

교량구간의 결빙 예측 및 감지 시스템

Bridge Road Surface Frost Prediction and Monitoring System

신건훈*, 송영준**, 유명갑**

(주)임베디드솔루션*, 충북대학교 전자정보대학 정보통신공학과**

Geon-Hun Sin(pernety@naver.com)*, Young-Jun Song(songyjorg@dreamwiz.com)**,
Young-Gap You(ygyou@cbnu.ac.kr)**

요약

본 논문에서는 교량구간의 도로 결빙예측 및 감지를 위한 시스템 설계를 제안하였다. 센서 노드의 하드웨어는 마이크로프로세서, 온도 센서, 습도 센서, 그리고 Zigbee 무선 통신으로 구성되었다. 관제센터의 소프트웨어는 관제센터에 수집된 교량 온도, 습도 데이터로 관찰하기 위하여 구현되었다. 교량 노면의 결빙은 노면의 온도가 이슬점 온도 이하이면서 영하일 때 발생한다. 제안된 시스템을 이용하여 도로면의 온도 및 습도 분포를 측정하였다. 측정 데이터는 도로 결빙이 발생하는 시점을 예측하기 위하여 사용되었다. 실제 결빙되는 것보다 최소 30분 이전에 결빙시점을 예측하여 경고가 이루어진다. 이 결과로 결빙으로 인한 교통사고를 방지하기 위하여 사용 할 수 있다.

■ 중심어 : | 센서네트워크 | 도로면 감지 | 결빙예측 | Zigbee | 이슬점 |

Abstract

This paper presents a bridge road surface frost prediction and monitoring system. The node sensing hardware comprises microprocessor, temperature sensors, humidity sensors and Zigbee wireless communication. A software interface is implemented the control center to monitor and acquire the temperature and humidity data of bridge road surface. A bridge road surface frost occurs when the bridge deck temperature drops below the dew point and the freezing point. Measurement data was used for prediction of road surface frost occurrences. The actual alert is performed at least 30 minutes in advance the road surface frost. The road surface frost occurrences data are sent to nearby drivers for traffic accidents prevention purposes.

■ keyword : | Sensor Network | Road Surface Monitoring | Frost Prediction | Zigbee | Dew Point |

1. 서론

일반적으로 동절기 도로면에는 강설 및 강우 등으로 인해 노면에 수분이 잔존할 가능성이 높다. 기온까지 영하로 떨어지게 되면 노면에 결빙이 발생하여 교통사고의 위험성이 높다. 운전자는 육안으로 도로의 상황

정보만을 식별하여 주행하므로, 도로가 결빙을 인식하지 못할 경우 심각한 사고로 이어질 수 있다[1]. 우리나라는 지형 및 기후의 특성상 결빙 발생지역이 곳곳에 발생한다. 도로교통안전관리공단의 2001년부터 2010년까지의 교통사고 통계분석 자료의 노면상태별 교통사고 건수 및 사망자 수의 자료로부터 유형별 치사율을

[그림 1]에 나타내었다. 결빙구간에서 발생한 교통사고의 10년간의 평균 치사율은 3.83%로 결빙, 습기, 건조, 적설의 4가지 유형중 가장 높게 나타났다. 이것은 건조 노면의 약 140%에 해당하는 수준이다.

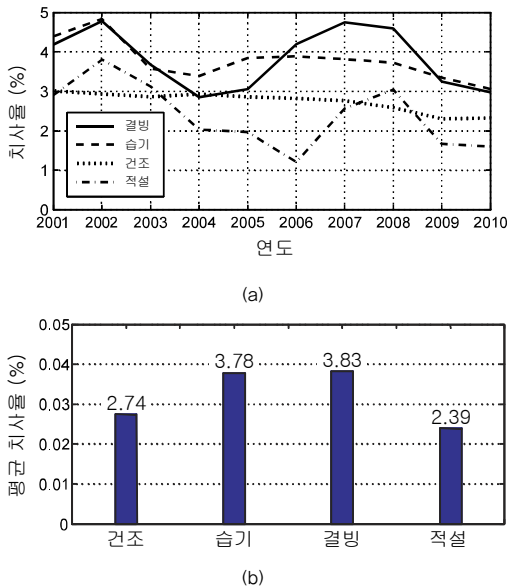


그림 1. 노면상태별 교통사고 치사율: (a) 2001년부터 2010년까지의 노면상태별 교통사고 치사율 비교; (b) 평균 치사율 비교.

