

論文98-35S-3-7

ATM 망에서 효율적 대역폭 할당을 위한 동적 셀 스케줄링 알고리즘

(A Dynamic Cell Scheduling Algorithm for Efficient Allocation of Bandwidth on ATM Networks)

趙成賢*, 吳閔卓*, 朴成漢*

(Sung-Hyun Cho, Yoon-Tak Oh, and Sung-Han Park)

요 약

본 논문에서는 ATM 멀티플렉서에 있어서 CBR, VBR 및 ABR 트래픽의 서비스 요구 조건을 효율적으로 만족시켜줄 수 있는 셀 스케줄링 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘은 기존 셀 스케줄링 알고리즘들에서 고려치 않던 ABR 트래픽을 입력 트래픽 소스의 한 종류로 고려하고 있으며, VBR 트래픽을 RT-VBR과 NRT-VBR로 구분하여 각각의 서비스 요구 조건을 만족시켜 주면서 망의 효율을 높여줄 수 있는 방법을 제시한다. 또한 현재 망에서 발생하고 있는 트래픽 상황을 고려하여 셀 스케줄링을 수행하는 동적 알고리즘을 제시한다. 제안된 알고리즘의 성능은 시뮬레이션을 통해 평가한다. 시뮬레이션 결과는 제안된 알고리즘이 기존의 셀 스케줄링 알고리즘인 WRR(Weighted Round Robin)과 DWRR(Dynamic WRR) 알고리즘에 비해 평균 전송 지연 시간과 최대 큐 길이에 대해서 우수한 성능을 가지고 있음을 보인다.

Abstract

In this paper, a cell scheduling algorithm is proposed to satisfy the service requirements of CBR, VBR and ABR traffics. Particularly, in the proposed algorithm an ABR traffic which is not included in the conventional cell scheduling algorithm is treated as one kind of traffic types. The algorithm separates a VBR traffic into a RT-VBR and a NRT-VBR traffic such that the service requirements of RT-VBR and NRT-VBR traffic are satisfied. The proposed algorithm dynamically schedules cells in a real time by considering the current traffic conditions. The simulation of the proposed algorithm shows that the proposed algorithm has better performance over other cell scheduling algorithms such as WRR or DWRR in terms of the mean delay time and the maximum queue length.

I. 서 론

B-ISDN은 ATM(Asynchronous Transfer Mode)을 전송 및 교환의 기본방식으로 채택함으로써 종래의 통신망에서 볼 수 없었던 광범위한 대역폭을 가지며, 저속의 데이터 서비스 및 고속의 다양한 데이터 서비스를 제공한다. 이와 관련하여 1994년 ATM

Forum에서는 다양한 서비스들에 대해 다섯 개의 ATM 계층 서비스 클래스를 정의하고, ATM 망에서 이들 서비스 클래스들을 모두 지원하여야 한다고 규정하고 있다. 표 1은 이에 대한 내용을 보여주고 있다. 이러한 ATM 망에서 다양한 형태의 데이터 전송을 위한 필수적 기능 중의 하나는 ATM 링크에 대한 효율적 대역폭 할당을 위한 다중화기법이다. 다중화는 모든 종류의 통신망에 있어서 필수적인 기능이다. ATM 망에는 두 단계의 다중화기법이 있다. 하나는 물리 계층의 다중화이고 다른 하나는 셀 계층의 다중화이다. 물리 계층의 다중화는 속도의 통합을 이용한

* 正會員, 漢陽大學校 電子計算科

(Hanyang University)

接受日字: 1997年7月23日, 수정완료일: 1998年1月12日

다중화기법이다. 즉, 낮은 속도의 여러 개의 링크들을 높은 속도를 가지는 하나의 링크로 통합하는 것이다. 이 계층에서는 낮은 속도의 데이터 프레임을 속도가 빠른 링크에 고정적으로 할당하는 방법을 사용한다. 반면 셀 계층에서의 다중화는 링크 상에서의 다양한 논리 연결에 대한 다중화기법이다. 셀 계층의 다중화는 ATM 링크에서 다양한 가상 채널 연결(VCC : Virtual Channel Connections)에 대한 다중화라 할 수 있다. 이것은 통계적 다중화(statistical multiplexing) 혹은 가상채널연결 다중화(VCC multiplexing)로 불리기도 한다. 이 단계에서는 고정된 다중화기법을 이용해서는 다양한 형태의 트래픽 소스에 대한 트래픽 요구 사항을 충분히 만족시켜 주기 어렵다. 즉, 동적인 다중화기법이 요구된다.

본 논문에서는 ATM 망에서의 셀 다중화를 위한 셀 스케줄링 알고리즘을 제안한다. 제안하는 알고리즘에서는 현재 ATM Forum에서 정의하고 있는 모든 서비스클래스 즉 CBR, VBR, ABR, UBR 트래픽들을 고려하고 있다. 특히 VBR 트래픽에 대해서는 실시간 VBR 트래픽(RT-VBR)^[1,2] 과 비실시간 VBR 트래픽(NRT-VBR)으로 구분하여 각각의 서비스의 특징에 맞는 QoS를 보장해 주고 있으며, 기존의 다중화기법들에서는 전혀 고려하지 않던 ABR 트래픽^[3,4]에 대해서도 MCR (Minimum Cell Rate)을 시스템 파라미터로 도입하여 효과적으로 QoS를 보장해 주도록 하고 있다.

표 1. ATM 계층 서비스클래스
Table 1. ATM layer service class.

Attribute	Class				
	CBR	RT-VBR	NRT-VBR	ABR	UBR
Cell Loss Ratio(CLR)	S	S	S	S	U
Cell Delay Variation(CDV)	S	S	S	U	U
Cell Transfer Delay(CTD)	S	S	S	U	U
Peak Cell Rate(PCR)	S	S	S	S	S
Sustainable Cell Rate(SCR)	--	S	S	--	--
Burst Tolerance(BT)	--	S	S	--	--
Minimum Cell Rate(MCR)	--	--	--	S	--

S=Specified, U=Unspecified

이를 위하여 II장에서는 기존의 셀 스케줄링 방법들을 살펴보고, III장에서는 본 논문에서 제안하는 알고

리즘에 대해 상세히 기술한다. IV장에서는 시뮬레이션을 통한 제안된 알고리즘과 기존의 알고리즘들 사이의 성능 비교 결과를 제시하며, 마지막으로 V장에서는 결론을 맺는다.

