

대화형 GEO 위성 네트워크를 위한 동적 용량 할당 체계

Dynamic Capacity Allocation Scheme for Interactive GEO Satellite Networks

장근녕

연세대학교 원주캠퍼스 경영학과 (knchang@yonsei.ac.kr)

Abstract

본 논문에서는 대화형 GEO 위성 네트워크의 데이터 손실량과 데이터 지연량을 최소화하기 위한 리턴 링크 용량 할당 체계를 제시한다. 데이터의 지연 특성에 따라 구분되는 각 데이터 유형별로 데이터 손실량 기대값과 데이터 지연량 기대값을 분석하고, 데이터 손실량 기대값과 데이터 지연량 기대값의 가중합을 최소화하는 리턴 링크 용량 할당 모형을 제시한다. 또한, 제시한 모형을 빠른 시간 내에 해결할 수 있는 라그랑지안 이완 기법을 이용한 동적 용량 할당 체계를 제시한다.

1. 서론

DVB-RCS(Digital Video Broadcasting - Return Channel via Satellite) 네트워크와 같은 대화형 위성 멀티미디어 네트워크의 개발이 아주 중요한 이슈로 떠오르고 있다[3,10,11]. ETSI(European Telecommunications Standards Institute)[2]에 의해 표준화된 DVB-RCS 네트워크는 GEO (geostationary earth orbit) 위성, 허브(hub), 다수의 단말(terminal) 등으로 구성되어 있는 대화형 GEO 위성 네트워크이다.

DVB-RCS와 같은 대화형 GEO 위성 네트워크의 효율적인 구현을 위해서는 부족한 리턴 링크(return link; 위성을 거쳐 단말에서 허브로의 링크) 자원의 효율적인 활용이 필요하고(일반적으로 타임슬롯 단위로 할당됨), 이를 위해 리턴 링크의 자원을 효율적으로 활용하기 위한 리턴 링크 용량 할당 체계 개발을 위한 연구가 활발하게 이루어지고 있다[1,6-9,12]. 이들 연구는 대부분 CFDMA(Combined Free/Demand Assignment Multiple Access) 방식에 기반을 두고 있다. 즉, 단말들이 요청한 타임슬롯 수요가 이용 가능한 타임슬롯의 수보다 많으면, 요청한 수요에 비례하여 타임슬롯이 할당된다. 한편, 이들 연구 중 일부에서는 각 단말에 어느 정도의 데이터가 앞으로 도착할 것인가에 대한 정보를 반영하여 타임슬롯을 할당하는 방법을 제시하고 있다[1,6,12].

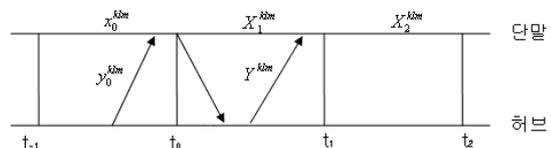
그런데, 지금까지의 연구에서는 데이터의 지연 특성과 데이터 도착량을 고려하면서 데이터 손실량과 데이터 지연량을 최소화하는 타임슬롯 할당 체계를 제시하지는 못하고 있다. 단말에서 전송하는 데이터에는 음성이나 영상같이 지연에 매우 민감한 데이터, 이미지 등과 같이 지연에 다소 민감한 데이터, e-mail, ftp 파일 등과 같이 지연에 민감하지

않는 데이터가 있다. 지연에 대한 민감 정도에 따라 지연 허용 정도가 다를 수 있다. 또한, 시스템의 성능 측면에서 볼 때, 가급적 손실되는 데이터와 전송이 지연되는 데이터가 적을수록 좋다. 이러한 점을 감안할 때, 데이터 지연 특성에 따른 우선권과 데이터 도착량을 고려하면서 데이터 손실량과 데이터 지연량을 최소화하는 방향으로 타임슬롯을 할당할 수 있는 방법이 필요하다.