교량구간이 많은 우리나라의 지형 특성상 결빙에 따른 교통사고 위험성은 더욱 높아진다. 교량구간은 평지 구간과 달리 지열이 없고 태양열에 의해서만 열을 얻기 때문이다. 교량구간은 하천이나 계곡을 잇는 곳이 많아 동절기의 결빙 발생 확률이 더욱 높다. 따라서 결빙도로에 대한 대책이 요구된다.

선행연구로 지그비 기반 심전계의 데이터 전송률과 소비 전력 분석[2]이 이루어졌다. 심전계 데이터를 지그비로 전송하면서 전송률을 측정하고, 그에 따라서 발생하는 전력량을 분석하였다. 다른 선행연구로 차량에 노면의 상태를 판단할 수 있는 센서로 도로의 결빙이나 침수 등을 판단하고 교통정보를 같이 활용하여 안전운행을 도와주는 시스템에 관한 연구[3]가 있다. 여기에서는 습도 센서와 진동 센서로 현재 도로 상태를 관찰하

여 결빙 유무를 판단하여 지능망 교통서비스 서버에 전송하는 시스템을 제안하였다. 또한 94 GHz 대역의 라디오미터를 이용한 도로결빙을 감지[4]하는 연구 등이 선행되었다. 이와 같은 선행연구에서는 도로면의 결빙 여부를 센서를 통하여 감지하여 결빙방지조치를 취하는 방법에 관한 연구였다. 결빙방지조치는 자동화 시설의 경우에는 막대한 설치비용이 필요하고, 그렇지 않을 경우에는 결빙발생 후 조치되기 전까지 운전자가 결빙 상황에 노출될 위험이 있다.

본 논문에서는 교량 노면의 결빙을 효과적으로 측정, 예측 하고 이를 경고 함으로써 교통사고를 예방하기 위한 시스템을 제안하였다. 장소나 환경에 구애받지 않고 원하는 위치에 쉽게 설치되도록 USN(ubiquitous sensor network) 기술을 활용하여 센서노드를 설치하고 온도, 습도를 측정한다. 측정된 데이터는 USN을 통해 실시간으로 중앙 관제 시스템으로 전송된다. 중앙관제시스템은 수집된 데이터를 표시하여 노면 상태를 감시하면서 측정된 데이터를 통해 노면의 상태를 판단하고 결빙 가능성 및 시간대를 예측할 수 있다.

본 논문의 구성은 2장에서 도로 결빙 예측 시스템의 구성 및 결빙예측 방법에 대하여 설명하고, 3장에서 하드웨어 및 소프트웨어 설계 및 구현에 대하여 논한다. 4장에서 실험 결과 및 분석에 대해 논하고 결론을 맺는다.

II. 교량구간의 노면 감지 및 결빙예측 시스템

1. 시스템의 구성

교량구간의 도로의 대기 온도 및 습도, 노면온도, 그리고 압력 등을 USN 기술을 활용하여 측정 및 수집한다. 관제센터(control center)에서 운전자에게 결빙상태를 예측할 수 있도록 하고, 이를 포함한 도로 정보를 제공하기 위한 시스템을 설계하였다. 도로 상태 감지 및 결빙예측을 하기위한 시스템의 구성을 [그림 2]에 나타내었다. 도로의 온도 및 습도 등의 정보는 도로에 설치된 센서노드(sensor node)들로부터 수집된다.

