

http://dx.doi.org/10.7236/JIIBC.2013.13.3.25

JIIBC 2013-3-4

3-Piezo 센서 기반 교통량 조사시스템의 차종분류방식에 대한 연구

A Study on Efficient Vehicle Classification based on 3-Piezo Sensor AVC SYSTEM

조성윤*, 이동규**, 류승기***

Sung-Yun Cho, Dong-Gyu Lee, Seung-ki Ruy

요약 국도 및 고속도로에 기 설치된 AVC System은 두 개의 Piezo Sensor를 평행 하게 설치하여 차량의 축수,축간거리, Front hang 등의 정보를 취득한다. 이러한 시스템은 두 개의 Piezo 신호만을 분석하여 사용하기 때문에 차량의 편향 주행등과 같은 주행패턴이나 센서 이상 등에 능동적으로 대처하기 힘들다. 차종의 분류성능 개선을 위해 제 3의 센서인 사선 센서를 도입하여 3-sensor AVC 구동 알고리즘을 제시하였다. 본 알고리즘은 차량의 유거 및 운폭정보를 기존의 정보 스키마에 추가함으로써 취득된 차종분류 정보 오분류를 획기적으로 줄일 수 있었다. 또한 이러한 이론적 알고리즘을 현장에 적용하여 실질적인 개선 효과가 있음을 증명할 수 있었다

Abstract The AVC System which has operated in Highways has two-piezo sensors. In this system the piezo sensors are installed on parally each other this configuration has a defect about diversion driving and sensor damage. In this reserch, 3-Sensor AVC algorithm has been proposed which is supported enhance accuracy of the vehicle classification rate compare with usual 2-Sensor systems. This algorithm is allowed to calculate wheel tread, wheel width. The third inclined piezo sensor can detec twheel tread, wheel width using signal processing. 3-Sensor AVC has been installed in real highway and the outcome performance has been proof.

Key Words : Vehicle classification, Inclined sensor, Piezo sensor, Wandering, wheel track, wheel width.

1. 서 론

현재 국내의 교통상황은 날로 급증하는 교통수요와 이를 수용하지 못하는 도로상황으로 인해 매우 열악한 상태에 처해 있다. 이를 개선하기 위해서 기존 도로의 효율적인 운영관리 및 신설도로의 계획, 설계, 운영 등에 있어 매우 중요한 기초자료인 교통자료(교통량, 속도, 차

종 등)를 정확하고 안정적으로 수집할 필요성이 있다. 이에 따라 국토해양부는 교통체계를 지능화하여 교통운영의 효율성을 확보하고 교통안전 및 환경개선을 꾀하고자 지능형 교통시스템 (Intelligent Transport Systems: ITS)을 도입하여 전국의 고속도로와 일반국도를 대상으로 교통량, 속도, 점유율 등의 자료를 수집하는 차량 검지기를 설치하고, 각 지방국토관리청별로 교통정보센터를 구축

*정회원, 안양대학교 디지털미디어공학과

**정회원, 한북대학교 컴퓨터정보학과 (주저자)

***정회원, 건설기술연구원

접수일자 : 2013년 5월 2일, 수정완료 : 2013년 6월 7일

게재확정일자 : 2013년 6월 14일

Received: 2 May 2013 / Revised: 7 June 2013 /

Accepted: 14 June 2013

*Corresponding Author: scho@anyang.ac.kr

Dept. of Digital Media, Anyang University, Korea

하여 전국 단위의 실시간 교통정보를 제공하고 있다.

ITS용 차량 검지기 및 도로교통량 조사용 차종분류 장치(Automatic Vehicle Classification: AVC)는 도로상에 매설형 또는 비매설형으로 설치하여 통과차량의 교통량, 속도, 점유율, 차량길이 등의 자료를 실시간으로 수집해 교통관제센터에 전송하고, 이러한 교통관제센터에서는 이 전송된 교통자료를 바탕으로 도로에 설치된 교통안내 전광판에 구간별 교통량을 실시간으로 안내해주고, 각종 인터넷상에서도 시간대별 교통상황을 알려주고 있다. 주지한 바와 같이 ITS에서 실시간 교통정보를 제공해주기 위해서는 다양한 차량정보가 필요하며, 그 중 하나가 차종분류 정보이다.

