기적인 통신에 의해 갱신될 수 있으므로 AmiGIS는 이 위치정보를 이용하여 배전망의 구축상태를 실시간으로 AmiGIS 맵에 표시할 수 있게 된다.

제안된 방식에서는 PLC 모뎀이 수용가에 최초 설치될 때 전력검침을 위한 원격 통신을 위해 DCU와 등록 절차를 수행하는 과정에서 PLC 모뎀의 위치 정보가 FEP 서버로 자동 전송되도록 한다. 모뎀은 연결된 모든 전력선(배전망)을 통해 등록요청 신호를 DCU로 전송하며 전력선을 통해 전송되는 신호의 세기에 따라 하나의 최적 전력선 경로를 통해 DCU에 등록된다.[4,5] 이때

전력선 노이즈 등의 영향으로 신호가 좋지 않을 경우 인접한 다른 모뎀을 repeater로 하여 DCU에 연결될 수도 있다. 기존 방식에서는 저압원격검침 PLC 모뎀은 DCU와의 통신을 위해 모뎀에서 DCU로 전송되는 신호 경로 중에서 신호가 가장 좋은 최적의 경로만을 선택하여 통신을 수행한다. 그러나 본 연구에서 제안한 시스템은 최적 경로뿐만 아니라 모뎀에서 DCU로 전송되는 모든 경로에 대한 정보를 모두 이용하는 특징을 갖고 있다. 제안된 AmiGIS는 모뎀과 DCU 간 모든 통신 경로 및 DCU 정보를 DB에 저장한다. DCU에 모뎀의 등록절차가 완료된 후 모뎀과 DCU는 주기적으로(기본 900초) 모뎀 및 통신 상태에 대한 정보를 송수신하며 DCU는 이 정보를 DB에 업데이트한다. AmiGIS는 DB에 저장되어 있는 모뎀의 위치 정보를 참조하여 맵의 지정된 위치에 모뎀 및 전력선 연결 상태를 표시하고, 신호세기 등의 상태정보를 참조하여 상세한 배전망 상태를 표시하게 된다.

표 1에는 본 목적을 위해 등록 절차 전송 데이터에 위치 정보 부분을 추가한 것을 나타내었다. 추가된 정보는 POX_X와 POS_Y로서 각각 8 bits의 정보량을 갖도록 하였다. 그리고 그림 3은 등록 절차를 완료한 이후 PLC 모뎀과 DCU의 연결 상태를 보여주고 있다. 그림은 DCU와 연결된 하위 모뎀들의 연결 경로를 나타내고 있는데 DCU와 직접 연결된 모뎀 및 인접한 모뎀을 repeater로 하여 DCU에 연결된 모뎀들을 한눈에 볼 수 있도록

표 1 등록 절차 전송 데이터

Table 1 Fault simulation results

Field	Byte	Definition	
O_SID	0	Original Station ID	
	:		
	5		
RP_SID	6	Repeater Station ID	
	:		
	11		
NPL	12	No. of Passed Links	
SN	13	Sequence Number	
CJRT		Cell Join Request Type	
DT	14	Device Type	
MGWT	15	MGW Type	
POS_X	16	Position X (newly defined)	
POS_Y	17	Position Y (newly defined)	
MID	18	Meter ID	
	:		
	28		
PM_V	29	Program Image Version	
	:		
	30		
LK_SPD	31	1 st Link	Up-Stream Speed
	32		
	33		Down-Stream Speed
	34		
	:	NPL th Link	Up-Stream Speed
	NB		
	NB-1		Down-Stream Speed
NB-2			
NB-3			

왼쪽에 나타내고 있다. 각각의 모뎀을 선택하면 상세한 모뎀 정보를 그림과 같이 우측에 나타내며 이 정보에는 모뎀 상태정보, 모뎀 설정정보, 상위 모뎀과의 링크정보 및 통신 채널특성 등이 포함되어 있다.