본 논문에서는 데이터의 지연 특성에 따라 구분되는 각 데이터 유형별로 데이터 손실량 기대값과 데이터 지연량 기대값을 분석하고, 데이터 손실량 기대값과 데이터 지연량 기대값의 가중합을 최소화하는 리턴 링크 용량 할당 모형을 제시한다. 또한, 제시한 모형을 빠른 시간 내에 해결할 수 있는 라그랑지안 이완 기법을 이용한 동적 용량 할당 체계를 제시한다.

2. 데이터 손실량과 데이터 지연량 분석

DVB-RCS 네트워크의 리턴 링크에서의 다중접속체계(multiple access scheme)는 MF-TDMA(Multi-Frequency Time Division Multiple Access)에 근거를 두고 있다. 리턴 링크에 할당되는 라디오 자원은 다수의 단말에 의해 공유된다. 단말은 허브에 CR(capacity request) 메시지를 전송하고, 이 메시지를 받은 허브는 TBTP(terminal burst time plan)를 생성하여 단말에 전송한다. TBTP를 받은 단말은 이를 통해 자신에게 어떤 타임슬롯이 할당되었는지를 파악하게 된다.



[그림 1] 단말과 허브의 메시지 전송 체계

t_0 시점에 각 단말에서 허브로 필요한 타임슬롯 수를 전송하면, 허브는 스케줄링을 거쳐 각 단말에 타임슬롯 할당 수 Y^{klm} 을 전송하게 된다. 각 단말은 할당된 타임슬롯을 $[t_1, t_2)$ 기간에 사용하게 되고, t_2 시점에 전송되지 못한 데이터는 지연되거나 손실된다. 따라서 타임슬롯 할당 수 Y^{klm} 은 t_2 시점의 데이터 지연량과 데이터 손실량을 최소화하는

[표 1] 주요 기호와 정의

기호	정의
R	단말의 집합
C	지연클래스의 집합 (지연클래스 $l \in C$: 지연이 l 회 허용되는 데이터)
N	이용 가능한 총 타임슬롯 수
x_0^{klm}	$[t_{-1}, t_0)$ 기간에 발생한, 단말 k 의 지연클래스 l , 지연횟수 m 인 데이터 전송을 위한 타임슬롯 수요 ($k \in R, l \in C, m = 0, \dots, l$)
x_i^{klm}	$[t_{i-1}, t_i)$ 기간에 발생할 것으로 예상되는, 단말 k 의 지연클래스 l , 지연횟수 m 인 데이터 전송을 위한 타임슬롯 수요 ($i = 1, 2, k \in R, l \in C, m = 0, \dots, l$)
$f(x_i^{k,l})$	$x_i^{k,l}$ 의 확률질량함수(probability density function) ($i = 1, 2$)
y_0^{klm}	$[t_0, t_1)$ 기간에 사용하도록 할당된, 단말 k 의 지연클래스 l , 지연횟수 m 인 데이터 전송을 위한 타임슬롯 수 ($k \in R, l \in C, m = 0, \dots, l$)
y^{klm}	$[t_1, t_2)$ 기간에 사용하도록 할당되는, 단말 k 의 지연클래스 l , 지연횟수 m 인 데이터 전송을 위한 타임슬롯 수 ($k \in R, l \in C, m = 0, \dots, l$)
q_0^{klm}	단말 k 의 지연클래스 l , 지연횟수 m 인 데이터 전송을 위해 $[t_{-1}, t_0)$ 기간에 필요한 타임슬롯 수요 중에 충족되지 못한 양 ($k \in R, l \in C, m = 0, \dots, l$)
q_i^{klm}	단말 k 의 지연클래스 l , 지연횟수 m 인 데이터 전송을 위해 $[t_{i-1}, t_i)$ 기간에 필요한 타임슬롯 수요 중에 충족되지 못하는 양 ($i = 1, 2, k \in R, l \in C, m = 0, \dots, l$)
L^{klm}	t_2 시점에서, 단말 k 의 지연클래스 l , 지연횟수 m 인 데이터의 손실량 (단위: 타임슬롯 수) ($k \in R, l \in C, m = l$)
D^{klm}	t_2 시점에서, 단말 k 의 지연클래스 l , 지연횟수 m 인 데이터의 지연량 (단위: 타임슬롯 수) ($k \in R, l \in C - \{0\}, m = 0, \dots, l - 1$)

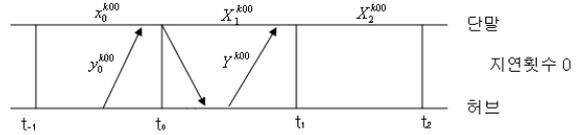
방향으로 결정하는 것이 바람직하다.