차종의 분류는 도로면에 매설된 센서의 신호로부터 차량의 축거, 차량의 전체길이, 오버행 등의 정보를 기준으로 분류한다. 한국도로공사에서 사용하고 있는 12종의 분류방식에서 이 같은 방식을 적용할 수 있으나 1종과 3종의 경우 축거가 비슷한 차종이 많고 3종의 경우 차량의 길이는 길지만 차체의 높이가 높아 루프센서에서 측정된 차량의 길이가 짧게 나타나는 경우가 많다. 이러한 문제로 인해 유사한 제원을 가진 차종을 분류하기가 어려워 차종분류 에러가 발생하게 된다.

이를 해결하기 위해 차량의 추가적인 정보를 취득하고 이를 차종분류에 사용할 수 있으므로 오분류를 줄일 수 있을 것이다. 3종 차량의 경우 1톤 내외의 소형화물차이고 대부분 후륜이 복륜으로 되어있으므로 후륜의 단륜과 복륜을 구분함으로써 정확한 차종을 구분할 수 있게 된다. 이를 위해 본 논문에서는 사선형 피에조센서를 추가하여 이 신호로부터 복륜의 구분과 다양한 차량의 제원을 추정할 수 있는 방법을 제시한다.

II. 차종분류기법

국토해양부에서 제시하고 있는 차종 분류 방법에 따르면 차량을 축수와 차량의 형태, 차량의 단위 등에 따라 12종으로 분류하고 있다^[1]. 차종의 자동분류를 위한 AVC에서는 일반적으로 2개의 피에조센서와 1개의 루프센서를 사용하고 있다.

여기서 D_{loop} 는 노면에 설치된 루프의 길이를 나타내고 D_{fgap} 는 전방 피에조와 루프센서 사이의 거리, D_{rgap} 는 루프센서와 후방 피에조 사이에 거리를 나타낸다.

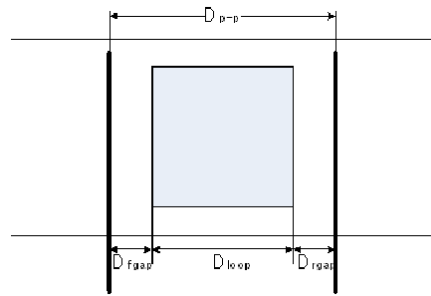


그림 1. AVC 센서배치
Fig. 1. Placement of AVC sensor

피에조센서는 노면에 설치된 차량의 압력을 전기적인 신호로 변환하여 가해지는 압력의 크기에 비례하여 전기적 신호를 발생시킨다. 루프센서는 비접촉식 자기센서로 차량의 통과로 인해 발생하는 자장의 변화를 측정한다. 차량이 센서부위를 통과하면 일정한 간격으로 설치된 두 피에조의 신호검출시간을 측정하여 차량의 속도를 계산한다.

$$V = \frac{D_{p-p}}{(t_{rp} - t_{fp})} \quad (1)$$

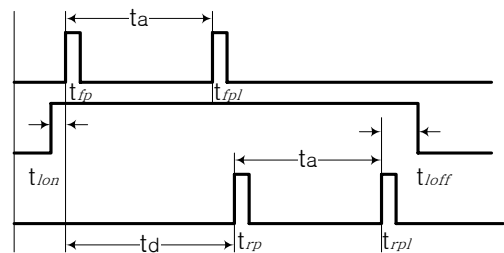


그림 2. 센서의 출력신호
Fig. 2. Output signal of the sensor

계산된 속도를 바탕으로 검출된 전륜과 후륜의 피에조 신호로부터 축거(Wheelbase) D_{wb} 를 계산한다.

$$D_{wb} = Vt_a = V(t_{fpl} - t_{fp}) = V(t_{rpl} - t_{rp}) \quad (2)$$

루프신호는 차량의 전면부가 루프센서 위로 진입할 때 신호가 발생하고 차량의 후면부가 루프센서의 끝부분을 통과한 후 사라지게 된다. 차량의 전륜에 의해 피에조 센서의 신호가 나오는 시점과 루프의 신호가 나오

는 시점의 차이로 부터 차량의 전면부에서 전륜까지의 거리를 나타내는 프론트오버행 D_{foh} 을 구할 수 있고 후방 피에조의 마지막 신호의 검출 시간과 루프의 신호가 사라지는 시간의 차이로 부터 리어오버행 D_{roh} 을 구할 수 있다.

