

서비스 질을 보장하는 회선 교환 위성 망의 성능 분석

배태웅^U 이정규
 한양대학교 전자계산학과^O 한양대학교 전자컴퓨터공학부
 tupaee@cse.hanyang.ac.kr^O jklee@commlab.hanyang.ac.kr

Performance Analysis of Circuit Switched Satellite Network Guaranteed QoS(Quality of Service)

Tae-Ung Pae^U Jong-Kyu Lee
 Dept. of C.S.E., Hanyang University^O Dept. of E.E.C.S., Hanyang University

요약

본 논문은 망에 대한 유연성과 망의 성능의 효율성을 개선하기 위해서 기존의 회선 교환 위성 망에서 데이터 트래픽을 다루는 시스템을 제안하고 성능을 분석한다. 제안한 시스템은 각 연결의 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. 또, 서비스 질을 결정적으로 보장함으로써 망의 유연성 및 신뢰성을 높인다. 트래픽 소스는 Dual Leaky Bucket에 의해 일정하게 조정된 트래픽을 사용하며, 이러한 트래픽을 이용하여 제안한 시스템의 성능을 수학적으로 분석하였고, 이를 시뮬레이션을 통해 검증하였다. 이러한 분석 결과는 앞으로 회선 교환 시스템에서 프로토콜의 설계 및 구현 시 유용하게 사용될 수 있을 것으로 사료된다.

1. 소개

현재의 회선 교환 위성 망은 호 설정시간이 너무 길다는 단점으로 인해 패킷 교환의 필요성이 대두되어 지고 있는 실정이다. 패킷 교환 망은 망의 유연성과 효율성에 있어 회선 교환 망보다 더 좋은 성능을 가진다. 따라서, 앞으로는 현재의 회선 교환 위성 망에서 패킷 교환 망을 제공해야 할 것이다. 하지만, 아무리 패킷 교환 망이 좋다고 해도 위성 망의 특징인 전송 지연 때문에 완전 패킷 교환 위성 망을 만들기에 다소 무리가 있다. 그리고 여기에 따르는 비용과 시스템의 복잡성의 문제가 많을 것이다. 따라서 기존에 제공되고 있는 회선 교환 위성 망을 기반으로 해서 패킷 교환 전송모드의 도입이 필요하다. 본 논문에서 제안한 방법은 호 설정이 이루어 졌을 때, 그 연결에서 할당된 대역폭을 동적으로 변경하고자 하였고, 이러한 대역폭의 변경은 또 다른 호 설정이나 호 제거와 같은 별도의 알고리즘이 없어도 가능하다. 또한 단순히 교환 역할만을 지원하던 위성 망에서 발전되어 위성 망에서 채널에 대해 제어가 가능하게 되는 On-Board Processing 방법을 적용하였다. 본 논문에서 제안한 시스템 내에서 교환되는 가장 작은 단위를 위성 Cell이라고 하고, 각 위성 Cell의 크기는 53 bytes이며, 기본적인 채널에 대해서 16 Kbps당 정보율을 제공한다. 제안한 시스템에서의 트래픽의 제어 방법은 기존의 ATM에서 사용하는 방법과 유사하다[1].

2. 제안한 기술 및 시스템

2.1 Dual Leaky Bucket

일반적 Dual Leaky Bucket으로부터 입력된 트래픽에 대한 참조를 하기 위해 다음을 정의한다.

- P_s : Maximum Cell Rate, - r_s : Substained Cell Rate
- B_T : 버퍼 크기(Substained Cell Rate 또는 그것의 Burst Tolerance와 관련된 인자)

2.2 On-Off Process

일반적인 Dual Leaky Bucket의 Output Process의 두 가지 의적인 동작 다음과 같이 두 가지로 나타난다. 첫 번째는 Dual Leaky Bucket이 Substained Cell Rate인 r_s 에 대해 Cell을 발산하는 경우이고, 두 번째는 Dual Leaky Bucket이 Cell을 발산하는데, 온 상태에서는 P_s 비율로 보내고, 오프 상태이면 전송을 하지 않는 경우이다. On 상태와 Off 상태 주기의 길이는 총 평균 비율이 r_s 과 동일하다.

2.3 On-Board Processing

기존 위성통신 탑재 장치의 수동적인 증계기능 이외에 복조/재변조, 부호/복호화 및 오류정정, 증계기 및 빔 간의 상호 연결/절체 등의 새로운 기능이 추가되어 능동적인 증계를 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 좋아졌다. 그리고 채널에 대한 제어를 위성에서 해결하므로 지상의 마스터 제어 지국과의 신호를 통하여 동적으로 대역폭의 변경을 가능하게 하였다.

