

# ATM 망에서 그룹 연결을 위한 효율적인 공평성 향상 Leaky Bucket 알고리즘

종신회원 이재훈\*

## Fairness Improvement Leaky Bucket Algorithm for Group Connections in ATM Network

Jae-hwoon Lee\* *Lifelong Members*

### 요 약

이 논문에서 우리는 ATM 망에서 트래픽 감시 메커니즘으로서 공평성 향상 Leaky Bucket(fairness improvement leaky bucket: FILB) 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘에서는 ATM의 각 연결마다 데이터 셀을 저장할 수 있는 셀 버퍼가 있으며, 망은 연결이 계약된 트래픽 파라미터를 준수하는가 위반하는가를 판단하여 계약 내용을 준수하였는데 일시적인 망 자원의 부족으로 인하여 위반으로 간주되는 셀을 셀 버퍼에 저장한다. 이 알고리즘을 이용하면 패킷 교환 방식의 특징인 통계적 다중화 이득을 얻을 수 있다. 또한 계약된 트래픽 파라미터를 위반하여 더 많은 데이터 셀을 전송하는 연결이 자신에게 할당된 망 자원 이상을 사용하는 것을 억제함으로써 계약을 잘 준수하는 연결이 공평하게 망 자원을 이용할 수 있다. 제안된 FILB 알고리즘의 성능은 모의실험을 통하여 측정되었으며 기존의 방식과 비교되었다. 실험 결과는 제안된 알고리즘이 좋은 성능을 제공하면서도 그룹 내의 각 연결들이 공평하게 망 자원을 사용하는 것을 보여준다. 이 방식은 ATM 망뿐만 아니라 IP 망에서도 적용될 수 있다.

**Key Words** : ATM, Traffic Policing, Leaky Bucket, Fairness Improvement Leaky Bucket

### ABSTRACT

In this paper, we propose the fairness improvement leaky bucket (FILB) algorithm as a traffic policing mechanism. In the proposed algorithm, there is a cell buffer for every ATM connection in order to store data cells. Network decides whether an ATM connection obeys the contracted traffic parameter, and stores data cells in the cell buffer if the connection obeys but is considered as violated the contract due to temporary lack of network resource. By using the proposed algorithm, we can obtain the statistical multiplexing gain that is the superiority of packet switching network. Moreover, when a connection tries to transmit more data cells by violating the contracted traffic parameters, the connection is prevented from using excess network resource, which incurs all connections sharing network resource fairly. The performance of the proposed FILB algorithm is investigated by using the simulation. The result shows that the proposed algorithm provides superior performance and all connections within a group share network resource fairly. The proposed algorithm can be applied not only the ATM network but also IP network.

\* 동국대학교 정보통신공학과 (jaehwoon@dongguk.edu)

논문번호 : KICS2004-09-187, 접수일자 : 2004년 9월 14일

※본 연구는 한국과학재단 (R01-2003-000-10628-0) 및 영남대학교 ITRC 지원에 의해 수행되었습니다.

## I. 서론

ATM과 같은 패킷 교환 망은 데이터뿐만 아니라 멀티미디어 트래픽도 하나의 망에 통합할 수 있도록 선택되어진 망이다<sup>[1]</sup>. 데이터와 같은 비-실시간 트래픽과 음성과 비디오를 포함하는 실시간 트래픽은 서로 다른 QoS 요구사항을 가지고 있다. 즉, 비-실시간 트래픽은 손실에 민감한 반면, 실시간 트래픽은 지연에 상당히 민감한 특징을 가지고 있다. 패킷 교환 망에서는 이와 같은 서로 다른 QoS 요구사항을 갖는 여러 트래픽들이 통계적 다중화 방식을 이용하여 하나의 자원을 공유하기 때문에, 연결이 설정될 때마다 망의 일정 부분이 해당 연결에 할당될 수 있어야 한다. 망 자원을 예약하기 위하여 트래픽 소스는 최대 셀 전송율, 평균 셀 전송율, 그리고 최대 버스트 길이 등과 같은 트래픽 파라미터를 이용하여 망과 협상한다. 연결이 설정되는 동안 망은 호 수락 제어 메커니즘을 이용하여 이 연결뿐만 아니라 기존에 개설되어 있는 연결들의 QoS를 만족할 수 있는가 없는가를 판단하여 새로운 호의 수락 여부를 결정한다. 호 수락 제어 과정을 통하여 새로운 연결이 설정되면, 소스는 협상된 트래픽 파라미터를 준수하여 트래픽을 전송해야 한다. 그렇지만, 소스가 협상된 파라미터보다 더 많은 트래픽을 전송하게 되면, 소스 자신뿐만 아니라 다른 소스들이 겪게 되는 서비스의 품질이 저하될 수 있으며 또한 망의 혼잡 현상이 발생할 수 있다. 이를 방지하기 위하여 망은 트래픽 감시 메커니즘을 통하여 설정된 연결로부터 전송되는 트래픽이 협상된 파라미터를 준수하는가 위반하는가를 감시하며, 위반으로 판명된 셀들은 버려지거나 또는 낮은 우선순위로 마크된다. 가장 이상적인 트래픽 감시 메커니즘은 협상된 트래픽 파라미터를 준수하여 셀을 전송하는 연결의 경우에는 전송되는 셀이 위반으로 판정되는 확률이 최소가 되도록 하는 것이다.

