

論文2001-38TC-6-4

결정적 서비스 질을 보장하는 회선 교환 위성 망의 동적 대역폭 할당에 대한 성능 분석

(Performance Analysis of Deterministic QoS Guarantees on Dynamic Bandwidth Allocation in a Circuit-Switched Satellite Network)

裴泰雄*, 李廷圭**

(Tau-Ung Pae and Jong-Kyu Lee)

요약

본 논문은 망에 대한 유연성과 망의 성능의 효율성을 개선하기 위하여 회선 교환 위성 망에서 데이터 트래픽을 동적으로 다루는 시스템을 제안하고 제안한 시스템에 대한 성능을 분석한다. 제안한 시스템은 각 연결에 대한 용량 변경 요구를 동적으로 허락하기 때문에 그 연결 자체의 초기화 설정 및 연결을 해제하는 다른 별도의 알고리즘이 필요 없어 기존의 회선 교환 위성 망보다 효율적이다. 또한, 서비스 질을 결정적으로 보장함으로써 망의 유연성 및 신뢰성을 높인다. 트래픽 소스는 표준 듀얼 리키 버킷에 의해 일정하게 조정된 트래픽을 사용하며, 이러한 트래픽을 이용하여 제안한 시스템의 성능을 해석적으로 분석하고, 이를 시뮬레이션을 통해 검증한다. 이러한 분석 결과는 앞으로 회선 교환 위성 망에서 프로토콜의 설계 및 구현 시 유용하게 사용될 수 있을 것으로 사료된다.

Abstract

In this paper, we propose and analyze a more efficient and flexible dynamic data traffic system for a circuit-switched satellite network. Our proposed system is more efficient than existing circuit-switched satellite networks and allows for dynamic capacity in each connection without rebuilding or resetting the connection software or algorithms. We also discuss an algorithm for bandwidth allocation that provides deterministic quality of service guarantees. The traffic sources are regulated using standard dual leaky buckets; the system performance is analytically evaluated; and the algorithm is verified through simulation. Our analysis scheme and results should prove useful for the design and implementation of protocols in future circuit-switched satellite networks.

I. 소개

일반적으로, 위성을 기반으로 한 망은 주로 회선 교환

전송모드를 많이 사용한다. 그리고 위성을 기반으로 한 망은 교환 역할을 해 주는 위성, 지상 망과 통신을 함에 있어서 주파수를 할당해 주는 마스터 제어 지국, 위성파 직접 신호를 주고받는 고정 단말과 이동 단말 등으로 구성된다. 이러한 회선 교환 위성 망은 음성 서비스만을 지원했으나, 호 설정시간이 너무 길다는 단점을 가지기 때문에 현재는 위성 망에서 패킷 교환의 필요성이 대두되어 지고 있는 실정이다. 패킷 교환 망은 망의 유연성과 효율성에 대해 회선 교환 망보다 좋은

* 正會員, LG電子株式會社

(LG Electronics Industries Co., Ltd.)

** 正會員, 漢陽大學校 電子컴퓨터工學科 學部

(School of Electrical Engineering & Computer Science, Hanyang University)

接受日字:2001年10月1日, 수정완료일:2001年5月25日

성능을 가진다. 따라서, 앞으로 회선 교환 위성 망에서 패킷 데이터 트래픽을 제공해야 할 것이다. 하지만, 아무리 패킷 교환 망이 좋다고 해도 위성 망의 특징인 전송 지연 때문에 완전 패킷 교환 위성 망을 만들기에는 다소 무리가 있다. 그리고 여기에 따르는 비용과 시스템의 복잡성의 문제가 많다. 따라서 기존에 제공되고 있는 회선 교환 위성 망을 기반으로 해서 패킷 데이터 트래픽을 서비스하는 망이 필요하다. 본 논문에서 제시하는 방법은 회선 교환 위성 망에서 기본적으로 호 설정이 이루어 졌을 때, 그 연결에서 할당된 대역폭을 동적인 변경을 지원하고, 이러한 대역폭의 변경은 또 다른 호 설정이나 호 제거와 같은 별도의 알고리즘이 없어도 가능하게 하는 것이다. 또한 단순히 교환 역할만을 지원하던 위성 망에서 발전되어 위성 망에서 채널에 대해 제어가 가능한 온-보드 처리(On-Board Processing) 방법을 적용한 모델링을 제시하였다.

본 논문에서 제안한 시스템 내에서 교환되는 가장 작은 단위를 위성 셀이라고 하고, 각 위성 셀의 크기는 53 bytes이며, 기본적인 채널에 대해서 16 Kbps의 망정보를 제공한다. 제안한 시스템에서의 트래픽의 제어 방법은 기존의 Asynchronous Transfer Mode(ATM)에서 사용하는 방법과 유사하다. 호 설정은 마스터 제어 지국(Master Control Station)에 의해서 처리되며, 각 터미널과 마스터 제어 지국과 신호를 주고받게 된다. 하나의 연결이 설정되었을 때, 대역폭 요청 신호를 사용하여 그 연결의 대역폭 변경을 허락하고, 각 사용자는 필요에 따라 연결의 용량을 동적으로 감소 또는 증가에 대한 요청을 할 수 있다. 대역폭 요청 신호를 위성내에서 트래픽에 대한 자원을 관리하는 트래픽 자원 관리자(Traffic Resource Manager)에게 보내며, 이런 트래픽 자원 관리자는 대역폭 요청 신호에 대해 긍정적 또는 부정적인 응답을 할 수가 있다. 물론, 부정적인 응답에 대해서 연결이 이루어지지 않으며, 긍정적인 응답에 대하여 연결에 대한 동적인 용량 변경을 허락한다^[1].

본 논문의 구성은 제 2 장에서 본 논문에서 제안한 시스템의 구조를 소개하고, 자원 관리 방법을 제안하며, 비교의 목적으로 제시한 참조 시스템과 제안한 시스템의 구조를 비교 및 분석하고, 제 3 장에서 서비스 질을 보장하기 위하여 서비스 질을 결정하는 요인들을 수식으로 전개하며, 이런 수식들을 분석하고, 평가를 통하여 결과 확인한다. 해석적 결과와 시뮬레이션 결과를 구해

결과들간의 비교 및 분석을 제 4 장에서 한다. 마지막으로 제 5 장에서 결론을 내리고 참고 문헌으로 본 논문이 구성되어 있다.

II. 시스템 구조

본 논문에서 제안한 시스템은 시스템의 절차를 단순화하기 위하여 다음의 두 가지의 가정이 필요하다. 첫째 가정은 모든 트래픽은 높은 우선순위 트래픽과 낮은 우선순위 트래픽으로 나누어지며, 높은 우선순위 트래픽이 공유된 용량을 먼저 이용하며, 만약 더 이상의 이용하지 못하였을 경우에 대해서만 낮은 우선 순위 트래픽이 이용한다. 두 번째 가정은 제안한 시스템으로 들어가는 모든 트래픽은 듀얼 리키 버킷(Dual Leaky Bucket)에 의해 트래픽이 일정화된다. 이런 듀얼 리키 버킷의 출력 프로세스는 온-오프의 상태인 두 가지 상태로 표현된다^[2].