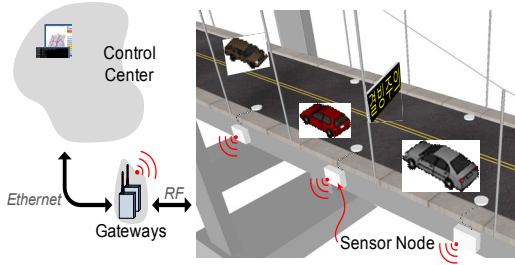


그림 2. 교량구간의 도로 감지 및 결빙예측 시스템의 개략도

센서노드는 온도, 습도를 탑재한 무선주파수 통신이 가능하며 마이크로프로세서(microprocessor)에 의해 제어된다. 센서노드로부터 수집된 정보는 무선주파수를 통해 관제센터로 전송되어야 한다. 오픈필드에서는 관제센터와 도로 사이의 데이터전송이 무선 주파수로 전송이 가능한 거리이다. 하지만 무선 주파수에 영향을 줄 수 있는 차량의 통행이 있는 구간이므로 2.4GHz의 대역의 주파수로는 관제센터까지 데이터의 신뢰성 보장이 어렵다. 그러므로 센서노드들로부터 가까운 거리에 설치된 게이트웨이(gateway)가 이더넷(ethernet)을 통하여 관제센터까지 정보를 전송하는 역할을 한다. 관제센터에서는 수집된 정보를 이용하여 도로 상황을 모니터링하고 결빙예측을 수행하여 운전자에게 도로상황을 미리 알려주는 역할을 한다.

2. 결빙예측 알고리즘

교량 노면의 결빙을 예측하기 위하여 대기의 온도 및 습도, 노면의 온도의 관계를 이용할 수 있다. 관제센터에서는 센서노드로부터 전송된 온도, 습도를 이용하여 교량 노면의 결빙을 예측하고 운전자에게 경고할 수 있다. 교량 노면의 결빙을 예측하기 위한 방법을 아래에서 설명한다.

이슬점(dew point)은 공기가 포화되어 수증기가 응결할 때의 온도를 말한다. 대기압이 동일하다고 가정할 경우, 이슬점은 공기가 포화(saturation)상태에 도달하기 위해 냉각되어야 하는 온도를 말한다. 온도가 이슬점까지 냉각되면, 안개나 이슬이 발생하고 상대습도는 100%가 된다[5].

포화수증기압(saturation vapor pressure) 및 이슬점

은 다음 Magnus 식을 이용하여 도출한다[6]. Magnus 식은 특정 온도 T (°C) 에서의 포화수증기압 E_w (hPa) 를 다음과 같이 정의한다.

$$E_w = \alpha \cdot e^{\left(\frac{\beta \cdot T}{\lambda + T}\right)} \quad (1)$$

Magnus 파라미터들은 -45 °C 부터 60 °C 사이의 범위에서, 각각 $\alpha=6.112$ hPa, $\beta=17.62$, 그리고 $\lambda=243.12$ °C 로 부여된다. 식 (1)에 의해, 이슬점 D_p (°C) 는 수증기압 E 로 표현될 수 있다.

$$D_p = \frac{\lambda \cdot \ln\left(\frac{E}{\alpha}\right)}{\beta - \ln\left(\frac{E}{\alpha}\right)} \quad (2)$$

상대습도(relative humidity, RH)의 정의 즉, $E=(RH \cdot E_w)/100$ 를 식 (2)에 적용하고, 식 (1)을 이용하면, 온도 T 와 상대습도 RH 를 이용하여 이슬점 D_p 를 계산할 수 있다.

$$D_p(T, RH) = \frac{\lambda \cdot \left[\ln\left(\frac{RH}{100}\right) + \frac{\beta \cdot T}{\lambda + T} \right]}{\beta - \left[\ln\left(\frac{RH}{100}\right) + \frac{\beta \cdot T}{\lambda + T} \right]} \quad (3)$$

따라서 식 (3)을 이용하여 센서노드로부터 측정된 대기 온도 및 습도 값과 노면의 온도 값으로 도로의 결빙 상태를 예측할 수 있다.

