

효율적인 복약 관리를 위한 스마트 약상자의 개발과 약물순응도의 향상

김범준*

Development of a smart pillbox and improvement of the medication adherence for the efficient management of medicine administration

Beom-Joon Kim*

요 약

우리나라가 점차 고령화 사회로 진입할 것으로 예상됨에 따라서 장기적인 투약대상자 역시 증가할 것으로 예상되고 있다. 특히 결핵의 경우 우리나라가 OECD 가입 국가 중 사망률에서 1위를 차지하고 있으며 이로 인한 사회적 비용 역시 매우 높은 형편이다. 이런 문제점을 해결하기 위해서는 환자에 대한 철저한 복약관리가 필요하지만 직접 복약관리 방식은 비용 등의 현실적인 어려움이 있는 것이 사실이다. 이러한 어려움을 해결하기 위한 방안으로서 IT기술 기반의 효율적인 복약관리를 구현하기 위해서 본 논문에서는 스마트 약상자를 개발하였고 실제 환자들을 대상으로 한 실험을 통해서 스마트 약상자가 복약 관리에 효과가 있음을 확인할 수 있었다.

ABSTRACT

As Korea is expected to enter an aging society in near future, the number of patients who need a long-term prescription is expected to increase as well. In particular, Korea shows the highest in both the incident rate and the death rate among OECD member nations. The current situation requires more strict monitoring and management for patients' taking medicine, there are a few practical problems such as personnel expenses. In order to realize the efficient management of medicine administration, this paper proposes a smart pillbox that is developed based on IT technologies. Through the experiments in which actual patients participate, it is proved that the smart pillbox is beneficial to the patients taking medicine.

키워드

Directly Observed Treatment(DOT), Smart Pillbox, Medicine-taking, Medication adherence
직접복약관리, 스마트 약상자, 복약, 약물순응도

1. 서 론

현재 우리나라는 OECD 국가 중 결핵환자 발생률과 사망률에서 1위이며 2004년도 이후부터 계속적인

증가추세를 보이고 있다[1]. 매년 결핵 치료로 투입되는 국가 예산 8,200억원에 이르고 있고 결핵환자의 45%가 20-40대로 후진국형 결핵 추이와는 다르고 손실되는 사회적 비용 또한 매우 높다. 이와 같은 결핵