제안한 시스템에서는 기존 위성통신 탑재 장치의 수동적인 중계기능 이외에 복조/재변조, 부호/복호화 및 오류정정, 중계기 및 빔 간의 상호 연결/절체 등의 새로운 기능이 추가되어 능동적인 중계를 가능하게 하여 통신 품질의 향상 및 통신 링크 전송 효율 개선, 전송 용량 증대 등의 장점을 갖는 등의 온-보드 처리 기능을 가진 위성을 사용한다. 따라서 기존의 교환 역할만 하던 위성보다 훨씬 성능이 좋아졌고 채널에 대한 제어를 위성에서 해결하므로 지상의 마스터 제어 지국과의 신호를 통하여 대역폭의 변경을 동적으로 가능하게 하였다. 기본적으로 호 설정이 이루어진 상태에서 연결에 대해 할당된 대역폭을 동적으로 변경하고자 할 때, 마스터 제어 지국과 단말기 혹은 인터워킹단위(InterWorking Unit) 사이에서 정보 신호를 주고받으며, 또한 용량 할당에 대해서 제어하는 위성과 지상 망의 단말에서의 버퍼 할당과 용량 할당 제어를 이루기 위해 정보 신호를 주고받는다. 다음의 그림은 마스터 제어 지국과 위성과 위성 단말에서의 주고받는 신호의 흐름을 나타낸 그림이다^[3].

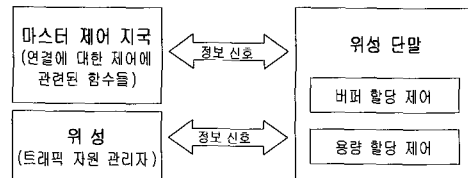


그림 1. 정보 신호 흐름
Fig. 1. Information signal flow.

본 시스템의 트래픽은 높은 우선순위 트래픽과 낮은 우선순위 트래픽으로 구분된다. 음성에 관련되어 실시간으로 처리가 가능한 트래픽은 높은 우선순위를 가지는 트래픽으로 분류하여 음성에 관련된 트래픽들을 주로 다루고, 데이터나 이미지나 전자우편과 같이 비실시간으로도 처리가 가능한 트래픽은 낮은 우선순위를 가진 트래픽으로 분류한다. 높은 우선순위를 가진 트래픽과 낮은 우선순위를 가진 트래픽은 지원하는 서비스 관점에서 차이를 두기 위하여 낮은 우선순위를 가진 트래픽은 세이프를 통해서 지연을 주어 높은 우선순위를 가진 트래픽이 먼저 서비스 받는 망을 설계하였다. 아래의 그림은 높은 우선순위 트래픽과 낮은 우선순위 트래픽에 대한 트래픽 순서 구조를 나타내고 있다^[4].

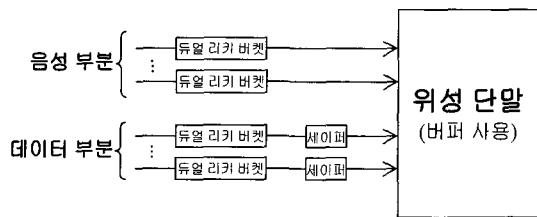


그림 2. 트래픽 순서 구조
Fig. 2. Traffic procedure.

본 논문에서 제안한 시스템에서 사용하는 총 용량은 C 이며, 이는 앞의 내용에 의해 두 개의 부분으로 나뉘어진다. 첫 번째 부분인 음성 부분은 $C(t)$ 이며, 두 번째 부분인 데이터 부분은 총 용량인 C 에서 음성 부분인 $C(t)$ 를 제외한 나머지 $C - C(t)$ 이다. 각 위성의 단말은 두 개의 버퍼-높은 우선순위 버퍼와 낮은 우선순위 버퍼-를 가지며 각 버퍼는 여러 종류의 클래스들의 소스들에 의해 입력되어 진다. 본 논문에서 입력되는 클래스의 종류는 동일한 종류의 클래스만 고려하는 것으로 가정한다. 아래의 그림은 각 클래스들과 위성 단말과의 관계를 나타낸 그림이다.

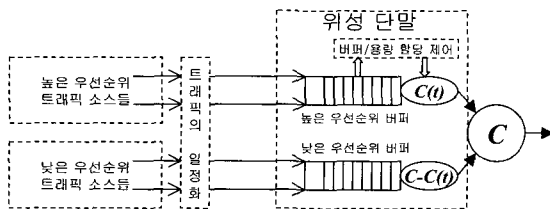


그림 3. 시스템 구조
Fig. 3. System architecture.

본 논문에서 제안한 용량 할당 방법은 다음과 같이 나타낸다. 기본적으로 할당할 수 있는 총 용량(C)에 대해 음성 부분과 데이터 부분을 나눈다. 이 때 음성 부분과 데이터 부분을 나누는 경계는 고정적이다. 음성 부분은 음성을 사용하기 위한 음성 슬롯들과 데이터 사용을 허락하는 음성 슬롯들의 두 부분으로 나누어진다. 이 때의 두 부분의 경계는 이동적이다. 음성 트래픽은 서비스하기 위해 할당해 둔 용량보다 대부분의 음성 트래픽은 적게 발생한다. 또한 음성 트래픽을 서비스하기 위해 할당해 둔 용량보다 큰 음성 트래픽이 발생하면 그 음성 트래픽은 블로킹된다. 전자의 경우에서 음성을 위해 할당해 둔 용량을 음성이 사용하지 않을 경우에 대해서 데이터가 사용하려는 것이 본 논문에서 제시하는 중요한 요소이다. 따라서, 데이터 사용을 허락하는 음성 슬롯들이 많으면 많을수록-다르게 표현해서 기존의 음성 서비스를 지원하기 위해 할당해 둔 용량보다 음성이 적게 사용되면 사용될수록 제안한 시스템의 효율은 증가한다. 다음의 그림은 용량 할당 방법에 대한 그림이다^[5].

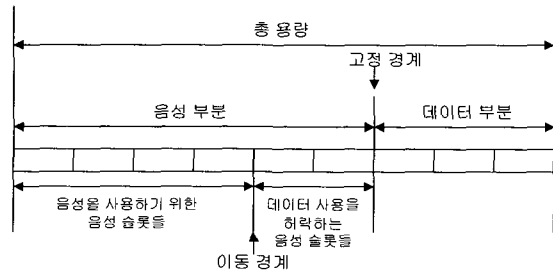


그림 4. 용량 할당 방법
Fig. 4. Capacity allocation scheme.

