

버퍼와 채널 상태를 고려한 적응형 링크선택 방안의 성능 분석

Performance Analysis of Adaptive Link-Selection Scheme considering Buffer and Channel State Information

김 휴 준*, 정 영 옥*

Hyujun Kim*, Young-uk Chung*

Abstract

Link selection strategy has been an important technical issues of relay network. In this paper, we introduce a link selection scheme in the bidirectional, buffer-aided relay network. Three kinds of information such as the states of the queue at the relay buffer, the qualities of the links, and the states of the queues at the user buffer are considered. Throughput and delay performance is evaluated under three cases with different available information.

요 약

효과적인 링크선택은 릴레이 네트워크의 성능을 결정짓는 중요한 기술적 이슈이다. 본 논문은 릴레이 버퍼의 상태와 릴레이 링크 상태 뿐만 아니라 유저 버퍼의 상태까지 고려한 링크선택 방안을 제시하고 그 성능을 분석하기 위한 마코프 체인 기반의 분석 모델을 제시하였다. 이를 통해 릴레이 네트워크의 쓰루풋과 지연 성능을 평가하였다.

Key words : Relay, link selection, user buffer state, adaptive, traffic

* Dept. of Electronic Engineering, Kwangwoon University

★ Corresponding author

E-mail: yuchung@kw.ac.kr, Tel:+82-2-940-5476

※ Acknowledgment

This paper was supported in part by the National Research Foundation of Korea (No.2014R1A1A2058618 and No.2017R1D1A1B03034966) and was conducted by the Research Grant of Kwangwoon University in 2014. Manuscript received Jun. 12, 2018; revised Jun. 18, 2018; Accepted Jun. 26, 2018

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

차세대 무선통신 시스템에서는 쓰루풋 향상, 커버리지 확대, 그리고 높은 다이버시티 이득 등이 요구되고 있다. 이와 같은 요구조건을 만족시킬 수 있는 방법으로 릴레이 네트워크의 도입이 유력하게 논의되고 있다[1]-[6]. 릴레이 네트워크에서는 여러 가지 상황을 고려하여 최적의 전송링크를 선택할 수 있는 효율적인 링크선택 방안이 매우 중요하다. 왜냐하면 릴레이 네트워크에서 링크 채널의 상태는 시간에 따라 변하고 이에 따라 최고의 전송속도를 낼 수 있는 링크를 선택할 수 있어야 시스템 성능을 최대화 할 수 있기 때문이다. 또한 QoS도 릴레이 링크의 선택과 밀접하게 연관되어 있다. 지연시간은 QoS의 핵심적인 요소이며,

지연시간을 고려한 릴레이 링크 선택을 통해 QoS의 만족 여부가 결정될 수 있기 때문이다. 그동안 링크선택 방안에 대한 많은 연구가 이루어져 왔다[2]-[6]. 하지만 기존의 연구들은 유저 버퍼의 큐 상태에 대해 고려하지 않았다. 각 트래픽 속성에 따른 QoS 보장을 위해서는 유저 버퍼의 큐 상태를 고려하는 것이 필수적인데, 대부분의 적응형 링크선택 방안에 대한 기존 연구들은 릴레이 버퍼의 상태와 채널 상태만 고려하였다. 본 논문에서는, 이와 같이 기존에 고려되지 않았던, 트래픽 특성을 고려한 적응형 링크선택 방안을 제시한다. 제시하는 방안은 릴레이 버퍼의 상태와 릴레이 링크 상태뿐만 아니라 유저 버퍼의 상태도 고려하였다. 제시하는 방안의 성능 평가를 위해 마코프 체인을 기반으로 한 분석 모델을 개발하였고 이를 통해 쓰루풋과 지연 성능을 평가하였다.

II. 적응형 링크선택 방안

본 논문에서 고려하는 시스템 모델은 버퍼의 도움을 받는 소스(Source), 릴레이(Relay), 유저(User)로 구성된 2홉 릴레이 네트워크이다. 각각의 노드(node)들은 반이중 네트워크 방식을 사용하고 있고, 소스에서 유저 또는 유저에서 소스로 가는 직접전송을 제외 하였다. 즉, 소스에서 유저로 데이터를 보내기 위해서는 반드시 릴레이를 거쳐야만 한다. 제시하는 적응형 링크선택 방안은 가용한 정보 타입에 따라 세가지 경우에 대하여 그 동작을 정의하였다.