II. 기존 ATM 셀 스케줄링 알고리즘의 문제점

통신망에서 트래픽 폭주현상^[5]이 발생하지 않는 경우에는 망에서 대역폭 할당에 대한 결정을 할 필요성이 없다. 제시된 입력 트래픽 양이 망의 용량에 비해 작은 경우에는 망에서 모든 트래픽들을 수용해 줄 수 있기 때문이다. 그러나 트래픽 폭주현상이 존재하는 경우에는 망이 대역폭 할당에 대한 결정을 해주어야 한다. 즉, 주어진 대역폭보다 많은 대역폭을 원하는 모든 가상채널들에 대해 중재역할을 해주어야 한다. 이와 같은 경우 셀 다중화기법이 효과적인 대역폭 할당을 위한 주된 방법이 된다. 이번 장에서는 ATM 망에서 다양한 트래픽 종류들에 대하여 각각의 서비스 요구 조건을 만족시켜 주면서 주어진 대역폭을 효과적으로 사용할 수 있도록 해주는 셀 스케줄링 알고리즘 중 기존에 제안되었던 대표적인 알고리즘인 가중치할당라운드로빈(WRR : Weighted Round Robin) 셀 다중화기법^[6,7] 과 동적가중치할당라운드로빈(DWRR : Dynamic Weighted Round Robin) 셀 다중화기법^[8]에 대해 기술하고 그 문제점에 대해서 논한다.

WRR 셀 다중화 알고리즘은 각각의 트래픽 소스들에 대해 미리 정해진 가중치 벡터 (W_1, W_2, \dots, W_n)에 의해 셀을 스케줄링 하게 된다. 가중치 벡터를 결정하는 기준은 각 트래픽 소스의 데이터 발생량이다. 각 트래픽 소스의 데이터 발생량은 최대 셀 발생률이나 평균 셀 발생률 등을 통해서 알 수 있다. 이와 같은 방식으로 다중화를 수행하는 경우에, CBR 트래픽과 같이 셀의 발생률이 일정한 트래픽은 미리 정해진 가중치 벡터에 의한 셀 스케줄링 기법에 의해 QoS(Quality of Service)를 보장받을 수 있다. 그러나 VBR 트래픽과 같이 셀의 발생률이 일정하지 않고 가변적인 트래픽의 경우 미리 정해진 가중치 벡터만을 이용해서 셀을 스케줄링 한다면 QoS를 보장받기 어렵게 될 뿐만 아니라, 망의 대역폭을 효율적으로 사용하기도 어렵다. WRR 셀 다중화기법의 또 다른 문제점

은 ATM Forum에서 정의한 ATM 계층 서비스 클래스 중 ABR 트래픽을 고려하고 있지 않다는 점이다. 따라서 ABR 트래픽을 WRR 알고리즘에 적용하였을 경우 ABR 트래픽은 CBR이나 VBR로 취급되어 트래픽의 QoS는 보장받을 수 있을지 모르나 망의 대역폭을 효율적으로 사용하기는 어렵다.

DWRR 알고리즘은 WRR 알고리즘의 단점을 보완하고자 제안된 알고리즘이다. 즉, WRR 알고리즘과는 달리 미리 정해진 가중치 벡터를 이용해서 셀을 스케줄링 하는 것이 아니라 각 트래픽의 peak cell rate와 mean cell rate를 이용해서 셀을 스케줄링 하게 된다. ATM Forum에서 정의한 각각의 서비스 클래스들은 그 종류에 따라 peak cell rate와 mean cell rate 사이에 일정한 관계를 가진다. CBR 트래픽의 경우에는 peak cell rate와 mean cell rate가 동일한 값을 가지고, VBR 트래픽의 경우에는 peak cell rate가 mean cell rate보다 큰 값을 가진다. DWRR 알고리즘의 경우 이러한 트래픽들의 특성을 고려하여 셀을 스케줄링 함으로써 기존의 WRR 알고리즘에 비하여 VBR 트래픽에 대해 우수한 성능을 나타내고 있다. 그러나 DWRR 알고리즘 역시 망에서 현재 발생하고 있는 트래픽 양을 고려하지 않고 호설정 당시 결정지어지는 고정값들 즉, peak cell rate와 mean cell rate 값에 의해서 셀을 스케줄링하기 때문에 망의 현재 상황에 따라 동적으로 셀을 스케줄링 하지는 못한다. 표 1에서 VBR 트래픽의 경우 RT-VBR과 NRT-VBR 트래픽으로 구분되고 이들의 서비스 요구 사항에는 큰 차이점이 있음을 보여 주었다^[9]. 그러나 DWRR 알고리즘의 경우 이 점을 고려하지 않고 있기 때문에 각각의 서비스 요구 사항을 충분히 보장해 주지 못하고 있다. 또한 ABR 트래픽에 대해서는 고려하지 않고 있기 때문에, ABR 트래픽을 DWRR에 적용시킬 경우 VBR 혹은 UBR 트래픽으로 취급됨으로써 망의 전체적인 효율을 떨어뜨리고, 기존 다른 트래픽들의 QoS에 손실을 주는 단점을 가지고 있다.

본 논문에서는 기존의 알고리즘들이 지니고 있는 위와 같은 단점들을 보완하여 ATM Forum에서 정의하고 있는 모든 서비스 클래스들을 적용시켰을 경우 각각의 서비스 요구 사항을 최대한 만족시켜 주면서 망의 대역폭을 효율적으로 사용할 수 있도록 해주는 향상된 셀 스케줄링 알고리즘인 Dynamic Weighted Cell Scheduling(DWCS) 방법을 제안한다. 제안된

알고리즘은 망의 현재 트래픽 상황에 따라 동적으로 각 소스에 가중치를 할당하는 방식을 취하고 있다.

III. 제안한 알고리즘

1. DWCS 알고리즘 시스템 모델

본 논문에서 제안하는 DWCS(Dynamic Weighted Cell Scheduling) 알고리즘이 적용될 시스템 모델은 그림 1과 같다. 그림 1에서 셀 스케줄링으로 명시된 부분이 실질적으로 DWCS 알고리즘이 적용되는 모듈이며, 이는 실제 망에서 멀티플렉서 형태로 존재하게 된다. 시스템의 입력이 되는 트래픽소스들은 그림 1에서 보는 바와 같이 ATM Forum에서 정의하고 있는 모든 종류의 서비스 클래스들을 포함하고 있다. 즉, 가상채널연결(VCC : Virtual Channel Connection)이 설정되는 각 트래픽소스는 CBR, RT-VBR, NRT-VBR, ABR 및 UBR의 다섯 가지 형태 중의 하나이어야 한다. 각각의 트래픽 소스들은 셀 기반이며, 각 소스에는 셀을 ATM 출력 버퍼로 보내기 전에 저장할 수 있는 버퍼가 존재해야 한다.