본 논문에서 제안한 시스템 구조와의 비교 목적으로 참조가 될 만한 시스템을 제안한다. 참조 시스템은 기존의 회선 교환 위성 망이며, 하나의 트래픽에 대해서 서비스하고, 이런 트래픽은 우선순위가 존재하질 않으며, 제안한 시스템은 음성을 비롯하여 다른 데이터에 대해서도 서비스가 가능한 것과 달리 참조 시스템에선 데이터 서비스는 지원되지 않으며, 반드시 음성 서비스만을 지원한다. 따라서, 용량 할당에 대해 제안한 시스템과 참조 시스템을 제시하여 서로의 비교하여 각 시스템의 성능에 대하여 제시하며, 나타난 결과에 대해 결정적인 서비스 질 보장에 대해서 알아본다.

Ⅲ. 비 손실 망에서의 서비스 질 보장

연결이 설정되면 위성 단말의 용량이 C 인 연결을 만들기 위해 마스터 제어 지국에게 용량을 요청한다. 마스터 제어 지국은 이렇게 요청한 용량이 관계된 모든 링크들의 총 용량 합보다 작거나 또는 같을 때까지 연결 요청을 수용한다. 제한한 시스템의 회선 교환 위성 망은 위성 단말이 C 용량을 가진 하나의 회선을 요청한다. 그러나, 실제로는 높은 우선순위 트래픽은 용량이 시간 함수인 $C(t) \leq C$ 이고, 이것이 효율적으로 필요할 때만 자원을 전송하기 위해 사용하고 그 외의 나머지 $C - C(t)$ 은 낮은 우선순위 트래픽이 사용한다. C 용량은 대역폭 요청의 결과로서 동적인 방법내에서 높은 우선순위 트래픽과 낮은 우선순위 트래픽 사이에서 공유되고, 이러한 할당 방법은 트래픽의 손실 현상이 일어나지 않는 망에서 사용한다.

주어진 위성 단말의 연결에 대해 마스터 제어 지국에서 이루어지는 절차는 다음과 같다, 먼저, 주어진 대역폭(C)을 할당함을 가정한다. 용량의 변경은 위성 단말이 대역폭의 변경을 요청했을 때 일어날 수 있고, 이러한 변경은 온-보드 위성에 대해 트래픽 자원 관리자 모듈의 요청을 승인할 때만 가능하다. 주어진 연결의 높은 우선순위 트래픽(낮은 우선순위 트래픽)에 대해 동적으로 용량을 할당할 때 사용하는 방법은 본 논문에서 중요한 요소이다. $C(t)$ 는 높은 우선순위 트래픽에 의해 사용된 용량이며, 나머지 낮은 우선순위 버퍼의 함수에 대한 용량은 $C - C(t)$ 로 낮은 우선순위 트래픽에 의해 제공된다. $C(t)$ 는 높은 우선순위 버퍼의 비-감소 함수이어야 하고, 그러한 버퍼의 요소가 증가할 때, 높은 우선순위 트래픽은 더 많은 용량을 필요

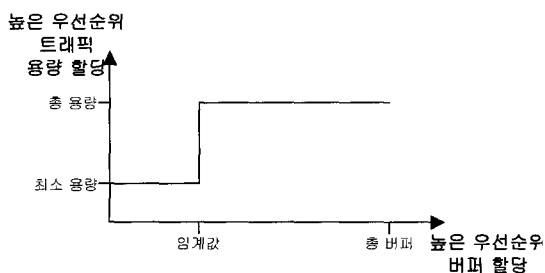


그림 5. 높은 우선순위 버퍼 할당과 높은 우선순위 용량 할당의 관계

Fig. 5. Assignment of high-priority traffic capacity.

로 한다. 높은 우선순위 버퍼 점유의 함수인 $\alpha(t)$ 처럼 $C(t)$ 의 다른 변화에 대한 규정을 고려하고 이러한 규정에 대한 가장 단순화 한 것을 버퍼 할당과 용량 할당간의 관계로 나타낸다. 따라서 다음의 그림을 그릴 수 있다^[6].

위의 그림은 높은 우선순위 버퍼 점유의 함수에 의해서 낮은 우선순위 버퍼 점유가 정해짐을 나타내는 그림이다. 높은 우선순위 버퍼 할당 정도에 따라 낮은 우선순위 버퍼가 영향을 받는다. 정리하면, 높은 우선순위는 독립적으로 할당의 크기가 정해지는데 반해, 낮은 우선순위의 버퍼 할당은 높은 우선순위의 버퍼 할당의 크기에 대하여 의존적이다. 위의 그림은 높은 우선순위의 버퍼 할당에 대한 용량 할당을 나타낸 그림이다. 그림에서도 보여지듯이 높은 우선순위를 갖는 용량에 대한 할당을 우선적으로 처리함을 알 수 있다. 그 후에 남은 용량에 대한 할당은 낮은 우선순위를 갖는 트래픽을 처리한다. 본 논문에서 다루는 ΔB 인자는 두 가지의 의미를 가지는데, 한 가지는 버퍼 크기, B 에 추가되는 별도의 버퍼, ΔB 를 나타내고, 다른 한 가지는 버퍼 크기인 B 의 한 부분인 ΔB 로 나타낸다. 전자의 경우에서 ΔB 를 ΔB_{OUT} 으로 나타내며, 이 때의 총 버퍼를 B_{TOT} 라고 할 때 $B_{TOT} = B + \Delta B_{OUT}$ 로 표현될 수 있고, 후자의 경우에서 ΔB 를 ΔB_{IN} 으로 나타내며, 이 때의 총 버퍼를 B_{TOT} 라고 할 때 $B_{TOT} = B$ 로 표현된다^[7].

본 논문에서 ΔB 를 평가하기 위해서 모든 높은 우선순위 소스들(동질적인 소스들)은 같은 클래스를 가지고 그들 각각은 듀얼 리키 버킷의 특성에 의해서 동일한 특징을 가짐을 가정한다. 아래에서 제시한 표기법은 모두 높은 우선순위 용량에 관련된 것들인데, 높은 우선순위 용량에 관련된 것만 다른 이유는 낮은 우선순위 용량에 대해서도 함께 나타낼 수 있기 때문이다. 다음의 수식을 전개하기 위해서 간단한 표기법을 정의한다.