Case 1는 릴레이 버퍼의 큐 길이와 소스, 유저 버퍼의 큐 길이가 0인지 아닌지의 정보만 주어진 경우이다. 전송링크 결정을 하기 위하여 설정한 릴레이 버퍼의 한계값과 릴레이 버퍼 큐 길이를 비교해 전송링크 우선순위를 결정한다.

$$\begin{aligned} K_1(i) &= B_3^{thr} - Q_3(i-1) \\ K_2(i) &= B_4^{thr} - Q_4(i-1) \\ K_3(i) &= Q_3(i-1) - B_3^{thr} \\ K_4(i) &= Q_4(i-1) - B_4^{thr} \end{aligned} \quad (1)$$

$Q_3(i-1), Q_4(i-1)$ 는 각각 $(i-1)$ 번째 타임 슬롯에서의 릴레이 버퍼의 큐 길이이며, B_3^{thr}, B_4^{thr} 는 릴레이 버퍼의 한계값이다. K_j 는 릴레이 버퍼의 큐 길이에 따른 우선순위를 주는 변수이다. 한계값보다

릴레이 버퍼의 큐 길이가 작을 경우 릴레이에서 데이터가 송신되는 전송링크가 선택이 될 것이며, 반대의 경우 릴레이로 수신되는 전송링크가 선택된다. 이를 통해 다음과 같이 최우선 전송링크를 결정한다.

$$P_L = \{x | x = \operatorname{argmax}_x K_x(i)\}, L_x = \{L_0, L_1, L_2, L_3, L_4\} \quad (2)$$

Case 2는 릴레이 버퍼의 큐 길이와 소스/유저 버퍼의 큐 길이가 0 인지 아닌지의 정보, 그리고 i 번째 타임 슬롯에서 링크 채널의 SNR 정보가 주어진 경우이다. Case 2에 대한 링크선택 방안은 먼저 각 채널들의 $SNR(P_s)$ 에 따른 전송링크 리스트를 다음과 같이 작성한다.

$$P_s = \{S_y | r(i) \in S_y\}$$

이를 이용해 i 번째 타임 슬롯에서 채널 $SNR(P_s)$ 에 맞는 전송링크 리스트에 속해 있는 전송링크 집합들의 우선순위를 (1),(2)를 이용해 릴레이 버퍼 큐 길이에 따른 최우선 전송링크 P_L 을 작성한다.

$$P_L = \{x | x = \operatorname{argmax}_x K_x(i)\}, \quad s.t. P_s \ni P_L \quad (3)$$

P_L 로 구해진 1순위 전송링크를 사용해 데이터 전송을 시도 하게 된다. Case2의 알고리즘은 Case1의 알고리즘과는 다르게 채널의 SNR 상황에 대한 정보를 알고 있으므로, Case1과는 다르게 1순위 전송링크가 L_0 을 제외한 L_j 일 경우 데이터 전송을 실패 없이 할 수 있다.

Case 3은 모든 정보가 다 주어진 경우이다. Case 2, 3의 알고리즘은 채널 SNR 정보를 가지고 있기 때문에 Case2의 경우와 동일하게 P_s 를 도출할 수 있다. 그 다음 P_s 에 속해 있는 전송링크 리스트들 중 유저, 릴레이 버퍼 큐 길이에 따른 전송링크의 우선순위를 결정 한다.

$$M_j(i) = Q_j(i-1) - B_j^{thr}$$

$M_j(i)$ 는 소스, 릴레이, 유저 버퍼의 큐 길이에 따른 우선순위를 주는 변수이다. Case3의 경우 각 버퍼의 우선순위를 정하지 않았기 때문에 각 버퍼의 한계값을 같은 수치로 설정하였다.

$$M_1(i) = M_0(i) \quad \text{if } B_3^{\max} = Q_3(i-1)$$

$$M_2(i) = M_0(i) \quad \text{if } B_4^{\max} = Q_4(i-1)$$

이를 통해 구해진 $M_x(i)$ 을 이용해 1순위

전송링크 P_L 를 결정한다.

$$P_L = \left\{ x \mid x = \operatorname{argmax}_x M_x(i) \right\}, \quad s.t. \quad P_s \ni P_L \quad (4)$$