전송되는 데이터는 지연 허용 정도에 따라 구분한다. 즉, 지연이 전혀 허용되지 않는 데이터는 지연클래스 0 이라 하고, 지연이 l 회 허용되는 데이터는 지연클래스 l 이라 한다.

(1) 지연이 허용되지 않는 데이터 (지연클래스 0)

지연이 허용되지 않는 데이터의 경우 버퍼에 저장되지 않고 바로 손실되므로, t_1 시점에 전송되지 않고 남아 있는 데이터가 없다. 따라서 t_2 시점에

서 단말 k 의 지연클래스 0, 지연횟수 0(지연이 발생하지 않은 데이터)인 데이터의 손실량은 $L^{k00} = \max\{X_2^{k00} - Y^{k00}, 0\}$ 이다. 지연이 허용되지 않기 때문에 데이터 지연량은 없다.



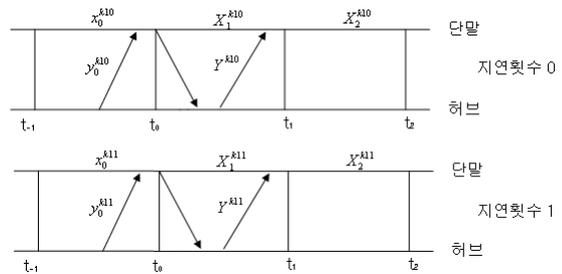
[그림 2] 단말과 허브의 메시지 전송 체계 (지연클래스 0)

$[t_1, t_2)$ 에 사용하도록 타임슬롯을 y^{k00} 개를 할당(즉, $Y^{k00} = y^{k00}$)한다고 하자. 이제 L^{k00} 의 기대값 $E[L^{k00} | y^{k00}]$ 는 다음과 같이 계산되어진다.

$$E[L^{k00} | y^{k00}] = \sum_{x_2^{k00} \geq y^{k00}} (x_2^{k00} - y^{k00}) f(x_2^{k00})$$

(2) 지연이 1회 허용되는 데이터 (지연클래스 1)

지연이 1회 허용되는 데이터의 경우, 지연횟수 0인 데이터가 전송되지 못하고 남으면 지연횟수 1(1회 지연된 데이터)인 데이터로 넘어가게 된다. 따라서 $X_1^{k11} = q_0^{k10}$, $X_2^{k11} = Q_0^{k10}$ 이다. 또한, 지연횟수 1인 데이터가 전송되지 못하고 남으면 손실되게 된다. 결국 전송되지 않는 데이터가 동일한 지연횟수의 데이터로 버퍼에 저장되지는 않는다. 따라서 $Q_1^{k1m} = \max\{X_1^{k1m} - y_0^{k1m}, 0\}$, $Q_2^{k1m} = \max\{y_2^{k1m} - Y^{k1m}, 0\}$ (단, $m = 0, 1$) 이다.



[그림 3] 단말과 허브의 메시지 전송 체계 (지연클래스 1)

t_2 시점에 단말 k 의 지연클래스 1, 지연횟수 1인 데이터의 손실량 L^{k11} 은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} L^{k11} &= Q_2^{k11} = \max\{X_2^{k11} - Y^{k11}, 0\} \\ &= \max\{Q_1^{k10} - Y^{k11}, 0\} \\ &= \max\{\max\{X_1^{k10} - y_0^{k10}, 0\} - Y^{k11}, 0\} \\ &= \max\{\max\{X_1^{k10} - y_0^{k10} - Y^{k11}, -Y^{k11}\}, 0\} \\ &= \max\{X_1^{k10} - y_0^{k10} - Y^{k11}, 0\} \end{aligned}$$

t_2 시점에 단말 k 의 지연클래스 1, 지연횟수 0인 데이터의 지연량 D^{k10} 은 다음과 같다.

$$D^{k10} = Q_2^{k10} = \max \{X_2^{k10} - Y^{k10}, 0\}$$

$[t_1, t_2)$ 에 사용하도록 타임슬롯을 y^{k1m} 개를 할당하면(즉, $y^{k1m} = y^{k1m}$ 이면), 데이터 손실량 L^{k11} 의 기대값 $E[L^{k11}|y^{k1m}]$ 는 다음과 같이 계산되어진다.