- B 는 높은 우선순위 버퍼 크기
- $\alpha(t)$ 는 시간 t 에 높은 우선순위 버퍼 점유 함수
- C 는 주어진 연결에 대해 할당된 총 용량
- K 는 위성 단말내의 주어진 연결에 의해 제공되는 높은 우선순위 소스들의 총 수

- $C(t)$ 는 주어진 연결이 포함된 높은 우선순위 트래픽에 의해 지원되는 시간 t 에 사용된 용량 함수
- ΔT 는 위성 링크의 왕복 시간에 관련되어 주로 용량 할당의 효과를 증가시키기 위해 제시한 지연 시간
- ρ 는 주어진 연결에서의 총 이용 효율 요소(ρ_B : 최상의 이용 효율, ρ_W : 최악의 이용 효율)

만약 전 가동 시간 동안 높은 우선순위에 관련된 듀얼 리키 버킷을 거친 K 개의 소스들이 최대 비율(P_r)로 보내어 진다면 다음과 같은 수식이 만족된다. 그리고 아래의 식에서 시간에 대한 인자인 t 의 범위는 일반적으로 손실이 없으므로 최소가 0 이고, 듀얼 리키 버킷에 정의에 의해서 최대 T 가 $\frac{B_T}{P_r - S_r}$ 로 정해진다^[8].

$$\frac{d(O(t))}{dt} = KP_r - C(O(t - \Delta T)) \quad (1)$$

$$0 \leq t \leq T = \frac{B_T}{P_r - S_r}$$

(1) 식은 본 논문에서 제안한 시스템의 성능을 평가할 수 있는 가장 중요한 요소인 ΔB 를 결정하기 위한 미분 방정식이다. (1) 식에서 $[0, T]$ 의 간격에서 적분하면 다음과 같은 식을 구할 수 있다.

$$\int_0^t \frac{d(O(t))}{dt} dt = \int_0^t KP_r dt - \int_0^t C(O(t - \Delta T)) dt$$

$$O(t) = KP_r t - \int_0^t C(O(t - \Delta T)) dt \quad (2)$$

만약 $KP_r > C$ 이라면, $O(t)$ 의 최대치는 $t = T$ 일 때이다^[8].

$$O(T) = KP_r T - \int_0^T C(O(t - \Delta T)) dt \quad (3)$$

참조 시스템은 높은 우선순위 트래픽에 대해 이용 가능한 용량이 항상 C 이므로 다음의 식으로 나타낼 수 있다.

$$O_{ref}(T) = KP_r T - CT = (KP_r - C)T \quad (4)$$

본 논문에 제안한 시스템은 참조 시스템에 관계된 추가적인 버퍼(ΔB)를 필요로 한다. 따라서 추가적인 버퍼의 크기는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Delta B = O(T) - O_{ref}(T) = CT - \int_0^T C(O(t - \Delta T)) dt \quad (5)$$

위의 식에서 알 수 있듯이, ΔB 는 적분내의 함수로 표현되어 있는 $C(t)$ 에 의존적이다. 따라서, $C(t)$ 의 평균값은 ΔB 와 관계된 식으로 표현이 가능하다. $[0, T]$ 내에서의 $C(t)$ 의 평균값인 $\overline{C(t)}$ 은 다음의 식으로 나타낼 수 있다^[9].

$$\overline{C(t)} = \frac{\int_0^T C(O(t - \Delta T)) dt}{T} = C - \frac{\Delta B}{T} \quad (6)$$

ΔB 를 B 의 부분처럼 취급하는 경우에 대해서 분석하면 다음과 같다. 이때의 인자 요소인 ΔB 는 ΔB_{IN} 으로 나타낸다. 그리고, 높은 우선순위 소스의 효율적인 대역폭을 C_{eff} 로, 효율적인 버퍼 할당을 B_{eff} 로 각각 나타낸다^[10]. 이때, 아래의 수식을 만족한다.

$$\frac{C}{C_{eff}} = \frac{B - \Delta B_{IN}}{B_{eff}} = K \quad (7)$$

높은 우선순위 버퍼에서 손실 현상을 피하기 위해서 다음의 관계식을 만들 수 있다.

$$B_{eff} = (P_r - C_{eff})T \quad (8)$$

앞의 식 (7), (8)을 이용하여 정리하면 다음과 같다.

$$KB_{eff} = (KP_r - C)T = B - \Delta B_{IN} \quad (9)$$

(9) 식에 의하여 B_{eff} 값은 높은 우선순위 소스들의 수와 높은 우선순위 버퍼 크기와 추가적인 버퍼 크기인 ΔB_{IN} 의 관계로 이루어짐을 알 수 있다. 마지막 식에 의해서 다음을 구할 수 있다.

$$(KP_r - C)T = B - \Delta B_{IN} \quad (10)$$

(10) 식에 의해서 버퍼와 시간과의 관계를 구하며, 그림 5에서 구한 그래프에서처럼 버퍼의 임계값에 대해서 최소 용량을 가지므로 다음과 같이 나타낸다^[10].

$$t_{thr} = \frac{B_{thr}}{KP_r - C_{min}} \quad (11)$$

버퍼의 임계값은 B_{thr} 이고, 버퍼의 임계값에 대해서 할당된 용량은 최소 용량인 C_{min} 이고, t_{thr} 은 임계값을 가질 때의 시간을 나타낸다. (10)에서 사용된 버퍼의 관계를 나타내는 함수인 $O(t)$ 를 이용하여 다음과 같이 전개한다. 그림 5에서 나타나듯이 t_{thr} 에 대해 할

당되는 용량이 C_{min} 이므로 (12)처럼 전개한다.

$$O(t) = (KP_r - C_{min})t, 0 \leq t \leq t_{thr} + \Delta T \quad (12)$$

시간 t 가 0 와 $t_{thr} + \Delta T$ 사이의 범위에 있을 때의 버퍼 점유를 나타낸다. 그 외의 시간 t 가 $t_{thr} + \Delta T$ 와 T 사이의 범위에 있을 때의 버퍼 점유는 (13)에 의해 나타낼 수 있다.

$$O(t) = (KP_r - C_{min})(t_{thr} + \Delta T) + (KP_r - C)(t - t_{thr} - \Delta T), t_{thr} + \Delta T < t \leq T \quad (13)$$

비교 목적으로 제시한 참조 시스템에서의 높은 우선 순위 버퍼 점유를 $O_{ref}(t)$ 라고 하고 제안한 시스템에서의 높은 우선 순위 버퍼 점유를 $O(t)$ 라고 가정하여, 두 시스템을 비교한다. 먼저, 참조 시스템의 경우는 다음과 같다.

$$O_{ref}(t) = (KP_r - C)t, 0 \leq t \leq T \quad (14)$$

본 논문에서 제안한 시스템의 경우는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$O(t) = (KP_r - C_{min})t, 0 \leq t \leq t_{thr} + \Delta T$$

$$O(t) = (KP_r - C_{min})(t_{thr} + \Delta T) + (KP_r - C)(t - t_{thr} - \Delta T), t_{thr} + \Delta T < t \leq T \quad (15)$$

(5) 식과 (15) 식을 이용해서 본 논문에서 제시하고자 하는 ΔB 를 구하면 다음과 같다.

$$\Delta B = O(T) - O_{ref}(T) = (C - C_{min}) \left(\frac{B_{thr}}{KP_r - C_{min}} + \Delta T \right) \quad (16)$$

ΔB 가 ΔB_{IN} 일 때, (7), (8) 그리고 (16) 식에 의해서 다음 식들로 나타낼 수 있다. 그리고, 주어진 식에서 알려지지 않은 인자들 C_{eff} , B_{eff} , K , ΔB_{IN} 의 값을 결정한다.

$$\Delta B_{IN} = (C - C_{min}) \left(\frac{B_{thr}}{KP_r - C_{min}} + \Delta T \right)$$

$$B_{eff} = (P_r - C_{eff})T$$

$$\frac{C}{C_{eff}} = \frac{B - \Delta B_{IN}}{B_{eff}} = K \quad (17)$$

높은 우선 순위 최대 소스들의 수는 $\left[\frac{C}{P_r}, \frac{C}{S_r} \right]$ 사이에 존재하고, ΔB_{IN} 가 증가할 때 K 는 감소한다. 버퍼의 임계값인 B_{thr} 이 증가하고 C_{min} 이 감소할 때,

ΔB_{IN} 는 증가한다.

