

## 멀티 라디오 멀티 채널 무선 메쉬 네트워크를 위한 클러스터 기반 최소 간섭 채널 할당\*

차 시 호\*\* · 류 민 우\*\*\* · 조 국 현\*\*\*

### *Cluster-based Minimum Interference Channel Assignment for Multi-Radio Multi-Channel Wireless Mesh Networks*

Cha, Si Ho · Ryu, Min Woo · Cho, Kuk Hyun

#### 〈Abstract〉

Total performance is improved by minimizing the channel interference between links in wireless mesh networks (WMNs). The paper refines on the CB-CA [1] to be suitable for multi-radio multi-channel (MRMC) WMNs. The CB-CA is the cluster-based channel assignment algorithm for one radio three channel WMN based on IEEE 802.11b/g. The CB-CA does not perform the channel scanning and the channel switching between the cluster heads (CHs) and the edge gateway nodes (EGs). However, the use of co-channel for links between CHs and EGs brings the problem of channel interference among many nodes. We propose and evaluate an improved CB-CA algorithm to solve this problem in MRMC WMNs. The proposed algorithm discriminates between transmission channel and receive channel and assigns channels to each interface randomly and advertises this information to neighbor clusters in order to be assigned no-interference channel between clusters. Therefore, the proposed algorithm can minimize the interference between clusters and also improve QoS, since it can use multiple interfaces and multiple channels.

Key Words : Wireless Mesh Network, Multi-Radio Multi-Channel, Channel Assignment, Minimum Interference

## I. 서론

일반적으로 무선 메쉬 네트워크(WMN)는 무선 멀티

홉(hop) 환경으로 인해 홉 개수가 증가하거나 각 메쉬 라우터(MR)들이 동시에 데이터를 전송할 경우 데이터 전송 간에 간섭이 발생할 확률이 높아진다[2]. 이러한 전송 간에 발생하는 간섭은 WMN의 전체적인 네트워크 성능을 급격히 감소시킨다. 이러한 WMN은 크게 메쉬 라우터(MR: Mesh Router), 메쉬 클라이언트(MC: Mesh

\* 본 논문은 2010학년도 청운대학교 학술연구구조성비 지원에 의해 수행되었음.

\*\* 청운대학교 멀티미디어학과 교수(제1저자, 교신저자)

\*\*\* 광운대학교 대학원 컴퓨터학과

Client), 메쉬 게이트웨이(MG: Mesh Gateway)로 구성된다. WMN에서 주로 사용하는 네트워크 인터페이스 기술로는 IEEE 802.11b/g와 IEEE 802.11a 스펙이 있다. IEEE 802.11b/g에서는 2.4 GHz의 ISM(Industrial, Scientific, Medical) 주파수 대역에서 3개의 비중첩 채널을 지원하며, IEEE 802.11a에서는 5 GHz 주파수 밴드에서 12개의 비중첩 UNII(Unlicensed National Information Infrastructure) 채널을 지원한다[3].

본 논문에서는 3개의 비중첩 멀티채널을 지원하는 IEEE 802.11b/g 기반으로 구성된 WMN을 위해 [1]에서 제안된 클러스터 기반 채널 할당 알고리즘인 CB-CA의 채널 간섭 문제를 개선하는 새로운 알고리즘을 제안한다. CB-CA[1]에서 각 MR들은 물리적인 통신 거리에 존재하는 이웃 MR들과 클러스터(cluster)를 구성하고, 해당 클러스터 멤버(CM)인 MR들의 채널 정보를 채널 데이터로 유지하는 클러스터 헤드(CH)가 선출된다. CH의 선출 조건은 최대 연결성을 갖는 노드가 된다. CH들은 인접한 클러스터의 CH들과 채널 스캐닝 및 채널 스위칭을 수행하지 않고 효율적으로 통신하기 위해 동일 채널을 할당하여 통신하고, 클러스터 내의 CM들과는 CH들 간의 통신 채널과 간섭이 발생하지 않는 직교 채널을 할당한다. 또한 해당 CH는 자신의 클러스터 내의 CM들과의 통신을 위해 타임 슬롯을 할당한다. 각 CM들은 보내야 할 데이터가 존재하는 경우 자신에게 할당된 시간 동안 데이터를 전송하게 된다[1].

