

멀티미디어 트래픽을 위한 서비스 품질 보장형 망의 최선형 표준 트래픽 기술자 계산 방식

정회원 안희준*, 오혁준**

An Optimal parameter selection Algorithm for standard-compatible traffic descriptors for multimedia traffic

Heejune Ahn*, Hyukjun Oh** *Regular Members*

요약

인터넷 및 통신망 국제표준 단체들은 자신들의 망에서 서비스 품질 보장형 기능을 제공하기 위한방안으로써 공통적으로 리키버킷에 의한 입력 트래픽 정의 방법을 채택하고 있다. 반면, 그동안 연구결과는 멀티미디어 트래픽의 버스트특성이 시간적으로 광범위한 준위에 걸쳐 있음을 확인하고 있다. 이러한 두개의 상반되는 현실을 해결하기 위하여 본 논문에서는 임계 시준위 개념을 사용한 표준적 트래픽 기술자계산 방법을 제안하고 이를 시뮬레이션을 통하여 분석하였다. 제안된 알고리즘은 지연치가 주어진 상태에서 최상의 성능을 얻을 수 수학적으로 증명하였고, 실제 시스템 응용에 대하여 제안하였다.

Key Words : Dual leaky bucket, UPC, RSVP, QoS, VBR video traffic, critical time scale

ABSTRACT

While the international standards bodies recommend the dual leaky buckets for the traffic specification for VBR service, video traffic shows burstiness in multiple time-scales. In order to fill this gap between the current standards and real traffic characteristics, we present a standard-compatible traffic parameter selection method based on the notion of a critical time scale (CTS). Since the defined algorithm minimizes the required link capacity under a maximum delay constraint, it could be used as a benchmark even when it can not be implemented easily. Simulation results with compressed video traces demonstrate the efficiency of the defined traffic parameter selection algorithm in resource allocation.

1. 서론

ITU-T[3]와 ATM Forum[2]과 같은 국제 통신기술 표준화 조직과 인터넷 표준 단체인 IETF (Internet Engineering Task Force)은 각기 현재 주요 쉐튼츠인 음성서비스와 텍스트와 그래픽기반의 응용을 넘어서 멀티미디어를 지원하기위한 네트워크

기술로서 보장형 서비스 구조를 연구해 오고 있다. 현시점에서는 기존의 최선형(best-effort) 서비스를 계속 사용하면서, 대역폭의 증가와 지능적인 응용계층 알고리즘에 의한 품질향상에 의존하고 있는 상황이다. 그러나, 저자들은 향후에는 부가가치가 높은 망에서부터 시작하여 점차로 보장형 서비스 기반의 방식이 확산되어 사용할 가능성이 크다고 보

* 서울 산업대학교 제어계측공학과 (heejune@snut.ac.kr), ** 광운대학교 전자통신공학과 (hj_oh@kw.ac.kr)

논문번호 : KICS2004-11-266, 접수일자 : 2004년 11월 8일

※본 연구는 2004~2005년 서울산업대학교 산학중점대학사업 기술연구과제로 수행되었습니다.

고 있다.

그 동안의 트래픽 제어에 대한 연구는, 보장형 서비스를 제공하기위한 기술로 사용변수제어(UPC: Usage Parameter Control)과 호 수락 제어(CAC: Call Admission Control)가 필수적이라는 것에 기술적 합의가 이루어진 상태이다. 특히 이중 UPC방식은 표준화가 필수적인 요소이다. UPC에 관련하여 ITU-T 와 ATM-FORUM의 권고안 및 IETF의 IntServ 및 DiffServ 프레임의 RSVP[4] 표준 모두에서 이중리키버킷을 사용하고 있다. 이중리키 버킷 알고리즘은 4개의 변수를 사용하여 정의되는데, 이는 최대 전송율, 평균 전송율과 각 전송에 대한 허용치들이다. 구체적으로 ATM 기반 망의 경우, 이 변수들은 PCR(peak cell rate), SCR(sustainable cell rate), IBT (intrinsic burst tolerance), 그리고 CDVT(cell delay variation tolerance)으로 정의하고 있다.

다른 한편으로, 그동안 멀티미디어 트래픽의 대한 연구결과들을 살펴보면 이 멀티미디어 트래픽의 버스트 특성이 광범위한 시준위에서 사라지지 않고 퍼져있음을 일관되게 보고하고 있다[7,9,10]. 이러한 사실은 정확한 트래픽의 기술을 위하여는 현재의 이중리키버킷보다 월등히 많은 수의 트래픽 변수가 필요함을 의미한다[1,11]. 참고로, 현재의 이중 리키 버킷은 역사적으로 패킷 음성 트래픽의 on-off 모델에서 기인한 것으로 볼 수 있다.