마찬가지로 차량의 길이 D_{vl} 은 다음과 같이 구한다.

$$D_{foh} = V \cdot (t_{fp} - t_{lon}) + D_{fgap} \quad (3)$$

$$D_{roh} = V \cdot (t_{loff} - t_{rpl}) + D_{rgap} \quad (4)$$

$$D_{vl} = V \cdot (t_{loff} - t_{lon}) - D_{loop} \quad (5)$$

차종을 분류하기 위해 구해진 축수, 축거, 프론트오버행, 리어오버행, 차량길이 등의 정보를 각 종별 차량의 제원과 비교하여 해당차종을 분류한다.

III. 사선 피에조 센서의 신호

축수와 축거, 오버행, 차량길이 등의 정보를 이용해 차종을 분류할 경우 대부분의 차종을 분류할 수 있으나 1종과 3종 차량의 경우 축거가 같은 차종이 존재하고 오버행이나 차량길이의 경우 루프센서의 신호를 통해 계산하고 있지만 차체의 높이와 범퍼의 구조에 따라 계산된 길이의 편차가 발생하게 된다^[2]. 이를 위해 추가적인 차량의 정보가 필요하며 1종과 3종의 경우 후륜이 단륜인지 복륜인지가 중요한 구분요소로 사용할 수 있다. 이를 위해 기존의 센서배치에 추가적으로 사선피에조 센서를 추가하여 후륜의 복륜여부, 윤거(tread), 윤폭(track tread) 등의 정보를 수집할 수 있다. 사선피에조의 센서 배치는 다음과 같다.

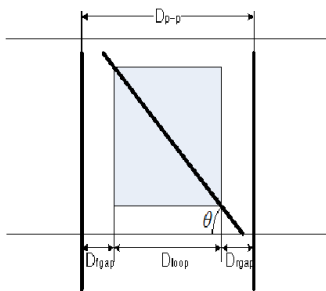


그림 3. 추가된 사선피에조의 배치
Fig. 3. Added diagonal placement of the piezo

사선피에조의 배치 각도 θ 는 작을수록 피에조센서를 밟는 시간이 길어져 단륜과 복륜에 따른 차이가 커지지만 다축 차량의 경우 이어지는 바퀴가 사선피에조를 동시에 밟는 경우가 발생할 수 있으므로 30도에서 60도 범위에서 설치하는 것이 좋다^[3].

이 경우 차량의 통과로 인해 발생하는 각 센서의 신호는 다음과 같이 나타나게 된다.

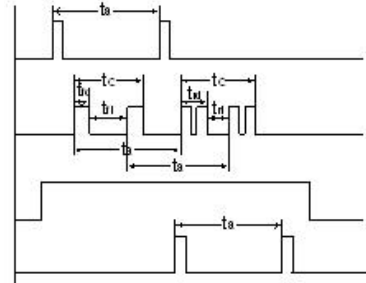


그림 4. 검지된 신호
Fig. 4. Signal detection

IV. 차량정보의 수집

검출된 각 센서의 신호로부터 차량의 제원을 계산하기 위해서 기존의 2피에조 1루프 신호로부터 차량의 속도, 축수, 축거, 오버행등을 계산한다. 이와 같은 정보 중 일부는 사선피에조의 신호로부터 구할 수 있으나 직선형으로 배치된 피에조를 사용할 경우 정확한 결과를 얻을 수 있고 오버행의 경우 차량의 좌우측 쓸림주행에 의해 사선피에조에 신호가 검출되는 시점이 다르므로 오차가 발생할 가능성이 있으므로 사선피에조의 신호는 추가적인 차량정보를 얻는 목적으로 사용한다^[4]. 사선피에조의 신호에서 윤거를 구하기 위해 전륜에 해당하는 두신호로부터 on/off 시간을 구하고 이 시간의 간격을 길이로 환산한다. 사선피에조는 바퀴의 바깥쪽이 피에조를 지나갈 때 감지되기 시작하고 바퀴의 안쪽이 지나갈 때 신호가 사라지게 된다. 속도와 이 시간간격으로부터 진행방향의 길이를 계산하고 θ 만큼 기울어져 있으므로 진행방향의 수직 방향 길이로 환산한다. 또한 윤거는 바퀴의 중앙사이의 거리이므로 다음과 같이 구한다^[5].

$$\text{전륜 } D_{ftread} = V(t_{fi} + t_{fd})\tan\theta \quad (6)$$

$$\text{후륜 } D_{rtread} = V(t_{ri} + t_{rd})\tan\theta \quad (7)$$

D_{ftread} 나 D_{rtread} 는 바퀴의 접지면의 양에 따라 달라질 수 있으므로 이러한 오차를 줄이기위해 전륜과 후륜사이에 윤폭비를 구함으로써 오차를 상쇄시킬 수 있게 되고 복륜여부를 구할 수 있다^[6].