지금까지 여러 가지 트래픽 감시 메커니즘이 제안되었다<sup>[2-5]</sup>. 이 중에서 leaky bucket 알고리즘은 좋은 성능을 제공하며 또한 지금까지 유일하게 구현된 방식이라 할 수 있다. Leaky bucket 알고리즘은 최대  $M$  개의 토큰을 저장할 수 있는 토큰 버퍼로 구성된다. 토큰은 일정 시간마다 발생한다. 토큰 버퍼에 토큰이 차 있는 경우에는 발생된 토큰은 버려지며, 그렇지 않은 경우에는 발생된 토큰은 토큰 버퍼에 저장된다. 망에 데이터 셀이 도착하면, 그 셀은 토큰 버퍼로부터 하나의 토큰을 없애면서 전

송된다. 만일 셀이 도착하였는데 토큰 버퍼에 토큰이 없으면, 그 셀은 계약된 트래픽 파라미터를 위반했다고 간주한다. Leaky bucket 알고리즘에서는 토큰은 일정 시간마다 발생하기 때문에 고정 전송율로 전송되는 트래픽에게는 효율적으로 동작하지만, 버스티한 특성을 갖는 트래픽에게는 효율적이지 못하다는 단점을 가지고 있다. 또한 leaky bucket 알고리즘은 각각의 소스 트래픽에 대해서 독립적으로 감시 메커니즘을 적용하기 때문에 패킷 교환 망의 장점인 통계적 다중화 이득을 얻을 수 없다.

패킷 교환 망의 통계적 다중화 이득을 얻기 위하여, 여러 개의 연결을 그룹으로 묶어서 그룹 단위로 트래픽 감시 메커니즘을 적용하는 token-bank leaky bucket(TBLB) 알고리즘이 제안되었다<sup>[6]</sup>. TBLB 메커니즘에서는 그룹 내에 있는 각각의 연결마다 크기 1을 갖는 토큰 버퍼와 카운터, 그리고 그룹 전체를 위한 하나의 공유 토큰 풀이 있다. 각각의 연결마다 토큰은 해당 연결을 위한 토큰 발생 메커니즘에 따라서 일정한 주기를 가지고 발생되며, 발생된 토큰은 만일 해당 토큰 버퍼가 비어 있으면 토큰 버퍼에 저장되고, 그렇지 않은 경우에는 공유 토큰 풀에 다 차 있지 않으면 공유 토큰 풀에 저장된다. 토큰 버퍼가 비어 있는 연결에 데이터 셀이 도착하면, 그 연결은 공유 토큰 풀로부터 하나의 토큰을 빌려서 자신의 데이터 셀을 전송한다. 즉, 공유 토큰 풀을 이용하여 그룹 내의 연결들은 통계적 다중화 이득을 얻을 수 있다. 그렇지만, TBLB에서는 소스가 계약된 트래픽 파라미터보다 더 많이 트래픽을 전송하게 되면 공유 토큰 풀로부터 빌려오는 토큰의 개수가 증가하게 되고, 이는 계약된 파라미터를 준수하여 잘 동작하는 연결에게 할당된 자원을 사용하는 것과 같은 효과를 갖게 되기 때문에 잘 동작하는 연결의 서비스의 품질을 저하시키는 단점이 있다. 다시 말하면 계약을 위반하는 연결은 계약을 준수하는 연결보다 망 자원을 더 많이 사용하기 때문에 공평성의 문제가 발생한다. 이를 방지하기 위하여 그룹 내의 연결마다 공유 토큰 풀로부터 토큰을 빌릴 수 있는 최대 값을 설정하였지만, 이 방식으로도 망 자원의 공평한 이용을 보장하지는 못하는 단점이 있다.

