

긴 지연시간을 갖는 ABR 트래픽에 대한 피드백제어 모델

오 창 윤[†] · 배 상 현^{††}

요 약

ATM은 패킷 데이터 서비스 통신에 적합한 통신망식으로 데이터, 음성, 영상 등의 서비스를 동시에 지원할 수 있다. 이러한 ATM의 QoS를 보충하기 위해서는 패킷 데이터를 전송하는 소스 비율에 대해 네트워크 초과적조 조건을 조절하는 것이 필요하는데 대부분의 제어알고리즘이 임재값을 기반으로 한 피드백 제어방식이다. 그러나 실시간 음성 트래픽과 같은 서비스는 네트워크 상에서 데이터 서비스 동안에 동적인 연결이 설정되고 종료될 수 있으므로 피드백 제어정보가 지연된다면 고속으로 서비스된 음성 데이터에 대한 품질은 소스와 목적지 사이의 시간 지연으로 인해 손실될 수 있다.

본 논문에서 제시된 최소평균제곱오차에 근거를 둔 제어 알고리즘은 예시적인 피드백 제어로 피드백 제어를 위해 미지 함수의 기울기와 버퍼크기를 이용하여 미래의 버퍼크기를 예측하려 하였으며 시뮬레이션 결과 본 논문에서 제시한 제어 알고리즘은 효과적임이 증명되었다.

A Feedback Control Model for ABR Traffic with Long Delays

Chang-Yun Oh[†] · Sang-Hyun Bae^{††}

ABSTRACT

Asynchronous transfer mode (ATM) can be efficiently used to transport packet data services. The switching system will support voice and packet data services simultaneously from end to end applications. To guarantee quality of service (QoS) of the offered services, source rate to send packet data is needed to control the network overload condition. Most existing control algorithms are shown to provide the threshold-based feedback control technique. However, real-time voice calls can be dynamically connected and released during data services in the network. If the feedback control information delays, quality of the serviced voice can be degraded due to a time delay between source and destination in the high speed link. An adaptive algorithm based on the optimal least mean square error technique is presented for the predictive feedback control technique. The algorithm attempts to predict a future buffer size from weight (slope) adaptation of unknown functions, which are used for feedback control. Simulation results are presented, which show the effectiveness of the algorithm.

1. 서 론

ATM은 비동기 시분할 다중화와 통계적 다중화 특

성을 기존의 데이터 통신분야에 도입한 방식으로 데이터와 음성, 영상과 같은 멀티미디어 등의 다양한 통신들을 유연하게 서비스할 수 있다. 이러한 다양한 트래픽을 적절하게 수용하고 사용자의 요구를 효과적으로 충족시키기 위해서 트래픽 특성과 요구되는 서비스 품질(QoS: Quality of Service)에 따라 서비스 계층을 분류해야 하는데 ATM에서는 크게 CBR(Constant Bit Rate), VBR(Variable Bit Rate), UBR(Unspecified Bit

※ 본 연구는 조선대학교 부설 FACPOV(Factory Automation Research Center for Parts of Vehicles)의 부분적인 지원에 의한 것임

† 오 창 윤 : 조선대학교 대학원 전산통계학과

†† 배 상 현 : 조선대학교 전산통계학과 교수

논문접수 : 1999년 11월 15일, 심사완료 : 2000년 3월 22일

Rate), ABR(Available Bit Rate)로 구분하고 있다[1, 2] 이러한 트래픽 클래스 중에서 CBR이나 VBR의 품질 보장형 서비스가 사용하고 남은 잉여 링크 대역폭을 최대한 활용하여 고속 데이터를 전송하기 위한 ABR 서비스에 대한 연구가 현재 활발히 진행되고 있다[1].

ABR 서비스는 최소의 대역폭을 보장하고 가용 대역폭을 최대 셀 전송률까지 높여 트래픽을 전송하며, 셀 손실을 줄이기 위해 피드백 정보를 활용하여 손실을 제어하는 것이 ABR 서비스의 목적이다. 즉, 다양한 통신 특성에 따라 예측할 수 없는 트래픽 변화 특성으로 인한 폭주현상을 적절한 피드백 제어를 사용함으로써 원하는 서비스에 대한 품질을 보장할 수 있다. 그러므로 네트워크의 현재 상태에 따라 각 ABR 전송률을 동적으로 조정하기 위해 피드백 메커니즘을 사용하는데 ABR 흐름제어는 모든 ABR 사용자에 대해 가용 대역폭을 공정하게 분배하여 이로 인한 셀 손실을 줄임으로써 기존의 네트워크와 비교할 때 보다 나은 패킷 손실률을 가지게 된다.