$$D_{ratio} = \frac{D_{rtread} + \Delta_r}{D_{ftread} + \Delta_f} = \frac{V t_{rd} \tan \theta}{V t_{fd} \tan \theta} = \frac{t_{rd}}{t_{fd}} \quad (8)$$

여기서 Δ 는 각 바퀴와 노면사이의 접지길이를 나타낸다. D_{ratio} 는 복륜의 경우 1보다 큰 값으로 나타나게 되므로 1이상의 임계치를 정해서 임계치 이상일 경우 복륜으로 판단할 수 있다. 윤거와 윤폭비를 차량의 제원과 비교함으로써 기존의 차량정보로 구분할 수 없는 유사 차종을 구분할 수 있게 된다.

V. 실험결과

효율적 차종 분류를 위한 사선 피에조센서를 추가한 AVC 시스템을 그림과 같이 실제 도로에 적용하였다. 적용된 센서의 구성은 그림과 같이 구성하였으며 센서 부의 길이 및 각도는 다음과 같다.

현장에 직접 설치된 시스템으로 부터 얻은 사선 센서의 신호파형은 다음과 같다. 신호의 크기가 2-sensor 시스템보다 적은 이유는 진입 및 진출 센서는 좌우 차축이 동시에 센서에 충격을 가하므로 신호의 크기가 3-sensor의 크기보다 두배 가까이 크게 잡히게 된다^[7].



그림 5. 3-Sensor 설치 현장
Fig. 5. 3-Sensor setting places

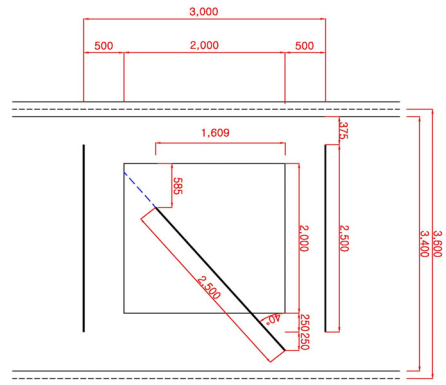


그림 6. 센서 배치도
Fig. 6. Sensor placement

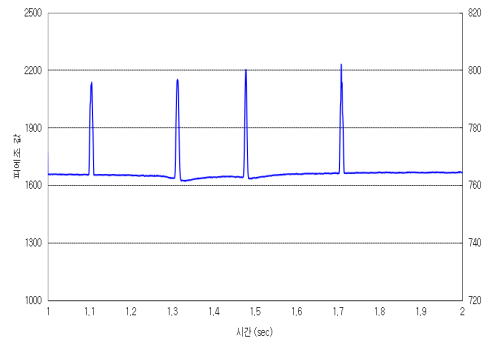


그림 7. 3-Sensor 1종 파형
Fig. 7. 3-Sensor 1 kind Full Waveform

표 1. 전체차종 분류정확도
Table 1. All models classification accuracy

노선 및 이정	방향	전체차종 분류정확도(%)		
		3-Sensor	2-Sensor	정확도차이
영동선 (신갈마성) 44K	강릉	98.5	94.8	3.7
	인천	99.1	95.8	3.3
영동선 (마성용인) 51.25K	강릉1차	98.4	93.2	5.1
	강릉2차	97.1	92.5	4.6
	강릉3차	98.5	94.0	4.5
	인천	99.2	94.3	4.9
외곽선 (하남상일) 21.17K	상일1차	98.3	91.8	6.5
	상일2차	99.2	93.3	5.9
	판교1차	88.3	78.4	9.9
	판교2차	99.1	93.2	6.0

표 2. 1종차량 분류정확도

Table 2. Vehicle classification accuracy of 1 kind

노선 및 이정	방향	1종차량 분류정확도(%)		
		3-Sensor	2-Sensor	정확도 차이
영동선 (신갈마성) 44K	강릉	98.0	97.0	1.0
	인천	99.2	97.0	2.3
영동선 (마성용인) 51.25K	강릉1차	98.4	95.7	2.7
	강릉2차	99.7	96.7	3.0
	강릉3차	98.5	96.9	1.5
	인천	100.0	98.0	2.0
외곽선 (하남상일) 21.17K	상일1차	99.8	97.3	2.6
	상일2차	99.8	97.3	2.5
	판교1차	98.9	92.1	6.8
	판교2차	99.5	98.2	1.3