이 논문에서는 TBLB의 통계적 다중화 이득을 얻을 수 있으면서도 그룹 내의 각 연결이 계약된 트래픽 파라미터보다 많은 망 자원을 사용할 수 없도록 함으로써 망에 접속되어 있는 모든 연결이 공평하게 망 자원을 이용할 수 있도록 하는 공평성

향상 leaky bucket (Fairness Improvement Leaky Bucket: FILB) 알고리즘을 제안한다. FILB에서는 공유 토큰 풀로부터 빌릴 수 있는 최대 값의 설정이 필요 없다. 제안된 알고리즘에서는 각 연결마다 데이터 셀을 저장할 수 있는 셀 버퍼가 있다. 망은 연결이 계약된 트래픽 파라미터를 준수하는가 위반하는가를 판단하여 계약 내용을 준수하였는데 일시적인 망 자원의 부족으로 인하여 위반으로 간주되는 셀을 셀 버퍼에 저장한다. 이와 같은 방식으로 계약된 트래픽 파라미터를 잘 준수하는 연결로부터 들어오는 데이터 셀을 보호함으로써 망 자원을 공평하게 이용할 수 있도록 한다.

이 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 FILB의 동작에 대해서 자세히 살펴보고, 3장에서 다양한 파라미터를 이용하여 FILB의 성능을 측정한다. 그리고 4장에서 결론을 맺는다.

## II. 공평성 향상 Leaky Bucket 알고리즘

FILB의 구조는 그림 1에 나타나 있다. FILB에서는  $N$  개의 연결이 하나의 그룹으로 그룹화 되어 있다. 망에는 각 연결  $i$  마다 크기 1인 토큰 버퍼와 초기값이 0으로 설정되어 있는 카운터  $E_i$ , 그리고 최대 크기  $L_i$ 의 셀 버퍼가 존재한다. 또한 그룹 내의 모든 연결을 위해 크기  $B$ 를 갖는 공유 버퍼 풀이 있다. 연결  $i$ 를 위한 토큰 버퍼에는  $R_i$ 의 일정 비율로 토큰이 발생한다. 발생된 토큰은 만일 연결  $i$ 의 토큰 버퍼가 비어 있으면 해당 토큰 버퍼에 저장되고, 그렇지 않으면 공유 토큰 풀에 저장되며 연결  $i$ 는 자신의 카운터  $E_i$ 를 1만큼 감소시킨다.

연결  $i$ 에 데이터 셀이 도착하면, 연결  $i$ 는 자신의 토큰 버퍼에 토큰이 있는지를 확인해서 만일 있

으면 그 토큰을 없애면서 자신의 데이터 셀을 전송한다. 반면 토큰 버퍼에 토큰이 없으면, 그 연결은 공유 토큰 풀에 토큰이 있는 경우에는 공유 토큰 풀에 있는 토큰을 하나 없애고 카운터  $E_i$ 를 하나 증가시키면서 자신의 데이터 셀을 전송한다. ATM은 동기 방식으로 셀이 전송되기 때문에 동시에 여러 개의 연결이 자신들의 데이터 셀을 전송하기 위하여 공유 토큰 풀에 있는 토큰을 사용하고자 하는 경우가 발생할 수 있다. 이 경우에는  $E_i/R_i$ 를 계산하여 이 값이 제일 작은 연결이 공유 토큰 풀에 있는 토큰을 우선적으로 사용할 수 있다. 만일 연결  $i$ 에 데이터 셀이 도착하였는데 자신의 토큰 버퍼와 공유 토큰 풀 모두에 토큰이 없는 경우에는, 망은 연결  $i$ 에게 적용된 카운터  $E_i$ 의 값을 조사해서 만일  $E_i$ 가 0 보다 크면 연결  $i$ 가 사용할 수 있도록 계약된 자원보다 더 많은 자원을 사용하였다고 간주하고 들어온 셀을 위반 셀로 간주한다. 그렇지 않은 경우에는 망은 연결  $i$ 가 계약된 트래픽 파라미터를 준수하였지만 일시적으로 망 자원의 부족이 발생하였다고 간주하고 셀 버퍼가 다 차 있지 않은 경우에는 셀 버퍼에 저장한다. 만일 셀 버퍼가 다 차 있는 경우에는 해당 셀은 위반 셀로 간주된다.