* 교신저자(corresponding author) : 계명대학교 전자공학과(bkim@kmu.ac.kr)
접수일자 : 2013. 07. 01

심사(수정)일자 : 2013. 08. 23

게재확정일자 : 2013. 09. 23

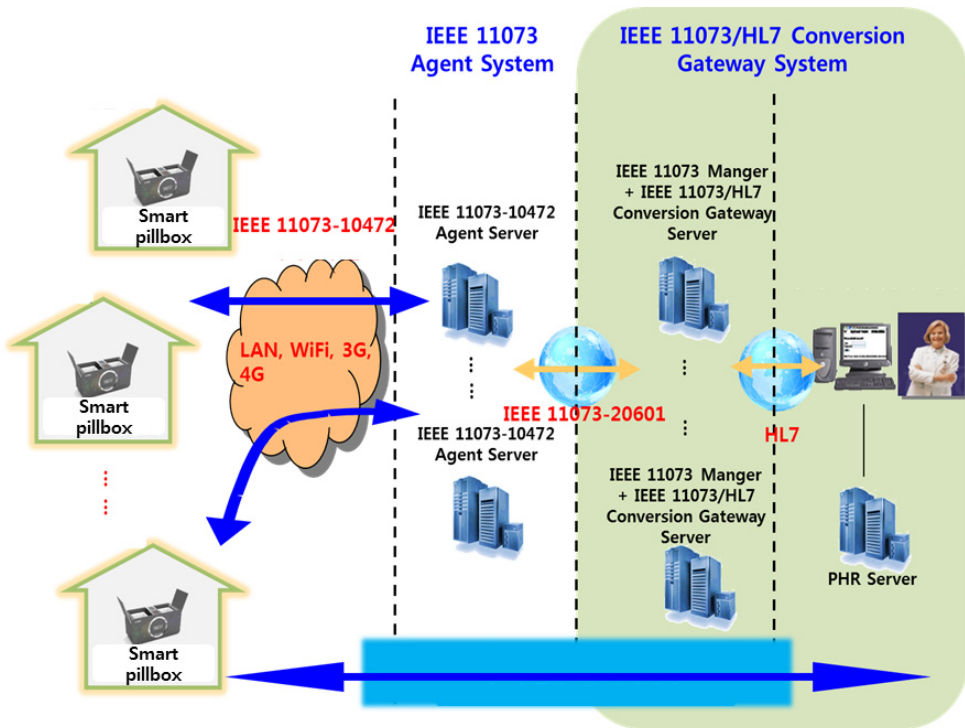


그림 1. 스마트 약상자를 이용한 제안하는 디지털 복약 관리 시스템의 개요
 Fig. 1 An overview of the proposed digital DOT system using the smart pillbox

환자의 증가세는 치료를 위해서는 여러 가지 약을 6개월 이상 장기 복용해야 하는 번거로움에 있고 특히 젊은 20-30대 층에서 치료를 중단하는 사례가 많은 것으로 조사되고 있다.

결핵은 다제내성, 슈퍼결핵 등의 케이스를 제외하고는 최소 6개월 이상의 꾸준한 복약 처방 준수를 마치면 완치되는 질환이다[2]. 즉 결핵의 치료는 치료방법이나 약이 없어 어려운 것이 아니라 꾸준한 환자 관리가 이뤄지지 않는 것 가장 중요한 문제이며 결핵 치료에 실패할 경우 주변 사람에게 결핵균을 전파해 새로운 감염자를 만드는 등 악순환이 반복될 수 있기 때문에 더욱 중요하다. 치료 중단에 따른 결핵 약제에 대한 내성은 결핵 치료의 어려움을 가중시키고 있고 결핵이 난치성 질병으로 심각한 사회 문제로 작용할 가능성이 있다.

현재는 초기 치료 성공률 약 50% 수준으로 치료

실패 및 약제내성결핵이 증가하고 있는 추세이다. 이는 민간의료기관 추구관리 기능이 미약하여 치료지속 및 순응도와 치료성공률 저조하고 민간의 경우 대개 3차 의료기관에 환자가 집중되어 있기 때문으로 분석된다. 이러한 문제해결을 위해서는 민간과 공공 협력 형태의 결핵환자의 체계적인 관리를 위한 시스템 구축 시급하다. 그런데 의료 인력을 통한 관리 체계의 구축은 효과에 비해 비용이 매우 높다는 문제점이 있다. 따라서 우리나라의 높은 IT 기술 수준을 활용하여 환자의 복약 관리 모니터링 체계를 구축하는 한국형 DDOT(Digital Directly Observed Therapy) 시스템 개발이 요구되고 있다. 따라서 본 논문에서는 한국형 DDOT 시스템 구축을 위한 스마트 약상자를 개발하고 실제 환자들을 대상으로 약물순응도(Medication Adherence)를 측정하여 이의 효용성을 입증한다.

II. 디지털 DOT 시스템

그림 1은 스마트 약상자를 이용한 복약관리시스템의 개요를 보여준다[3]. 본 논문에서 개발하고자 하는 스마트 약상자(Smart Pillbox)란 단순히 약을 보관하는 원래의 기능을 넘어서 약 복용이 정량으로 정시에 이루어질 수 있도록 도와주는 한편 병원, 약국, 보호자, 그 외의 의료기관 등에 환자의 복약 상태를 보고하는 등의 기능을 수행할 수 있는 지능화된 디지털 복약 기기로 정의할 수 있다[3].

헬스케어 센터는 사용자와 병원, 약국을 통신 네트워크를 이용하여 연결하고 각종 데이터베이스와 서버를 운영하여 사용자의 복약 상태를 모니터링하게 된다. 이 과정에서 사용자는 휴대전화 SMS 그리고 약상자의 LCD, LED, 음성 등을 통해 약복용 알림 서비스를 받는다. 스마트 약상자는 약복용 서버와의 통신을 통해 사용자의 약복용 상황을 전달받고 이에 해당하는 서비스를 제공하는데 주요 서비스로 LCD, LED, 스피커를 통한 약복용 알림, 약 배출, 주의사항 등의 약 복용 안내를 수행한다. 또한 버튼 이벤트를 통해 서버에 사용자의 요구사항을 전달할 수 있다.