본 논문에서 제안하는 DWCS 알고리즘에서는 싸이클과 서브싸이클이라는 단위를 정의하고 있다. 싸이클은 멀티플렉서에서 출력되는 타임 슬롯들을 일정한 길이만큼 연결해 놓은 것이라고 할 수 있다. 다시 말해서 고정된 길이의 타임 슬롯의 연결이 싸이클이다. 알고리즘 상에서 각각의 싸이클은 다시 서브싸이클이라는 단위로 나뉘어질 수 있다. 서브싸이클은 알고리즘 상에서 특정 소스들의 집합에 대해 한번의 원형검색이 행해지는데 필요한 타임 슬롯의 수로 정의할 수 있다. 그림 2에 이와 같은 내용이 잘 나타나 있다.

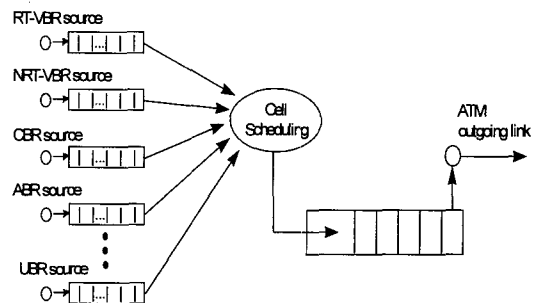


그림 1. DWCS의 시스템 모델
Fig. 1. System model of the DWCS.

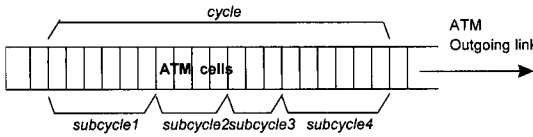


그림 2. 사이클과 서브사이클
Fig. 2. The Cycle and Subcycle.

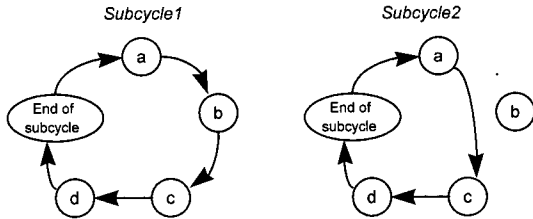


그림 3. 셀 스케줄링의 예
Fig. 3. A cell scheduling example.

DWCS 알고리즘에서는 셀 스케줄러 혹은 멀티플렉서가 어떤 소스를 방문했을 때 그 소스는 셀 하나를 해당 서브사이클 내의 하나의 타임 슬롯으로 전송할 수 있다고 가정한다. 이와 같은 내용을 기준으로 실제 셀 스케줄링 하는 한 예가 그림 3에 보여진다. 그림 3에서 첫 번째 서브사이클은 셀 스케줄러가 네 개의 모든 소스를 방문하는 경우이다. 즉, 첫 번째 서브사이클은 네 개의 타임 슬롯으로 구성이 되고 각각은 소스 a, b, c, d에 하나씩 할당된다. 마찬가지로 두 번째 서브사이클에서 셀 스케줄러는 소스 a, c, d를 방문하고 있으므로, 두 번째 서브사이클은 세 개의 타임슬롯으로 구성되고 각각은 소스 a, c, d에 할당된다.

2. 변수 정의

DWCS 알고리즘에서는 효율적인 셀 스케줄링을 위해 시스템 파라미터로 사용할 변수들을 정의한다. DWCS 알고리즘은 각각의 트래픽 소스에 가중치를 할당하되 고정적인 방법이 아닌 동적인 방법으로 가중치를 할당한다. 그 기준이 되는 것이 각 트래픽 소스의 종류와 peak cell rate, mean cell rate, minimum cell rate이다. 이와 관련하여 DWCS 알고리즘은 다음과 같은 변수들을 정의한다.

- K = 사이클의 길이를 나타내며, 단위는 타임 슬롯 수이다.
- $P = B_p$ = 트래픽 소스의 peak cell rate, 이것은 하나의 사이클에서 허용되는 최대 타임 슬롯의

수로 정의된다.

- $N = B_N$ = 트래픽 소스의 mean cell rate, 이것은 하나의 사이클에서 전송되는 평균 타임 슬롯의 수로 정의된다.
- $M = B_M$ = 트래픽 소스의 minimum cell rate, 이것은 하나의 사이클에서 전송되어야 하는 최소 타임 슬롯의 수로 정의된다.
- s = 트래픽 소스를 나타낸다. 이때 세 개의 함수 $b_p(s)$, $b_n(s)$, $b_m(s)$ 는 각각 트래픽 소스 s 의 peak cell rate, mean cell rate, minimum cell rate를 나타내는데 사용된다.
- $T = T(s)$ 는 각 트래픽 소스의 형태를 나타낸다.
- $S(k)$ -LAST-CELL-ARRIVAL-TIME = 이것은 트래픽 소스 k 에서 제일 마지막에 서비스 받은 셀의 도착 시간을 나타낸다.

위에서 시스템 파라미터로 정의한 P, N, M 은 각각의 트래픽 특성에 따라 특정한 형태를 띠게 된다. 이에 대한 내용이 표 2에 잘 나타나 있다.

표 2. 트래픽 종류와 셀 발생률 사이의 관계
Table 2. The relationship between traffic type and cell rate.

트래픽 소스 종류	P, N, M 사이의 관계
CBR 트래픽 소스	$P^* = N^* = M^*$
VBR 트래픽 소스	$P^* \geq N^* \geq M$
ABR 트래픽 소스	$P^* \geq N \geq M^*$
UBR 트래픽 소스	$P = N = M = 0$

* : 트래픽의 QoS에 영향을 미치는 값

3. 집합 및 상태 정의

DWCS 알고리즘에서는 아홉 개의 집합을 정의하여 셀 스케줄링에 사용한다. 그 중 일곱 개는 시스템의 상태 및 각각의 트래픽 특성을 고려하여 정의한 트래픽 소스들의 집합이고 나머지 두개는 알고리즘에서 사용하는 임시 집합이다. 각각의 트래픽 소스들은 트래픽의 종류와 전송하고자 하는 셀의 존재 여부에 따라 아래에 정의한 집합 중 하나에 속하게 된다. 시스템에서 사용하는 아홉 개의 집합을 정의하면 다음과 같다.