## III. 성능 분석 및 평가

이 장에서는 모의실험을 통하여 FILB의 성능을 측정하고 TBLB와 성능을 비교하기 위하여 참고문헌 [6]에서 사용된 것과 같은 소스 트래픽을 이용한다. 이 모의실험에는 소스 트래픽으로서 이산 시간 Interrupted Poisson Process (IPP)를 고려한다. IPP에서는  $1-\alpha$ 의 확률로 매 슬롯마다 on 상태에서 off 상태로 상태가 바뀐다. 또한  $1-\beta$ 의 확률로 매 슬롯마다 off 상태에서 on 상태로 상태가 바뀐다. On 상태에 있는 소스는 매 슬롯마다 데이터 셀을 전송한다. 반면, off 상태에 있는 소스는 데이터 셀을 전송하지 않는다. 이 모의실험에서는  $\alpha = 0.9975$ 와  $\beta = 0.99875$ 로 설정한다. 이와 같은 파라미터를 이용하면 각 연결의 평균 셀 전송율은  $1/3 = 0.333$ 이 된다.

트래픽 감시 메커니즘은 계약된 트래픽 파라미터를 위반하여 데이터 셀을 전송하는 소스로부터 계약된 내용을 잘 준수하는 소스를 보호해서 이러한 소스가 자신에게 할당된 망 자원을 사용할 수 있도록 해야 한다. 또한 트래픽 감시 메커니즘은 트래픽

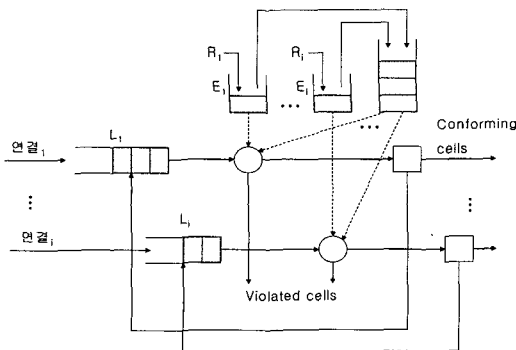


그림 1. FILB 구조

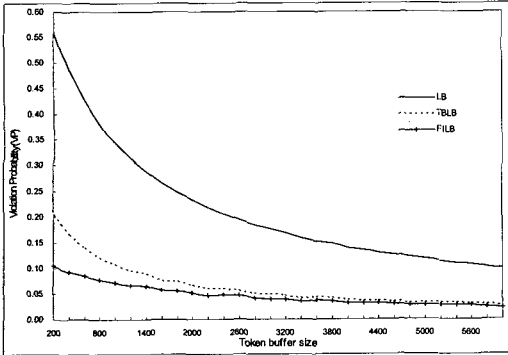


그림 2. 토큰 버퍼 크기에 대한 LB, TBLB 그리고 FILB의 셀 위반 확률

파라미터를 잘 준수하는 소스로부터 전송되는 데이터 셀이 위반으로 판정되는 비율이 최소가 되어야 한다. 따라서 이 논문에서는 트래픽 감시 메커니즘의 성능을 측정하기 위한 항목으로서 참고문헌 [6]에 정의된 셀 위반 확률(Violation Probability: VP) 뿐만 아니라 각 소스의 망 서비스율(Service Rate: SR)을 성능 측정을 위한 파라미터로 사용하고자 한다. 그림 2는 그룹 내에 4 개의 연결이 있는 경우에 토큰 버퍼의 크기에 대한 Leaky Bucket, TBLB, 그리고 셀 버퍼 크기가 400인 FILB의 위반 확률을 보여준다. 이 그림에 나타나 있는 것과 같이, 제안된 FILB 알고리즘은 leaky bucket 알고리즘에 비해서 상당히 좋은 성능을 나타내고 있으며, 또한 TBLB에 대해서도 비교적 좋은 성능을 보여주고 있다. 사실 TBLB에 비해서 FILB의 성능이 좋은 이유는 알고리즘의 특성이라기보다는 TBLB보다 셀 버퍼가 추가로 존재해서, TBLB에서는 위반으로 간주되는 셀이 FILB에서는 셀 버퍼로 저장되기 때문에, 셀이 저장되는 만큼의 성능이 향상되는 것이다. 따라서 만일 FILB에 셀 버퍼가 존재하지 않는다면 TBLB에 비해서 특별히 좋은 성능을 제공한다고 할 수 없을 것이다. 그렇지만, TBLB에서는 하나 이상의 소스가 계약된 트래픽 파라미터보다 더 많은 데이터 셀을 전송하는 경우에는 이러한 소스로 인해서 다른 소스들의 성능이 저하될 수 있다. 따라서 이와 같이 계약을 위반해서 더 많은 데이터 셀을 전송하는 연결로 인한 성능의 영향을 살펴보는 것이 필요하다. 그림 3은 4 개의 연결이 그룹으로 그룹화되어 있는 경우에, 4 개의 연결 중 하나의 연결이 계약된 것보다 더 많은 비율로 데이터 셀을 전송하는 경우에 TBLB와 FILB 알고리즘에 대한 각 연결의 위반 확률을 보여주며, 그림 4는 그림 3