약복용서버는 사용자의 처방전을 기반으로 약복용 스케줄을 관리하고 해당 스케줄에 따라 사용자의 약복용 상황을 인식하여 스마트 약상자에 전달하고 DUR(Drug Utilization Review)시스템은 환자 개인별 처방 조제 지원 안내 시스템을 통해 중복 처방, 약제 부작용, 정확한 복약 지도를 지원한다.

마지막으로 약국은 병원에서 제출된 진료 기록 및 복약 처방전을 웹을 통해서 검색하고 약상자에 약을 적재하며 병원은 환자의 약복용 순응률을 모니터링하여 해당 순응률에 따라 처방을 환자에게 적합하도록 수정할 수 있다.

III. 스마트 약상자의 개발

3.1 요구사항

지금까지 출시된 복약 보조 기기의 사례를 수집하여 분석한 결과 국내보다는 미국을 중심으로 하는 국외에서 출시된 제품의 기능이나 성능이 상당히 우월함을 확인할 수 있었다.

그러나 국외의 제품은 병약 처방만을 지원하기 때문에 국내에서 그대로 사용되기에는 불가능하다. 반면 국내에 출시된 제품은 단순히 약 보관을 하다가 정해진 시간에 배출하는 정도의 낮은 수준의 기능을 제공하고 있어 디지털 DOT 시스템에 적용하기에는 무리가 있다. 특히 디지털 DOT 시스템의 구축을 위해서는 병원, 약국 등 외부 기관과의 실시간 정보 교환이 필요하다는 점을 고려하면 기기의 유무선 네트워크 인터페이스를 통한 정보의 송수신이 필수적이다. 이와 같은 점들을 고려하여 본 연구에서 개발하고자 하는 스마트 약상자의 본격적인 개발에 앞서 도출된 요구사항은 다음과 같다.

1) 약의 보관 및 배출

- 장기 복용 환자 지원을 위하여 50개 이상의 약포지 보관이 가능해야 한다.
- 자동 포장된 연결형 약포지를 지원할 수 있어야 한다.
- 과 복용 방지를 위하여 센서를 이용한 1회 단위의 약포지 인식 및 배출이 가능해야 한다.

2) 복약 알림 및 지도

- 멀티미디어 (음성, 소리, LED 조명 등) 형태로 약 복용을 알릴 수 있어야 한다.
- 외출 또는 미복용 시 문자 메시지 및 스마트 폰을 통하여 약 복용을 알릴 수 있어야 한다.



그림 2. 포장 약을 이용한 무게 측정 시험
Fig. 2 The weight measurement test by a load cell

3) 유무선 통신 네트워크를 통한 다양한 기능

- 병원, 약국, 환자 사이의 원격 처방전 관리가 가능해야 한다.
- 의사 및 보호자가 환자의 약복용 상태를 원격에서 모니터링 할 수 있어야 한다.
- 관련 국제 표준인 IEEE 11073 및 HL7과의 호환성을 제공할 수 있어야 한다.

3.2 로드셀을 이용한 무게 측정

본 논문에서 개발하고자 하는 스마트 약상자는 환자의 복용 여부를 로드셀에 의한 잔여 약의 무게 측정을 통해서 판단한다. 따라서 로드셀의 정밀한 무게 측정 가능 여부가 관건이 된다. 일반적으로 로드셀은 외력에 의해 비례적으로 변하는 탄성체와 이를 전기적인 신호로 바꾸어주는 스트레인 게이지를 이용한 하중감지센서를 의미한다.

스트레인 게이지식 로드셀의 기술은 핵심소자인 스트레인 게이지의 기술혁신과 함께 발전했다. 로드셀은 스트레인 게이지를 부착한 탄성 소재로 구성되어 있다. 질량이 가해지면 소재는 탄성 거동을 하고 스트레인 게이지는 가해진 질량에 직접적으로 상응하는 저항변화를 일으킨다. 결국 로드셀은 하중 변화를 저항의 변화로 변화 시켜주는 전기적인 장치라 할 수 있다.

다양한 조사와 실험을 통해서 잔여 약의 무게 측정을 통해서 복용 여부를 판단하기 위해서는 적어도 0.2g 단위의 정밀도가 요구되었다. 이를 위해서 그림 2에 나타난 바와 같이 0.1g단위의 측정이 가능한 로드셀을 선정하였고 과연 약포지에 포장된 약을 측정했을 때 충분히 정밀한 측정이 이루어지는 지를 그림 1에서와 같이 시험을 통하여 검증하였다.