III. 성능분석 모델

1. 시스템 분석

각 링크의 i 번째 타임 슬롯의 버퍼 큐 상태를 다음과 같이 정의한다.

$$S(i) = \{Q_1(i), Q_2(i), Q_3(i), Q_4(i)\} \quad (5)$$

그리고 data rate는 μ_0 으로 고정시켰고, 소스, 유저버퍼에 데이터 발생량은 1 패킷으로 고정시켰다. 즉, 한 개의 타임 슬롯 당 각 버퍼의 상태는 ± 1 의 변화가 이루어진다. 전체적인 state-transition은 크게 4가지로 나누어 볼 수 있다. 1) silence 링크 선택(A), 2) 전송링크 선택 후 데이터 전송(B), 3) 소스 버퍼에 데이터 생성(C), 4) 유저 버퍼에 데이터 생성(D). 예를 들자면 소스 버퍼에 데이터가 생성이 된 경우 $S(i) = \{Q_1(i)+1, Q_2(i), Q_3(i), Q_4(i)\}$ 이 될 것이며, source-to-relay인 링크 1이 선택이 되어서 데이터 전송이 이루어지면 $S(i) = \{Q_1(i)-1, Q_2(i), Q_3(i)+1, Q_4(i)\}$ 이 된다. 그리고 동시에 유저버퍼에 데이터가 생성이 되고, source-to-relay 전송이 이루어지게 되면 $S(i) = \{Q_1(i)-1, Q_2(i)+1, Q_3(i)+1, Q_4(i)\}$ 이 된다.

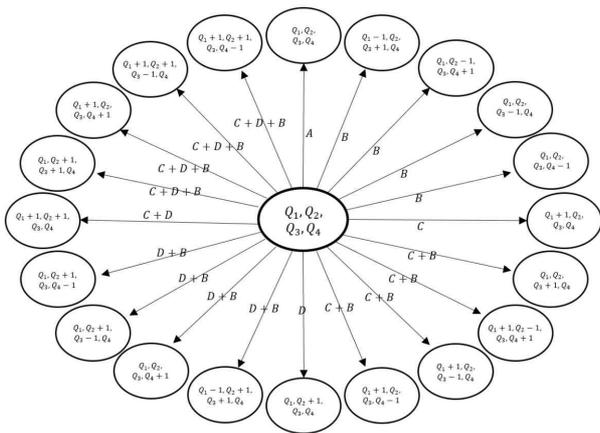


Fig. 1. State-transition diagram of each queue
그림 1. 각 버퍼 큐의 상태천이도

2. 성능척도 분석

각 링크의 평균 throughput T_j 는 다음과 같이 구해진다.

$$T_1 = \sum_{Q_1=1}^{Q_1^{\max}} \sum_{Q_2=1}^{Q_2^{\max}} \sum_{Q_3=1}^{Q_3^{\max}} \sum_{Q_4=1}^{Q_4^{\max}} [H(Q_1, Q_2, Q_3, Q_4) \rightarrow H(Q_1-1, Q_2, Q_3+1, Q_4)] P(Q_1, Q_2, Q_3, Q_4) D_0$$

$$T_2 = \sum_{Q_1=1}^{Q_1^{\max}} \sum_{Q_2=1}^{Q_2^{\max}} \sum_{Q_3=1}^{Q_3^{\max}} \sum_{Q_4=1}^{Q_4^{\max}} [H(Q_1, Q_2, Q_3, Q_4) \rightarrow H(Q_1, Q_2-1, Q_3, Q_4+1)] P(Q_1, Q_2, Q_3, Q_4) D_0$$

$$T_3 = \sum_{Q_1=1}^{Q_1^{\max}} \sum_{Q_2=1}^{Q_2^{\max}} \sum_{Q_3=1}^{Q_3^{\max}} \sum_{Q_4=1}^{Q_4^{\max}} [H(Q_1, Q_2, Q_3, Q_4) \rightarrow H(Q_1, Q_2, Q_3-1, Q_4)] P(Q_1, Q_2, Q_3, Q_4) D_0$$

$$T_4 = \sum_{Q_1=1}^{Q_1^{\max}} \sum_{Q_2=1}^{Q_2^{\max}} \sum_{Q_3=1}^{Q_3^{\max}} \sum_{Q_4=1}^{Q_4^{\max}} [H(Q_1, Q_2, Q_3, Q_4) \rightarrow H(Q_1, Q_2, Q_3, Q_4-1)] P(Q_1, Q_2, Q_3, Q_4) D_0$$

