

동적 대역폭 할당을 지원하는 위성 망 분석

배태웅, 이정규*

한양대학교 전자계산학과, *한양대학교 전자컴퓨터공학부
e-mail:tupae@cse.hanyang.ac.kr

Analysis of Satellite Network supporting Dynamic Bandwidth Allocation

Tae-Ung Pae, Jong-Kyu Lee*

Dept of C.S.E., Han-Yang University
*Dept. of E.E.C.S., Han-Yang Univeristy

요약

본 논문은 위성 망에서 데이터 Traffic을 다루는 System을 제안하고, 성능을 분석한다. Traffic Source는 듀얼 리키 버킷(DLB : Dual Leaky Bucket)에 의해 일정하게 조정된 Traffic을 사용하며, 이러한 Traffic을 이용하여 제한한 시스템의 성능을 수학적으로 분석하고, 이를 시뮬레이션을 통해 검증한다. 제한한 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 시스템보다 효율적이다. 또한, 서비스 질을 결정적으로 보장함으로써 망의 유연성 및 신뢰성을 높인다. 이러한 분석 결과는 앞으로 회선 교환 System에서 Protocol의 설계 및 구현 시 유용하게 사용될 수 있을 것으로 생각된다.

1. 소개

기존의 회선 교환 망은 음성 서비스만을 지원하는 위성 망이 대부분이다. 이런 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, 앞으론 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 System의 복잡성의 문제가 많을 것이다. 따라서 기존에 제공되고 있는 회선 교환 위성 망을 기반으로 해서 패킷 교환 전송모드의 도입이 필요하다. 본 논문에서 제시하는 방법은 기본적으로 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 온-보드 처리(OBP : On-Board Processing) 방법을 적용하였다.

본 논문에서 제안한 System 내에서 교환되는 가장

작은 단위를 위성 셀이라고 하고, 각 위성 셀의 크기는 53 bytes이며, 기본적인 채널에 대해서 16 Nbps망 Rate을 제공한다. 제안한 System에서의 Traffic의 제어 방법은 기존의 비동기 전송모드(ATM : Asynchronous Transfer Mode)이나 자원 예약 프로토콜(RSVP : Resource reSerVation Protocol)에서 사용하는 방법과 유사하다. 호 설정은 마스터 제어 지국(MCS : Master Control Station)에 의해서 처리되며, 각 단말기와 MCS과 신호를 주고 받게 된다. 하나의 연결이 설정되었을 때, 대역폭 요청 신호(IBRS : In-Band Request Signal)를 사용하여 그 연결의 대역폭 변경을 허락하고, 각 사용자는 필요에 따라 연결의 용량을 동적으로 감소 또는 증가에 대한 요청을 할 수 있다. IBRS를 위성내에서 Traffic에 대한 자원을 관리하는 Traffic 자원 관리자(TRM : Traffic Resource Management)에게 보내며, 이런 TRM은 IBRS에 대해 positive 또는 negative reply을 할 수가 있다. 물론, negative reply에 대해선 대역폭의 요청이 이루어지질 않으며, positive reply에 대해서는 용량의 동적인 변경을 허락한다[1].

본 논문의 구성은 다음절에서 본 논문에서 제안한 System의 구조를 소개하고 자원 관리 방법을 제안하며, 비교의 목적으로 제시한 비교 System과 제안

한 System의 구조를 비교 및 분석하고, 다음절에서 서비스 질을 결정적으로 보장하기 위한 수식을 전개하며, 이런 수식들을 분석하고 평가를 통한 결과는 그 다음절에서 다룬다. 마지막으로 결론과 참고 문헌으로 본 논문을 구성한다.