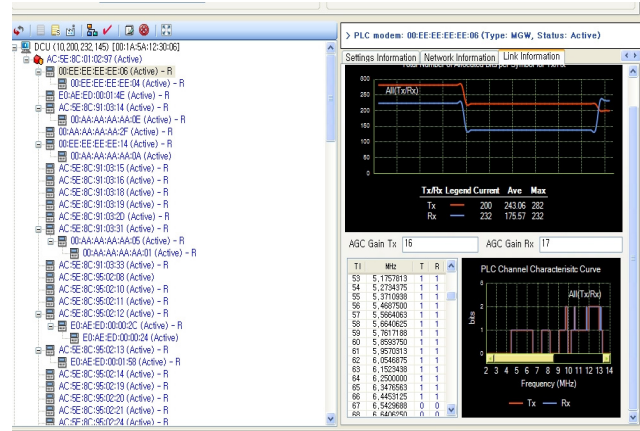


그림 3 PLC 모뎀 Topology
Fig. 3 PLC Modems Topology

2.3 AmiGIS 구현

AmiGIS 구현을 위해 먼저 업무분석을 통해 데이터 모델링을 수행하고 그 결과를 바탕으로 DB를 설계한 후 AmiGIS 응용 프로그램을 개발하였으며, 응용프로그램의 메뉴, 부가기능, 연산 및 UI(User Interface) 구현을 위해 VS2013 C#을 사용하였다. AmiGIS 응용 프로그램은 공간정보의 취득, 위도와 경도를 이용한 좌표변환, QGIS(Quantum GIS) 로컬 DB에 데이터 저장 등의 역할을 수행한다. 이때 시스템 구현에 적용한 DB 설계 모델은 그림 4와 같으며, 오픈소스 SQL 엔진인 SQLite SpatiaLite DBMS를 사용하여 공간 정보의 읽기, 쓰기 및 저장 등의 기능을 수행하였다. 그리고 DB에 저장되어 있는 공간데이터 정보를 기반으로 배전망 구축 상태를 주기적으로 맵에 표시하기 위해 공간데이터의 조회, 편집, 분석 기능들을 제공하는 대표적인 오픈소스 데스크탑 지리정보시스템 소프트웨어인 QGIS를 이용하였다.[6]

그림 4에 제시된 DB 설계 모델에서처럼 시스템 구현을 위해 공간 정보 저장을 위한 AmiGIS Spatial DB, 주기적으로 취득되는 시계열 정보 저장을 위한 AmisGIS TimeSeries DB, 그리고 주기적으로 변하지 않는 비공간 정보 저장을 위한 AmiGIS Non-Spatial DB를 추가하였다.[1] AmiGIS Spatial DB는 전력구조물, 변전소 위치 및 모뎀 설치 위치 등과 같은 전력 지형지물과 관련된 정보를 처리하기 위하여, AmisGIS Non-Spatial DB는 위치정보가 아닌 DCU 및 모뎀의 장치 명칭, ID, 감시하고자 하는 변압기 용량, 제조연번, 생산일자 및 제조사 등의 고정적인 정보를 처리하기 위한 DB이다. 그리고 AmisGIS TimeSeries DB는 시계열 데이터로써 DCU 및 모뎀의 신호 세기, 경로 정보, 등록 상태, DCU 시간 및 검침을 위해 모뎀에 연결된 계기정보 등 DCU가 주기적으로 값을 취득하여 갱신하는 정보를 처리하기 위

한 DB이다.

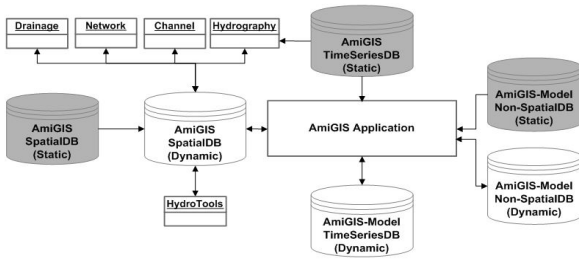


그림 4 Schematic data flow diagram for AmiGIS
Fig. 4 Schematic data flow diagram for AmiGIS