- SET0 : UBR 트래픽 소스들의 집합
- SET1 : mean cell rate보다 적게 서비스 받은 CBR, RT-VBR, NRT-VBR 트래픽 및

minimum cell rate보다 적게 서비스 받은 ABR 트래픽 소스들의 집합

- SET2 : 서비스 받은 셀의 수가 mean cell rate 이상, peak cell rate 이하인 RT-VBR 트래픽 소스들의 집합
- SET3 : 서비스 받은 셀의 수가 mean cell rate 이상, peak cell rate 이하인 NRT-VBR 트래픽 소스들의 집합
- SET4 : 서비스 받은 셀의 수가 minimum cell rate 이상, peak cell rate 이하인 ABR 트래픽 소스들의 집합
- SET5 : 서비스 받을 셀이 아직 도착하지 않은 소스들의 집합
- SET6 : 서비스가 종료된 소스들의 집합
- SET', SET0' : 알고리즘 상에서 임시로 사용하는 집합

각각의 트래픽 소스들은 셀 스케줄링 알고리즘이 수행되는 동안 새로운 셀의 도착 및 큐에 존재하던 셀의 전송에 의해 위에서 정의한 집합들 사이에서 천이를 일으키게 된다. 이와 같이 트래픽 소스들이 집합들 사이에서 천이 하는 내용을 구현하기 위하여 DWCS 알고리즘에서는 6개의 상태를 정의한다. 각각의 상태들은 앞서 정의한 집합들과 일대일 대응관 계에 있다. 즉, 상태 1은 SET1, 상태 2는 SET2, 상태 3은 SET3, 상태 4는 SET4, 상태 5는 SET5, 상태 6은 SET6의 상태를 나타낸 것이다. 이를 구체적으로 정의하면 아래와 같다.

- 상태 1. $P>0, N>0, M>0$ 이고 로컬버퍼에 저장되어 있는 셀이 존재하는 경우: 이 상태에 속하는 소스들은 다음 서브싸이클에서 셀을 전송할 수 있다. 상태 1에서 CBR 트래픽과 RT-VBR 및 NRT-VBR 트래픽은 B_N 에 해당하는 만큼 서비스를 받을 수 있다. 그리고 ABR 트래픽 소스들은 B_M 에 해당하는 만큼의 서비스를 받을 수 있다.
- 상태 2. $P>0, N\leq 0, M\leq 0$ 이고 실시간 트래픽이며, 로컬버퍼에 저장되어 있는 셀이 존재하는 경우: 이 상태에 속하는 소스들은 상태 1에 속하는 소스들이 존재하지 않는 경우 다음 서브싸이클에서 서비스 받을 수 있다. 그렇지 않은 경우에는 도착한 셀을 로컬버퍼에 저장한다. 상태 2에서

RT-VBR 트래픽 소스들은 B_P-B_N 에 해당되는 만큼의 서비스를 받을 수 있다.

- 상태 3. $P>0, N\leq 0, M\leq 0$ 이고 비실시간 트래픽이며, 로컬버퍼에 저장되어 있는 셀이 존재하는 경우: 이 상태에 속하는 소스들은 상태 1과 상태 2에 속하는 소스들이 존재하지 않는 경우 다음 서브싸이클에서 서비스된다. 그렇지 않은 경우에는 도착한 셀을 로컬버퍼에 저장한다. 상태 3에서 NRT-VBR 트래픽 소스들은 B_P-B_N 에 해당되는 만큼의 서비스를 받을 수 있다.
- 상태 4. $P>0, N\leq 0, M\leq 0$ 이고 ABR 트래픽이며 로컬버퍼에 저장되어 있는 셀이 존재하는 경우: 이 상태에 속하는 소스들은 상태 1, 2, 3에 속하는 소스들이 존재하지 않는 경우 다음 서브싸이클에서 서비스된다. 그렇지 않은 경우에는 도착한 셀을 로컬버퍼에 저장한다. 상태 4에서 ABR 트래픽 소스들은 망의 상태에 따라 최대 B_P-B_M 에 해당되는 만큼의 서비스를 받을 수 있다.
- 상태 5. $P>0$ 혹은 $N>0$ 혹은 $M>0$ 이고 이 순간에 셀의 도착이 없는 경우: 이 상태에 속하는 소스들은 다음 서브싸이클에서 서비스되지 않는다. 단, 알고리즘에서는 망의 효율 향상을 위해 상태 5인 경우에는 UBR 소스들을 서비스하게 된다. 상태 5에 속하는 소스들에 셀이 도착하는 경우에는 해당 소스의 셀 발생 시간과 트래픽 종류를 통하여 상태 천이를 결정한다.
- 상태 6. 서비스를 종료한 경우 : 이 경우에 속하는 소스들은 각자 자신의 B_P, B_N, B_M 값을 초기화 한 후 다음 서비스를 기다린다.