ΔB 가 ΔB_{OUT} 일 때 버퍼 크기가 $B_{TOT} = B + \Delta B_{OUT}$ 이며, 이 경우에 높은 우선 순위 소스들의 수로 할당할 수 있다.

$$\Delta B_{OUT} = (C - C_{min}) \left(\frac{B_{thr}}{KP_r - C_{min}} + \Delta T \right)$$

$$T = \frac{B_T}{P_r - S_r}$$

$$(P_r - C_{eff})T = B_{eff}$$

$$\frac{C}{C_{eff}} = \frac{B}{B_{eff}} = K \quad (18)$$

(18) 식에서 주어진 ΔB_{OUT} 을 B 와 합쳐져서 B_{TOT} 인 버퍼 크기를 이룬다.

$$B_{TOT} = B + \Delta B_{OUT} = B + (C - C_{min}) \left(\frac{B_{thr}}{KP_r - C_{min}} + \Delta T \right) \quad (19)$$

위의 규정은 제안한 시스템과 참조 시스템 둘 다 비손실 망에 대한 것이다. 그리고 만약 제안한 시스템에서 높은 우선 순위 버퍼를 최대로 계속 사용하게 되면 결국 비교 목적으로 제시한 참조 시스템과 동일한 구조를 가지게 된다. 따라서, 제안한 시스템은 약간의 제약이 필요하며, 제안한 시스템의 최대 지연시간은 참조 시스템에서 제안한 것보다 매우 짧으므로 $\Delta B = \Delta B_{IN}$ 로 나타낸다. 제안한 시스템에서 사용된 평균 버퍼 크기 및 평균 사용된 용량도 참조 시스템보다 적다. 따라서, B 의 값은 (17)에서 사용된 인자들 (C_{eff} , B_{eff} , K , ΔB_{IN})을 적절하게 이용함에 따라 결정된다.

보통의 경우에 소스의 총 이용률은 소스들의 특별한 종류에 의해 시스템의 성능을 평가하는 데 반해, 본 논문에선 성능 분석 측정을 최악의 경계 영역과 최상의 경계 영역을 결정함으로써 해서 구한다. 따라서, 경계는 듀얼 리키 버킷의 특별한 종류의 소스들에 의존적이지 않다.

온-오프 프로세스(On-Off Process)에 의해서 어떤 망의 성능을 분석함에 있어 결과는 두 가지 나타나게 되는데, 그 결과 중에서 첫 번째 조건에 의한 결과는 가능한 최악의 성능에 대해 주어지게 된다. 즉, 최악의 망 성능을 제시해 주기 때문에 앞에서 언급한 두 가지의 경계 영역 중에서 최악의 경계 영역에 해당된다. 두 번째 조건에 의한 결과는 가능한 최상의 성능에 대해 주어지는 것으로 최상의 경계 영역에 해당된다. 물론,

이 두 가지의 경계 영역을 결정하는 가장 기본이 되는 개념은 앞에서 언급한 온-오프 프로세스의 두 가지 조건이다. 이러한 경우 두 가지의 경계 영역에 대해 미리 가정된 용량 할당 규정에 사용된 B_{thr} 와 C_{min} 를 이용해 ρ 를 평가한다. 최상의 경계 영역에 관련된 처리율을 ρ_B 로 표현하고, 최악의 경계 영역에 관련된 처리율을 ρ_w 로 표현한다^[11].

시스템의 인자들의 값은 다음과 같이 주어진다^[12].

- $P_r = 32,000 / (48 \times 8) = 80.33 \text{ cells/s}$
- $S_r = 32.197 \text{ cells/s}$
- $B_T = 100 \text{ cells}$
- $C = 2,048,000 / (53 \times 8) = 4,830.189 \text{ cells/s}$
- $\Delta T = 0.25 \text{ s}$

먼저, 두 가지의 경우 중에서 최상의 경계 영역에 대해 ρ_B 의 값을 알아본다^[13].

$$\rho_B = \begin{cases} \frac{C - C_{min} + KS_r}{C} & , \text{ for } C_{min} > KS_r \\ 1 & , \text{ for } C_{min} \leq KS_r \end{cases} \quad (20)$$

(20) 식에 의하면 버퍼의 임계값에 대해서 할당된 용량인 C_{min} 보다 작 소스들에서 제공되는 지속적인 비율(S_r)의 합이 작으면 처리율(ρ_B)이 1 보다 적은 $\frac{C - C_{min} + KS_r}{C}$ 값을 가지게 된다^[8]. 즉, K 개의 소스들이 각각 S_r 의 비율로 유지했을 때, 만약 KS_r 이 C_{min} 보다 크게 되면 모두 다 처리가 가능하게 된다. (20) 식에서 결정이 되지 않은 두 인자는 K 와 C_{min} 인데, 이 두 인자에 대해서 ρ_B 의 값의 변화는 다음의 그림으로 나타난다.

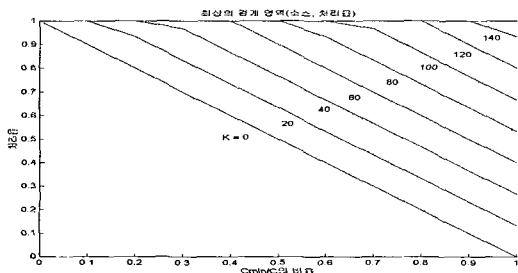


그림 6. $\frac{C_{min}}{C}$ 의 비율과 처리율의 관계

Fig. 6. The relation of $\frac{C_{min}}{C}$ and utilization.

위의 그림은 ρ_B 와 K , 그리고 $\frac{C_{min}}{C}$ 의 관계를 나타낸 그림이다. 그림에서도 나타나 있듯이, K 가 일정한 경우에 $\frac{C_{min}}{C}$ 이 증가하면 ρ_B 은 감소하고, $\frac{C_{min}}{C}$ 이 일정한 경우에 K 가 증가하면 ρ_B 도 같이 증가함을 알 수 있다.