ATM 네트워크에서는 ATM 셀 이외에 제어정보를 지닌 정체 관리 셀이 있는데 이를 RM(Resource Management) 셀이라 하며 ABR 서비스에서 제공되는 피드백 메커니즘에서는 트래픽 제어정보를 제공하기 위해 RM 셀을 사용한다. 이러한 RM 셀은 제어정보에 대한 자세한 사항을 기술하여 소스로 전달되고 소스는 이 정보 셀을 이용하여 현재의 네트워크에서 적합한 셀 전송률을 조정하게 된다. 즉, 소스는 수신응답이 타임아웃 기간 동안 도달되지 않은 경우와 같은 암시적인 방법이나 RM 셀에 의한 명시적인 방법으로 네트워크의 폭주상태에 대한 정보를 얻는다. 고속으로 다양한 통신서비스를 지원하는 ATM 네트워크에서 문제점은 원격지에 있는 소스가 폭주상태에 대한 정보를 감지했을 시점이면 이미 다른 많은 패킷이 해당 소스에 의해 전송되었을지 것이며 이는 결과적으로 또 다른 지인과 셀 손실을 야기시킬 수 있다. 그러나 일반적인 경우에 있어서 네트워크가 정체될 경우 소스는 전송률을 감소시키고 정체가 완화되면 소스는 또 다른 정체를 야기시킬 수 있는 전송률로 전송을 재개할 수 있으므로 이러한 문제점에 대해서 ATM 네트워크 프로토콜은 connection-oriented 접근법을 기초로 하여 설계되었다. 소스가 셀을 전송하기 전에 사용자는 통신량의 특성과 서비스의 요구품질을 명시하고 연결이 설정되었을 때 네트워크는 피드백 정보를 활용하여 셀 손실을 최소화

하면서도 해당 소스에 대한 원하는 서비스 품질을 보장하도록 한다. ABR 서비스의 트래픽 제어를 위한 표준으로 ATM 포럼에서는 TM(Traffic Management) 4.0을 정의하고 ABR 서비스에 대한 송신원과 수신원 단말에 대한 자세한 규칙을 기술하고 있다[1, 2]

ABR 트래픽 제어를 위한 피드백 폭주 제어 알고리즘에 대한 대부분 연구는 임계치를 이용한 제어알고리즘에 초점을 맞추고 있다[1-3]

동적인 연결이 설정된 이후에 타임아웃 시간 내에 효과적인 제어를 위한 개선된 피드백 제어정보 및 알고리즘을 제시하고자 한다. 본 논문에서 제시하는 알고리즘은 입력비율, 버퍼크기 등 시스템의 과거 기록을 모니터링하고, 네트워크 상태를 조사하여 미래의 시스템 상태를 예측하고자 하며 이를 위해, 정규화된 최소제곱평균(NLMS) 알고리즘을 사용하였다[4]. 개선된 피드백 제어정보와 모델 및 알고리즘에 대해서는 다음 2장에서 설명하고, 3장에서는 ER 피드백 방식과 제안된 NLMS 피드백 방식을 조합 수행한 모의실험 결과를 제시하고자 한다.

2. 피드백 제어정보 및 알고리즘

2.1 제안된 피드백 제어정보

대역폭의 동적인 변화와 비스트한 특성을 지닌 데이터 트래픽에 대한 서비스를 지원하는 ABR에서 망부하의 안정성을 유지하고 가용 대역폭의 효율적 이용과 각 소스에 대해 공정한 대역 할당을 보장하기 위해서는 기존의 연구와 같이 피드백 제어 알고리즘을 제안하는 것만으로는 효과적인 제어가 불가능하므로 ATM 포럼에서 제시한 기존의 피드백 제어정보[1]를 다음 <표 1>과 같이 개선하여 보다 신속하고 정확한 폭주상태 정보를 전송하는 폭주 제어정보로 활용하고자 한다.

본 논문에서 제안한 피드백 제어정보는 ATM 포럼 상에서 제시한 RM 셀 내의 CI 필드와 NI 필드의 적용 효율성을 높여주고 폭주상태에 대해 보다 정확한 상태를 표시하기 위해 이 두 필드의 2비트를 조합하여 다음과 같이 폭주상태 정보로 적극 활용토록 하였다

- 1) CI=0, NI=0일 경우 : 폭주가 발생하지 않은 상태로 현재 소스의 허용 전송률인 ACR 값을 선형적으로 증가시킨다
- 2) CI=0, NI=1일 경우 . 안정상태에서 폭주상태로

전이되는 과정으로 폭주가 발생하기 전에 회피시키기 위해서 ACR 값을 감소시킨다.