그러나 이러한 모든 CH들과 에지 게이트웨이(EG)들 간의 동일 채널의 사용은 많은 노드들에서 채널 간섭을 발생시키는 문제점을 야기한다. 본 논문에서는 이를 해결하기 위하여 CH들 간에는 동일 채널을 사용하는 대신 EG 노드들 간에만 동일한 디폴트 채널을 할당하고, 각 클러스터 내에서는 CH를 포함한 모든 노드가 디폴트 채널과 간섭이 발생하지 않는 나머지 채널 중에서 하나를 사용할 수 있도록 함으로써 기존 CH들과 EG들 간에 발생하는 채널 간섭을 최소화 할 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 본 연구와

관련된 주요 채널할당 방법들과 본 논문에서 개선시킬 대상인 CB-CA 알고리즘을 설명한다. III장에서는 개선된 CB-CA 알고리즘에 대하여 설명하고, IV장에서는 개선된 CB-CA 알고리즘에 대한 시뮬레이션을 통해 타당성을 검증하고 분석한다. 마지막으로 V장에서는 본 논문에 대한 결론을 기술한다.

## II. 관련연구

### 2.1 주요 채널할당 방법

Marina[4]는 그리드 기반의 휴리스틱 채널 할당 기법을 제안하여 연결성이 보장되고 간섭이 적은 토폴로지를 찾는 방법을 제안하였다. Marina가 제안한 CLICA라고 불리는 토폴로지 기반 채널 할당 방식은 네트워크의 모든 링크에 균등한 트래픽 부하가 발생한다는 가정을 바탕으로 하고 있지만 실제 구축되는 WMN에서는 트래픽 부하가 다르기 때문에 실제 환경에는 적합하지가 않다는 문제점이 있다. 또한 토폴로지 기반의 채널 할당 방법은 노드간의 연결성과 채널 간의 간섭의 균형을 유지할 수 있어야 한다.

Makram[5]은 동적으로 채널을 변경할 때 발생하는 문제를 해결하기 위해서 CCA라는 클러스터링 기반의 채널 할당 알고리즘을 제안하였다. Makram의 CCA는 Highest Connectivity Cluster(HCC) 알고리즘을 적용하여 노드간의 연결성을 높였으며, 클러스터 헤드 간의 클러스터 헤드를 선출하여 채널 관리의 복잡성을 줄였다. 하지만 특정 노드의 트래픽 부하 현상이 발생한다는 문제점이 있다.

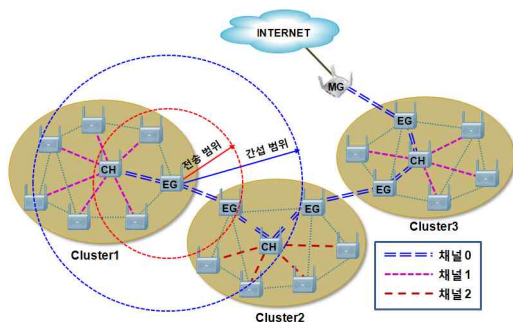
Alicherry[6]는 트래픽 반영 채널 할당 문제에 대한 근사 알고리즘인 RCL을 제안하였다. RCL 알고리즘은 채널 할당 문제와 라우팅 문제를 함께 해결하기 위한 선형 계획법 계산식을 만들고 이 계산식의 답을 통하여 토폴로지 상에서 채널이 설정된다. 그러나 Alicherry가 제안

한 알고리즘은 WMN에서 주로 사용하는 IEEE 802.11 DCF[7] 표준에는 적용하기가 쉽지 않다는 문제점이 있다.

Raniwala[8]는 채널 의존 문제를 해결하기 위하여 두 개의 인터페이스를 UP과 DOWN으로 나누어 트리 형태의 네트워크 토폴로지를 구성하고 간섭 범위 내의 이웃 노드들에 의한 트래픽 부하 값을 이용하여 채널을 동적으로 할당하는 방법을 제안하였다. 그러나 동적으로 채널을 변경하는 과정에서 발생하는 지연시간의 문제는 네트워크 확장의 크기와 비례하기 때문에 광범위한 WMN에는 적합하지 않다.