경계영역을 결정하는 두 가지 경우 중에 최악의 경계 영역을 결정하는 경우로 최악의 경계 영역을 정하기 위하여 버퍼에서 생길 수 있는 지연에 대해 다음과 같이 고려할 수 있다. 이런 지연, D 는 모든 높은 우선순위 버퍼내의 마지막 셀에 의해 제공된 지연이며 이는 두 가지로 구성된다. 버퍼가 비어있는 동안(C) 에 마지막 $\frac{B - B_{thr}}{C} + \Delta T$ 의 지연을 가지는 경우와 높은 우선순위 버퍼가 비어있는 동안(C_{min}) 에 마지막 $\frac{B_{thr} - C\Delta T}{C_{min}}$ 의 지연을 가지는 경우이다^[13].

$$D = \frac{B - B_{thr}}{C} + \Delta T + \frac{B_{thr} - C\Delta T}{C_{min}} \quad (21)$$

마지막으로, 만약 $\Delta T \geq \frac{B_{thr}}{C}$ 면, 최대 지연은 참조 시스템과 같다. (21)을 이용해서 최악의 경계 영역에 대해 ρ_w 의 값들을 알아본다^[13].

$$\rho_w = \begin{cases} 1 - \frac{S_r}{P_r T} \left(\Delta T - \frac{B_{thr}}{C} - t^* \frac{C_{min}}{C} \right) & , \text{ for } \Delta T > \frac{B_{thr}}{C} \\ 1 - \frac{P_r - S_r}{P_r} \left(1 - \frac{S_r D}{B_T} \right) \frac{C_{min}}{C} & , \text{ for } \Delta T \leq \frac{B_{thr}}{C} \end{cases} \quad (22)$$

(22)에서 $t^* = T \left(\frac{P_r}{S_r} - 1 \right) - \frac{B - B_{thr}}{C} - \Delta T$ 이다.

아래의 그림은 B_{thr} 와 $\frac{C_{min}}{C}$ 의 관계를 나타낸다.

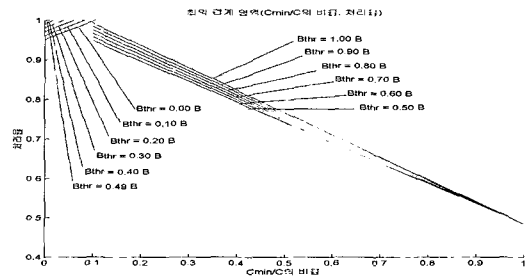


그림 7. $\frac{B_{thr}}{B}$ 의 비율과 $\frac{C_{min}}{C}$ 의 비율 관계

Fig. 7. The relationship between $\frac{B_{thr}}{B}$ and $\frac{C_{min}}{C}$.

위의 그림은 최악의 경계 영역을 결정하기 위해서 $\frac{B_{thr}}{B}$ 와 $\frac{C_{min}}{C}$ 의 관계를 나타낸 그래프이다. 그래프에서도 나타난 것처럼 비율이 0.49 이하는 $\frac{C_{min}}{C}$ 와의 관계를 올바르게 나타내지 못한다. 그리고 0.50 이상인 것 중에 가장 최악의 경우라고 얘기할 수 있는 것은 $\frac{B_{thr}}{B} (\geq 0.50)$ 이 0.50 인 것임을 알 수 있다. 따라서, 이를 적용한 아래의 그림은 B 의 크기와 $\frac{C_{min}}{C}$ 의 관계를 나타낸 그래프이다.

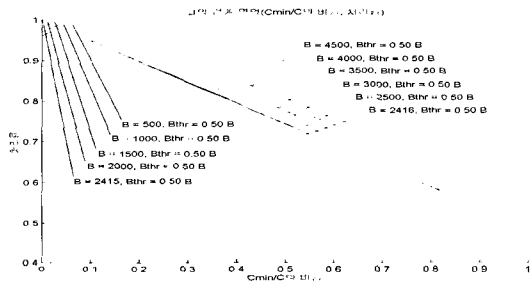


그림 8. B 와 $\frac{C_{min}}{C}$ 의 비율 관계

Fig. 8. The relationship between B and $\frac{C_{min}}{C}$.

위의 그림은 B 의 크기와 $\frac{C_{min}}{C}$ 의 비율과의 관계를 나타낸 그래프로 B 의 크기 중에 최악의 경계 영역이 2416 이다. 2415 이하인 B 크기를 가진 것은 그래프의 영역을 결정할 수 없다. 따라서, $B (\geq 2416)$ 가 2416 이고, $\frac{B_{thr}}{B}$ 의 비율이 0.50 으로 선택하여 최악의 경계 영역 그림은 B 와 $\frac{B_{thr}}{B}$ 이 결정되었을 때, K 값을 결정하기 위한 그래프이다.

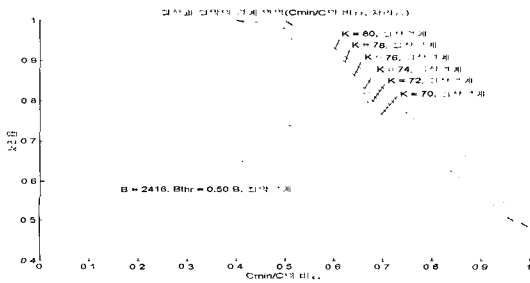


그림 9. 최상과 최악의 경계 영역 관계

Fig. 9. The worst and best area relations.

위의 그림은 B 의 크기가 2416 이고, $\frac{B_{thr}}{B}$ 의 비율이 0.50 일 때, K 가 72 ($K \geq 72$) 인 그래프가 최악의 경계와 일치함을 나타낸다. 따라서, 앞에서 구한 B , $\frac{B_{thr}}{B}$, K 값을 적용한 그림이 아래의 그래프이다.

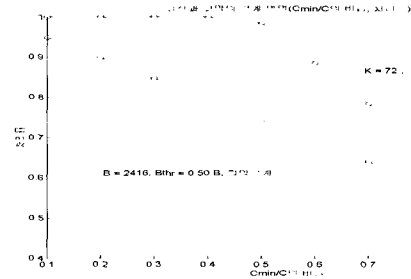


그림 10. $K = 72$ 인 그래프

Fig. 10. The relationship for $K = 72$

최악 경계 영역과 최상 경계 영역의 차이가 가장 큰 $\frac{C_{min}}{C}$ 의 비율은 0.4 와 0.5 사이에서 존재함을 확인할 수 있다. $\frac{C_{min}}{C}$ 비율에 의해서, 높은 우선순위 소스의 수는 본 시스템(K) 내에 할당되고 버퍼 크기(B)의 값은 시스템 내에서 손실되는 이 없을 때의 값이다. 시스템은 72 소스($K = 72$)를 지원할 수 있고, 그것의 버퍼 크기는 2416 cell ($B = 2416$) 과 동일하다. 분석 결과에서 나타난 최적 작업점은 K_S 과 같은 C_{min} 값을 선택할 때이며, 이러한 선택은 모든 사용 효율 요소와 할당된 높은 우선순위 소스의 최대 수를 제공한다. $\frac{C_{min}}{C}$ 에 해당되는 최적 작업 점은 0.48 이다.