- 3) CI=1, NI=0일 경우 : 폭주상태에서 안정상태로 진이되는 과정으로 또 다른 폭주가 발생할 가능성을 제거하기 위해 ACR 값을 감소시킨다
- 4) CI=1, NI=1일 경우 : 폭주상황이 지속적으로 진행되는 경우로 ACR 값을 ER 값과 비교하여 감소시킨다

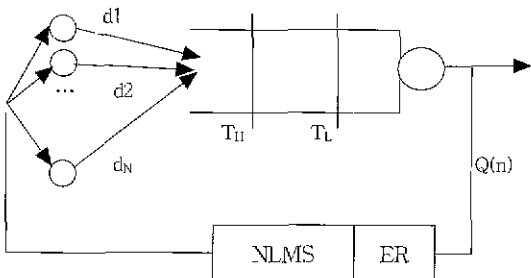
본 논문에서 제안된 방식은 CI 필드와 NI 필드를 폭주 제어정보로 적극 활용하는 것으로 큐의 크기, 입력 비율에 따라 조절하고 역방향 RM 셀이 전송되는 도중 해당 소스가 경유하는 경로 상의 스위치에서 더 심한 폭주가 발생된 경우만 이 두 필드의 값을 변경시키도록 한다

〈표 1〉 제안된 피드백 정보

CI	NI	상 태
0	0	안정상태
0	1	폭주예상
1	0	폭주감소
1	1	폭주지속

2.2 모델

제안된 피드백 제어정보는 본 논문에서 제시한 예측 알고리즘의 결과로부터 기능하는데 이에 대한 기본적인 큐잉모델은 (그림 1)에 나와 있다. 그림에서와 같이 N개 소스는 단일 스위치로 패킷 데이터 셀을 전송하고 스위치에서 셀 전송률과 큐 크기에 대한 병목상태는 정기적으로 수정되며 여기서 소스와 스위치 사이의 패킷 데이터서비스의 왕복 지연시간은 d_i 이고 주기적 갱신된다고 가정한다 네트워크 상태는 노드에 있는



(그림 1) Feedback Control Model

버퍼크기 $Q(n)$ 에 의해 명시되어지고 ER 값은 네트워크 내에서 해당 VC(Virtual Circuit)에 대해 허용할 수 있는 최대 전송률을 나타낸다. 버퍼크기에 대한 상한 임계치를 T_H , 하한 임계치를 T_L 이라 한다.

2.3 예측제어기

버퍼크기가 상한 임계치 T_H 를 초과할 경우, 스위치는 폭주 상황이 발생될 것을 고려하여 폭주를 피하기 위해 스위치로 전송되는 소스 셀에 대한 ER 값을 계산한다 버퍼크기가 하한 임계치 T_L 보다 작다면 스위치는 ER 값을 지수 함수적으로 증가시킨다. 그림에서 예측제어기는 현재 버퍼크기와 시간 n에서의 가중인자(가중기)를 가지고 다음 k단계의 버퍼의 버퍼크기를 추정한다

$Q(n)$ 이 시간 n에서의 버퍼크기라 하면 k단계의 예측제어기는 다음과 같이 주어질 식에서 k단계의 버퍼크기를 $Q(n)$ 로부터 추정한다

$$Q(n+k) = a^k(n) Q(n) \tag{1}$$

여기서 $a(n)$ 은 n시간에 추정된 가중인자이고, $k=1, 2, \dots, t$ 는 최대 예측구간이다. 시간 n에서의 예측오차는

$$e(n) = Q(n) - \hat{Q}(n) \tag{2}$$

이고, 여기서

$$\hat{Q}(n) = a(n-1)Q(n-1)$$

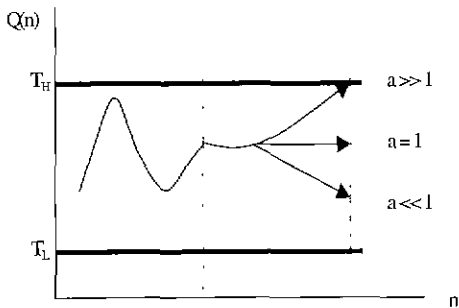
이다.