이 두 상반되는 사실들, 즉, 표준 규약에서 정의하고 있는 적은 수의 트래픽 기술 변수와 실제 멀티미디어 트래픽에서의 복잡한 트래픽 특성은 트래픽 모델링 및 UPC 적용에 있어서 상당한 어려움을 주고 있다. 사실상 경제적 사회적 요소와 더불어 이러한 기술적인 문제점이 현 네트워크 시장에서 보장형 서비스의 정착을 지연하고 있는 원인이 되고 있다. 본 논문에서는 이러한 두 현실간의 격차를 해결하기 위한 방안으로 ‘임계 시간 준위(critical time scale)에 기반한 트래픽 변수 선정방법을 제안한다. 여기서 임계 시간 준위란 라우터나, 스위치같은 다중화기의 대기지연 특성에 가장 민감하게 영향을 주는 트래픽의 입력특성의 인터벌을 의미한다. 본 연구에서는 수학적인 편의성을 위하여 확정적 모델을 사용하고 있고, 확률적인 부분으로의 확장의 진행 중이다. 여기서 대기체계의 시스템의 서비스 방법으로 가중 균형 큐잉(Weighted Fair Queueing)을 가정한다. 따라서 각 트래픽 흐름간의 상호간섭은 서비스 방식에 의하여 보호되게 된다.

II. 임계 시간 준위

임계 시간 준위 (CTS) 개념은 [6,8]등에서 주어진 버퍼 기준치를 넘는 확률을 주도하는 시간 인터벌로 사용되기 시작하였고, 이후로 [1]등에 의하여 확정적 모델에 적용되었다. 시간 간격 T 단위로 정하고, 시간 순번 i 에서 발생하는 트래픽 양을 $X(i)$, $i = 1, 2, \dots, N$ 라고 표시하자. 4장의 실험 예에서는 $T = 1/25\text{sec}$ 을 사용하였다. 이때 시간 범위에서 최대 도착율 $A(t)$ 는

$$A(t) = \max_{0 \leq k \leq N-t} \sum_{j=k+1}^{k+t} X(j), \quad (1)$$

for $t = 1, 2, \dots, N$, $A(0) = 0$.

로 정의된다. 이때, WFQ(Weighted Fair Queueing)을 사용하는 경우 허용지연 최고치 d 를 만족하기 위한 최소 대역 요구량 $C_{\min}(d)$ 는

$$C_{\min}(d) = \min \{C > 0 | \max \{A(t) - Ct\} \leq C \cdot d\} \quad (2)$$

로 구할 수 있고 이 $C_{\min}(d)$ 는 다시

$$C_{\min}(d) = \inf_{t \geq 0} \left\{ \frac{A(t)}{t+d} \right\} \quad (3)$$

로 표현할 수 있다.

여기서 임계 시간 준위 $t_c(d)$ 은 지연이 최대가 되는 시간 값으로

$$t_c(d) = \operatorname{argmax}_{t \geq 0} \{tA(t) - C_{\min}(d) \cdot t\} \quad (4)$$

로 구해진다.

그림 1은 확정적 모델에서 임계 시간 준위 t_c 를 그래프로 설명하고 있다. 이렇게 계산되는 실제 데이터틀 이용한 임계치 시간준위를 그림 2에 표현하고 있다. 사용된 3개의 영상 시퀀스 MPEG-1 ‘Star Wars’, MPEG-4 ‘Larry’ 그리고, 화면내 부호화(JPEG-like)된 ‘Star Wars’이다. 실험 결과는 임계 시간 준위 값은 허용 지연값의 증가에 따라 단조 증가함을 보여 준다. 또한 같은 Star Wars 입력 영상에 따른 부호화 방식을 사용한 경우를 비교하면, 두 그래프가 큰 차이를 보이는 것을 확인할 수 있다. 이는 코딩 방식과 부호화 변수에 따른 멀티미디어 트래픽의 시간적 변화가 대기체계에 큰 영향을 미치고 있음을 확인하는 결과이다.