버퍼의 큐 길이가 1이상일 경우에 전송링크를 통해 데이터를 전송 할 수 있으므로 $Q_1 = 1$ 부터 시작이며, 각 버퍼의 크기는 Q_j^{\max} 로 고정되어있다. $P\{Q_1, Q_2, Q_3, Q_4\}$ 는 i 번째 타임 슬롯 시점에서 state 의 확률을 나타내고, $[H\{Q_1, Q_2, Q_3, Q_4\} \rightarrow H\{*\}]$ 는 i 번째 타임 슬롯 시점의 state 에서 데이터가 생성 되거나 전송링크가 선택이 되어 state 이동이 일어날 확률을 나타낸다.

각 링크의 평균 큐 길이를 \bar{Q}_j 라고 하면 \bar{Q}_j 는 다음과 같다.

$$\bar{Q}_1 = \sum_{Q_1=1}^{Q_1^{\max}} \sum_{Q_2=0}^{Q_2^{\max}} \sum_{Q_3=0}^{Q_3^{\max}} \sum_{Q_4=0}^{Q_4^{\max}} Q_1 P(Q_1, Q_2, Q_3, Q_4)$$

$$\bar{Q}_2 = \sum_{Q_1=0}^{Q_1^{\max}} \sum_{Q_2=1}^{Q_2^{\max}} \sum_{Q_3=0}^{Q_3^{\max}} \sum_{Q_4=0}^{Q_4^{\max}} Q_2 P(Q_1, Q_2, Q_3, Q_4)$$

$$\bar{Q}_3 = \sum_{Q_1=0}^{Q_1^{\max}} \sum_{Q_2=0}^{Q_2^{\max}} \sum_{Q_3=1}^{Q_3^{\max}} \sum_{Q_4=0}^{Q_4^{\max}} Q_3 P(Q_1, Q_2, Q_3, Q_4)$$

$$\bar{Q}_4 = \sum_{Q_1=0}^{Q_1^{\max}} \sum_{Q_2=0}^{Q_2^{\max}} \sum_{Q_3=0}^{Q_3^{\max}} \sum_{Q_4=1}^{Q_4^{\max}} Q_4 P(Q_1, Q_2, Q_3, Q_4)$$

모든 state 의 확률과 그때의 큐 길이를 곱하면 각 링크의 평균 큐 길이를 구할 수 있다. 그리고 각 링크의 delay를 D_j 라고 하면 Little's Law[7]를 이용해 다음과 같이 구할 수 있다.

$$D_j = \frac{\bar{Q}_j}{T_j} \quad (6)$$

IV. 성능평가

분석모델을 이용해 링크선택 방안의 성능을 소스 및 유저의 데이터 발생 빈도에 따른 쓰루풋과 지연 값의 변화를 통해 평가하였다. 성능평가를 위한 파라미터 값들은 다음과 같다. 버퍼의 최대크기 B_j^{\max} 는 15 패킷으로 하였으며, 타임 슬롯의 길이는

1ms, 버퍼의 한계값은 $B_j^{thr} = \{1, 2, 3\}$ 으로 설정하였다. 소스, 유저의 데이터 발생 빈도는 도착율이 λ 인 지수분포로 가정하였다. 또한, 각 채널의 상황은 $S_y = 0.25$ 로 동일하게 설정하였다.