2.4 실험 결과

AmiGIS의 실험적인 검증을 위하여 표 1에 제시된 것처럼 DCU 및 PLC 모델의 위치데이터(위도, 경도)를 기존의 모델정보 프로토콜 프레임에 추가하였다. DCU와 PLC 모델이 전력선통신으로 상호 연결되면 모델은 통신을 위한 등록과정을 수행하게 되고 등록이 완료되면 PLC 모델은 DCU와 통신이 가능한 상태가 된다. 이후 DCU는 모델 및 통신 상태정보를 주기적으로 수집하여 DB에 저장한다. AmiGIS는 수집된 모델의 공간정보 데이터를 사용하여 시스템의 위치를 GIS 맵에 표시하고, PLC 모델간의 네트워크 링크 정보를 사용하여 시스템(DCU, 모델)간의 전력망 연결 상태를 나타낸다. 또한 맵 상의 특정 시스템을 선택함으로써 시스템 상태정보나 전력량 등의 시계열 데이터 표시가 가능하도록 구현하였다.

실험 결과를 얻기 위해 그림 5와 같은 AmiGIS 테스트 베드를 구축하였으며, 구축된 테스트 베드는 한 개의 DCU와 E-type 모델 3개, 표준 모델 8개로 구성하였다. 여기서 E-type 모델은 최대 32개의 전력검침계량기를 RS485로 연결하여 검침을 수행할 수 있는 외장형 모델이고, 표준형 모델은 전력검침계량기에 장착하여 하나의 계량기에 대한 검침을 수행할 수 있는 모델이다. 실제 배전망 구축과정에서는 DCU나 모델을 설치하면서 부가적인 GPS 장치를 이용하여 해당 DCU 및 모델의 위치 정보를 입력하게 되지만, 테스트 베드 구축 과정에서는 DCU와 모델의 위치 정보를 인위적으로 입력해 주었다. 표 2와 같이 DCU 및 모델에 임의의 위치 데이터를 입력하고 모델 등록 과정을 수행하였다.



그림 5 AmiGIS 테스트 베드
Fig. 5 AmiGIS Test bed

표 2 테스트 모델 종류 및 공간 정보 데이터
Table 2 Fault simulation results

종류	ID	x(경도)	y(위도)
DCU	D0001	127.02929655	37.48565172
E-type 모델	E0001	127.02953512	37.48439155
	E0002	127.03084705	37.48527420
	E0003	127.03267800	37.48615400
표준형 모델	S0001	127.02846420	37.48686869
	S0002	127.02960505	37.48682426
	S0003	127.03022684	37.48657362
	S0004	127.03178299	37.48464685
	S0005	127.03264300	37.48367263
	S0006	127.03070947	37.48339564
	S0007	127.02931647	37.48328156
	S0008	127.03345593	37.48365618

AmiGIS는 DCU로부터 공간정보 데이터를 전송받아 좌표변환한 후 DB에 저장하고, QGIS는 DB에 저장된 공간정보 데이터를 가져와 맵에 배전망의 구축 상태를 정확히 표시하는지 검증하였다.

AmiGIS를 이용하여 구현된 배전망을 그림 6에 나타내었다. 그림의 맵에 표시되어 있는 라벨 Dxxx는 DCU, Exxx는 E-type 모델, Sxxx는 표준형 모델을 구분 표현한 것이며, AMI관리자로 하여금 시스템의 설치 및 동작 상태를 직관적으로 파악할 수 있도록 하였다. 이러한 과정을 통해 구현된 AmiGIS가 DCU 및 PLC 모델의 공간정보 데이터를 기반으로 GIS 맵 상에 모델과 DCU의 위치 및 전력망 구축 상태를 정확하게 표현함을 확인할 수 있었다.