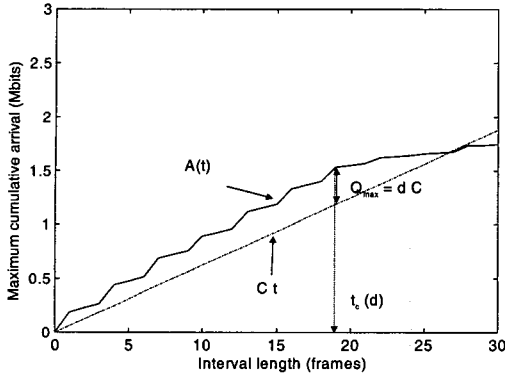


그림 1. 임계 시간 준위(t_c)의 정의

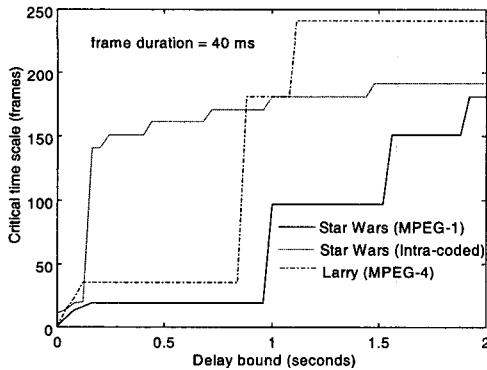


그림 2. 허용 지연 d 의 변화에 따른 임계 시간 준위(t_c) 변화

III. 임계 시간 준위를 사용한 트래픽 변수 선정 방법

앞서 정의한 임계 시간 준위에 대한 개념을 토대로, 우리는 이중 리키버킷의 트래픽 기술 변수 (ρ_1, σ_1)와 (ρ_2, σ_2)를 선정하고자 한다. Wrege 등은 [11]에서 트래픽 입력 곡선을 여러 개의 리키버킷으로 매칭하는 방안을 제안하였고, Ahn 등은 [1]에서 위로 볼록 함수로 근사화 하는 방식에 대한 알고리즘을 제한함으로 트래픽을 기술하기 위한 리키버킷의 수를 줄이는 방안에 대하여 제안하였다. 그러나 두 방법 모두 표준안에 있는 것과 같이 이중 리키버킷으로 변수 사용을 제한하면 기술 오차가 크게되는 등 적용상에 문제점을 가지고 있다. 본 논문에서 제한하는 알고리즘은 임계 시간 준위를 사용하여 최적의 이중 리키버킷의 변수를 찾아낸다.

데이터 도착 함수 $A(t)$ 을 얻고, 이 함수로부터 최소 대역폭과 임계 시간 준위값 $t_c(d)$ 을 얻은 후에 최종적으로 이중 리키버킷 변수 값을 식(5)-(8)에 의하여 구한다. 이 계산 방식에 대한 도해가 그

림 3에 표시되어있다.

$$\rho_1 = \min_{0 \leq t_1 < t_c} (A(t_c) - A(t_1)) / (t_c - t_1) \quad (5)$$

$$\rho_2 = \min_{t_c < t_2 \leq N} (A(t_2) - A(t_c)) / (t_2 - t_c) \quad (6)$$

이 두 직선의 수직 절편의 값은 각각

$$\sigma_1 = A(t_c) - \rho_1 t_c \quad (7)$$

$$\sigma_2 = A(t_c) - \rho_2 t_c \quad (8)$$

으로 구해진다.

그림 3은 두개의 다른 허용 지연값 d_1 과 d_2 에 대한 이중 리키버킷의 예를 보여 준다. 이중 리키버킷에 대한 요구사항들 $\rho_1 \geq \rho_2$ 과 $\sigma_1 \leq \sigma_2$ 은 Property 1에서 증명되고 있다.

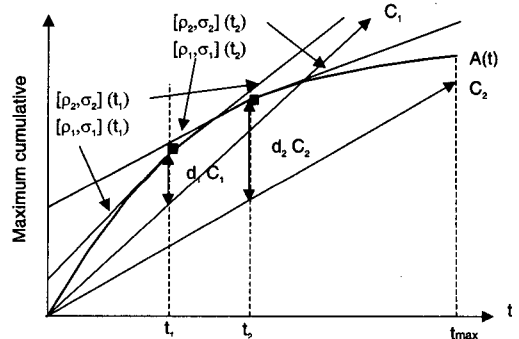


그림 3. 제안된 이중 리키버킷 변수 추출 방식

(Property 1): 식 (5)-(8)로 주어지는 이중 리키버킷 변수 들은 $\rho_1 \geq \rho_2$ 과 $\sigma_1 \leq \sigma_2$ 을 만족한다.