2. System 구조

본 논문에서 제안한 System에서 System의 절차를 단순화하기 위해서 다음의 두 가지의 가정이 필요하다. 첫 번째 가정은 모든 Traffic은 높은 우선순위(HP : High Priority) Traffic과 낮은 우선순위(LP : Low Priority) Traffic으로 나누며, HP Traffic이 공유된 용량을 먼저 이용하며, 만약 더 이상의 이용하지 못하였을 경우에 대해서 LP Traffic이 이용한다. 두 번째 가정은 제안한 System으로 들어가는 모든 Traffic은 듀얼 리키 버킷(DLB : Dual Leaky Bucket)이라는 방법에 의해 Traffic이 일정화된다. 또한, DBL의 출력 프로세스(Out Process)는 온-오프(OO : On-Off)의 상태로 두 가지로 표현된다. 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 OBP를 가진 위성을 사용한다. 따라서 기존의 교환 역할만 하던 위성보다 훨씬 성능이 좋아졌다. 그리고 채널에 대한 제어를 위성에서 해결하므로 지상의 MCS와의 신호를 통하여 동적으로 대역폭의 변경을 가능하게 하였다. 기본적으로 호 설정이 이루어진 상태에서 연결에 대해 할당된 대역폭을 동적으로 변경하고자 할 때, MCS와 단말기 혹은 인터워킹단위(IWU : InterWorking Unit) 사이에서 정보 신호를 주고받으며, 또한 용량 할당에 대해서 제어하는 위성과 지상 망의 단말에서의 Buffer 할당과 용량 할당 제어를 이루기 위해 정보 신호를 주고받는다.

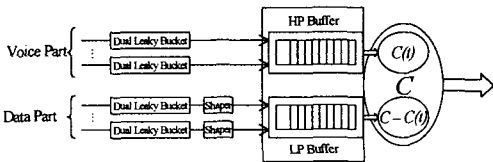


그림 1. System 구조

본 논문에서 제안한 용량 할당 방법은 위의 그림과 같이 나타낸다. 기본적으로 할당할 수 있는 총 용량(C)에 대해 음성 부분과 데이터 부분을 나눈다. 이 때 음성 부분과 데이터 부분을 나누는 Boundary는 고정적(Fixed)이다. 음성 부분은 음성을 사용하기 위한 음성 Slot들과 데이터 사용을 허락하는 음성 Slot들의 두 부분으로 나누어진다. 이 때의 두 부분의 Boundary는 이동적(Movable)이다. 본 연구에서 제안한 System 구조와의 비교 목적으로 비교 System을 제안한다. 비교 System은 기존의 회선 교

환 위성 망이며, 하나의 Traffic에 대해서 서비스하며, 이런 Traffic은 Priority가 존재하지 않으며, 제안한 System은 음성을 비롯하여 다른 데이터에 대해서도 서비스가 가능하였지만, 비교 System에선 데이터 서비스는 지원이 안되고 반드시 음성 서비스만을 지원한다. 용량 할당에 대해 제안한 System과 비교 System을 제시하여 서로를 비교하여 각 System의 성능에 대하여 분석한다. 다음절에서 위에서 제안한 System에 대한 결정적인 서비스 질 보장에 대해서 알아본다[2].

3. 결정적 서비스 질

주어진 위성 단말의 연결에 대해 MCS에서의 절차는 주어진 대역폭(C)을 할당됨을 가정한다. 용량의 수정은 위성 단말이 대역폭의 변경을 요청했을 때, 모든 프레임에서 일어날 수 있고, 이러한 변경은 OBP 위성에 대해 Traffic TRM의 요청을 승인할 때만 효율적이다. 주어진 연결의 HP Traffic(LP Traffic)에 대해 동적으로 용량을 할당할 때 사용하는 알고리즘은 본 논문에서 중요한 요소이다. $c(t)$ 는 HP Traffic에 의해 사용된 용량이며, LP Buffer의 함수로써 주어지며, 남은 $C - c(t)$ 는 LP Traffic에 제공된다. $c(t)$ 가 HP Buffer의 비-감소 함수여야 하고, 그러한 Buffer의 요소가 증가할 때, HP Traffic은 더 많은 용량을 필요로 한다. HP Buffer 점유의 함수, $\alpha(t)$ 처럼 $c(t)$ 의 다른 변화에 대한 규정을 고려하고 이러한 규정에 대한 가장 단순화한 것을 Buffer 할당과 용량 할당간의 관계로 나타낸다. 따라서 다음의 그림을 그릴 수 있다.

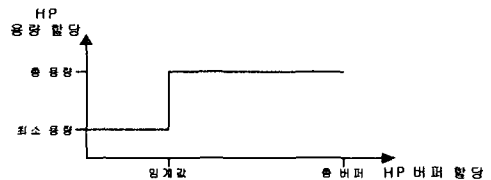


그림 2. HP Buffer 할당과 HP 용량 할당

다음의 수식을 전개하기 위해서 간단한 표기법을 정의한다.