## 2.2 CB-CA 알고리즘

[1]에서 제안된 CB-CA 알고리즘은 두 단계로 이루어진다. 첫 번째 단계에서는 통신 범위에 존재하는 노드들 간에 클러스터를 구성하고, 두 번째 단계에서는 클러스터들 간의 채널 할당과 각 클러스터 내에서의 채널 할당을 수행한다.



<그림 1> CB-CA 알고리즘의 개요

<그림 1>에서 각 클러스터 내의 얇은 점선은 물리적으로 통신이 가능한 링크이다. CB-CA에서 특정 클러스터 내의 모든 CM은 이웃 노드들과의 물리적인 통신 가능 링크가 존재한다고 하더라도 자신이 속한 클러스터의 CH와의 통신만 수행하게 된다. <그림 1>에서 클러스터

1의 CH와 CM들의 통신 채널을 채널 1에서 채널 2로 변경하게 되면 클러스터 1과의 간섭 범위에 있는 클러스터 2에 속한 CH와 CM들의 내부 통신 채널만 서로 간섭하지 않는 채널로 변경시켜 주면 되기 때문에 채널 의존성의 문제를 특정 클러스터로 한정할 수 있다. 즉, 채널 변경이 일어나는 클러스터인 클러스터 2에서만 사용 중이던 채널 2를 채널 1이나 3으로만 변경시켜주면 되기 때문에 채널 의존성 문제를 해결할 수 있다.

실제 관련 연구에서 언급한 CLICA 알고리즘과의 성능 비교를 수행한 시뮬레이션 결과 채널 간섭이나 패킷 손실률 등에 있어서 CB-CA 알고리즘의 우수성을 어느 정도 입증하였다[3].

그러나 실제로 구축되는 WMN에서 MR들은 2개 이상의 인터페이스를 갖는다. 그렇기 때문에 [1]에서 제안된 CB-CA 알고리즘은 멀티 라디오 환경에는 적합하지 않다. CB-CA는 IEEE 802.11b/g와 IEEE 802.11a로 구성된 멀티 라디오 멀티 채널 WMN에서는 기본적인 채널 간섭을 발생시킨다. <그림 1>에서 보인 것과 같이 클러스터 1의 EG의 채널 간섭 범위에는 4개의 동일 채널이 포함된다. 따라서 클러스터 1과 클러스터 2는 서로 다른 클러스터임에도 CH들과 EG들에 할당된 동일 기본 채널에서의 간섭으로 상당한 성능의 저하가 야기된다.

## III. 개선된 CB-CA 알고리즘

<표 1>은 본 논문에서 제안한 개선된 CB-CA를 기술하기 위한 심볼들에 대한 정의이며, <표 2>는 개선된 CB-CA 알고리즘을 기술한 것이다.

개선된 CB-CA 알고리즘은 클러스터링을 수행한 후 해당 클러스터 내의 CH는 자신의 CM들과 통신을 위해 송수신 인터페이스를 결정한 후 랜덤하게 각 인터페이스의 채널을 결정한다. CH는 이렇게 결정된 송수신 인터페이스와 채널 정보를 해당 CM들에게 알려줌으로써 클러스터 내에서의 데이터 송수신이 이루어지도록 한다.

즉 각 메시 노드들은 멀티 라디오를 위해 2개의 인터페이스를 가지는 경우에 동시에 송수신을 가능하도록 송수신 채널을 별도로 할당한다.

<표 1> 기호 정의

심볼	정의
$CL_i$	클러스터 $i$
$CH_i$	클러스터 $i$ 의 CH
$CM_i$	클러스터 $i$ 의 CM
$NCL_i$	클러스터 $i$ 의 이웃 클러스터의 집합
$ECL_i$	클러스터 $i$ 의 에지 노드
$N_v$	노드 $v$ 의 통신 범위 내의 이웃 노드 집합
$L_v$	노드 $v$ 의 이웃 노드에 대한 무선 링크 집합
$c_i$	$C$ 의 하나의 채널
$C_v$	노드 $v$ 에 할당된 채널 집합
$c_{CH}$	$CH$ 에 할당된 디폴트 채널