(증명): 우선, σ_1 과 σ_2 의 정의로부터, $\rho_1 \geq \rho_2$ 를 만족하면 $\sigma_1 \leq \sigma_2$ 을 만족하게 된다. 따라서 첫 번째 부등식을 증명하겠다. $t_c(d)$ 의 정의 식 (4)로부터 $A(t) - C_{\min} t \leq A(t_c) - C_{\min} t_c (t \geq 0)$ 이 성립한다. 따라서 $t < t_c$ 에서 $C_{\min}(t_c - t) \leq A(t_c) - A(t)$ 로 표현할 수 있고, 이것은 다시 $C_{\min} \leq (A(t_c) - A(t)) / (t_c - t)$, 즉 $C_{\min} \leq \rho_1$ 로 표현이 된다. 같은 방식으로, 부등식 $C_{\min} \geq \rho_2$ 도 유도된다. 따라서, $\rho_1 \geq \rho_2$ 이 증명된다. (Q.E.D)

또한 식 (5)-(8)에 의하여 얻어지는 리키버킷 변수는 트래픽 플로우 $A(t)$ 의 UPC 조건을 만족한다. 즉, $A(t) \leq \min(\rho_1 t + \sigma_1, \rho_2 t + \sigma_2)$ 이 성립한

다. 이에 대한 증명은 다음과 같다. 우선, property 1의 결과로서 $\min(\rho_1 t + \sigma_1, \rho_2 t + \sigma_2)$ 는 $\rho_1 t + \sigma_1$ ($t \leq t_c$)과 $\rho_2 t + \sigma_2$ ($t \geq t_c$)이 된다. 따라서, 이 또한 $A(t) \leq \rho_1 t + \sigma_1$ ($t \leq t_c$)와 $A(t) \leq \rho_2 t + \sigma_2$ ($t \geq t_c$)를 증명하는 것으로 귀착된다. $t \leq t_c$ 인 경우 부등식은 σ_1 와 ρ_1 의 정의로부터, $\rho_1 t + \sigma_1 = A(t_c) - \rho_1(t_c - t) \geq A(t)$ 과 같이 증명되고, $t \geq t_c$ 인 경우도 같은 방식으로 증명이 된다.

더욱이, 임계 준위 시간 방식은 주어진 지연 제약 하에서 요구 대역, 즉, 대역요구를 최소화 한다 (Property 2). 입력 트래픽 유입량 $A(t)$ 의 이중 리키버킷 기술자를 사용한 유입량을 $\Psi(t)$ 라고, 그것의 최소 대역 요구양을

$$C_{\min}^{\Psi}(d) = \inf_{t \geq 0} \left\{ \frac{\Psi(t)}{t+d} \right\} \quad (9)$$

라고 하면, $C_{\min}^{\Psi}(t)$ 이 $\Psi(t)$ 로 유입량이 정의된 입력력에서 허용지연 d 를 만족하는 최소의 대역폭을 필요로 한다.

(Property 2): 어떤 $\Psi(t)$ 에 대해서도 $C_{\min}(d)$ 이 식 (3)에 의하여 주어진 범위에서 부등식 $C_{\min}^{\Psi}(t) \geq C_{\min}(d)$ 이 성립한다. 특히, 등식 $\Psi(t)$ 은 식 (5)-(8)에 주어진 경우에 성립한다.

(증명): $t \geq 0$ 인 범위에서 $A(t) \leq \Psi(t)$ 이 성립하고, $C_{\min}(d) = \inf_{t \geq 0} \left\{ \frac{A(t)}{t+d} \right\}$ 이므로, 어떤 $\Psi(t)$ 에 대하여도 $C_{\min}^{\Psi}(d) \geq C_{\min}(d)$ 이 성립한다. 더욱이 임계 시간 준위 시간의 정의에서부터

$$C_{\min}(d) = \frac{A(t_c)}{t_c+d} = \frac{\Psi_{CTS}(t_c)}{t_c+d} = C_{\min}^{\Psi_{CTS}}(d) \quad (10)$$

으로 표현이 가능하다. 여기서 $\Psi_{CTS}(t)$ 는 식(5)-(8)에 의하여 변수가 정해진 이중 리키버킷이다. $\Psi_{CTS}(t)$ 의 임계시간준위가 $A(t)$ 의 값과 같으므로 마지막 등식이 성립한다. (Q.E.D)

또한 $C_{\min}^{\Psi}(d)$ 의 이중 리키버킷 변수들을 사용하여 정리하면

$$C_{\min}^{\Psi}(d) = \min \left\{ \rho_2, \frac{\sigma_2 \rho_1 - \sigma_1 \rho_2}{\sigma_2 - \sigma_1 + d(\rho_1 - \rho_2)} \right\} \quad (11)$$

로 표현된다.