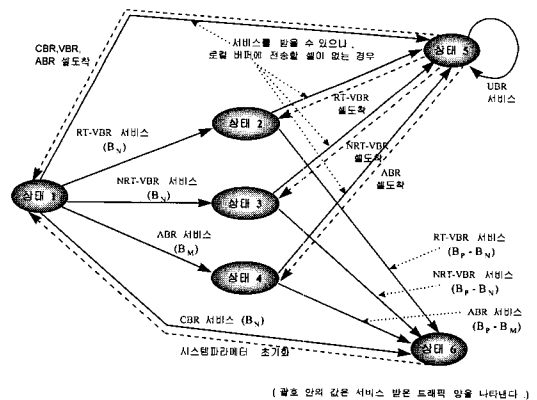


그림 4. 트래픽 소스의 상태 천이도
Fig. 4. State transition diagram of traffic source

그림 4는 셀의 전송이나 새로운 셀의 도착 등으로 인하여 발생하는 트래픽 소스들의 상태 천이도이다. 그림 4에서 실선은 트래픽 소스에 대한 서비스 즉, 셀의 전송을 나타내는 것이고, 점선은 새로운 셀의 도착을 나타내고 있다. DWCS 알고리즘에서는 상태 1에 있는 트래픽 소스들에 대해서 가장 먼저 서비스 해주고, 그 다음 상태 2, 3, 4 순으로 우선 순위를 주어 서비스 해주게 된다. DWCS 알고리즘은 상태 1에 속하는 CBR 트래픽 소스에 B_N , VBR 트래픽 소스에 B_N , ABR 트래픽 소스에 B_M 만큼의 대역폭을 할당해준다. 그리고 상태 2에서는 RT-VBR 트래픽 소스에 $B_P - B_N$ 만큼의 대역폭을 할당해주며 상태 3에서는 NRT-VBR 트래픽 소스에 $B_P - B_N$ 만큼의 대역폭을 할당해준다. 상태 4에 속해있는 ABR 트래픽 소스들에 대해서는 CBR과 VBR 트래픽 소스들을 모두 서비스 해주고도 대역폭이 남는 경우에 $B_P - B_M$ 범위 내에서 가능한 만큼의 대역폭을 할당해주게 된다^[10]. 그리고 상태 5는 CBR이나 VBR 혹은 ABR 트래픽 소스들에 전송할 셀이 없는 경우를 나타내며 이 경우 UBR 트래픽 소스들에 대역폭을 할당해주게 된다.

4. DWCS 알고리즘

본 절에서는 앞서 정의한 변수 및 집합, 그리고 트래픽 소스들의 상태 및 상태 천이도 등을 사용하여 구현한 DWCS 알고리즘에 대해 기술한다. DWCS 알고리즘에서는 기본적으로 CBR, RT-VBR, NRT-VBR, ABR, UBR 트래픽 순으로 우선 순위를 두고 셀 스케줄링을 수행한다. 특히 VBR과 ABR처럼 ON-OFF 형태를 가지는 트래픽들에 대해서는, 마지막으로 서비스 받은 셀의 도착 시간을 이용해서 ON-OFF 상태가 바뀔 때 알고리즘에서 사용하는 시스템 파라미터들을 초기화 시켜준다. 이때, ON-OFF 상태 변화는 ON-OFF 모델^[11]의 특성을 이용해서 알아낼 수 있다.

ON-OFF 형태를 가지는 트래픽들은 ON 구간에서는 지속적으로 데이터가 발생한다. 즉, 현재 ON 상태에 있는 트래픽 소스의 경우 하나의 타임 슬롯에서 최소한 한개 이상의 셀이 로컬버퍼에 도착하게 된다. 반면, OFF 구간에서는 데이터가 전혀 발생하지 않는 특성을 가지고 있다. 따라서 ON 구간 내에서 로컬버퍼에 도착하는 셀들의 도착시간간격(inter-arrival time)은 하나의 타임 슬롯 길이보다 큰 값을 가질 수 없다.

즉, 로컬 큐에서 인접한 두 개의 셀 사이의 도착시간 간격이 하나의 타임 슬롯의 길이보다 큰 경우에는 두 셀 사이에 OFF 구간이 존재하는 것이다. 이상의 내용을 정리하면 다음과 같다.

```
If  $T_S(i+1) - T_S(i) > T_M$  then
  /* ON-OFF 상태변화 */
  initialize system parameter of source S
else
  continue;
```

위에서 $T_S(i)$ 는 트래픽 소스 S에서 i번째 셀의 도착시간을 나타내고, $T_S(i+1)$ 은 트래픽 소스 S에서 i+1번째 셀의 도착시간을 나타낸다. 또한 T_M 은 시스템 내에서 하나의 타임 슬롯의 길이를 의미한다. DWCS 알고리즘 상에서는 상태 5에 속해 있는 트래픽 소스들에 새로운 셀이 도착하는 경우 위와 같은 방법으로 ON-OFF 상태변화를 확인하게 된다. 이때 ON-OFF 상태변화가 발생한 경우 해당 트래픽 소스의 시스템 파라미터들을 초기화 시켜준다.

이와 같이 트래픽 소스의 ON-OFF 상태변화에 따라 시스템 파라미터들을 초기화시켜 줌으로써 망의 현재 트래픽 상황을 고려할 수 있는 동적 셀 스케줄링이 가능하게 된다. 이상과 같은 내용을 바탕으로 DWCS 알고리즘을 기술하면 다음과 같다.

DWCS Algorithm

```
Step 1. Set  $B_P, B_N, B_M$  of each traffic sources
Step 2. Initialize each SETS
      SET0={ UBR sources }
      SET1={ CBR, VBR, ABR sources }
      SET2=SET3=SET4=SET5=SET6=∅
Step 3. /* Cell Scheduling Algorithm */
while(1) {
  if (SET1 ≠ ∅) {
    call Cell-Service(SET1);
  } else if (SET2 ≠ ∅) {
    call Cell-Service(SET2);
  } else if (SET3 ≠ ∅) {
    call Cell-Service(SET3);
  } else if (SET4 ≠ ∅) {
    call Cell-Service(SET4);
  } else {
    select UBR source  $S_k$  from SET'0;
    service  $S_k$ ;
    remove  $S_k$  from SET'0;
  }
}
SUBCYCLE :
```

```

if (SET'0≠∅) SET'0=SET0;
if (SET5≠∅)
  for I=1 to SET5.SIZE {
    select Si from SET5;
    if((Si's NewCellArrivalTime
      -Si's LastCellArrivalTime) > TM)
    {
      /* initialize system parameter of Si */
      Pi=bp(Si); Ni=bn(Si);
    }
  }
if (SET6≠∅)
  for I=1 to SET6.SIZE {
    select Si from SET6;
    /* initialize system parameter of Si */
    Pi=bp(Si); Ni=bn(Si);
  }
} /* End of Cell Scheduling Algorithm */
/* Sub-Module : Cell service function */
Cell-Service(SETk) {
  for I=1 to SETk.SIZE {
    select a source Si from the SETk;
    visit Si;
    set Si's LAST CELL ARRIVAL TIME;
    Pk=Pk-1; Nk=Nk-1;
    check the new state of source Si;
    if (any state transition)
      move Si from SETk to another SET;
  }
  if(SETk≠∅) continue SETk SERVICE
  else goto SUB-CYCLE;
}