예측 계획에서는 각 시간단계에서 가중인자를 수정하기 위해 에러 값을 사용한다. 가중인자 $a(n)$ 은 소스가 추가 또는 제거되거나 소스의 활동단계가 변화되는 것에 영향을 받는다. 그래서 본 논문에서는 가중인자를 추정하는 것에 문제를 삼고 정규화된 최소제곱평균오차(NLMS) 선형 예측 알고리즘을 사용한다 초기 값이 $a(0) = 0$ 로 주어지면 가중인자 값은 다음과 같이 수정된다.

$$a(n) = a(n-1) + \frac{\mu e(n) Q(n-1)}{|Q(n-1)|^2} \tag{3}$$

여기서 μ 는 상수이다. $Q(n)$ 이 경점일 경우, $a(n)$ 은 최

적해로서 평균제곱에 수렴하며[5,6], 정규화된 최소제곱 평균오차 NLMS는 인자 μ 에 별로 영향을 받지 않으며 각 시간단계에서 가중인자 $a(n)$ 은 실제 버퍼크기 $Q(n)$ 과 추정된 버퍼크기 $\hat{Q}(n)$ 의 차이인 잔차 $e(n)$ 에 의해 버퍼크기가 증가 또는 감소되었는가에 대한 함수 변화 방향을 지시한다



(그림 2) The Prediction Scheme

(그림 2)는 본 논문에서 제시하는 예측계획을 나타낸다 $a \gg 1$ 이라면, 예측된 버퍼크기는 $Q(n+k) = a^k(n)Q(n)$ 식에 의해 증가되며 T_H 에 일치한 시간 k 는 시간 n 에서 명시된 $Q(n)$ 과 $a(n)$ 을 사용하여 미리 예측될 수 있다.

2.4 ER 알고리즘

본 논문에서는 해당 시간 전에 k 단계의 버퍼크기를 예측하기 위해 NLMS 알고리즘을 사용한다. 시간 n 으로부터 예측된 버퍼크기 $\hat{Q}(n+k)$ 값을 바탕으로 ER 값은 스위치에서 다음과 같이 계산된다[7].

- 1) 어떤 폭주상황도 감지되지 않을 경우에 $\hat{Q}(n+k)$ 값은 상한 임계치 T_H 보다 더 크지 않으며 $\hat{Q}(n+k) > T_L$ 이면, 소스에 대한 ER 값은 ATM Forum 표준에 명시된 선형증가 알고리즘에 의해 스위치에서 계산된다[8, 9]
- 2) 어떤 폭주상황도 감지되지 않고 $\hat{Q}(n+k) < T_L$ 이면, 소스에 대한 ER 값은 스위치에서 지수 함수적으로 증가된다[7, 10]. 만약 폭주 상황이 예측한 큐 크기 $\hat{Q}(n+k)$ 의 시간 n 에서 감지된다면, ER 값은 다음과 같이 계산된다.

$$ER = Fair_Share \times Explicit_Reduction_Factor,$$

여기서,

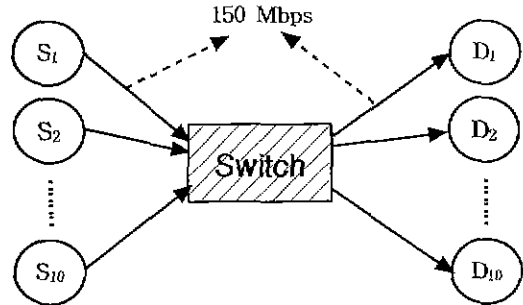
$$Fair_Share = \frac{Link_speed_at_switch}{Number_of_sources}$$

이다.

3. 시뮬레이션

3.1 시뮬레이션 환경

본 논문에서 제시한 제어알고리즘의 시뮬레이션 모델은 (그림 3)에서와 같이 스위치의 링크속도를 150 Mbps로 하고 스위치에 링크되는 N 개 각각의 소스에 대한 링크속도는 $150Mbps/N$ 으로 하였으며 5000개와 1000개의 셀에 대해 상한 임계치와 하한 임계치 버퍼를 가진 단일 병목현상 스위치에 대해 Visual C++을 사용하여 시뮬레이션 하였다.