관찰한 결과를 요약하면 다음과 같다. 제안된 방법은 참조 시스템을 고려한 모든 사용 효율의 뚜렷한 증가를 나타내는 데, 이러한 성능 개선은 트래픽($\frac{P_r}{S_r}$ 의 비율)이 증가할 때 이루어진다. 제안된 방법은 참조 시스템의 동일한 최대 지연을 제공되며, 만약 높은 우선순위 트래픽이 더 높은 지연을 허용할 수 있으면, 모든 사용 효율 요소($\Delta B = \Delta B_{OUT}$)가 증가해도 높은 우선순위 소스는 동일한 수를 제공할 수 있다. 낮은 우선순위 트래픽에 대해 이용 가능한 용량은 허락된 높은 우선순위 소스의 수(K)가 증가되는 동안 C_{min} 이 증가할 때 감소된다. 이 C_{min} 값이 C 에 근접할 때, 본문에서 제안한 것이 아무런 효과를 내지 못하므로,

높은 우선순위 소스 수는 참조 시스템의 수에 근접한다.

IV. 결 과

제 3 장 마지막 부분에서 구한 값들에 대해서 다음의 인자들에 대한 값들을 대응시킬 수 있다.

- $K = 72$
- $B = 2416$
- $C_{eff} = \frac{C}{K} = \frac{4830.189}{72} \approx 67.09$
- $B_{eff} = \frac{B}{K} = \frac{2416}{72} \approx 33.56$
- $C_{min} = C \times 0.48 = 4830.189 \times 0.48 \approx 2318.49$
- $B_{thr} = B \times 0.50 = 2416 \times 0.50 = 1208$

위의 값들을 이용해서 ΔB 값을 구한다. (14)와 (15)에 의해 구한 그래프를 합하여 그리면 다음과 같다.

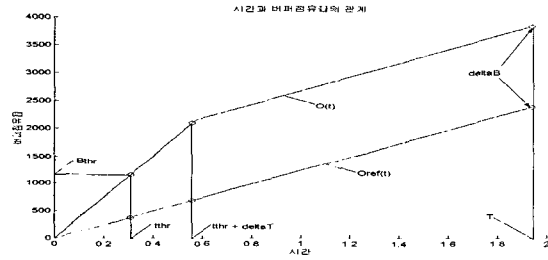


그림 11. 시간과 높은 우선순위 버퍼 점유율의 관계
Fig. 11. The relationship between time and high-priority buffer occupancy.

따라서, ΔB 는 $(C - C_{min}) \left(\frac{B_{thr}}{KPr - C_{min}} + \Delta T \right)$ 이므로 위의 값들을 대입하면 ΔB 는 1563.2(T 에 대한 값)임을 알 수 있다. 따라서 ΔB 와 시간과의 관계는 다음과 같이 나타낼 수가 있다.

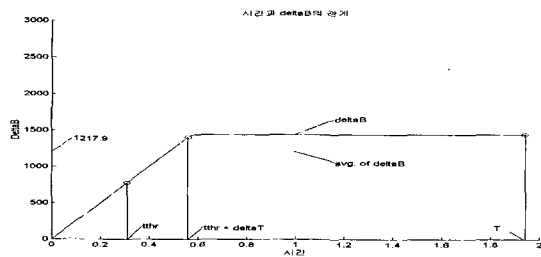


그림 12. 시간과 ΔB 의 관계
Fig. 12. The relationship between time and ΔB .

위에서 구한 $\overline{\Delta B}$ 은 약 1217.9이다. B 에 대해 $\overline{\Delta B}$ 의 비율이 50.41 % 정도 차지한다. 아래의 그래프는 위에서 구한 ΔB 를 이용하여 (6)에 의해서 $C(t)$ 와 $\overline{C(t)}$ 를 구한 그래프이다.

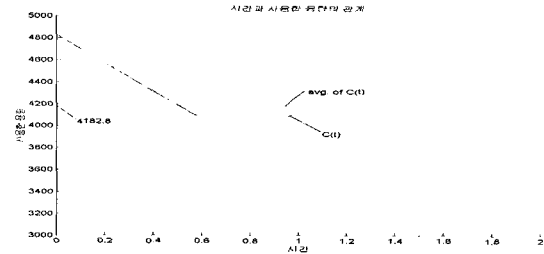


그림 13. 시간과 $C(t)$ 의 관계
Fig. 13. The relationship between time and $C(t)$.

위에서 구한 $\overline{C(t)}$ 는 약 4182.8 이다. 따라서, 제한한 시스템에서 주어진 C 용량에 대해서 사용률은 86.60 % 정도 된다.

위의 그림은 인자들(C_{min} , B , K , B_{thr})에 대해 변화하는 $\overline{\Delta B}$ 와 $\overline{C(t)}$ 의 관계를 나타낸 그림들이다.

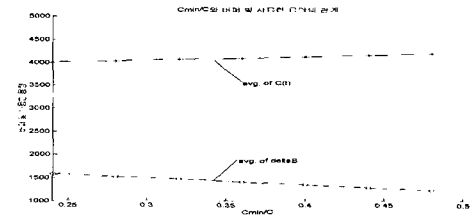


그림 14. $\frac{C_{min}}{C}$ 와 $\overline{\Delta B}$ 및 $\overline{C(t)}$ 의 관계
Fig. 14. The relationship between $\frac{C_{min}}{C}$, $\overline{\Delta B}$ and $\overline{C(t)}$.

아래의 그림은 $\frac{C_{min}}{C}$ 와 $\overline{\Delta B}$, $\overline{C(t)}$ 의 관계를 나타낸 그림이다. 이에 반해, 아래의 그림은 B 와 $\overline{\Delta B}$, $\overline{C(t)}$ 의 관계를 나타낸 그림이다.

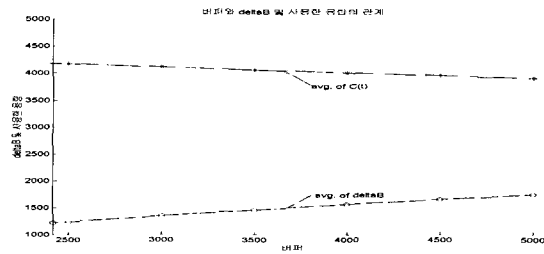


그림 15. B 와 $\overline{\Delta B}$ 및 $\overline{C(t)}$ 의 관계
Fig. 15. The relationship between B , $\overline{\Delta B}$ and $\overline{C(t)}$.

마지막으로 앞에서 계산한 값과 시뮬레이션을 통해 구해진 값을 비교한다. 아래의 그림은 \overline{AB} 와 B 사이의 계산한 값과 시뮬레이션 값을 비교한 그림이다. 이 두 값의 오차는 0.0022이다.