위의 식에서 대기온도와 습도로 계산된 이슬점으로 도로의 표면온도와 비교하여 결빙을 예측할 수 있다. [그림 3]은 이슬점의 온도가 0°C이하이고, 도로의 표면온도가 이슬점보다 낮을 때 결빙될 수 있다는 것을 보여준다.

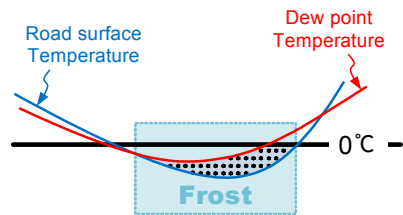


그림 3. 이슬점과 노면온도에 따른 결빙의 조건.

III. 시스템의 설계 및 구현

1. 하드웨어 설계 및 구현

교량구간의 도로에 설치하여 대기 온도 및 습도, 노면온도를 측정 및 수집하는 역할을 하는 센서노드의 구현을 위하여 [그림 4]와 같이 하드웨어를 설계하였다. 대기 온습도 측정을 위한 온습도센서는 Sensirion 社의 SHT11, 기압센서는 Freescale 社의 MPXH6115A6U를 사용하였다. 도로면의 온도측정 위해 Maxim 社의 DS18S20 온도센서를 사용하였다. 센서노드의 제어와 무선주파수 데이터 전송을 위해 Radiopulse 社의 MG2455-F48 칩을 사용하였다. MG2455-F48은 8051 마이크로프로세서를 내장하고 Zigbee 무선 송수신을 위한 트랜시버(transceiver)를 내장하고 있다.

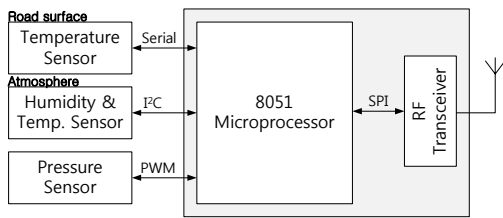


그림 4. 센서노드의 블록도

마이크로프로세서와 각각의 센서들은 I2C, 시리얼 및 PWM 방식으로 통신한다. 마이크로프로세서 내부에서 각 센서들의 샘플링 주기를 제어하여 필요할 때에만 센서가 동작하도록 하였다. 일반적으로 센서 네트워크의 센서노드의 전력원은 배터리 및 태양전지 등이 사용되므로 불필요한 동작을 하지 않도록 설계 하였다.

게이트웨이는 Zigbee 무선 통신을 이용하여 센서노드와 데이터를 송수신하고 종합 관제 시스템과 연결을 위해 무선 통신과 유선 통신을 연결해주는 중계기이다. 게이트웨이의 컨트롤러는 센서노드와 같은 MG2455-F48 칩을 이용하였다. 게이트웨이는 관제센터로부터의 명령을 센서노드에 전달하고, 센서노드로부터 데이터를 수신하여 관제센터로 전송한다.

센서노드와 게이트웨이의 하드웨어를 구현한 결과를 그림 5에 나타내었다. 게이트웨이는 센서노드와의 데이터 통신을 수행하여 기상정보를 수집하고, 정보를

RS232 포트를 통해 LAN 등을 이용하여 관제 시스템에 전송한다. 센서노드와 게이트웨이는 다이폴 외장 안테나를 도입하여 데이터의 수신 에러를 최소화 할 수 있도록 하였다. 오픈필드에서는 실제 무선 Zigbee 통신이 가능한 거리는 약 300m로 측정되었다. 차량이 지나갈 때는 300m는 손실되는 경우가 발생하여 50m단위로 게이트웨이를 배치하였다.