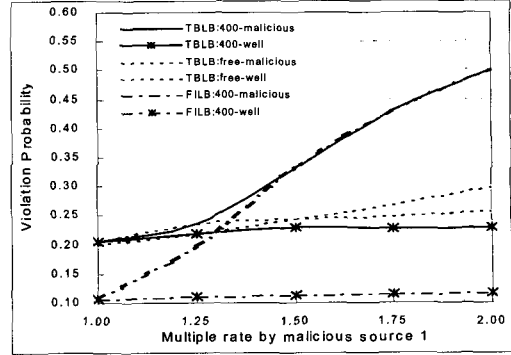


그림 3. 계약 위반 소스에 대한 각 연결이 셀 위반 확률

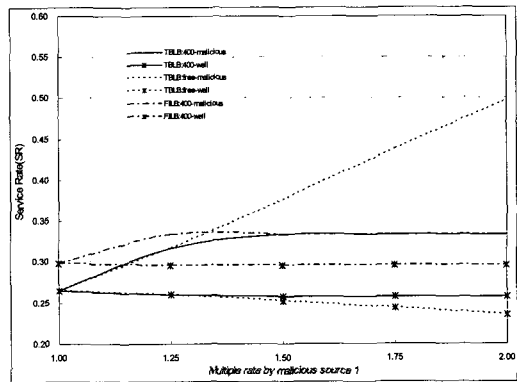


그림 4. 계약 위반 소스에 대한 각 연결의 서비스율

의 경우에 각 연결의 서비스율을 보여준다. TBLB의 경우에는 계약을 위반하는 연결이 과도하게 망 자원을 사용하는 것을 방지하기 위하여 Credit limit (CR)이라는 값이 설정된다. 그림 3과 4에서는 TBLB의 경우에 CR의 값이 400인 경우와 제한이 없는 경우(즉, no limit)의 두 가지 경우를 보여준다. 그림 3에서 나타나 있는 것과 마찬가지로, CR이 없는 TBLB 동작에서는 하나의 연결이 계약을 위반하여 데이터 셀을 전송하면 이러한 연결 때문에 계약을 준수해서 전송하는 다른 연결들의 위반 확률도 함께 증가하게 된다. 이러한 계약을 위반하여 전송하는 연결로부터 계약을 잘 준수하는 연결을 보호하기 위하여 CR을 400으로 설정한 경우에도, 계약을 위반하는 연결의 위반 확률은 상당히 증가하지만, 계약 위반 연결로부터 전송되는 셀의 양이 증가하면 증가할수록 계약을 준수해서 전송하는 다른 연결들의 위반 확률도 함께 증가하는 것을 볼 수 있다. 반면 FILB의 경우에는 계약을 위반하는 연결로부터 전송되는 평균 전송율이 증가하면 증가할수록 위반 확률은 급격히 증가하는 반면에, 계약을