그런데 로드셀의 센서가 온도 등의 외부 환경 변수에 민감하게 반응함으로 인한 문제점이 발견되었다. 특히 동일한 약을 여러 번 측정하는 과정에서 일정한 값이 지속적으로 나오는 것이 아니라 가끔씩 상당히 큰 값이 측정되는 문제점이 있었다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위해서는 출력 값의 샘플링을 통하여 신뢰도를 높이는 방법이 일반적이지만 이럴 경우에는 많은 수의 데이터를 샘플링하기 위한 시간이 소요되어 처리 속도가 떨어지는 단점이 있다. 따라서 이 문제는 크리스탈 오실레이터의 사양을 높이는 하드웨어

적인 방법으로 해결하였다.

또 다른 문제점은 기구적으로 로드셀의 기울기에 따라서 측정된 무게 값이 달라질 수 있다는 점이었다. 이를 해결하기 위해서 내부 수납공간을 정사각형으로 설계하여 제작하였고 마찰 면에 대한 저항의 최소화를 위한 내장재 분리 방식을 도입하였다. 이 후 여러 번의 반복 실험을 하였고 그 결과 약 수납공간을 중앙에 위치시킬 수 있었다.



그림 3. 최종 개발 완료된 스마트 약상자
Fig. 3 The developed smart pillbox

3.3 최종 제작

그림 3에는 최종 제작된 스마트 약상자를 나타내었다. 만성 질환자의 경우 대략 한 달 단위로 약을 복용한다는 점을 고려하여 정 중앙에 위치한 공간에 약 30일분의 약을 수납할 수 있는 크기로 설계하였다. 그리고 정면에 위치한 디스플레이를 통하여 약의 복용 여부를 시각적으로 나타낼 수 있도록 하였다.

IV. 성능 평가

개발된 스마트 약상자가 실제 환자들의 약 복용에 기여할 수 있는지 확인하기 위한 실험을 수행하였다.

4.1 약물순응도(Medication Adherence)

약물순응도란 한 개인의 행동, 즉 약물복용, 생활습관, 병원방문 등의 행위가 얼마나 의사 또는 의료진의 권고와 일치하는가 하는 정도를 말한다[4]. 약물순응도가 낮다는 것은 여러 단계에 있어서 치료의 효과가 떨어진다는 것을 의미한다고 알려져 있으며 장기간의 약물 투여를 요하거나 다제내성이 있는 결핵과 같은 질병의 경우에는 특히 중요하다. 통상적으로 약물복용에 대한 순응도는 50-60%는 좋은 순응도, 5-10%는 매우 나쁘며, 30-45%정도가 그 중간에 속하지만 다양한 편차를 보이고 있다고 보고되고 있다[5].

연구목적으로 약물순응도를 측정하기 위하여 가정 방문, 남은 약의 개수를 세는 pill count, 약국 기록 조회, 약물 assay 등의 다양한 방법이 도입되고 있으며 약물을 직접 assay하는 방법의 변형으로 약물에 극소량의 trace를 첨가하는 방법도 이용되고 있다. 이 중에서 특수한 용기를 이용한 전자적 모니터링 방법이 gold standard로 인식되고 있는데 이를 총칭하여 MEMS(Medication Event Monitoring System)라고 한다. MEMS의 경우 약통 뚜껑을 개봉한 시간을 기록할 뿐 실제로 환자가 약을 복용했는지는 알 길이 없다는 약점이 있기는 하지만 여러 가지 문제들을 가지고 있는 다른 방법들에 비하여 신뢰성 있는 순응도 측정방법으로 인정되고 있다.

순응도를 나타내는 지표로 약복용비율(percentage of Doses Taken, PDT), 처방준수비율(Percentage of Doses Taken Correctly, PDTc)이 있으며 이는 다음과 같은 식으로 계산된다.

$$PDT = \frac{\text{Number of doses taken}}{\text{Number of prescribed doses}} \times 100\%$$

PDTc=

$$\frac{\text{Number of doses taken correctly according to the prescription}^*}{\text{Number of prescribed doses}} \times 100\%$$

4.2 약물순응도의 측정

스마트 약상자의 개발이 완료되면 실제 환자들을 대상으로 스마트 약상자를 지급하여 약물순응도를 측정할 수 있다. 스마트 약상자의 통신 인터페이스를 통하여 다음 그림 4에 나타난 바와 같이 웹서비스를 통

해 감시하는 과정에서 약물 복용이 확인이 안 되는 경우(빨간불)를 직접 확인할 수 있고 이 때 기기나 통신의 오류를 제외하고 복용 지도를 한 후 복용한 경우에는 지연 복용, 그럼에도 불구하고 복용하지 않는 경우에는 실제 미복용 등으로 구분한다. 이와 같이 구분된 경우의 수를 기반으로 PDT와 PDTc를 계산하여 약물순응도를 측정한다.