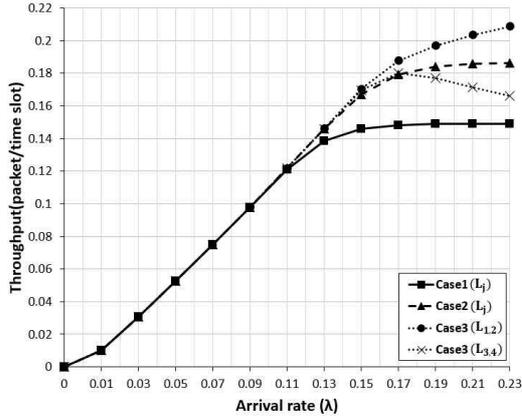


Fig. 2. Throughput performance when $B_j^{thr} = 1$

그림 2. $B_j^{thr} = 1$ 일 때의 λ 의 변화에 따른 쓰루풋 성능

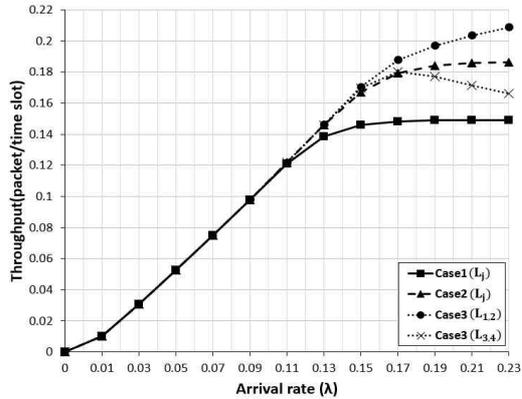


Fig. 3. Throughput performance when $B_j^{thr} = 2$

그림 3. $B_j^{thr} = 2$ 일 때의 λ 의 변화에 따른 쓰루풋 성능

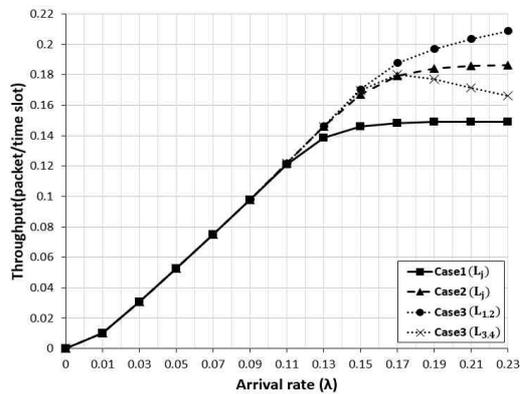


Fig. 4. Throughput performance when $B_j^{thr} = 3$

그림 4. $B_j^{thr} = 3$ 일 때의 λ 의 변화에 따른 쓰루풋 성능

그림 2는 λ 값이 증가할수록 쓰루풋이 증가하는 것을 보여준다. Case1을 보면 $\lambda=0.15$ 이하일 경우 소스, 유저 버퍼에 전송할 데이터가 항상 있지 않으므로 λ 값이 증가하는 만큼 링크의 쓰루풋이 증가하는 것을 알 수 있고, $\lambda=0.15$ 이상 일 경우 전송 할 데이터가 항상 있으므로 쓰루풋이 약 0.15로 수렴하는 것을 알 수 있다. Case2의 결과를 보면 쓰루풋이 Case1보다 전체적으로 약 20% 높은 것을 알 수 있다. Case1은 1순위 전송링크가 결정이 되더라도 채널 SNR 상황을 모르는 상황이라서 데이터 전송이 안 되는 경우가 존재하기 때문에 전체 SNR을 다 활용하지 못한다. 하지만, Case2의 경우 채널 SNR 상황을 알고 있기 때문에 전송할 데이터가 버퍼에 존재할 경우 SNR 상황에 따라 데이터를 전송할 수 있기 때문에 Case1보다 높은 쓰루풋을 낼 수 있다.

Case3은 L_1, L_2 와 L_3, L_4 의 쓰루풋이 $\lambda=0.15$ 이후부터 다르게 변화하는 것을 확인할 수 있는데 Case1,2와는 다르게 소스, 유저 버퍼의 상황을 둘 다 고려해서 전송링크를 선택하기 때문이다. 초기 버퍼의 상태는 $S(i) = \{0, 0, 0, 0\}$ 이고, λ 가 증가할수록 소스, 유저 버퍼의 큐 길이(Q_1, Q_2)가 각 링크에서 시스템 조건상 낼 수 있는 최대 쓰루풋 이상이 되면 소스, 유저에 데이터가 쌓이게 되며, 릴레이 버퍼의 경우 소스, 유저에서 데이터 전송이 될 때 데이터가 쌓이게 된다. 그러므로, λ 가 특정한 값 이상일 경우 소스, 유저의 큐 길이가 릴레이 버퍼의 큐 길이 보다 길어지게 된다. 즉, (4)에서 볼 수 있듯이 M_1, M_2 이 M_3, M_4 보다 상대적으로 큰 값이 되므로 L_1, L_2 가 우선적으로 선택이 된다.