- B 는 HP Buffer 크기
- $\alpha(t)$ 는 시간 t 에 HP Buffer 점유 함수
- C 는 주어진 연결에 대해 할당된 총 용량
- N 는 위성 단말내의 주어진 연결에 의해 제공되는 HP Source들의 총 수
- $c(t)$ 는 주어진 연결이 포함된 HP Traffic에 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

DLB에 정의에 의해서 최대 T 가 $\frac{B_{TS}}{P_s - R_s}$ 로 정해진다.

$$\frac{d(o(t))}{dt} = NP_s - c(o(t - \Delta T)), 0 \leq t \leq T \quad (1)$$

(1)은 ΔB 를 결정하기 위한 미분 방정식이다[3].

$$o(t) = NP_s t - \int_0^t c(o(t - \Delta T)) dt \quad (2)$$

비교 System은 다음의 식으로 나타낼 수 있다.

$$o_r(T) = NP_s T - CT = (NP_s - C)T \quad (3)$$

본 논문에 제안한 System은 비교 System에 관계된 추가적인 Buffer(ΔB)를 필요로 한다. 따라서 추가적인 Buffer의 크기는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Delta B = o(T) - o_r(T) = CT - \int_0^T c(o(t - \Delta T)) dt \quad (4)$$

$\alpha(t)$ 의 평균값은 ΔB 와 관계된 식으로 표현이 가능하다. 0과 T 내에서의 $\alpha(t)$ 의 평균값은 다음의 식으로 나타낼 수 있다.

$$\frac{\Delta B}{T} = C - \frac{\Delta B}{T} \quad (5)$$

ΔB 를 B 의 부분처럼 취급하는 경우에 대해서 분석하면 다음과 같다. 이때의 인자 요소인 ΔB 는 ΔB_1 으로 나타낸다. 그리고, HP Source의 효율적인 대역폭을 c 로, 효율적인 Buffer 할당을 b 로 각각 나타낸다. 이때, 아래의 수식을 만족한다.

$$\frac{C}{c} = \frac{B - \Delta B_1}{b} = N \quad (6)$$

HP Buffer에서 손실 현상을 피하기 위해서 다음이 관계식을 만들 수 있다.

$$b = (P_s - c)T \quad (7)$$

앞의 식 (6), (7)을 이용해서 정리하면 다음과 같다.

$$Nb = (NP_s - C)T = B - \Delta B_1 \quad (8)$$

(8)에 의해서 b 값은 HP Source들의 수인 N 와 HP Buffer 크기인 B 와 추가적인 Buffer 크기인 ΔB_1 의 관계로 이루어짐을 알 수 있다. 마지막 식에 의해서 다음을 구할 수 있다.

$$(NP_s - C)T = B - \Delta B_1 \quad (9)$$

(9)에 의해서 Buffer와 시간과의 관계를 구하며, 그림 2에서 구한 그래프에서처럼 Buffer의 임계값에 대해서 최소 용량 가지므로 $t_i = \frac{B_i}{NP_s - C_m}$ 와 같다. 이 때, Buffer의 임계값은 B_i 이고, Buffer의 임계값에 대해서 할당된 용량은 최소 용량인 C_m 이고, Buffer가 임계값을 가질 때의 시간(t_i)을 나타낸다. (10)에서 사용된 Buffer의 관계를 나타내는 함수인 $\alpha(t)$ 를 이용하여 다음과 같이 전개한다. 그림 2에서 나타나듯이 t_i 에 대해 할당되는 용량이 C_m 이므로 (10)처럼 전개한다.

$$o(t) = (NP_s - C_m)t, 0 \leq t \leq t_i + \Delta T \quad (10)$$

시간 t 가 0과 $t_i + \Delta T$ 사이의 범위에 있을 때의 Buffer 점유를 나타낸다.

$$o(t) = (NP_s - C_m)(t_i + \Delta T) + (NP_s - C)(t - t_i - \Delta T), t_i + \Delta T < t \leq T \quad (11)$$

비교 목적으로 제시한 비교 System에서의 HP Buffer 점유를 $o_r(t)$ 라고 하고 제안한 System에서의 HP Buffer 점유를 $o(t)$ 라고 가정하여, 두 System을 비교한다.