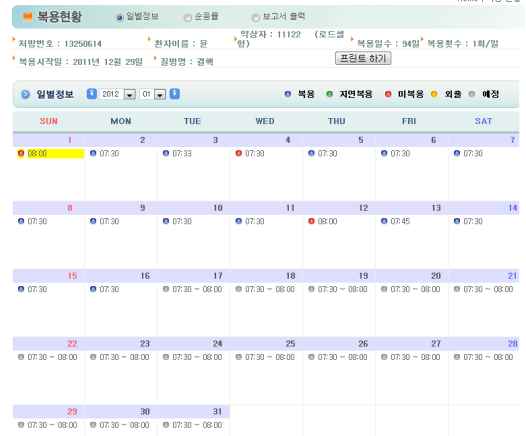


그림 4. 웹기반 측정 시스템의 복용 현황
Fig. 4. Status of taking medicine collected by web-based management system

4.3 웹기반 측정 환경 구축

다수의 환자들을 대상으로 약물순응도를 실시간으로 측정하고 관리하기 위한 시스템을 웹기반으로 구축하였다. 구축된 시스템은 사용자 UI를 제공하여 실시간 관제 서버로 들어오는 데이터들을 쉽고 빠르고 간편하게 사용할 수 있도록 하는 한편 각 권한 별로 처방전 등록, 약복용 스케줄 등록/변경/관리, 순응률 조회, 부작용 등록에 대한 사용자 인터페이스를 제공하고 이를 기준으로 다음번 처방전 등록에 대한 데이터를 제공할 수 있도록 한다. 이를 통하여 관리자 및 환자는 일별/월별 복약 상황을 모니터링 할 수 있고 특히 관리자는 자신이 관리하고 있는 환자들의 전체 복약 상황을 확인하여 미복용인 환자에 미복용 사유를 메모로 달아둘 수 있도록 하였다. 그림 4는 환자별 복용 현황의 예를 보여준다. 날짜별로 복용 현황이 복용, 지연복용, 미복용, 외출 등의 네 가지 상태로 표시되는 것을 볼 수 있다.

4.4 측정 결과

전국에 분포한 보건소, 병원 등의 의료기관의 협조를 통하여 개발된 스마트 약상자를 환자들에게 지급하고 사용하도록 한 후 복용율을 측정하였다. 2012년 5월 1일부터 2013년 3월 31일까지 측정이 이루어졌으며 이 기간 중 한 달이라도 스마트 약상자를 사용한 환자의 수는 총 141명이고 의료기관 별 환자 수는 아래와 같다.

- 제주보건소 56명
- 제주서부보건소 2명
- 제주대학병원 33명
- 동국대학병원 20명
- 경주보건소 11명
- 대구서부보건소 1명
- 정선군보건소 2명
- 진천군보건소 1명
- 제천시보건소 4명
- 강북구보건소 2명
- 송파구보건소 4명
- 광진구보건소 1명
- 구로구보건소 1명
- 삼육서울병원 3명

매 월 단위로 각 환자가 스마트 약상자를 사용한 일수를 측정하고 그 가운데 정상적으로 복용이 이루어진 일수를 측정하여 최종 PDT를 계산하였다. 이 과정에서 네트워크의 단절이나 외출 혹은 입원으로 인한 부재, 일시 중단, 거주지 이동 등의 사유로 인하여 데이터가 전송되지 않은 경우가 발생하였는데 이러한 경우는 사용일수에서 제외하였다.

표 1에는 전체 사용자에 대하여 월별로 측정된 PDT를 정리하였다. 사용일수(day-of-use), 복용일수(day of doses taken), 미복용일수(day of doses not-taken)를 수합하여 최종 PDT가 계산되었다.