<표 2> 개선된 CB-CA 알고리즘

```

1.  $\forall x$  node( $x$ ).role = CH
2. while  $\exists N_x$  do
3.   node( $x$ ) broadcast hello_msg
4.   if  $L_x > \forall N_i(L_i)$  then
5.     Set  $v$  to CM of node( $x$ )
6.   end if
7. end while
8. while  $\exists CH_x$  do
9.    $CH_x$  decide Up/Down interface for  $C_x$ 
10.   $CH_x$  random(Tx/Rx channel) for  $C_x$ 
11.   $CH_x$  broadcast  $C_x$ 
12.  if  $C_x \cap CNCL_y$ 
13.    go to line 10
14.  end if
15.   $CH_x$  assign a time slot to  $CM_x$ 
16. end while
    
```

따라서 CH들은 모든 CM들에게 데이터 전송을 위해 기본 채널을 제외한 공통의 채널을 할당하고, CM들로부터 데이터를 수신하기 위해서는 각 CM들에 타임 슬롯을 할당하여 각 CM은 해당 시간에만 데이터를 전송할 수 있도록 한다. 또한 CH는 모든 노드들의 이웃 노드 리스

트를 검색하여 인접한 이웃 클러스터 노드를 갖는 노드를 EG 노드로 선정하고 EG들은 최초에 할당된 기본 채널 이외에 각 클러스터 내의 채널 할당 후에 남은 채널을 하나 더 할당함으로써 각 클러스터 간에도 송수신 채널을 분리한다. 즉, 클러스터들 간에 통신 링크의 연결을 담당하는 EG들 간에 하나의 기본 채널과 하나의 일반 채널을 할당한다.

이들은 동시에 데이터 송수신을 위한 것이다. 이때 각 노드들은 자신에게 할당된 채널의 정보를 통신 범위 내의 노드들에게 알려줌으로써 랜덤하게 선택된 채널들이 간섭이 발생하지 않도록 한다. 따라서 각 클러스터 간의 채널 간섭을 최소화 할 수 있음과 동시에 다중 인터페이스와 다중 채널을 모두 활용할 수 있어서 QoS를 향상시킬 수 있다.

#### IV. 분석 및 검증

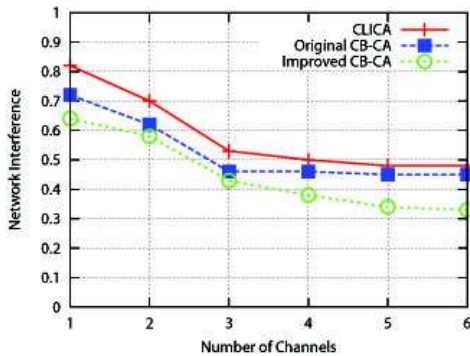
본 논문에서 제안한 개선된 CB-CA 알고리즘의 평가는 기존의 CB-CA[1] 및 CLICA[4]와 비교를 통해 이루어진다. 성능평가 도구로는 ns-2를 사용하였으며, 성능 평가의 특징으로 네트워크의 전체 처리량 및 패킷 손실률, 그리고 채널 간섭도를 고려하여 시뮬레이션을 수행하였다.

<표 3> 시뮬레이션 파라미터

변수	값
시뮬레이션 환경	ns-2
토폴로지 사이즈	1000 * 1000
전송 범위	250
게이트웨이 수	1
트래픽 타입	CBR
MAC Protocol	802.11 b/g
노드 수	20개씩 증가
Packet Size	1000byte
대역폭	24 Mbps

시뮬레이션은 120초 동안 지속하며 전체 노드의 숫자는 100개로 제한하였다. 또한 노드의 증가에 따른 정확한 결과 값을 얻기 위하여 노드는 20개씩 증가시켰으며, 채널의 개수는 IEEE 802.11 b/g에서 사용되는 채널 개수를 사용하였다. 채널 간섭도는 0부터 1까지의 범위를 정하여 1에 가까울수록 간섭도가 높은 것으로 나타내었다. 실험은 각각 3번씩 수행하였으며, 가장 큰 값과 작은 값을 제외한 평균값을 사용하였다.