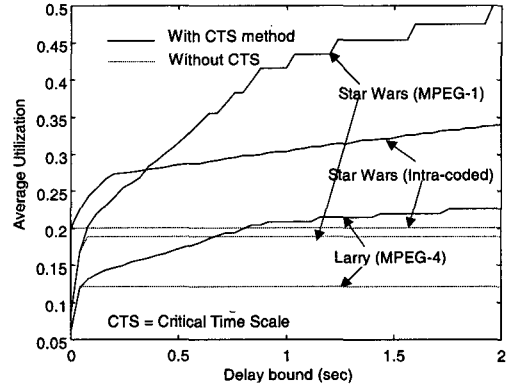


그림 4. 대역 사용 이득. 제안된 알고리즘과 참고문헌 [9]에 기초한 알고리즘.

IV. 수치결과

멀티미디어 네트워크에 대한 연구가 있었던 지난 10여년이상 멀티미디어 트래픽 모델링 방법과 리키버킷 사용 규제 방식에 대한 많은 연구들이 있어 왔지만, 이 둘을 결합한 트래픽 변수 추출기술에 대해서는 연구결과 상대적으로 적은 것 같다[9,11]. 그림 4의 수치 결과들은 임계치 시간 준위를 사용한 리키버킷 선정 방식의 장점을, 기존의 [11]등의 방식과 비교하여, 양적으로 보여준다. 성능 비교 기준으로 평균 링크 사용률 $\gamma = \left(\sum_{i=1}^N X(i) / N \right) / C_{\min}^Y(d)T$ (여기서 T는 영상의 프레임 시간, 40 ms)로 하였다. $C_{\min}^Y(d)$ 는 허용지연한계 d 를 만족하는 최소 링크속도를 표시한다. 여기서 윗첨자 Y는 각각 본 논문에서 제안된 알고리즘 ($Y=1$)과 논문 [11]의 알고리즘 ($Y=2$)을 표시한다. 즉, 임계 준위 방식을 사용한 경우와 그렇지 않은 경우이다.

임계준위 방식을 사용한 이중 리키버킷은 $C_{\min}^1(d)$ 은 식 (3)에서 주어진 $C_{\min}(d)$ 이다. 임계치를 사용하지 않은 리키버킷은 [11]에서 주어지는 처음 두개의 리키버킷 셋을 사용하였다. 지면의 제약상 본 논문에는 대표적인 3개의 트레이스 결과만을 실었으나, 다른 트레이스에 대한 실험 결과도 이와 유사한 특성을 보임을 확인하였다.

엄격한 허용 지연치를 요구하는 경우에서, 제안된 알고리즘은 상대적으로 적은 대역이득을 보았다. 따라서 이 경우에는 [11]의 방법도 상당히 효과적인 기술을 할 수다고 볼 수 있다. 반면 보통 또는 큰 허용 지연 값을 사용하는 경우에는 제안된 알고리즘의 링크 사용 이득이 상당히 크다(200~400%까지)

는 것을 확인할 수 있다. 즉, 이 범위에서 [11]의 방법과 같이 임계 준위를 사용하지 않는 경우에는 트래픽의 기술에 정확도가 매우 떨어짐을 알 수가 있다.

V. 결론

본 논문에서 멀티미디어 트래픽의 트래픽 기술자를 선정하기 위한 임계 시간 준위 개념에 대하여 소개하였고, 이 임계 시간 준위를 사용한 이중 리키버킷 표준 기술자 선정 방법에 대하여 제안하였다. 제안된 알고리즘에 의하여 선정된 표준기술자가 허용 지연치하에서 대역 사용량 허용치 측면에서 최적임을 증명하였다.