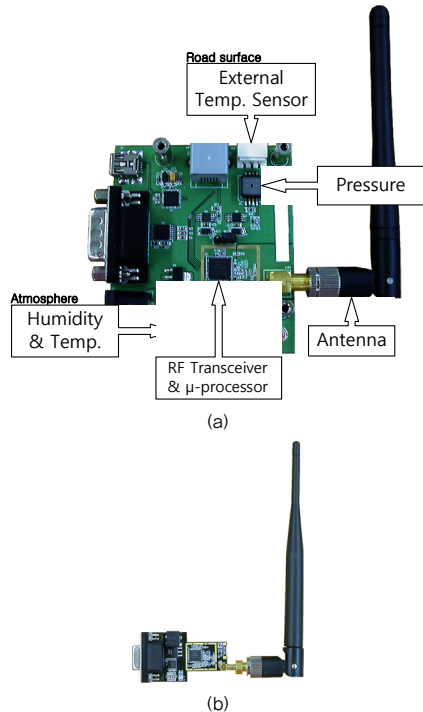


그림 5. 구현된 센서노드의 하드웨어:(a) 센서노드; (b) 게이트웨이

2. 소프트웨어 설계 및 구현

센서노드로부터 측정된 교량 노면의 온도 및 습도 데이터는 게이트웨이를 통하여 관제센터로 전송된다. 수집한 데이터를 이용하여 교량 노면의 결빙을 예측하고 경고하기 위한 관제센터의 관리자 소프트웨어 인터페이스가 요구된다.

관제센터의 관리자에 의한 관제가 용이하도록 소프트웨어 인터페이스를 설계 및 구현하였다. 관제센터에 수집된 교량 노면의 데이터는 결빙 예측 알고리즘을 이용하여 노면의 결빙 여부를 판단한다. 관리자 인터페이스

스를 통하여 관리자에게 노면의 상태와 결빙 여부를 보여준다.

관제센터의 관리자 인터페이스 구현을 위한 시스템의 순서도를 [그림 6]에 나타내었다. 센서노드에서 측정된 데이터가 게이트웨이를 통해 관제센터에 전송되고 결빙 예측을 통한 교량 노면의 결빙 여부를 운전자에게 알리는 과정을 나타내었다. 관제센터에서 관리자에게 교량 노면의 정보를 제공하고 결빙 예측이 가능한 소프트웨어 인터페이스를 구현한 결과를 [그림 7]에 나타내었다. 관제센터의 관리자는 인터페이스를 통하여 교량 구간의 대기온도, 노면온도, 이슬점 등의 정보를 관찰할 수 있다. 교량구간에 전광판 등을 설치하여 교량 노면의 결빙 여부를 운전자에게 경고하기에 용이하도록 한 화면에 관련된 정보를 나타내어 준다.

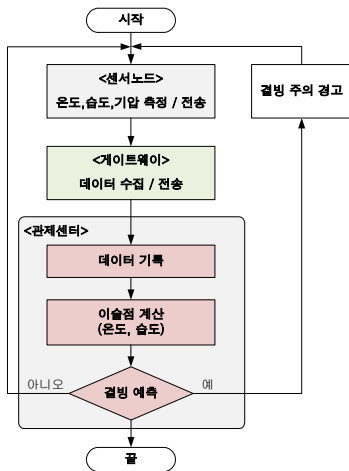


그림 6. 교량 노면 결빙예측 시스템 순서도

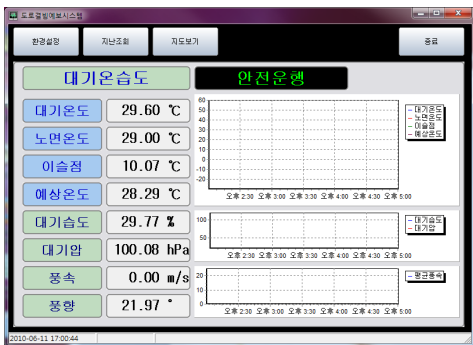


그림 7. 구현된 관제센터의 관리자 인터페이스.