2.4 기본적 정보 신호

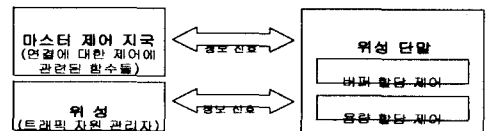


그림 1. 정보 신호 흐름

기본적으로 호 설정이 이루어진 상태에서 연결에 대해 할당된 대역폭을 동적으로 변경하고자 할 때, Master Control Station

과 Terminal 혹은 InterWorkingUnit 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 신호의 흐름을 나타낸 그림이다.

2.5 제안한 시스템

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 Fixed되어 있다. 음성 부분은 음성을 사용하기 위한 음성 슬롯들과 데이터 사용을 허락하는 음성 슬롯들의 두 부분으로 나누어진다. 이 때의 두 부분의 경계는 Movable되어 있다. 데이터 사용을 허락하는 음성 슬롯들이 많으면 많을수록 다르게 표현해서 기존의 음성 서비스를 지원하기 위해 할당해 둔 용량보다 음성이 적게 사용될수록-본 시스템의 효율은 증가한다. 위의 그림은 용량 할당 방법에 대한 그림이다[2].

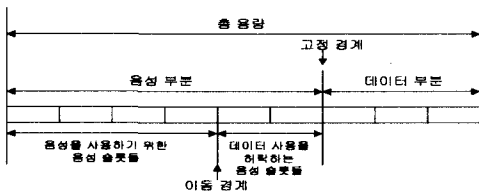


그림 2. 제안한 시스템의 용량 할당 방법

이에 반해, 제안한 시스템 구조와의 비교 목적으로 참조가 될 만한 시스템을 제안한다. 참조 시스템은 기존의 회선 교환 위성 망이며, 하나의 트래픽에 대해서 서비스하며, 그런 트래픽은 Priority가 존재하지 않으며, 참조 시스템에선 데이터 서비스는 지원이 안되고 반드시 음성 서비스만을 지원한다.

3. 서비스 질(Quality of Service)

3.1 버퍼 할당과 용량 할당의 관계

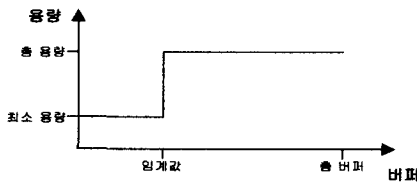


그림 3. 버퍼 할당과 용량 할당의 관계

주어진 위성 단말의 연결에 대해 Master Control Station에서의 절차는 주어진 대역폭(C)을 할당됨을 가정한다. 주어진 연결의 높은 Priority 트래픽(낮은 Priority 트래픽)에 대해 동적으로 용량을 할당할 때 사용하는 알고리즘은 본 논문에서 중요한 요소이다. C(t)는 높은 Priority 트래픽에 의해 사용된 용량이며, 낮은 Priority 버퍼의 함수으로써 주어지며, 남은 C-C(t)는 낮은 Priority 트래픽에 제공된다. 높은 Priority 버퍼 점유율 함수, V(t)처럼 C(t)의 다른 변화에 대한 규정을 고려하고 이러한 규정에 대한 가장 단순화 한 것을 버퍼 할당과 용량 할당의 관계로 나타내며 위의 그림을 그릴 수 있다.

3.2 표기법 및 수식

다음의 수식을 전개하기 위해서 간단한 표기법을 정의한다.

- B는 높은 Priority 버퍼 크기
- V(t)는 시간 t에 높은 Priority 버퍼 점유 함수
- C는 주어진 연결에 대해 할당된 총 용량
- K는 위성 단말내의 주어진 연결에 의해 제공되는 높은 Priority 소스들의 총 수
- C(t)는 주어진 연결이 포함된 높은 Priority 트래픽에 의해 지원되는 시간 t에 사용된 용량 함수
- ΔT는 위성 링크의 왕복 시간에 관련되어 주로 용량 할당의 효과를 증가시키기 위해 제시한 지연 시간
- ρ는 주어진 연결에서의 총 이용 효율 요소

만약 전 가동 시간 동안 높은 Priority에 관련된 Dual Leaky Bucket을 거친 K개의 소스들이 P_s로 보내어 진다면 다음과 같은 수식이 만족된다. Dual Leaky Bucket에 정의에 의해서

$$t^* \text{가 } \frac{B_T}{P_s - r_s} \text{로 정해진다.}$$

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

비교 시스템은 높은 Priority 트래픽에 대해 이용 가능한 용량이 항상 C이므로 다음의 식으로 나타낼 수 있다.