표 3. 3종 차량 분류정확도

Table 3. Vehicle classification accuracy of 3 kind

노선 및 이정	방향	3종차량 분류정확도(%)		
		3-Sensor	2-Sensor	정확도 차이
영동선 (신갈마성) 44K	강릉	98.6	74.3	24.3
	인천	98.9	84.8	14.1
영동선 (마성용인) 51.25K	강릉1차	100.0	75.0	25.0
	강릉2차	98.6	75.7	23.0
	강릉3차	96.7	63.3	33.3
	인천	98.4	75.0	23.4
외곽선 (하남상일) 21.17K	상일1차	99.3	69.6	29.6
	상일2차	99.0	69.3	29.7
	판교1차	99.0	64.3	34.7
	판교2차	99.1	61.5	37.6

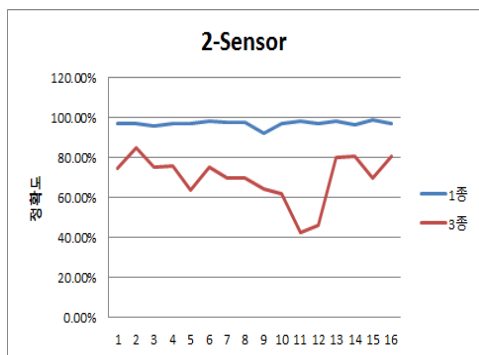


그림 8. 2-Sensor
Fig. 8. 3-Sensor

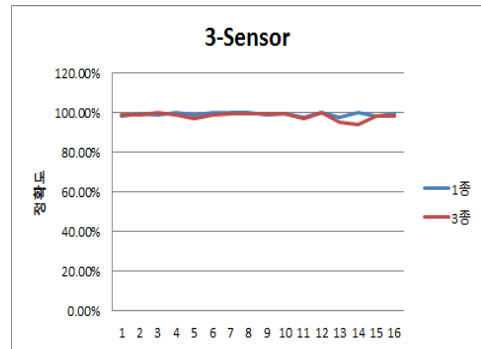


그림 9. 3-Sensor
Fig. 9. 2-Sensor

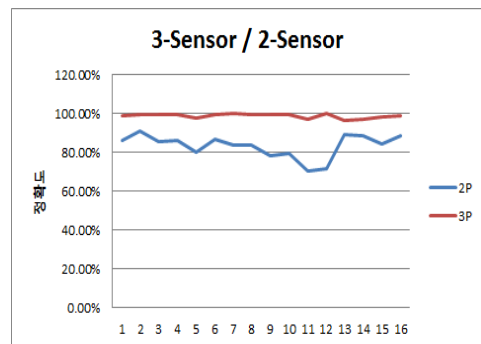


그림 10. 3-Sensor / 2-Sensor
Fig. 10. 3-Sensor / 2-Sensor

이렇게 설치된 현장 시스템으로부터 전체 차종 및 1종(일반 승용차) 그리고 3종(1톤 화물)에 대한 차종분류 정확도 향상의 결과를 표1, 표2, 표3 와 같이 정리하였다. 이러한 실험결과는 현재 운용되고 있는 도로에서 실제 차량을 대상으로 직접 취득한 정보를 바탕으로 작성되었다. 도표 및 그래프에 나타난 결과로 전체 차종은 평균 4.9%, 1종 2.3% 그리고 3종은 각각 22.7%의 정확도 향상의 결과를 얻을 수 있었다.

VI. 결 론

국가기반 도로교통 시스템을 위해서 차량 검지기 및 차종분류장치 (Automatic Vehicle Classification: AVC) 는 어떠한 여건 하에서도 극한의 견고성과 취득정보의 정확성을 담보할 수 있어야 한다. 이러한 시스템을 통하여 전국 주요 고속도로 및 국도에 대한 통과차량의 교통량, 속도, 점유율, 차량길이 등의 자료를 취합하여 통과차량

들에 대한 차종구분 및 교통정보를 가공하여 실시간으로 교통관제센터에 전송함으로써 국가 기반시설관리의 중요 지표로 삼을 수 있다. 그동안 이러한 시스템들은 전적으로 수입품에 의존해 왔으나 본 연구진의 연구결과로 향상된 정확도 및 신뢰도를 시스템을 국내 시장에 공급할 수 있었다. 기존의 2-sensor시스템이 갖는 문제점과 한계를 3-sensor 시스템을 통하여 극복할 수 있었다.