```

구현된 DWCS 알고리즘은 먼저 알고리즘에서 사용할 각각의 집합을 초기화하고 난 후에 실제적인 셀 스케줄링 알고리즘을 수행한다. 셀 스케줄링 알고리즘에서는 SET1의 원소들에 대해서 가장 먼저 셀 서비스를 해주고 다음으로 SET2, SET3, SET4 순으로 셀 서비스를 제공한다. 셀 서비스는 Cell-Service 서브루틴의 정의와 같이 매개변수로 전달되는 집합의 각 원소-트래픽 소스-들에 대해 정해진 만큼의 슬롯을 할당해주는 것을 의미한다. 이때 각각의 원소들에 슬롯을 할당해줌과 동시에 상태 천이를 확인함으로써 특정 원소에 슬롯이 집중되는 것을 막아주며 각 트래픽 소스의 QoS에 적합한 슬롯 할당을 보장해준다. SET4까지의 셀 서비스가 모두 끝나면 DWCS 알고리즘은 SET5의 트래픽 소스들 중에 전송할 셀이 도착한 트래픽 소스가 있는지를 확인한다. 이때 전송할 셀이 도착한 트래픽 소스가 있으면 해당 소스의 상태

를 변경하여 슬롯을 할당해주게 되고, 그렇지 않으면 SET6에 있는 원소들의 시스템 파라미터를 초기화 시켜준 후 새로운 사이클을 시작하게 된다.

IV. 성능 분석 및 평가

1. 트래픽 모델링

본 절에서는 제안된 알고리즘의 성능을 평가하기 위해 CBR, VBR, ABR, UBR 트래픽에 대한 수학적 모델을 제시한다. DWCS 알고리즘에 적용되는 각 트래픽에 대한 수학적 모델링에 있어서 중요한 요소 중의 하나는 사이클의 길이이다. 사이클의 길이는 각 트래픽 소스들에 대해 알고리즘이 한번 수행되는데 필요한 고정된 길이의 타임 슬롯의 수로 정의되며, 본 절에서 트래픽을 모델링 할 때에는 사이클의 길이를 N 이라고 가정한다.

첫 번째로 CBR 트래픽의 경우, 특정 시간에서의 셀 도착률은 포아송 분포로써 모델링 될 수 있다. 즉, 각각의 타임 슬롯에서 셀 도착 확률은 파라미터 λ_C 를 가지는 포아송 확률 변수 X_C 에 의해 결정되어 진다. 또한 CBR 트래픽의 경우 최대 셀 발생률(B_P), 평균 셀 발생률(B_N), 최소 셀 발생률(B_M)이 모두 동일한 값을 가지므로 다음과 같은 수식을 얻을 수 있다.

$$B_P = B_N = B_M = \lambda_C N \quad (1)$$

두 번째로 ON-OFF 트래픽으로 모델링되는 VBR 트래픽의 경우, 두 개의 OFF 구간 사이의 ON 구간은 지수분포를 따르는 확률 변수 t_{on} 에 의해 결정지어 지도록 모델링하고, 두 개의 ON 구간 사이의 OFF 구간은 지수분포를 따르는 확률변수 t_{off} 에 의해 결정지어 지도록 모델링 한다. 또한 ON 구간 내에서의 데이터 발생량은 파라미터 λ_V 를 가지는 포아송 확률 변수 X_V 에 의해 결정되도록 모델링 한다. 이와 같은 내용을 바탕으로 VBR 소스에 대한 타임 슬롯의 효율 ρ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\rho = \frac{\lambda_V E[t_{on}]}{E[t_{on}] + E[t_{off}]} \quad (2)$$

또한 VBR 트래픽에 대한 B_P 와 B_N 은 각각 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$B_P = \lambda_V N \quad (3)$$

$$B_N = \rho N = \frac{\lambda_v N E[t_{on}]}{E[t_{on}] + E[t_{off}]} \quad (4)$$

세 번째로 ABR 트래픽의 경우 최소 셀 발생률과 최대 셀 발생률 사이에서 가변적으로 데이터가 발생하고 버스티한 특성^[12]을 가지고 있으므로 VBR 트래픽과 마찬가지로 ON-OFF 트래픽 형태로 모델링 할 수 있다. ON 상태에서의 데이터 발생량은 파라미터 λ_a 를 가지는 포아송 확률 변수 X_a 에 의해서 결정되며, 이때 $E[X_a] = \lambda_a$ 이다. 그 외의 내용들은 VBR 트래픽 모델링의 내용과 동일하다.

마지막으로 UBR 트래픽의 경우에는 매우 버스티한 특성을 가지므로 메시지 기반으로 동작한다고 할 수 있다. 본 논문에서는 시뮬레이션을 위해 UBR 트래픽에 대하여 메시지 도착확률은 파라미터 λ_u 를 가지는 포아송분포로 가정하고, 메시지의 길이는 평균값이 ω 인 지수 분포를 따르도록 모델링한다.

2. 시뮬레이션 모델링

시뮬레이션에서는 일곱 개의 가상채널연결을 설정하고 싸이클의 길이는 15로 둔다. 시뮬레이션에서 설정한 7개 가상채널연결의 특성은 각각 아래와 같다.

- Source 1: NRT-VBR, $B_p=7, B_N=4, E[t_{on}] = 15, E[t_{off}] = 11, \lambda_v=0.47$
- Source 2: RT-VBR, $B_p=7, B_N=2, E[t_{on}] = 15, E[t_{off}] = 37, \lambda_v=0.47$
- Source 3: ABR, $B_p=7, B_M=3, E[t_{on}] = 15, E[t_{off}] = 20, \lambda_a=0.47$
- Source 4: ABR, $B_p=7, B_M=2, E[t_{on}] = 15, E[t_{off}] = 37, \lambda_a=0.47$
- Source 5: UBR, $\lambda_u=0.002, \omega=30$
- Source 6: UBR, $\lambda_u=0.002, \omega=30$
- Source 7: UBR, $\lambda_u=0.002, \omega=30$

또한, 본 논문의 시뮬레이션에서는 서버의 처리율을 멀티플렉서에서 망으로 출력되는 링크의 효율을 이용해서 결정한다. 시뮬레이션 상에서는 멀티플렉서 링크의 효율(ρ_M)을 0.9, 멀티플렉서의 처리율(μ)을 2.096/time unit, 각 소스들에서 발생하는 총 셀의 평균 도착률(λ_t)을 1.866/time unit으로 설정한다.

3. 시뮬레이션 결과 분석

본 논문에서는 SimScript II.5 언어를 사용하여 구

현한 시뮬레이션 프로그램을 통해서 제안된 DWCS 알고리즘과 기존의 방법인 WRR^[6], DWRR^[8] 알고리즘간의 성능을 비교 분석한다.