측정 초기에는 사용자의 수가 많지 않아 전체 사용일수 역시 적었지만 이후 사용하는 환자 수가 증가하면서 사용일수가 2천 건 이상으로 증가하였다. 표에서 볼 수 있듯 측정된 11개월 모두 PDT가 90%이상인 것을 볼 수 있다. 이는 스마트 약상자가 정해진 복용 시간을 환자에게 미리 알려주기 때문에 1차적으로 복용이 정해진 시간에 이루어질 수 있도록 하고 설사

복용을 하지 않더라도 스마트 약상자가 미복용 사실을 병원으로 전송하여 관리자가 2차적인 복용 관리를 수행할 수 있기 때문에 이와 같은 높은 PDT가 도출된 것으로 분석할 수 있다. 전체 기간에 대한 누적 PDT는 약 91.8%였고 이는 스마트 약상자의 효용을 입증하기에 충분한 수준으로 판단된다.

표 1. PDT 측정 결과 (대상 환자 141명, 11개월)
Table 1. PDT measurement results
(141 patients, 11 months)

month	day-of-use	day of doses taken	day of doses not-taken	PDT(%)
2012-05	17	17	0	100
2012-06	575	540	35	93.9
2012-07	1355	1264	95	93.3
2012-08	1898	1761	137	92.8
2012-09	1905	1685	220	88.5
2012-10	2321	2116	204	91.2
2012-11	2276	2111	165	92.8
2012-12	2264	2078	186	91.8
2013-01	1695	1549	146	91.4
2013-02	1260	1148	112	91.1
2013-03	1086	1014	72	93.4
Total	16652	15283	-	91.8

V. 결론

본 논문에서는 장기 복용 환자들의 복용을 원활하게 하고 효율적으로 관리하기 위한 DOT 시스템 구축에 필요한 스마트 약상자를 개발하였다. 개발된 스마트 약상자는 무게를 측정하여 약병이 아닌 포지 단위로 제공되는 우리나라 약 처방 방식을 지원할 수 있고 다양한 시나리오 별 환자의 복용 여부를 판단할 수 있다. 또한 통신 인터페이스를 통하여 환자의 약 복용 여부를 병원의 관리자에게 전송하여 관리자에 의한 이차적인 복용 관리가 이루어질 수 있도록 하였다. 개발된 스마트 약상자의 효용을 알아보기 위하여 여러 의료기관의 협조를 얻어 11개월간 총 141명의 환자를 대상으로 실험을 수행하였다. 실험 결과 개발된 스마트 약상자가 환자들의 약 복용에 크게 도움이 됨을 확인할 수 있었다.

참고 문헌

- [1] Statistics Korea, 2010 annual report on the causes of death statistics, Dec. 2011.
- [2] Ministry of Health and Welfare, Korea Centers for Disease Control and Prevention, 2011 The Korean National Guideline of Management of Tuberculosis.
- [3] WHO, Pursue high-quality DOTS expansion and enhancement, available at : <http://www.who.int/tb/dots/en/>
- [4] S. Kwon, N. Kim, "The effect of adherence to antidepressant treatment on relapse and recurrence of depression", Seoul National University Graduate School of Public Health, Ph. D. Thesis, Aug, 2008.
- [5] M. Jung, "Analysis of the Medication Adherence of Hypertensives and Influential Factors", In Proceeding of 2010 Spring Conference of The Korea Contents Association, June, 2010.
- [6] Jeong-Lae Kim, Woo-Chul Lee, and Yun-Seok Ko, "Implementation of Medical Care System based on Home Network", The Journal of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences, Vol. 6, No. 6, pp. 987-991, 2011.
- [7] Young-Oh Han, "Development of the ubiquitous health care module for a bidet", The Journal of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences, Vol 7, No. 4, pp. 931-936, 2012.
- [8] Jeong-Ja Kim and Jin Kim, "A Study of Health Care System Housing and Environment of the Elderly," The Journal of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences, Vol. 7, No. 4, pp. 925-930, 2012.

저자 소개



김범준(Beom-Joon Kim)

1996년 2월 연세대학교 전자공학과 졸업(공학사)

1998년 8월 연세대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

2003년 8월 연세대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)

계명대학교 전자공학과 교수

※ 관심분야 : 인터넷멀티미디어서비스, TCP혼잡제어, IT융복합의료기기

감사의 글

본 연구는 지식경제부·한국산업기술진흥원 지정 계명대학교 전자화자동차부품지역혁신센터의 지원에 의한 것입니다.