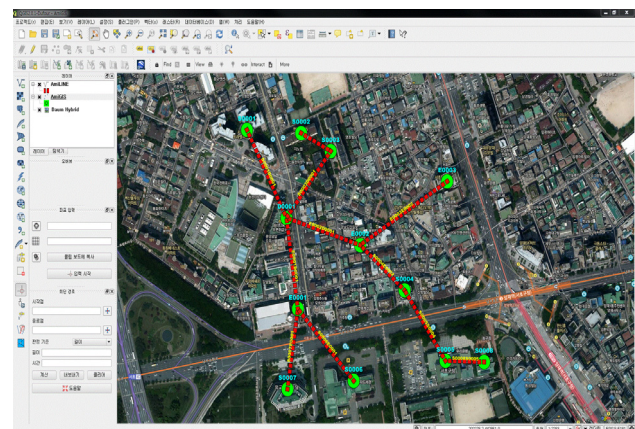


그림 6 AmiGIS 배전망
Fig. 6 AmiGIS distribution network

3. 결 론

본고에서는 PLC AMR 시스템의 공간정보를 활용한 지능형 배전망 GIS(AmiGIS) 구축에 대한 연구를 수행하였다. 현재 운영 중인 GIS는 전력의 공급자중심 단방향전송이라는 전력의 구조적인 한계 때문에 전력통신의 광범위한 이용 및 활성화에 많은 제약을 내포하고 있다. 그러나 향후 AMI 및 SG의 활성화에 의한 수용자중심의 양방향 전력 서비스 활성화에 따라 전력분야의 GIS 활용 서비스도 획기적으로 확대될 것으로 기대된다. 본고에서는 이와 같은 기술적 추세에 따라 AMR 시스템의 공간정보(위, 경도)를 활용한 AmiGIS의 구축에 대한 연구를 수행하였으며 실험실 수준의 테스트 베드를 구축하여 실험 결과를 도출하였다. AmiGIS의 실험적인 결과를 통해 새로운 개념의 GIS 적용에 대한 기술적인 타당성을 검증하였으며 AMR 서비스의 활성화에 따라 전국적인 전력선통신 인프라가 구축되는 시점에 전국망 형태의 배전 GIS 구축에 확대 적용하여 활용될 수 있음을 확인하였다. 향후 실험실 연구결과를 바탕으로 현장 실증을 통한 검증과 현장 적용을 위한 규격 변경 작업을 진행할 예정이다. 이를 통해 전력망 설계, 노후전력선 교체, 수요 반응 및 예측 등의 분야에 적극적으로 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

References

- [1] Chung-Ki Seo, Gil-Yong Choi, Seung-Gol Lee. "A study on the integration of GIS and augmented reality for effective smart grid services(Examples of PLC-based AMR apply)", KIEE Summer Conference, 2014.(<http://www.kiee.or.kr>).
- [2] Ministry of Trade, Industry and Energy (Korean Agency for Technology and Standards), "KSX4600-1." Korea Industrial Standard, 2007.(<http://www.kats.go.kr>).
- [3] ISO & IEC."ISO/IEC12139-1." First Edition, 2009. (<http://www.iso.org>).
- [4] General Technical Specifications of KEPCO, "Data Concentration Unit for Low Voltage AMI system", GS-5895-0026, pp. 23-25, 101-102, Feb. 2013. (<http://www.kepco.co.kr>).
- [5] Chung-Ki Seo, Gil-Yong Choi. "Smartgrid distribute network system", KEPCO KDN, Patent. 10-2014-0112533, 2014.
- [6] National Environmental Workforce Development. "Environmental space information literacy course", pp. 28, 2013.

저 자 소 개



서 충 기(Chung-Ki Seo)

1993년 인하대학교 공과대학 공학학사. 1998년 동 대학원 공학석사. 현재 동 대학원 정보통신공학과 박사과정. 2000년~2003년 해태전자 중앙연구소 책임연구원. 2003년~2005년 인하공업전문대학 정보통신공학과 겸임교수. 현재 한전KDN 전력IT연구원(KDNRI) ICT솔루션팀 주임연구원. 관심분야는 PLC AMI 시스템. 유전 알고리즘과 정보보안, VLSI & SoC. 빅데이터.



이 승 곁(Seung-Gol Lee)

1982년 인하대학교 응용물리학과 학사. 1984년 한국과학기술원 이학석사. 1987년 동 대학원 박사. 현재 인하대학교 정보통신공학부 교수 및 IT공과대학 학장. 한국과학재단 우수연구센터(ERC) 인하대학교 OPERA(집적형 광전자기술 연구센터) 참여 교수. 인하대학교 BK21 지능형 유비쿼터스 물류기술사업단 참여교수. 1990년~1991년 미국 Northwestern Univ. 교환교수. 2003년~2004년 미국 Arizona Univ. 방문교수. 관심분야는 초정밀 계측, 자동화시스템, 광통신.