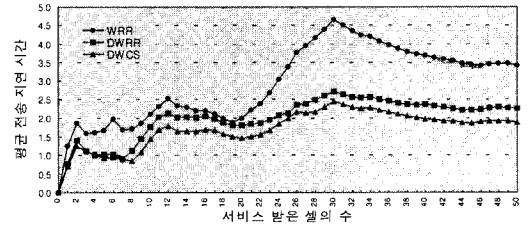


그림 5. 평균 전송 지연 시간 비교 (소스 1)
Fig. 5. Comparison of mean transmission delay time (Source 1).

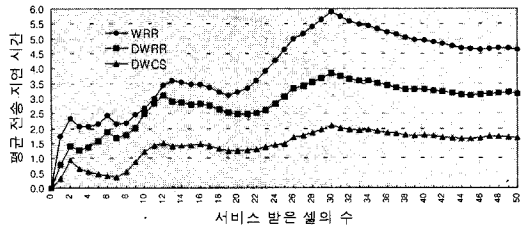


그림 6. 평균 전송 지연 시간 비교 (소스2)
Fig. 6. Comparison of mean transmission delay time(Source 2).

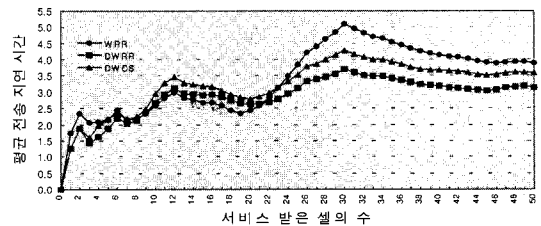


그림 7. 평균 전송 지연 시간 비교 (소스 3)
Fig. 7. Comparison of mean transmission delay time (Source 3).

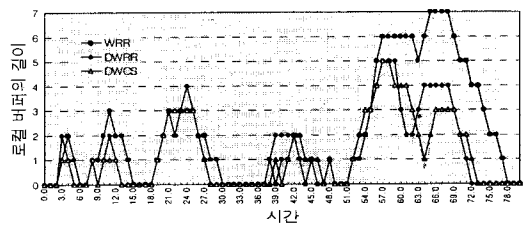


그림 8. 로컬 버퍼의 최대 길이 비교(소스1)
Fig. 8. Comparison of the maximum length of local buffer (Source 1).

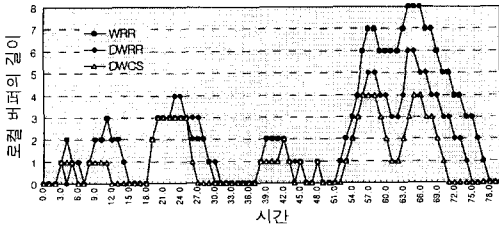


그림 9. 로컬 버퍼의 최대 길이 비교(소스2)
Fig. 9. Comparison of the maximum length of local buffer (Source 2).

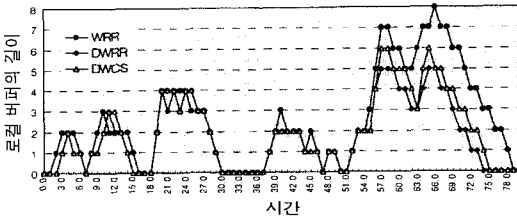


그림 10. 로컬 버퍼의 최대 길이 비교(소스3)
Fig. 10. Comparison of the maximum length of local buffer (Source 3).

셀 스케줄링 알고리즘들 사이의 성능비교분석에 있어서 비교지표로 적합한 것은 다중화를 위해 요구되는 각 가상연결채널의 로컬버퍼 최대길이와 서비스 받은 셀들의 평균지연시간 등이 있다. 그림 5에서 그림 10까지 여섯 개의 그림은 이와 같은 두 개의 성능비교 지표를 기준으로 시뮬레이션 결과를 나타낸 것이다.

그림 5부터 그림 7까지는 평균 전송지연시간을 기준으로 세 개의 알고리즘을 비교 분석한 것이다. 그림 5는 트래픽 소스 1 즉, NRT-VBR 트래픽에 대한 시뮬레이션 결과이다. 그림 5에서도 알 수 있듯이 제안된 알고리즘이 기존의 알고리즘들보다 우수한 성능을 보이고 있다. 그림 6은 RT-VBR 트래픽 소스에 대한 시뮬레이션 결과인데 이 역시 제안된 알고리즘이 기존의 알고리즘들에 비해 우수한 성능을 가지고 있음을 보인다. 그러나, 그림 7을 보면 제안된 알고리즘이 기존의 DWRR 알고리즘에 비해 성능이 약간 떨어짐을 알 수 있다. 그 이유는 기존의 DWRR 알고리즘은 ABR 트래픽을 VBR 트래픽으로 취급하여 동등한 우선 순위를 두고 처리하는 반면 제안된 DWCS는 VBR 트래픽에 대역폭을 할당하고 남은 대역폭이 있는 경우 ABR 트래픽에 대역폭을 할당하는 방식을 취하고 있기 때문이다. 물론 ABR 트래픽 소스의 측면

에서 보면 DWRR 알고리즘을 사용하는 것이 유리하지만, 여러 종류의 트래픽 소스와 망의 전체적인 효율을 모두 고려한다면 DWCS 알고리즘이 보다 우수한 성능을 나타낸다고 할 수 있다.

그림 8에서 그림 10까지는 로컬버퍼의 최대 길이를 기준으로 한 시뮬레이션 결과를 나타내고 있다. 시뮬레이션 결과를 보면 알 수 있듯이 로컬버퍼의 최대 길이 면에서 제안된 알고리즘이 기존의 알고리즘들에 비해 우수한 성능을 나타내고 있으나 기존 DWRR 알고리즘과 비교해 볼 때에는 큰 차이를 보이지 못하고 있다.