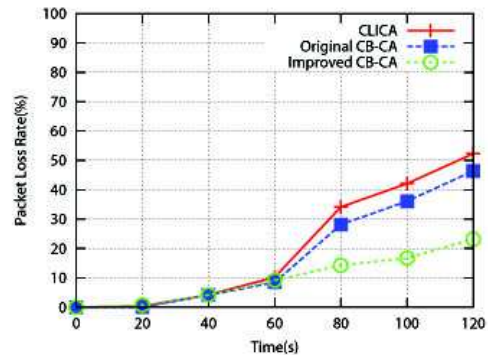
<그림 2>는 채널 개수에 따른 간섭도를 나타낸 것이다. 그래프에서 보듯이 개선된 CB-CA와 CLICA 모두 채널의 개수가 증가함에 따라 간섭도가 낮아지는 것을 확인할 수 있다. 그러나 기존의 CB-CA는 채널의 숫자가 3개 이상부터는 채널의 간섭도가 증가하는 현상이 나타난다. 이러한 이유는 기존의 CB-CA는 비 중첩 채널 3개에서 가장 좋은 성능을 보이도록 설계되었기 때문이다. 따라서 채널의 개수가 3개 이상부터는 기존 CB-CA는 채널을 중첩하여 사용하기 때문에 간섭도가 높아지는 것으로 예상할 수 있다. 이와 달리 개선된 CB-CA는 채널의 개수가 증가함에 따라 기본 채널 이외에 사용할 수 있는 채널의 개수가 증가하기 때문에 간섭도가 더 낮아짐을 확인할 수 있다.



<그림 2> 채널 개수에 따른 간섭도

<그림 3>은 시간의 변화에 따른 패킷 손실률을 나타낸 것이다. 그래프에서 보듯이 중앙 집중식 채널 할당 방식

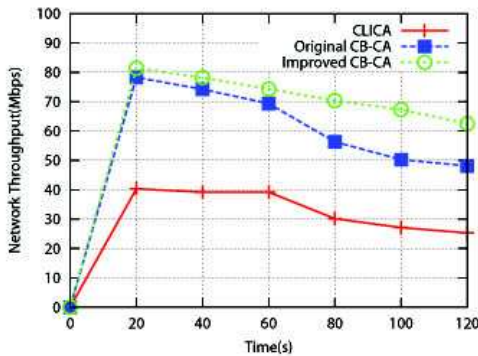
인 CLICA가 가장 높은 패킷 손실률을 나타내는 것을 확인할 수 있다. 이러한 이유는 중앙 집중식 채널 할당 방식에서 나타나는 문제점으로 제한된 채널의 개수를 다 사용함으로써 나타나는 대역폭 감소로 예측할 수 있다. 또한 기존의 CB-CA는 60초 구간 이후 패킷 손실률이 급격하게 증가되는 것을 확인할 수 있다. 그 이유는 CH와 EG간의 동일 채널을 사용함으로써 발생하는 것으로 인접 클러스터와의 연결을 위해서 나타나는 문제점이다. 그러나 개선된 CB-CA는 이러한 문제를 해결하기 위하여 각각의 CH가 모든 노드들의 이웃 노드 리스트를 검색하여 인접한 이웃 클러스터 노드를 갖는 노드를 EG로 선정하고, EG들은 최초에 할당된 기본 채널 이외에 각 클러스터 내의 채널 할당 후에 남은 채널을 하나 더 할당함으로써 이러한 문제점이 해결될 수 있음을 보여준다.



<그림 3> 시간에 따른 패킷 손실률

<그림 4>는 시간의 변화에 따른 네트워크의 전체 패킷 처리량을 나타낸 것이다. 그래프에서 보듯이 기존의 CB-CA와 CLICA, 그리고 개선된 CB-CA 모두 시간이 변화함에 따라 네트워크 처리량이 감소하는 것을 확인할 수 있다. 중앙 집중 채널 할당 방식인 CLICA는 시간의 변화에 따른 처리량의 변화가 크게 없지만 가장 낮은 처리량을 나타내는 것을 확인할 수 있다. 또한 기존의 CB-CA는 60초에서 80초 구간에서 급격한 성능 감소를

나타내는 것을 확인할 수 있다. 이것은 앞서 언급한 CH와 EG들 간의 간섭으로 인한 지연 시간 증가로 추정할 수 있다. 그러나 개선된 CB-CA는 이러한 CH와 EG들 사이에서의 간섭으로 인한 지연 시간이 급격히 증가하지 않아 기존 CB-CA보다 더 좋은 성능을 보임을 확인할 수 있다.