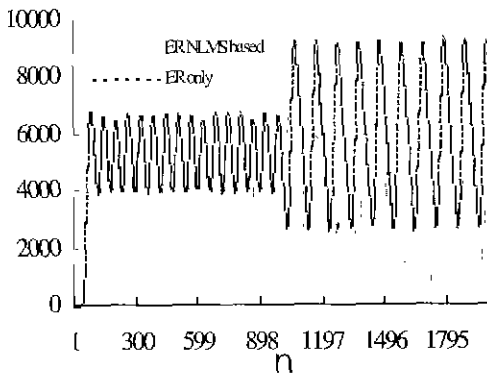
(그림 3) Simulation Model

시뮬레이션에 사용되는 매개변수 값은 PCR(Peak Cell Rate)을 150 Mbps로 하고 AIR(Additive Increase Rate)을 0.1 Mbps, ERF(Explicit Reduction Factor)을 4/5로 가정하며, 여러 가지 패킷 데이터 셀 생성시간을 가진 10개의 소스를 시뮬레이션에 사용하였으며 변화되는 상태를 실험하기 위해, 가장 극단적인 경우를 가정하기 위해 소스에 갑작스런 변경을 주었다. {2, 4, 6, 9, 11, 13, 16, 20, 21, 23} 내의 숫자는 시간단위 n 에서 소스로부터 스위치로의 시간지연 d_i 를 나타내며 시간단위 1000에서, 각 소스에 대한 시간지연 d_i 는 {14, 16, 17, 19, 20, 22, 23, 26, 28, 30}을 가진다고 가정한다

3.2 시뮬레이션 결과

(그림 4)에서는 본 논문에서 제안한 NLMS 예측알

고리증과 ER 알고리즘을 조합한 경우와 ER 알고리즘에 대해 각각의 스위치 버퍼크기의 변화를 나타낸 것으로 그림에서, 상한 임계치를 5000으로 하고 하한 임계치를 1000으로 한다. 그림에서 시간 1000 변환점 이후에 버퍼크기 $Q(n)$ 의 변동이 심한 것은 가장 극단적인 경우로 다른 소스에 비해 더 오래 지연시간을 갖는 소스가 스위치에 동시에 유입됨으로 발생된 것이며, 이로 인해 버퍼크기가 최고 임계치를 초과하게 된다.



(그림 4) Comparison of $Q(n)$ for ER only and ER with NLMS

(그림 4)에서 NLMS 계획을 사용했을 경우 시간단위 1000 이전에 버퍼크기는 ER 알고리즘만을 사용했을 때와 비교해서 상한 임계치보다 훨씬 작고 버퍼크기의 변동도 그리 심하지 않음을 알 수 있다. 그러나 시간 변환점 이후에 다른 소스보다 더 오랜 시간 동안 지연된 소스들이 대거 유입됨에 따라 버퍼크기의 변동이 예측방법을 사용함에도 불구하고 변환점 이전보다 더 심한 변동이 발생하고 있다. 또 다른 알고리즘에 대한 모의실험 결과에서도 버퍼크기는 NLMS 알고리즘과 유사하게 변동이 심하며, 오히려 버퍼크기가 예측 알고리즘을 사용한 경우보다 그 변동의 폭이 심하였다.

ER 알고리즘만을 사용한 경우와 NLMS 예측알고리즘에 ER 알고리즘을 조합한 경우에 대한 성능 비교표는 <표 2>와 같다. 표에서 나타난 비와 같이 본 논문에서 제시한 알고리즘이 ER 알고리즘만을 사용한 경우보다 훨씬 더 버퍼 크기의 변화가 안정적임을 알 수 있다.

<표 2> ER과 NLMS 방식의 성능 비교표

순서	지연 시간	ER 버퍼값	NLMS 버퍼값	순서	지연 시간	ER 버퍼값	NLMS 버퍼값
1	2	300	300	11	14	5,345	3,849
2	4	5,134	1,915	12	16	5,666	1,772
3	6	6,459	3,700	13	17	5,987	2,765
4	9	4,183	4,393	14	19	6,308	5,950
5	11	5,203	3,992	15	20	6,629	2,658
6	13	6,565	3,816	16	22	6,950	4,606
7	16	4,061	3,763	17	23	7,270	1,670
8	20	5,274	3,895	18	26	7,592	3,159
9	21	6,459	3,825	19	28	7,913	5,830
10	23	4,131	3,762	20	30	8,234	3,423