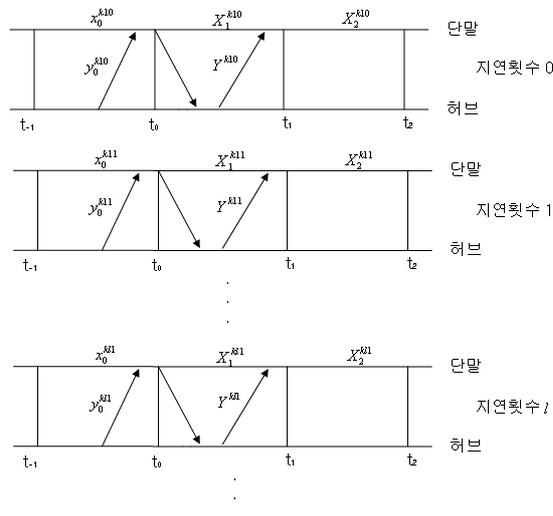
$$E[L^{k11}|y^{k1m}] = \sum_{x_1^{k10}=y_0^{k10}+y^{k11}}^{\infty} (x_1^{k10} - y_0^{k10} - y^{k11})f(x_1^{k10})$$

또한, 데이터 지연량 D^{k10} 의 기대값 $E[D^{k10}|y^{k1m}]$ 은 다음과 같이 계산되어진다.

$$E[D^{k10}|y^{k1m}] = \sum_{x_2^{k10}=y^{k10}}^{\infty} (x_2^{k10} - y^{k10})f(x_2^{k10})$$

(3) 지연이 l 회 허용되는 데이터 (지연클래스 l , 단, $l \in C - \{0,1\}$)

지연이 l 회 허용되는 데이터의 경우, 지연횟수 m (단, $0 \leq m \leq l-1$) 인 데이터가 전송되지 못하고 남으면 지연횟수 $m+1$ 인 데이터로 넘어가게 된다. 따라서 $X_1^{klm} = Q_0^{kl(m-1)}$, $X_2^{klm} = Q_1^{kl(m-1)}$ (단, $1 \leq m \leq l$)이다. 또한, 지연횟수 l 인 데이터가 전송되지 못하고 남으면 손실되게 된다. 결국 전송되지 않는 데이터가 동일한 지연횟수의 데이터로 버퍼에 저장되지는 않는다. 따라서 $Q_1^{klm} = \max \{X_1^{klm} - y_0^{klm}, 0\}$, $Q_2^{klm} = \max \{X_2^{klm} - Y^{klm}, 0\}$ (단, $0 \leq m \leq l$) 이다.



[그림 4] 단말과 허브의 메시지 전송 체계 (지연클래스 l)

t_2 시점에 단말 k 의 지연클래스 l , 지연횟수 l 인 데이터의 손실량 L^{kll} 은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} L^{kll} &= Q_2^{kll} = \max \{X_2^{kll} - Y^{kll}, 0\} \\ &= \max \{Q_1^{kl(l-1)} - Y^{kll}, 0\} \\ &= \max \{\max \{X_1^{kl(l-1)} - y_0^{kl(l-1)}, 0\} - Y^{kll}, 0\} \\ &= \max \{\max \{Q_0^{kl(l-2)} - y_0^{kl(l-1)}, 0\} - Y^{kll}, 0\} \\ &= \max \{\overline{y^{kll}} - Y^{kll}, 0\} \end{aligned}$$

t_2 시점에 단말 k 의 지연클래스 l , 지연횟수 0인 데이터의 지연량 $D^{k\ell 0}$ 은 다음과 같다.