일반적으로 기존의 AVC 시스템은 차종의 분류를 위해 2개의 피에조 센서를 평행하게 도로면에 매설하여 루프 신호와 피에조 센서의 조합 통하여 차량의 축거, 차량의 전체길이, 오버행등의 정보를 기준으로 분류한다. 국가가 지정한 12종의 분류방식에서 이 같은 방식을 적용할 수 있으나 1종과 3종의 경우 축거가 비슷한 차종이 많고 3종의 경우 차량의 길이는 길지만 차체의 높이가 높아 루프센서에서 측정된 차량의 길이가 짧게 나타남으로써 1, 3종간의 오인식이 시스템 성능을 저하시키는 결과를 초래해 왔다. 이에 본 연구를 통하여 이를 해결하기 위한 새로운 차종분류 알고리즘을 제시하였으며, 차량의 추가적인 정보인 윤거 및 윤폭을 추가함으로써 취득된 정보의 오분류를 줄일 수 있었다. 또한 이러한 이론적 알고리즘을 현장에 적용하여 실질적인 개선 효과가 있음을 증명할 수 있었다.

References

- [1] Ministry of Land, Infrastructure and Transport, "Research vehicle traffic classification guide", 2008.
- [2] Junhyeong Park·Taejin Kim·Chul Oh, "Evaluation of Technical Feasibility for Vehicle Classification Using Inductive Loop Detectors on Freeways" KOREA ITS journal , Vol. 8, No. 1, pp.9-21, 2009.
- [3] Jusam Oh·Gyeongchan Jang·Minsung Kim·Jinhwan Jang, "Determining the Appropriate Installation Angle of Skewed Sensor to Measure" Korea Society Road Engineers journal, Vol. 10, No 3, pp.79 -86, 2008.
- [4] Sunmin Gwon, Youngchan Seo, "New Vehicle Classification Algorithm with Wandering Sensor", Korea Society of Transportation journal Vol. 27 No. 6, pp.79-87, 2009. 12.
- [5] Hyoungsoo Kim, Jusam Oh, "Developing a method to estimate vehicle speeds in a low-cost vehicle detector with an inclined sensor," Korea Society Road Engineers journal, Vol. 11, No. 1, pp. 59-67, 2009. 3.
- [6] Coifman B., Dhoorjaty S., and Lee Z., " Estimating median velocity instead of mean velocity at single loop detectors", Transportation Research Part C, Vol. 11, pp. 211-222, 2003.
- [7] Ki Y. and Baik D., "Vehicle-classification algorithm for single-loop detectors using Neural Networks", IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 55, No. 6, IEEE, pp. 1704-1711, 2006.
- [8] Junho Shin, Byunghun Song "Development of Slope Monitoring System using VW Piezo-meter and Inclinometer" J. of Korean Institute of Information Technology, Vol.10, No.3 2012.3, page(s): 37-45
- [9] Beom-Joon Lee, Heng Yang, Ik-Sang Kim "Implementation of Handy Equipment for Measuring Pressure Distribution with FSR(Force Sensitive Resistors) Sensor" J. of Korean Institute of Information Technology, Vol.8, No.11 2010.11, page(s): 45-53
- [10] Jae-Ung Cho, Byoung-Sang Min and Key-Sun Kim "Study of Safety on Damage of Automotive Door at Impact" Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 11, No. 12 pp. 4677-4684, 2010
- [11] Joong Kien Lee, Jae Hwan Kim, Ley-Sun Kim and Hyuong Sik Lee "Transmitted Noise Reduction Performance of Piezoelectric Single Panel through Piezo-damping" Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol.2, No.2, pp.49-56, 2001

저자 소개

조 성 윤(정회원)



- 1987년 : 한양대학교 (공학사)
 - 1989년 : 한양대학교 (공학석사)
 - 1998년 : Univ. of Wales Cardiff (공학 박사)
 - 2001년 ~ 현재 : 안양대학교 디지털 미디어 공학과 교수
- <관심분야 : ITS, 신호처리>

이 동 규(정회원)



- 1991년 : 한양대학교 (공학사)
 - 1993년 : 한양대학교 (공학석사)
 - 2003년 : 한양대학교 (공학박사)
 - 2003년 ~ 현재 : 한북대학교 컴퓨터 정보학과 교수
- <관심분야 : 멀티미디어, 영상처리, ITS>

류 승 기(정회원)



- 1990년 : 충북대학교 (공학사)
 - 1992년 : 충북대학교 (공학석사)
 - 1999년 : 충북대학교 (공학박사)
 - 1994년 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 연구위원
- <관심분야 : ITS, u-GIS, u-City, 영상 인식, 건설 IT융합>