준수하여 데이터 셀을 전송하는 연결이 꺾게 되는 위반 확률은 계약 위반 연결을 셀 전송율과 관계 없이 거의 일정한 값을 나타내고 있다. TBLB에 대한 FILB의 장점은 그림 4에 더욱 잘 나타나 있다. TBLB의 경우에 서비스율은 계약을 위반하는 연결로부터의 전송율이 증가할수록 계약 위반 연결의 서비스율도 따라서 증가하게 된다. 즉, 계약 위반 연결이 사용하는 서비스율은 호 수락 제어 과정에서 설정된 평균 서비스율보다 더 높게 되는 반면에 계약을 준수하는 연결이 꺾게 되는 서비스율은 줄어들게 된다. 이 이유는 계약을 준수하는 연결에게 할당하는 망 자원의 일부가 계약을 위반하는 연결에 의해서 사용되게 되고, 계약을 위반하는 연결로부터 전송되는 평균 전송율이 증가하면 증가할수록 사용되는 망 자원도 더불어 많아지기 때문이다. 반면, FILB의 경우에는 계약 위반 연결로부터 전송되는 트래픽의 전송율에 관계없이 계약 준수 연결이 꺾게 되는 서비스율이 일정하게 유지되는 것을 볼 수 있다. 이것은 망 자원이 일시적으로 부족하게 되는 경우에는 계약을 준수하는 연결로부터 전송되는 데이터 셀을 셀 버퍼에 저장하게 되고, 또한 이러한 연결에 할당된 셀 버퍼에 저장되어 있는 셀들은 공유 토큰 풀에 있는 토큰을 우선적으로 사용할 수 있기 때문이다. 따라서 FILB 방식에서는 호 수락 제어 알고리즘에 의해서 설정이 수락된 연결은 자신에게 할당된 망 자원을 공평하게 사용할 수 있으며, 계약을 위반하는 연결로 인한 영향이 적다는 장점이 있다.

#### IV. 결론

이 논문에서는 패킷 교환 방식의 특징인 통계적 다중화 이득을 얻으면서도 설정된 연결들 간에 망 자원을 공평하게 이용할 수 있는 공평성 향상 leaky bucket(FILB) 알고리즘을 트래픽 감시 알고리즘으로 제안하였다. 제안된 알고리즘에서는 연결 설정 동안에 계약된 트래픽 파라미터를 준수하는 연결이 일시적인 망 자원의 부족으로 인하여 셀이 위반으로 간주되는 확률을 줄이기 위하여 각 연결마다 셀 버퍼가 존재하며, 위와 같은 경우의 셀은 셀 버퍼에 저장된 후 토큰이 발생하면 전송된다. 제안된 FILB 알고리즘은 모의 실험을 통하여 성능을 평가하였으며, 성능은 기존의 leaky bucket 방식은 물론 TBLB 보다도 좋은 공평성 성능 향상을 가진다는 것을 볼 수 있었다.

#### 참고 문헌

- [1] Kyas, *ATM Networks 2nd Ed.*, Thomson Computer Press, 1997.
- [2] M. Murate, Y. Oie, T. Suda and H. Miyahara, "Analysis of a Discrete-Time Single-Server Queue with Bursty Inputs for Traffic Control in ATM Networks", *IEEE JSAC*, vol. 8, no. 3, pp. 447-458, Apr. 1990.
- [3] M. Butto, E. Cavallero and A. Tonietti, "Effectiveness of the Leaky Bucket Policing Mechanism in ATM Networks", *IEEE JSAC*, vol. 9, no. 3, pp. 335-342, Apr. 1991.
- [4] E. P. Rathgeb, "Modeling and Performance of Policing Mechanisms for ATM Networks", *IEEE JSAC*, vol. 9, no. 3, pp. 325-334, Apr. 1991.
- [5] 유상조, 홍성훈, 김성대, "ATM 망에서 마코프 모델기반 VBR MPEG 비디오 트래픽 기술자에 대한 새로운 Policing 방법", *한국통신학회논문지*, 제 25권, 제 1A호, pp. 142-155, 2000년 1월.
- [6] S. Wu and W. E. Chen, "The Token-Bank Leaky Bucket Mechanisms for Group Connections in ATM Networks", *Proc. of ICNP*, pp. 226-233, 1996.

이 재 훈 (Jae-hwoon Lee)

중신회원



1985년 2월 한양대학교 전자공학과 학사  
 1987년 2월 한국과학기술원 전기및전자공학과 석사  
 1995년 8월 한국과학기술원 전기및전자공학과 박사  
 1987년 3월~1990년 4월~데이콤

연구원

1990년 9월~1999년 2월~삼성전자 정보통신부문 선임연구원  
 2000년 3월~2000년 12월 삼성전자 자문교수  
 1999년 3월~현재 동국대학교 정보통신공학과 부교수  
 2000년 5월~현재 10G 이더넷포럼 운영위원  
 <관심분야> 초고속통신, 다중 액세스 프로토콜, 인터넷 프로토콜, 광 네트워크 프로토콜