$$o_r(t) = (NP_s - C)t, 0 \leq t \leq T \quad (12)$$

본 논문에서 제안한 System의 경우는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} o(t) &= (NP_s - C_m)t, 0 \leq t \leq t_i + \Delta T \\ o(t) &= (NP_s - C_m)(t_i + \Delta T) \\ &\quad + (NP_s - C)(t - t_i - \Delta T), t_i + \Delta T < t \leq T \end{aligned} \quad (13)$$

(4)와 (13)를 이용해서 본 논문에서 제시하고자 하는 ΔB 를 구하면 다음과 같다.

$$\Delta B = (C - C_m) \left(\frac{B_i}{NP_s - C_m} + \Delta T \right) \quad (14)$$

ΔB 가 ΔB_1 일 때, (6), (7) 그리고 (14)에 의해서 다음 식들로 나타낼 수 있다. 그리고, 주어진 식에서 알려지지 않은 인자들 $c, b, N, \Delta B_1$ 의 값을 결정한다.

$$\begin{aligned} \Delta B_1 &= (C - C_m) \left(\frac{B_i}{NP_s - C_m} + \Delta T \right) \\ b &= (P_s - c)T \\ \frac{C}{c} &= \frac{B - \Delta B_1}{b} = N \end{aligned} \quad (15)$$

HP 최대 Source들의 수(N)는 $\left[\frac{C}{P_s}, \frac{C}{R_s} \right]$ 사이에 존재하고, ΔB_1 가 증가할 때 N 는 감소한다. Buffer의 임계값인 B_i 이 증가하고 C_m 이 감소할 때, ΔB_1 는 증가한다.

ΔB 가 ΔB_0 일 때 Buffer 크기가 $B_{TOT} = B + \Delta B_0$ 이며, 이 경우에 HP Source들의 수, N 로 할당할 수 있고 수식은 (15)와 동일하다.

$$\begin{aligned} B_{TOT} &= B + \Delta B_0 \\ &= B + (C - C_m) \left(\frac{B_i}{NP_s - C_m} + \Delta T \right) \end{aligned} \quad (16)$$

보통 경우 Source의 총 이용률은 Source들의 특별한 종류에 의해 System의 성능을 평가하는 데 반해, 본 논문에선 성능 분석 측정을 Best Area와 Worst Area를 결정함으로써 해서 구한다.

OO 상태에 의해서 어떤 망의 성능을 분석함에 있어 결과는 두 가지 나타나게 되는데, 그 결과 중에서 첫 번째 조건에 의한 결과는 가능한 Worst의 성능에 대해 주어지게 된다. 즉, Worst의 망 성능을 제시해 주기 때문에 앞에서 언급한 두 가지의 경계 영역 중에서 Worst Area에 해당된다. 두 번째 조건에 의한 결과는 가능한 Best의 성능에 대해 주어지는 것으로 Best Area에 해당된다.

물론, 이 두 가지의 Area를 결정하는 가장 기본이 되는 개념은 앞에서 언급한 OO 상태의 두 가지 조건이다. 이러한 경우 두 가지의 경계 영역에 대해 미리 가정한 용량 할당 규정에 사용된 B_i 와 C_m 를 이용해 ρ 를 평가한다. Best Area에 관련된 처리율을 ρ_B 로 표현하고, Worst Area에 관련된 처리율을 ρ_W 로 표현한다. System의 인자들의 값을 다음과 같이 주어진다.

- $P_s = 32,000 / (48 \times 8) = 80.33 \text{ cells/s}$
 - $R_s = 32.197 \text{ cells/s}$, - $B_{TS} = 100 \text{ cells}$, - $\Delta T = 0.25 \text{ s}$
 - $C = 2,048,000 / (53 \times 8) = 4,830.189 \text{ cells/s}$
- 먼저, 두 가지의 경우 중에서 Best Area에 대해 ρ_B

의 값을 알아본다[4].

$$\rho_B = \begin{cases} \frac{C - C_m + NS_r}{C} & , \text{ for } C_m > NS_r \\ 1 & , \text{ for } C_m \leq NS_r \end{cases} \quad (17)$$

경계영역을 결정하는 방법 두 가지 경우 중에 Worst Area을 결정하는 경우로 먼저, Worst Area을 정하기 위해서 Buffer에서 생길 수 있는 지연에 대해 다음과 같이 고려할 수 있다. 이런 지연인 D 는 모든 HP Buffer내의 마지막 셀에 의해 제공된 지연이며 이는 두 가지로 구성된다. Buffer가 비어있는 동안(C)에 마지막 $\frac{B - B_t}{C} + \Delta T$ 의 지연을 가지는 경우와 HP Buffer가 비어있는 동안(C_m)에 마지막 $\frac{B_t - C\Delta T}{C_m}$ 의 지연을 가지는 경우이다.