$$D^{k\ell 0} = Q_2^{k\ell 0} = \max \{X_2^{k\ell 0} - Y^{k\ell 0}, 0\}$$

t_2 시점에 지연횟수 1 인 데이터 중에 전송되지 않고 남는 것이 지연량이 되고, 따라서 t_2 시점에 단말 k 의 지연클래스 l , 지연횟수 1 인 데이터의 지연량 $D^{k\ell 1}$ 은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} D^{k\ell 1} &= Q_2^{k\ell 1} = \max \{X_2^{k\ell 1} - Y^{k\ell 1}, 0\} \\ &= \max \{Q_1^{k\ell 0} - Y^{k\ell 1}, 0\} \\ &= \max \{\max \{X_1^{k\ell 0} - y_0^{k\ell 0}, 0\} - Y^{k\ell 1}, 0\} \\ &= \max \{\max \{X_1^{k\ell 0} - y_0^{k\ell 0} - Y^{k\ell 1}, -Y^{k\ell 1}\}, 0\} \\ &= \max \{X_1^{k\ell 0} - y_1^{k\ell 0} - Y^{k\ell 1}, 0\} \end{aligned}$$

t_2 시점에 지연횟수 m 인 데이터 중에 전송되지 않고 남는 것이 지연량이 되고, 따라서 t_2 시점에 단말 k 의 지연클래스 l , 지연횟수 m 인 데이터의 지연량 $D^{k\ell m}$ 은 다음과 같다 (단, $l \geq 3, 2 \leq m \leq l-1$).

$$\begin{aligned} D^{k\ell m} &= Q_2^{k\ell m} = \max \{X_2^{k\ell m} - Y^{k\ell m}, 0\} \\ &= \max \{Q_1^{kl(m-1)} - Y^{k\ell m}, 0\} \\ &= \max \{\max \{X_1^{kl(m-1)} - y_0^{kl(m-1)}, 0\} - Y^{k\ell m}, 0\} \\ &= \max \{\max \{Q_0^{kl(m-2)} - y_0^{kl(m-1)}, 0\} - Y^{k\ell m}, 0\} \\ &= \max \{\overline{y^{k\ell m}} - Y^{k\ell m}, 0\} \end{aligned}$$

$[t_1, t_2)$ 에 사용하도록 타임슬롯을 $y^{k\ell m}$ 개를 할당하면(즉, $y^{k\ell m} = y^{k\ell m}$ 이면), 데이터 손실량 $L^{k\ell l}$ 의 기대값 $E[L^{k\ell l}|y^{k\ell m}]$ 는 다음과 같이 계산되어진다.

$$E[L^{k\ell l}|y^{k\ell m}] = \max \{\overline{y^{k\ell l}} - y^{k\ell l}, 0\}$$

또한, 데이터 지연량 $D^{k\ell 0}$ 과 $D^{k\ell 1}$ 의 기대값 $E[D^{k\ell 0}|y^{k\ell m}]$ 과 $E[D^{k\ell 1}|y^{k\ell m}]$ 은 다음과 같이 계산되어진다.

$$E[D^{k\ell 0}|y^{k\ell m}] = \sum_{x_2^{k\ell 0}=y^{k\ell 0}}^{\infty} (x_2^{k\ell 0} - y^{k\ell 0})f(x_2^{k\ell 0})$$

$$E[D^{k\ell 1}|y^{k\ell m}] = \sum_{x_1^{k\ell 0}=y_0^{k\ell 0}+y^{k\ell 1}}^{\infty} (x_1^{k\ell 0} - y_0^{k\ell 0} - y^{k\ell 1})f(x_1^{k\ell 0})$$

마지막으로 $l \geq 3, 2 \leq m \leq l-1$ 일 때 데이터 지연량 $D^{k\ell m}$ 의 기대값 $E[D^{k\ell m}|y^{k\ell m}]$ 은 다음과 같이 계산되어진다.

$$E[D^{k\ell m}|y^{k\ell m}] = \max \{\overline{y^{k\ell m}} - y^{k\ell m}, 0\}$$

한편, $g^{klm}(y^{klm})$ 이 비증가 이산불복함수이면, $\sum_{k \in R} \sum_{l \in C} \sum_{m=0}^l \widehat{y}^{klm} = N$ 이 되도록 하는 $\widehat{\pi}$ 을 아래의 프로서저 (Find π)에 의해 쉽게 구할 수 있다.