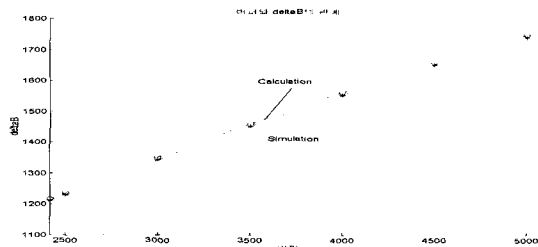


그림 16. \overline{AB} 와 B 의 비교
Fig. 16. Comparison of \overline{AB} and B .

아래의 그림은 $\overline{C(t)}$ 와 B 사이의 계산한 값과 시뮬레이션 값을 비교한 그림이다. 이 두 값의 평균 오차는 0.0011 이다.

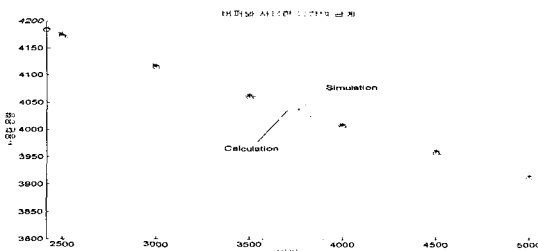


그림 17. $\overline{C(t)}$ 와 B 의 비교
Fig. 17. Comparison of $\overline{C(t)}$ and B .

V. 결론

본 논문은 단순 교환 역할만을 하던 위성 망에 온보드 처리 기능을 추가시켜 교환뿐만 아니라 동적으로 연결을 제어할 수 있는 시스템을 제안하였고, 제안한 시스템에 대해서 분석하였다. 그리고, 트래픽에 대해 우선순위를 부여하여 높은 우선순위 트래픽에 대해서만 처리하던 기존의 위성 망보다 제안한 시스템이 더 좋은 성능을 가짐을 수식으로 분석하였고, 이를 시뮬레이션을 통하여 검증하였다. 또한, 결정적 서비스 질을 보장하기 위해서 최악의 경계 영역과 최상의 경계 영역을 범위를 주었으며, 그에 따른 다양한 결과를 얻었다.

본 논문에서 다룬 위성 망의 성능 분석은 이전의 다

른 논문에서 시뮬레이션을 위주로 분석한 것에 반해 수식을 통하여 수학적 분석 및 평가하고 시뮬레이션을 통하여 검증함으로써 분석하였다. 이러한 분석은 인자들에 대해서 위성 망의 성능의 비교 및 평가함에 의미가 있으며, 효율적인 방법으로 성능을 분석할 수 있는 수학적 모델을 제시했다는 점에서 의미가 있다. 이러한 점에서 볼 때 본 논문에서 얻은 결과는 위성 망의 설계 및 구현에 사용되어 질 수 있으며, 향후 위성 망을 연구하고 설계 및 구현에 유용하게 사용되어 질 수 있을 것으로 사료된다.

참고 문헌

- [1] Euroskyway Homepage-<http://www.euroskyway.com/>
- [2] J. W. Roberts, J. T. Virtamo, "The superposition of periodic cell arrival streams in an ATM multiplexer," *IEEE Transactions on Communications*, Vol. 39, No. 2, pp. 298~302, Feb. 1991.
- [3] Mertzanis, G. Sfikas, R. Tafazolli, B. G. Evans, "Protocol Architecture for Satellite ATM broadband Networks," *Communications Magazine*, pp. 46~54, Mar. 1999.
- [4] A. Elwalid, D. Mitra, R. H. Wentworth, "A New Approach for Allocating Buffers and Bandwidth to Heterogeneous, Regulated Traffic in an ATM Node," *IEEE JSAC*, Vol. 13, No. 9, pp. 1115~1127, Aug. 1995.
- [5] G. Losquadro, V. Podda, F. Carducci: "The EuroSkyWay Worldwide system Providing broadband service to fixed and mobile end-users," 4th KA band Utilization Conference, Venezia, Italy, 2-4 Nov, 1998.
- [6] L. Georgiadis, R. Guerin, V. Peris, K. N. Sivarajan, "Efficient Network QoS Provisioning based on per Node Traffic Shaping," in *Proc. IEEE Infocom96*, pp. 102-110, 1996.
- [7] N. Blefari-Melazzi, M. Femminella, G. Reali, "Dynamic Bandwidth Allocation in a Circuit-Switched Satellite Network: Provision of

Deterministic and Statistical QoS guarantees,” IEEE Infocom 2000, pp. 225-234, 2000.

[8] Yeong M. Jang and Byung G. Kim, “Chernoff Bound Approach for Connetcion Control in Broadband Satellite Systems,” IEEE Communications Letters, Vol. 3, No. 5, pp. 154-156, May. 1999.

[9] A. Baiocchi, N. Blefari-Melazzi, M. Listanti, C. Soprano, “Definition and Performance Analysis of a simple, ABR-like, congestion control scheme for satellite ATM networks with Guaranteed Loss Performance,” IEEE JSAC, Vol. 17, No. 2, pp. 303-313, Feb. 1999.

[10] A. Elwalid, D. Mitra, “Traffic shaping at network node: theory, optimum design, admission control,” IEEE Infocom97, pp. 445-455, 1997.

[11] K. Kvol, S. Blaabjerg, “Bounds and Approximations for the Periodic On/Off Queue with Applications to ATM Traffic Control,” in Proc. IEEE Infocom92, pp. 487-494, 1992.

[12] Euroskyway Satellite and Terminal- <http://www.ee.surrey.ac.uk/Personal/T.Ors/atmsat/euroskyway.html>

[13] N. Blefari-Melazzi, G. Reali, “A Resource Management Scheme for Satellite Networks with Dynamic Bandwidth Allocation Procedures,” Technical Report, University of Perugia, available on request.

저 자 소 개



裴泰雄(正會員)
1999년 한양대학교 전자계산학과 학사. 2001년 한양대학교 전자계산학과 석사. 2001년 3월 ~ 현재, LG전자 안양연구소에서 “지능형 교통 시스템(ITS) 노변기지국” 개발중



李廷圭(正會員)
1979년 한양대학교 전자공학과 학사. 1986년 UCLA 전자공학과 석사. 1989년 UCLA 전자공학과 박사. 1979년 3월 ~ 1984년 5월 국방과학 연구소 연구원, 1989년 3월 ~ 1990년 2월 삼성전자 정보통신 연구소 수석 연구원, 1990년 3월 ~ 현재 한양대학교 전자컴퓨터공학부 교수, 1997년 3월 ~ 2001년 2월 한양대학교 공학기술연구소 부소장/소장, 2001년 3월 ~ 현재 한양대학교 정보통신원 부원장, 관심분야는 무선 데이터 통신, 통신망 성능분석, 이동 및 위성 통신망 분석, Stochastic Process에 대해 연구중