$$D = \frac{B - B_t}{C} + \Delta T + \frac{B_t - C\Delta T}{C_m} \quad (18)$$

마지막으로, 만약 $\Delta T \geq \frac{B_t}{C}$ 면, 최대 지연은 비교 System과 같다. (19)를 이용해서 Worst Area에서 ρ_w 의 값들을 알아본다.

$$\rho_w = \begin{cases} 1 - \frac{S_r}{P_s T} \left(\Delta T - \frac{B_t}{C} - t' \frac{C_m}{C} \right) & , \text{ for } \Delta T > \frac{B_t}{C} \\ 1 - \frac{P_s - S_r}{P_s} \left(1 - \frac{S_r D}{B_r} \right) \frac{C_m}{C} & , \text{ for } \Delta T \leq \frac{B_t}{C} \end{cases} \quad (19)$$

(19)에서 $t' = T \left(\frac{P_s}{S_r} - 1 \right) - \frac{B - B_t}{C} - \Delta T$ 이며, (19)에서 D 가 주어진다.

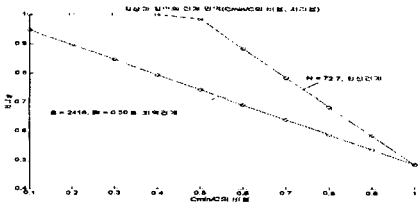


그림 3. $N = 72.7$ 인 그래프

$\frac{C_m}{C}$ 비율에 의해서, HP Source의 수는 본 System (N) 내에 할당되고 Buffer 크기(B)의 값은 System 내에서 손실 현상을 없애기 필요하다. 비교 System은 72.7 Source($N = 72.7$)를 지원할 수 있고, 그것의 Buffer 크기는 2416 cell($B = 2416$)과 동일하다. 분석 결과는 최적 작업점은 NR_s 과 같은 C_m 값을 선택할 때이며, 이러한 선택은 모든 사용 효율 요소와 할당된 HP Source의 최대 수를 제공한다. $\frac{C_m}{C}$ 에 해당되는 최적 작업 점은 0.48이다.

4. 결과

주어진 값들에다 추가로 다음의 인자들의 값들을 알 수 있다.

$$- N = 72.7, \quad - c = \frac{C}{N} = \frac{4830,189}{72.7} \approx 66.44$$

$$- B = 2416, \quad - b = \frac{B}{N} = \frac{2416}{72.7} \approx 33.232$$

$$- C_m = C \times 0.48 \approx 2318.49, \quad - B_t = B \times 0.50 = 1208$$

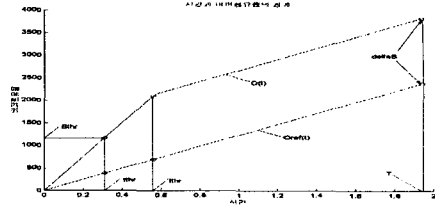


그림 4. 시간과 HP Buffer 점유

5. 결론

본 논문에서는 단순 교환 역할만을 하던 위성 망에 OBPA 기능을 추가시켜 교환뿐만 아니라 동적으로 연결을 제어할 수 있는 System에 대해서 분석하였다. 그리고, Traffic에 대해 Priority를 부여하여 HP Traffic에 대해서만 처리하던 System보다 본 논문에서 제안한 System이 더 좋은 성능을 가짐을 검증하였다.

본 논문에서 다룬 위성 망에서의 성능 분석은 이전의 다른 논문에서 시뮬레이션을 위주로 분석한 것에 반해 수식을 통하여 수학적 분석 및 평가하고 시뮬레이션을 통하여 검증함으로써 더욱 효과적으로 분석하는 것을 중점으로 두었다. 이러한 분석은 인자들에 대한 위성 망의 성능의 비교 및 평가에 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 망의 연구하고 설계 및 구현에 유용하게 사용되어 질 수 있을 것으로 생각된다.

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] Mertzanis, G. Sfikas, R. Tafazolli, B. G. Evans, "Protocol Architecture for Satellite ATM broadband Networks," *Communications Magazine*, pp. 46-54, Mar. 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.