Procedure Find π

Step 1.
FOR($\forall k, l, m$) $y^{klm} = 0$

Step 2.
FOR($1 \leq j \leq N$) {
 $(k^*, l^*, m^*) = \arg \max_{\{k, l, m \mid y^{klm} < \overline{y}^{klm}\}} [g^{klm}(y^{klm}) - g^{klm}(y^{klm} + 1)]$
 $\widehat{\pi} = g^{k^* l^* m^*}(y^{k^* l^* m^*}) - g^{k^* l^* m^*}(y^{k^* l^* m^*} + 1)$
 $y^{k^* l^* m^*} = y^{k^* l^* m^*} + 1$
}

Lemma 1. $f(x_1^{k0})$ 과 $f(x_2^{k0})$ 이 이산불복함수 (discrete convex function)이면,

$$\sum_{k \in R} \sum_{l \in C} \sum_{m=0}^l g^{klm}(y^{klm}) \text{ 도 이산불복함수이다.}$$

증명. 생략 ■

4. 실험 결과

여기에서는 3절에서 제시한 동적 용량 할당 체계의 성능을 실험을 통해 분석한다. 실험에서 단말의 집합 $R = \{1, 2, \dots, 10\}$ 로 가정하였고, 지연클래스의 집합 $C = \{0, 1, 2, 3, 4\}$ 로 가정하였다. $f(x_1^{k0})$ 과 $f(x_2^{k0})$ 은 최소값이 0이고 최대값이 \overline{X}^{k0} 인 이산일양분포를 따른다고 가정하였다. 즉,

$$f(x_1^{k0}) = f(x_2^{k0}) = \frac{1}{\overline{X}^{k0} + 1}, x_1^{k0}, x_2^{k0} = 1, 2, \dots, \overline{X}^{k0}$$

이다. 단, 여기서 $\overline{X}^{k0} = 20 - (k-1) * 1$ 로 가정하였다. y_0^{k0} (단, $l \in C - \{0\}$) 과 \overline{y}^{klm} (단, $l \in C - \{0, 1\}, 2 \leq m \leq l$)는 다음과 같이 가정하였다.

$$y_1^{k0} = \begin{cases} \frac{\overline{X}^{k0}}{\sum_{k,l} \overline{X}^{k0}} * N, & \text{if } l=1 \\ 0, & \text{if } l \geq 2 \end{cases}$$

$$\overline{y}^{klm} = \begin{cases} 10 - (k-1), & m \text{ 이 짝수이면} \\ k, & m \text{ 이 홀수이면} \end{cases}$$

실험에서 $N = 400, 450, 500, 550, 600$ 을 사용하였다. 마지막으로 가중치 w^{klm} 은 다음과 같이 가정하였다.

$$w^{klm} = \begin{cases} p \times \overline{l}, & \text{if } m=l \\ 0.5 - (l-m)/10, & \text{otherwise} \end{cases}$$

여기서 \overline{l} 는 지연클래스의 집합 C 의 원소 중 최대값을 나타내고, p 는 최대 지연횟수에 도달한 데이터에 대한 가중치를 조정하기 위한 페라미터로,

실험에서는 $p = 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0$ 을 사용하였다. p 가 클수록 전송되지 않으면 바로 손실되는 데이터에 대한 가중치를 더 높게 부여하는 것이 된다.

실험 결과가 [표 2]와 [표 3]에 정리되어 있다. [표 2]에는 p 값의 변화에 따른 데이터 손실량 기대값의 가중합, 데이터 지연량 기대값의 가중합, 총 가중합의 변화가 정리되어 있다(단, $N=500$). p 값이 클수록 데이터 손실량 기대값의 가중합은 작고, 데이터 지연량 기대값의 가중합은 크다. [표 3]에는 N 값의 변화에 따른 데이터 손실량 기대값의 가중합, 데이터 지연량 기대값의 가중합, 총 가중합의 변화가 정리되어 있다(단, $p=1$). N 값이 클수록 데이터 손실량과 데이터 지연량이 작다는 것을 알 수 있다.