3개의 대표적인 시퀀스를 가지고 실험한 결과를 토대로, 본 알고리즘의 활용적인 측면을 살펴보면, 현재 인터넷과 멀티미디어 망에서 주요 응용이 되고 있는 지연 허용치가 상당히 큰 스트리밍(stored video retrieval), DVB, VoD(video on demand)과 같은 응용 서비스에 바로 적용이 가능 할 것으로 보인다. 한편 VoIP같은 실시간 인터랙티브인 경우에는 임계치기반 트래픽 기술자 알고리즘이 큰 상대적으로 큰 이득을 주지 않는 것을 예측할 수 있다.

이 두 가지 경우 모두, 제안된 알고리즘이 사용 대역치 측면에서 최적의 특성을 보임은 이론적으로 중요한 사실이며 차후의 연구 결과에 성능향상의 기준으로 사용할 수 있다. 즉, 현재 QoS보장 망으로의 진화가 예상보다 지연되고 있지만, 저자는 향후 QoS 보장망에서 이중 리키버킷은 가장 중요한 트래픽 제어 방식으로 남을 것으로 보고 있다. 따라서, 본 연구에서 제안된 알고리즘을 확률적 모델에서의 적용, 복잡도와 성능의 상화 관계를 연구하는 기준으로 사용할 수 있다.

참 고 문 헌

[1] H. Ahn, A. Baiocchi, and J.-K. Kim, "On the time scale in the characterization of video traffic for queueing behavior," *Computer Communications* vol. 22, no. 15-16, pp. 1382-1391, September 1999.

[2] ATM Forum, Traffic management specification, version 4.0, April, 1996.

[3] ITU-T Study Group 13, Recommendation I.371, Traffic control and congestion control in B-ISDN, Geneva, Switzerland, 1996.

[4] C. P. S. Shenker and R. Guerin, "Specification of guaranteed quality of services," Internet draft, Work in Progress, June 1996.

[5] X. Xiao and M. Ni, "Internet QoS: a big picture," *IEEE Network Magazine*, pp. 8-18, March/April, 1999.

[6] Choe J. Choe and N. B. Shroff, "A central limit theorem based approach for analyzing queue behavior in high-speed networks," *IEEE/ACM tran. on Networking*, vol. 6, no. 5, pp. 659 -671, Oct. 1998.

[7] M. W. Garrett, Contributions toward real-time services on packet networks, PH. D. Dissertation, Columbia Uni., New York, NY, May 1993. ftp address and directory of the used video trace:bellcore.com/pub/vbr.video.trace/ or email to the authors

[8] Y. Kim and S. Q. Li, "Time-scale of interest in traffic measurement for link bandwidth allocation design," in *Proc. INFOCOM'96*, pp. 738-746, March 1996.

[9] J. W. Roberts, Ugo Mocchi, and Jorma Virtamo Ed., *Broadband network teletraffic: Final Report of Action COST 242*, Springer, 1996.

[10] O. Rose, "Statistical properties of MPEG video traffic and their impact on traffic modeling in ATM systems," in *Proc. 20th Annual Conference on Local computer Networks*, Minneapolis, MN, 1995.

[11] D. E. Wrege, E. Knightly, H. Zhang, and J. Liebeherr, "Deterministic delay bounds for VBR video in packet-switching networks: fundamental limits and practical trade-offs," *IEEE/ACM Trans. Networking*, vol. 4, no. 3, pp. 352-362, June 1996.

안 희 준 (Heejune Ahn)

정회원



1995년 3월~2000년 2월 한국 과학기술원 전기 및 전자공학과 공학박사

2000년 2월~2002년 8월 (주) LG전자 차세대단말연구소(선임 연구원)

2002년 9월~2004년 12월 (주)

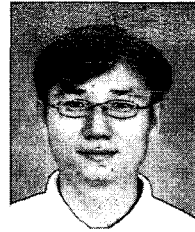
Tmax Soft 기술연구소, J2EE WAS개발 팀장(책임 연구원)

2004년 2월~현재 서울산업대학교 제어계측공학과 (전임강사)

<관심분야> 통신 소프트웨어 구현, 멀티미디어 인터넷 통신, 임베디드 시스템 응용

오 혁 준 (Hyukjun Oh)

정회원



1995년~1999년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(공학박사)

1999년~2001년 미국 Stanford 대학 박사 후 과정

2001년~2004년 미국 Qualcomm 사. 3GPP CSM/MSM 개발

현재 광운대학교 전자통신공학과 (조교수)

<관심분야> 차세대 이동통신, 통신 모뎀 SoC 설계, 통신 신호 처리 이론 및 설계, 통신 임베디드 시스템 응용