V. 결론

본 논문에서는 ATM 망에서 다양한 형태의 트래픽들을 동적으로 다중화 하는 셀 스케줄링 기법인 DWCS 알고리즘을 제안하고 있다. 제안된 알고리즘은 ATM Forum에서 정의한 CBR, RT-VBR, NRT-VBR, ABR, UBR 트래픽을 모두 고려하고 있다. 또한 각 트래픽의 서비스 요구 조건을 만족시켜주면서 망의 대역폭을 효율적으로 사용 가능케 해준다. 특히 RT-VBR은 서비스 지연 시간에 민감한 트래픽이므로 NRT-VBR 보다 높은 가중치를 주어 서비스 지연 시간을 줄여주고 있으며, ABR 트래픽에 대해서는 서비스 요구 사항인 최소 셀 발생률만큼의 대역폭은 보장해주며 그 이상에 대해서는 다른 트래픽의 상태 따라 동적으로 대역폭을 할당해주고 있다. 제안된 알고리즘의 또다른 장점은 망의 현재 트래픽 발생 상황을 고려하여 동적으로 셀을 스케줄링 함으로써 각 트래픽의 서비스 요구 조건을 충분히 만족시켜 주면서 망의 효율을 높일 수 있다는 점이다.

시뮬레이션을 통해 제안된 알고리즘이 기존의 알고리즘들에 비해 트래픽의 종류에 따른 서비스 지연시간에 대해서 우수한 성능을 가짐을 보여 주고 있다. 또한 각 트래픽 소스에서의 최대 로컬버퍼의 크기에 대해서는 트래픽의 종류에 따라 기존의 알고리즘들에 비해 우수하거나 동일한 성능을 가짐을 보여준다. 따라서 본 논문에서 제안된 DWCS 알고리즘은 다양한 트래픽 소스를 다중화 해야 하는 ATM 멀티플렉서에 효과적으로 적용되어질 수 있을 것이다. 향후 각 트래픽 소스에서 필요로 하는 로컬버퍼의 길이를 더욱 줄일 수 있는 연구가 진행되어야 하겠다.

참 고 문 헌

- [1] Ting li Ling and Ness Shroff, "Scheduling Real-Time Traffic in ATM Networks," Proceedings of INFOCOM '96, Sanfrancisco, USA, pp.2b.4.1-2b.4.8, Aug. 1996.
- [2] J.M.Hyman, A.A.Lazar, and G.Pacifici, "Real Time Scheduling with Quality of Service Constraints," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol.9, pp.1052-1063, September. 1991.
- [3] S. Muddu, F.M. Chiussi, C. Tryfonas, V. P. Kumar, "Max-Min Rate Control Algorithm for Available Bit Rate Service in ATM Networks," Proceedings of IEEE International Conference on Communications, ICC 96, Dallas. Texas, vol 1, pp. 412-418, Jun. 1996.
- [4] N. Ghani, J.W. Mark, "Dynamic Rate Based Control Algorithm for ABR Service in ATM Networks," Proceedings of IEEE Global Telecommunications Conference, Westminster, London, vol 2, pp. 1074-1079, Nov. 1996.
- [5] M.Katevenis, "Fast Switching and Fair Control of Congested Flow in Broadband Networks," IEEE Journal on Selected Area in Communications, Vol.5, No.8, pp.1315-1326, Oct. 1987.
- [6] M.Katevenis, S.Sidiropoulos, and C.Courcoubetis, "Weighted Round-Robin Cell Multiplexing in a General Purpose ATM Switch Chip," IEEE Journal on Selected Area in Communications, Vol.9, No.8, Oct. 1991.
- [7] Y.T.Wang, T.P.Lin and K.C.Gan, "An Improved Scheduling Algorithm for Weighted Round-Robin Cell Multiplexing in an ATM Switch," Proceedings of IEEE ICC94, New Orleans, Louisiana, USA, pp.1032-1037, May. 1994.
- [8] C.S.Wu, Gin-Kou Ma and Bao Shuh P.Lin, "A Cell Scheduling Algorithm for VBR Traffic in an ATM Multiplexer," Proceedings of IEEE Globecom95, Singapore, pp.632-637, November. 1995.
- [9] R.Chiopalkatti, J.F.Kurose, and D.Towsley, "Scheduling Policies for Real-Time and Non-Real Time Traffic in a Statistical Multiplexer," Proceedings of the IEEE INFO-COM89, pp.774-783, April. 1989.
- [10] Y.T.Hou, N.Yin and S.S.Panwar, "Effective Frequency Range of Rate-Based Closed-Loop Congestion Control for ABR Service," Proceedings of the IEEE ATM96 Workshop, SanFrancisco, USA, Vol.1.1, Session SP1, Aug. 1996.
- [11] K.Shoraby, "Flow and Admission Control of ON-OFF Sources in High Speed Networks," Proceedings of IEEE Globecom94 Tutorial 7: ATM Architecture and Performance, Chap.7.
- [12] C.P.Ko, O.W.W.Yang and H.T.Mouftah, "Bursty Traffic Control using Dynamic Token Allocation Method," Proceedings of IEEE ICC95, pp.1981-1986, Aug. 1995.

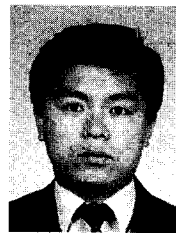
저 자 소 개



趙成賢(正會員)

1995년 2월 한양대학교 전자계산학과 졸업(공학사). 1997년 2월 한양대학교 대학원 전자계산학과 졸업(공학석사). 1997년 3월 ~ 현재 한양대학교 대학원 전자계산학과 박사과정 재학중. 주관심분야는 B-ISDN, 멀

티미디어 통신



吳閔卓(正會員)

1992년 2월 한양대학교 전자계산학과 졸업(공학사). 1994년 2월 한양대학교 대학원 전자계산학과 졸업(공학석사). 1994년 3월 ~ 현재 한양대학교 대학원 전자계산학과 박사과정 재학중. 1996년 3월 ~ 현재 안산전

문대학 전산정보처리과 전임강사. 주관심분야는 B-ISDN, 멀티미디어 통신



朴成漢(正會員)

1970년 2월 한양대학교 전자공학과 졸업(B.S.). 1973년 8월 서울대학교 대학원 전자공학과 졸업(M.S.). 1984년 5월 텍사스 주립대학 전기 및 컴퓨터공학과 졸업(Ph. D.). 1974년 3월 ~ 1978년 8월 경북대학

교 전자공학과 전임강사. 1984년 5월 ~ 1984년 8월 미국 텍사스 주립대학 Instructor. 1984년 8월 ~ 1986년 2월 금성사 중앙 연구소 수석 연구원. 1989년 8월 ~ 1990년 7월 미국 텍사스 주립대학 Visiting Researcher. 1995년 3월 ~ 1997년 2월 한양대학교 공학대학 학장. 1986년 3월 ~ 현재 한양대학교 전자계산학과 교수. 주관심분야는 B-ISDN, 멀티미디어 통신, 컴퓨터 비전