<그림 4> 시간에 따른 네트워크 처리량

## V. 결론

본 논문은 저자들이 제안했던 3개의 채널을 갖는 IEEE 802.11b/g 기반의 WMN을 위한 클러스터 기반 채널 할당 알고리즘인 CB-CA를 멀티 라디오 멀티 채널 기반의 WMN에 사용할 수 있도록 개선한 논문이다. 개선된 CB-CA 알고리즘은 각 클러스터 간의 채널 간섭을 최소화함과 동시에 최대한 idle한 채널의 수를 줄임으로써 QoS를 향상시킬 수 있다. 본 논문에서 제안한 개선된 CB-CA 알고리즘의 성능 평가는 채널수에 따른 간섭도, 시간에 따른 패킷 손실률 및 네트워크 처리량을 기존의 CB-CA 및 CLICA와 비교함으로써 그 타당성을 입증하였다. 이를 통해 멀티 라디오 멀티 채널 WMN 환경에서 기존 CB-CA의 문제점인 CH와 EG 간의 간섭으로 인한 성능 감소 문제를 해결할 수 있음을 보였다.

## 참고문헌

- [1] 차시호, 류민우, 조국현, 조민호, "IEEE 802.11b/g 무선 메쉬 네트워크를 위한 클러스터 기반 채널 할당 알고리즘," 전자공학회논문지, 제46권-CI, 제4호, 2009, pp.87-93.
- [2] S. Xu, T. Saadavi, "Does the IEEE 802.11 MAC protocol work well in multihop ad hoc networks?," IEEE Communications Magazine, 2001, pp.130-137.
- [3] 802.11g-WP104-R, "WHITE PAPER, IEEE 802.11g: The New Mainstream Wireless LAN Standard," Broadcom Corporation, 2003.
- [4] M. Marina, S. Das, "A topology control approach for Utilizing multiple channels in multi-radio wireless mesh networks," IEEE International Conference on Broadband Networks (BroadNets), 2005, pp.381-390.
- [5] S. A. Makram, M. Gunes, "Distributed Channel Assignment for Multi-Radio Wireless Mesh Networks," IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC), 2008, pp.272-277.
- [6] M. Alicherry, R. Bhatia, L. E. Li, "Joint Channel Assignment and Routing for Throughput Optimization in Multi-radio Wireless Mesh Networks," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol.24, No.11, 2006, pp.1960-1971.
- [7] IEEE Std. 802. 11, "Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications," 1999.
- [8] A. Raniwala, T. Chiueh, "Architecture and Algorithms for an IEEE 802. 11-Based Multi-Channel Wireless Mesh Network," IEEE INFOCOM'05, 2005, pp.2223-2234.

■ 저자소개 ■



차 시 호  
Cha, Si Ho

2009년 3월~현재  
청운대학교 멀티미디어학과 교수  
2004년 2월 광운대학교 컴퓨터과학과(공학박사)  
1997년 7월~2000년 2월  
대우통신(주) 종합연구소  
선임연구원  
1997년 8월 광운대학교 전자계산학과(이학석사)  
1995년 2월 순천대학교 전자계산학과(이학사)  
관심분야 : 네트워크 관리, 차량 통신 네트워크,  
무선 센서 네트워크, U-Healthcare  
E-mail : shcha@chungwoon.ac.kr



류 민 우  
Ryu, Min Woo

2009년 9월~현재  
광운대학교 컴퓨터학과 박사과정  
2009년 8월 광운대학교 컴퓨터과학과(공학석사)  
2007년 2월 여주대학 인터넷응용학과  
(전문학사)  
관심분야 : 네트워크 관리, VANET, LTE,  
WSN, WMN  
E-mail : minu0921@kw.ac.kr



조 국 현  
Cho, Kuk Hyun

1984년 3월~현재  
광운대학교 컴퓨터공학부 교수  
1998년 2월~1999년 2월  
OSIA 회장  
1984년 2월 일본 Tohoku University(공학박사)  
1981년 2월 일본 Tohoku University(공학석사)  
1977년 2월 한양대학교 전자공학과(공학사)  
관심분야 : 네트워크 관리, 차량 통신 네트워크,  
무선 센서 네트워크,  
정보통신분야의 표준화 등  
E-mail : chokh@kw.ac.kr

논문접수일 : 2010년 8월 16일  
수 정 일 : 2010년 8월 27일(1차), 9월 3일(2차)  
게재확정일 : 2010년 9월 8일