[표 2] p 값의 변화에 따른 데이터 손실량 가중합과 데이터 지연량 가중합의 변화 ($N=500$)

p	총 가중합	데이터 손실량 가중합	데이터 지연량 가중합
1	157.67	5.00	152.67
0.8	156.52	5.93	150.59
0.6	154.66	6.78	147.88
0.4	151.18	9.75	141.43
0.2	141.94	18.55	123.39

[표 3] N 값의 변화에 따른 데이터 손실량 가중합과 데이터 지연량 가중합의 변화 ($p=1$)

N	총 가중합	데이터 손실량 가중합	데이터 지연량 가중합
400	204.72	5.77	198.95
450	180.72	5.77	174.95
500	157.67	5.00	152.67
550	138.51	3.72	134.79
600	120.69	3.15	117.54

5. 결론

본 논문에서는 데이터의 지연 특성에 따라 구분되는 각 데이터 유형별로 데이터 손실량 기대값과 데이터 지연량 기대값을 분석하고, 데이터 손실량 기대값과 데이터 지연량 기대값의 가중합을 최소화하는 리턴 링크 용량 할당 모형을 제시하였다. 또한, 제시한 모형을 빠른 시간 내에 해결할 수 있는 라그랑지안 이완 기법을 이용한 동적 용량 할당 체계를 제시하였다. 실험을 통해 제시한 동적 용량 할당 체계가 데이터 손실량 가중합과 데이터 지연량 가중합을 최소화하는 타임슬롯 할당 방법을 빠른 시간 내에 제공한다는 것을 확인할 수 있었다.

참고문헌

- [1] F. Chiti, R. Fantacci, D. Tarchi, S. Kota, and T. Pecorella, "QoS provisioning in GEO satellite with onboard processing using predictor algorithms," *IEEE Wireless Commun.*, vol. 12, no. 5, pp. 21-27, 2005.
- [2] ETSI, Digital video broadcasting (DVB): Interaction channel for satellite distribution systems, ETSI EN 301 790 (v.1.2.2), 2000.
- [3] J. Farserotu, and R.A. Prasad, "A survey of future broadband multimedia satellite systems, issues and trends," *IEEE Commun. Mag.*, pp. 128 - 133, 2000.
- [4] A. M. Geoffrion, Lagrangean relaxation and its usage in integer programming, *Mathematical Programming Study*, vol. 2, pp. 82-114, 1974.
- [5] M. Held, P. Wolfe, and H. Crowder, "Validation of subgradient optimization," *Mathematical Programming*, vol. 6, pp. 62-88, 1974.
- [6] N. Iuoras and T. Le-Ngoc, "Dynamic capacity allocation for quality-of-service support in IP-based satellite networks," *IEEE Wireless Commun.*, vol. 12, no. 5, pp. 14-20, 2005.
- [7] K.-D. Lee, "An efficient real-time method for improving intrinsic delay of capacity allocation interactive GEO satellite networks," *IEEE Trans. Vehicular Technol.*, vol. 53, no. 2, pp. 538-546, 2004.
- [8] K.-D. Lee and K.-N. Chang, "A real-time algorithm for timeslot assignment in multirate return channels of interactive satellite multimedia," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 22, no. 3, pp. 518-528, 2004.
- [9] T. Le-Ngoc and S.V. Krishnamurthy, "Performance of combined free/demand assignment multiple access scheme in satellite communications," *International J. Satellite Commun.*, vol. 14, pp. 11-21, 1996.
- [10] T. Le-Ngoc, V. Leung, P. Takats, and P. Garland, "Interactive multimedia satellite access communications," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 41, no. 7, pp. 78-85, 2003.
- [11] J. Neale, R. Green, and A. Landovskis, "Interactive channel for multimedia satellite networks," *IEEE Commun. Mag.*, pp. 192-198, 2001.
- [12] Z. Jiang and V.C.M. Leung, "A predictive demand assignment multiple access protocol for Internet access over broadband satellite networks," *Int. J. Satell. Commun. Network*, vol. 21, pp. 451-467, 2003.