IV. 실험 결과 및 분석

교량 노면의 감지 및 결빙 예측을 위해 구현된 센서 노드와 게이트웨이를 실제 교량에 설치하여 데이터를 수집하였다. 장소는 충청북도 청원군 문의면 덕유리 문 의교, 기간은 2009년 12월 15일부터 2010년 1월 13일 까지 30일 동안 측정하였다. 측정간격은 30분에 한번 간격으로 측정하였습니다.

센서노드로부터 전송받은 대기온도 및 습도와 노면 온도를 이용하여 이슬점을 계산하고 노면온도와 비교하여 교량 노면의 결빙을 예측하였다.

센서노드에서 측정된 대기온도 및 습도로부터 계산된 이슬점과 노면의 온도 비교를 [그림 8]에 나타내었다. 실험은 2010년 1월 7일의 시간대별 이슬점과 노면 온도 측정값이다. 대기온도 및 습도로 계산된 이슬점보다 노면 온도가 낮고, 노면온도가 0°C이하일 때 결빙이 발생한다고 예측하였다.

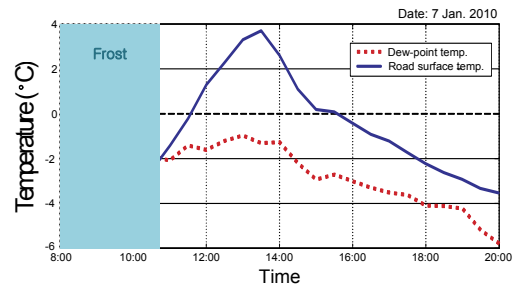


그림 8. 교량구간의 노면 온도와 이슬점 비교.

결빙예측과 실제 확인을 통한 결빙 시점은 약간의 오차를 두고 나타났다. 결빙예측을 통해 추출된 시간 구간과 직접 확인 시의 결빙은 예측이 되는 시점보다 평균적으로 30분 늦게 결빙이 시작되었다. 교량 구간을 통과하는 운전자에게 약 30분 이전에 경고하는 것이 결빙 노면에 의한 교통사고를 방지하는데 효과적이다.

동절기의 교량 노면의 온도는 평균적으로 영하에 머물 가능성이 높다. 그 결과를 [그림 9]에 나타내었다. 결과에서 나타내고 있는 것처럼 동절기에 교량 노면의 온도가 영하로 내려갈 확률이 높았다.

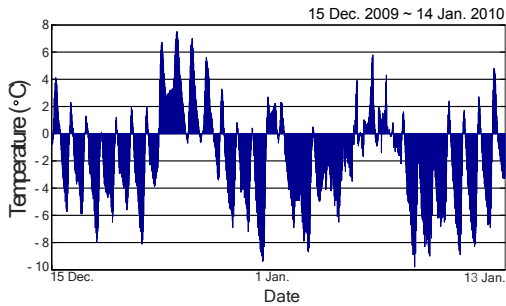


그림 9. 동절기 1개월의 교량 노면온도의 변화.

동절기의 강설 및 강우로 인해 결빙이 발생하게 된다. 교량 노면의 온도가 영하로 유지되면 결빙에 발생할 가능성이 있다. 교량 노면의 온도가 영하로 떨어지면 운전자에게 경고하여 사고를 예방하는 효과를 얻을 수 있다.

제안된 교량 노면 결빙 예측 및 감지 시스템은 교량 구간의 대기온도 및 습도와 노면 온도를 통하여 예측된다. 특히 고속도로의 교량구간의 경우 약간의 결빙으로도 큰 사고로 이어질 수 있기 때문에 이와 같은 시스템은 필요성이 증대된다.