$$V_r(t^*) = KP_s t^* - C t^* = (KP_s - C)t^* \quad (2)$$

추가적인 버퍼의 크기는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Delta B = V(t^*) - V_r(t^*) = C t^* - \int_0^{t^*} C(V(t - \Delta T)) dt \quad (3)$$

높은 Priority 소스의 효율적인 대역폭을 c로, 효율적인 버퍼 할당을 b로 각각 나타낸다. 이때, 아래의 수식을 만족한다.

$$\frac{C}{c} = \frac{B - \Delta B}{b} = K \quad (4)$$

높은 Priority 버퍼에서 손실 현상을 피하기 위해서 다음이 관계식을 만들 수 있다.

$$t^* = \frac{B_T}{P_s - r_s} \quad (5)$$

$$b = (P_s - c)t^*$$

앞의 식 (4), (5)을 이용해서 정리하면 다음과 같다.

$$Kb = (KP_s - C)t^* = B - \Delta B \quad (6)$$

(6)에 의해서 b값은 높은 Priority 소스들의 수와 높은 Priority 버퍼 크기와 추가적인 버퍼 크기인 ΔB의 관계로 이루어짐을 알 수 있다. 버퍼와 시간과의 관계와 버퍼의 임계값에 대해서 최소 용량 가지므로 다음과 같이 나타낸다.

$$t_i = \frac{b_i}{KP_s - C_{min}} \quad (7)$$

버퍼의 임계값은 b_i이고, 버퍼의 임계값에 대해서 할당된 용량은 최소 용량인 C_min이고, 버퍼가 임계값을 가질 때의 시간(t_i)을 나타낸다.

$$V(t) = (KP_s - C_{min})t, 0 \leq t \leq t_i + \Delta T \quad (8)$$

시간 t가 t_i + ΔT와 T사이의 범위에 있을 때의 버퍼 점유는 (9)에 의해 나타낼 수 있다.

$$V(t) = (KP_s - C_{min})(t_i + \Delta T) + (KP_s - C)(t - t_i - \Delta T), t_i + \Delta T < t \leq t^* \quad (9)$$

비교 목적으로 제시한 비교 시스템에서의 높은 Priority 버퍼 점유를 V_r(t)라고 하고 제안한 시스템에서의 높은 Priority 버퍼 점유를 V(t)라고 가정하여, 두 시스템을 비교한다. 먼저,

참조 시스템의 경우는 다음과 같다.

$$V_r(t) = (KP_s - C)t, 0 \leq t \leq t^* \quad (10)$$

본 논문에서 제안한 시스템의 경우는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$V(t) = (KP_s - C_{\min})t, 0 \leq t \leq t_i + \Delta T$$

$$V(t) = (KP_s - C_{\min})(t_i + \Delta T) + (KP_s - C)(t - t_i - \Delta T), t_i + \Delta T < t \leq t^* \quad (11)$$

본 논문에서 제안하고자 하는 ΔB 를 구하면 다음과 같다.

$$\Delta B = V(t^*) - V_r(t^*) = (C - C_{\min}) \left(\frac{b_i}{KP_s - C_{\min}} + \Delta T \right) \quad (12)$$

주어진 식에서 알려지지 않은 인자들 $c, b, K, \Delta B$ 의 값을 결정한다.

$$\Delta B = (C - C_{\min}) \left(\frac{b_i}{KP_s - C_{\min}} + \Delta T \right)$$

$$t^* = \frac{B_T}{P_s - r_s} \quad (13)$$

$$b = (P_s - c)t^*$$

$$\frac{C}{c} = \frac{B - \Delta B_{IN}}{b} = K$$

3.3 결정적 서비스 질 보장[3]

On-Off Process에 의해서 두 가지의 경계 영역에 대해 미리 가정한 용량 할당 규정에 사용된 b_i 와 C_{\min} 를 이용해 ρ 를 설정한다. 최상의 경계 영역에 관련된 처리율을 ρ_B 로 표현하고, 최악의 경계 영역에 관련된 처리율을 ρ_W 로 표현한다. 먼저, 두 가지의 경우 중에서 최상의 경계 영역에 대해 ρ_B 의 값을 알아본다.