4. 결 론

본 논문에서는 폭주 상황이 스위치에서 발생하기 전에 이를 미리 예상하고 버퍼크기를 예측하여 트래픽을 제어하는 연구를 하였으며 예측된 버퍼크기에 대한 결과를 피드백 제어정보로 적극 활용함으로써 신속하고 정확한 폭주상태를 통보할 수 있도록 하였다. NLMS 예측계획에 근거를 둔 예측 알고리즘은 정규화된 최소평균제곱오차 방법인 NLMS를 사용하여 k 단계 이후의 버퍼크기를 예측하는 것으로 ER 알고리즘을 기반으로 하여 제어 알고리즘을 적용하였으며[8] NLMS 알고리즘을 사용하지 않은 ER 알고리즘과 비교하였을 때 버퍼크기 변동에 더욱 효과적임을 증명하였다. 그러나 예측 알고리즘을 기반으로 한 제어 알고리즘과 다른 ER 제어알고리즘에 대한 비교 실험이 입력변수의 설정에서 서로 상이함으로써 본 논문에서 제시한 알고리즘과 비교가 사실상 어려운 관계로 제안된 알고리즘이 보다 더 효과적인지에 대한 비교 실험 연구와 함께 더 오랜 지연시간을 갖는 소스에 의한 버퍼크기 $Q(n)$ 의 변동을 최대한 감소시킬 수 있는 알고리즘에 대한 더 많은 연구와 다양한 환경 하에서의 시뮬레이션이 요구된다.

참 고 문 헌

[1] Shirish S. Sathaye, "ATM forum Traffic Management Specification Version 4.0," ATM Forum 95-0013R8, October, 1995
 [2] Shirish S. Sathaye "ATM forum Traffic Manage-

ment Specification Version 4.0," *ATM Forum 95-0013R9*, December, 1995

[3] L. Benmohamed and S.M Meerkov, "Feedback Control of Congestion in Packet Switching Networks : The Case of a Single Congested Node," *IEEE/ ACM Trans. Networking*, Vol.1 No.6, Dec. 1993. pp.693-708

[4] B. S. Jang, B. G. Kim and G. Pecelli "A Prediction Algorithm for Feedback Control Models with Long Delays," *IEEE BSS '97*.

[5] A. Adas, "Supporting Real Time VBR Video Using Dynamic Reservation Based on Linear Prediction," *Infocom 96*

[6] S. Haykin, "Adaptive Filter Theory," Prentice Hall, 1991

[7] M. Ritter, "Network Buffer Requirements of the Rate-based Control Mechanism for ABR Services," *IEEE Infocom 96*.

[8] ATM Forum. Traffic Management v.4.0 Aug. 1996.

[9] K.W. Fendick, M A. Rodrigues and A. Weiss. "Analysis of a Rate-based Feedback Control Strategy for Long Haul Data Transport," *Perf. Eval.*, 16, 1992, pp.67-84.

[10] M. H. Hayes. "Statistical Signal Processing and Modeling," John Wiley & Sons, 1996

[11] S. Keshav, "A Control-Theoretic Approach to Flow Control," *Sigcomm 91*, 1991, 3-15.

[12] S. Mascolo, D. Cavendish, and M Gerla, "ATM Rate Based Congestion Control Using a Smith Predictor : an EPRCA Implementation," *Infocom 96*

[13] Uyless black. *ATM Volume I* Foundation for Broadband Networks, New Jersey : Prentice Hall PTR, February, 1999, pp.98-133

[14] Chengzhi Li, Amitava Raha, and Wei Zhao "Stability in ATM Networks" *IEEE Infocom 97*.

[15] <http://www.cis.ohio-state.edu/~jam/papers.html>



오 창 운

c-mail : cssai@chollian.net

1992년 조선대학교 전산통계학과 졸업(이학사)

1994년 조선대학교 대학원 전산통계학과(이학석사)

1994년~1996년 (주)아시아자동차 근무

1996년~2000년 조선대학교 대학원 전산통 계학과 (이학박사)

관심분야 : 컴퓨터네트워크, 영상처리, 전문가시스템, 멀티미디어 등



배 상 현

c-mail shbae@mail.chosun.ac.kr

1982년 조선대학교 전기공학과 (공학사)

1984년 조선대학교 대학원 전기, 전자공학과(공학석사)

1988년 일본 동경도립대학 전자 정보통신공학부(공학박사)

1984년~1985년 일본동경공대 객원연구원

1995년~1996년 일본 NAIST 초빙교수

1996년~1997년 일본 동경도립대학 초빙 프로젝트교수

1999년~현재 조선대학교 자연과학대학 전산통계학과 교수

관심분야 : 대규모 지식베이스, 인공지능경망, 퍼지시스템, GIS, 전문가시스템, 지식처리