V. 결론

교량 노면의 결빙을 효과적으로 예측, 감지하고 이를 경고 함으로써 교통사고를 예방하기 위한 시스템을 제시하였다. 이 시스템은 USN 기술을 활용하여 설치된 센서노드로부터 온도, 습도, 풍속 등을 실시간으로 측정하여 중앙 관제 시스템으로 전송한다. 교량 노면의 결빙예측을 위한 센서 노드의 하드웨어 및 관제센터의 소프트웨어 인터페이스를 구현하였다. 센서 노드의 하드웨어는 마이크로프로세서, 온도 및 습도 센서, 그리고 Zigbee 무선 통신으로 구성되었다. 관제센터의 관리자 인터페이스는 수집된 데이터를 표시하여 노면 상태를 감시할 수 있게 한다. 알고리즘을 통해 축적된 데이터를 이용하여 노면의 상태를 판단하고 결빙 가능성 및 시간대를 예측할 수 있다. 구현된 시스템을 통한 결빙 예측과 실제 확인을 통한 결빙 시점은 평균 30분 이전에 경고가 가능했다. 교량 구간의 결빙 예측 및 감지 시

스템은 도로의 결빙을 예측하여 운전자에게 미리 알려 주어 결빙에 대한 사고를 방지할 수 있다.

참고 문헌

- [1] 김영록, 정준화, 이충규, 김철용, "결빙도로 안전 관리 시스템 개발", 대한토목학회 정기학술대회, pp.4721-4724, 2005.
- [2] 김남진, 홍주현, 이태수, "지그비 기반 심전계의 데이터전송률과 소비전력 분석", 한국콘텐츠학회 논문지 '06, Vol.6, No.12, 2006.
- [3] 정종승, "산악 및 다설 지역의 도로, 터널, 교량 및 공항 등에 대한 노면결빙 감지 및 방지 시스템", 특허청 등록번호 10-0425995, 2004.
- [4] 송일영, 윤주홍, 김두용, 김용훈, 신 블라디미르, "라디오미터를 이용한 도로면 감지", 한국정보기술학회 하계학술대회 논문집, pp.315-319, 2009.
- [5] http://irtfweb.ifa.hawaii.edu/~tcs3/tcs3/Misc/Dewpoint_Calculation_Humidity_Sensor_E.pdf
- [6] D. Sonntag, "Important new values of the physical constants of 1986, vapour pressure formulations based on the ITS-90, and psychrometer formulae," Z. Meteorol, Vol.40, No.5, pp.340-344, 1990.

저자 소개

신 건 훈(Geon-Hun Sin)

정회원



- 2008년 2월 : 충북대학교 전자정보대학 정보통신공학(공학사)
- 2008년 3월 ~ 현재 : 충북대학교 전자정보대학 정보통신공학과 석사과정
- 2007년 11월 ~ 2011년 4월 :

(주)임베디드솔루션 연구원

<관심분야> : 무선 네트워크, 지그비

송 영 준(Young-Jun Song)

중신회원



- 1991년 2월 : 충북대학교 정보통신공학과(공학사)
 - 1994년 8월 : 충북대학교 정보통신공학과(공학석사)
 - 2004년 8월 : 충북대학교 정보통신공학과(공학박사)
 - 2006년 ~ 현재 : 충북대학교 충북BIT연구중심대학육성사업단 초빙부교수
- <관심분야> : 영상처리, 영상인식, 생체인식, USN

유 영 갑(Young-Gap You)

정회원



- 1975년 8월 : 서강대학교 전자공학과(공학사)
 - 1975년 ~ 1979년 : 국방과학연구소 연구원
 - 1981년 8월 : Univ. of Michigan, Ann Arbor 전기전산학과(공학석사)
 - 1986년 4월 : Univ. of Michigan, Ann Arbor 전기전산학과(공학 박사)
 - 1986년 ~ 1988년 : 금성반도체(주) 책임 연구원
 - 1993년 ~ 1994년 : 아리조나 대학교 객원 교수
 - 2000년 ~ 2001년 : 오레곤 주립대학교 교환교수
 - 2007년 ~ 2008년 : 일리노이 주립대 객원 연구원
 - 1988년 ~ 현재 : 충북대학교 정보통신공학과 교수
 - 2010년 ~ 현재 : 충북대학교 전자정보대학장
- <관심분야> : VLSI 설계 및 Test, 고속 인체회로 설계, Cryptography