$$\rho_B = \begin{cases} \frac{C - C_{\min} + Kr_s}{C}, & \text{for } C_{\min} > Kr_s \\ 1, & \text{for } C_{\min} \leq Kr_s \end{cases} \quad (13)$$

버퍼가 비어있는 동안(C) 에 마지막 $\frac{B - b_i}{C} + \Delta T$ 의 지연을 가지는 경우와 높은 Priority 버퍼가 비어있는 동안(C_{\min}) 에 마지막 $\frac{b_i - C\Delta T}{C_{\min}}$ 의 지연을 가지는 경우이다.

$$D_m = \frac{B - b_i}{C} + \Delta T + \frac{b_i - C\Delta T}{C_{\min}} \quad (14)$$

마지막으로, 만약 $\Delta T \geq \frac{b_i}{C}$ 면, 최대 지연은 참조 시스템과 같다. (14)를 이용해서 최악의 경계 영역에서 ρ_W 의 값을 알아본다[4].

$$\rho_W = \begin{cases} 1 - \frac{r_s}{P_s t^*} \left(\Delta T - \frac{b_i}{C} - t^* \frac{C_{\min}}{C} \right), & \text{for } \Delta T > \frac{b_i}{C} \\ 1 - \frac{P_s - r_s}{P_s} \left(1 - \frac{r_s D_m}{B_T} \right) \frac{C_{\min}}{C}, & \text{for } \Delta T \leq \frac{b_i}{C} \end{cases} \quad (15)$$

(15)에서 $T = t^* \left(\frac{P_s}{r_s} - 1 \right) - \frac{B - b_i}{C} - \Delta T$ 이며, (15)에서 D_m 분석 결과는 최적 작업점은 Kr_s 과 같은 C_{\min} 값을 선택할 때이며, 이러한 선택은 모든 사용 효율 요소와 할당된 높은 Priority 소스의 최대 수를 제공한다. $\frac{C_{\min}}{C}$ 에 해당되는 최적 작업 점은 0.48 이다.

4. 결과

시스템의 인자들의 값을 다음과 같이 주어진다.

- $P_s = 32,000 / (48 \times 8) = 80.33 \text{ cells/s}$
 - $r_s = 32.197 \text{ cells/s}$, $B_T = 100 \text{ cells}$, $\Delta T = 0.25 \text{ s}$
 - $C = 2,048,000 / (53 \times 8) = 4,830.189 \text{ cells/s}$
- 주어진 값들에다 추가로 다음의 인자들의 값을 알 수 있다.
- $K = 72.7$, $B = 2416$
 - $c = \frac{C}{K} \approx 66.44$, $b = \frac{B}{K} \approx 33.232$

$C_{\min} = C \times 0.48 \approx 2318.49$, $b_i = B \times 0.50 = 1208$ 따라서, 위의 값들을 이용해서 마지막으로 ΔB 값을 구한다.

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

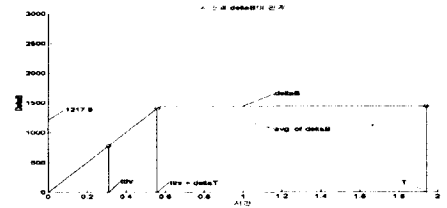


그림 4. 시간과 ΔB 의 관계

위에서 구한 $\overline{\Delta B}$ 은 약 1217.9이다. B 에 대해 50.41 % 정도 차지한다.

5. 결론

본 논문에서는 기존의 단순 교환 역할만을 서비스해주는 위성 망에 온-보드 처리 기능을 추가시켜 교환뿐만 아니라 연결을 동적으로 제어할 수 있게 연구하였다. 따라서 기존의 회선 교환 위성 망의 성능 보다 제안한 회선 교환 위성 망의 성능이 확연히 개선되어 짐을 보였다. 제안한 회선 교환 위성 망의 용량 할당 방법에 있어서 기존의 높은 Priority에 대해 할당되었으나 사용 횟수가 적은 범위에 대해서 낮은 Priority에 대해 할당하였다. 이에 대한 모델링을 제시하였고 그 모델링에 대해 세운 수식을 기반으로 시뮬레이션을 수행하였다.

참고문헌

- [1] A. Elwalid, D. Mitra, "Traffic shaping at network node: theory, optimum design, admission control," IEEE Infocom97, pp. 445-455, 1997.
- [2] 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.
- [3] Yeong M. Jang and Byung G. Kim, "Chernoff Bound Approach for Connection Control in Broadband Satellite Systems," IEEE Communications Letters, Vol. 3, No. 5, pp. 154-156, May, 1999.
- [4] 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.