그림 2-4는 각각의 전송링크 선택 알고리즘에 대한 소스, 유저, 릴레이 버퍼의 한계값을 점점 증가시켜 갈 때 λ 변화에 따른 쓰루풋 결과를 보여주고 있다. 그림을 보면 한계값이 쓰루풋에 큰 영향을 주지 못하는 것을 알 수 있는데, 한계값의 역할은 단지 전송링크의 우선 순위를 결정하는 파라미터이며, 쓰루풋에 직접적인 영향을 주는 파라미터는 각 채널의 SNR 상황이기 때문이다. 그리고 시스템 모델에서 전송이 안되는 SNR 확률은 $S_0 = 0.25$ 이므로 Case2,3의 모든 링크의 총 쓰루풋은 0.75이며, Case1의 경우 전송이 실패할 수도 있기 때문에 0.6으로 나온다.

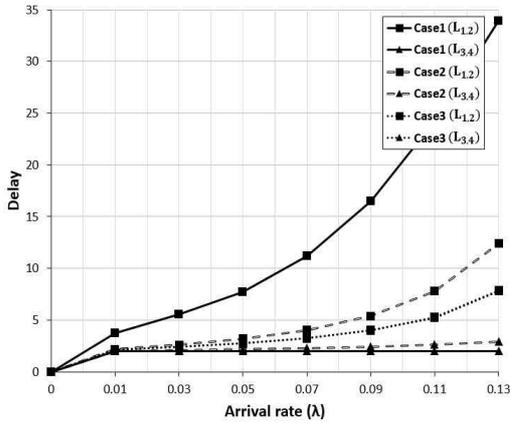


Fig. 5. Delay performance when $B_j^{thr} = 1$
 그림 5. $B_j^{thr} = 1$ 일 때의 λ 의 변화에 따른 지연 성능

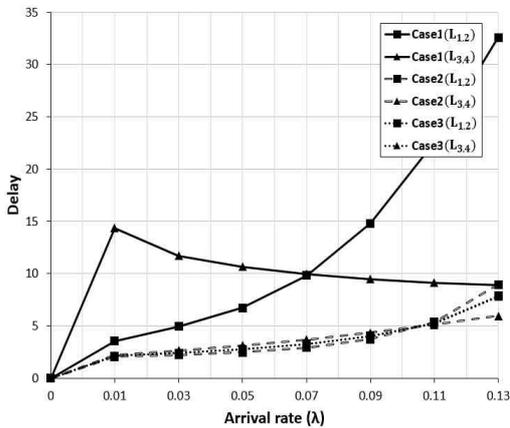


Fig. 6. Delay performance when $B_j^{thr} = 2$
 그림 6. $B_j^{thr} = 2$ 일 때의 λ 의 변화에 따른 지연 성능

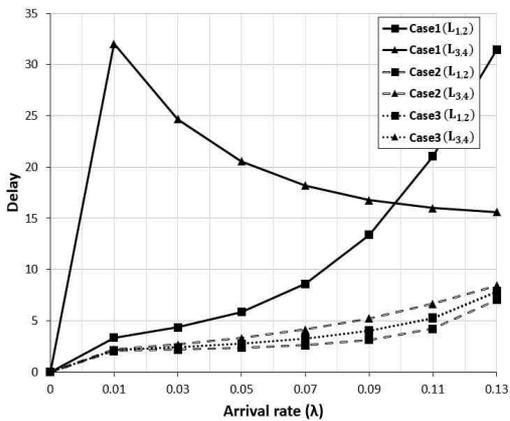


Fig. 7. Delay performance when $B_j^{thr} = 3$
 그림 7. $B_j^{thr} = 3$ 일 때의 λ 의 변화에 따른 지연 성능

그림 5는 $B_j^{thr} = 1$ 인 조건에 대한 지연 변화결과를 보여준다. Case1, $B_j^{thr} = 12$ 일 경우,

Source-to-Relay 전송이 된다면 $K_1(i), K_3(i)$ 가 동일한 수치가 된다. 하지만 릴레이로부터 데이터 전송이 되는 것을 우선시하게 설정했기 때문에 릴레이로 데이터가 전송이 되면 바로 Relay-to-user 전송을 할 수 있는 전송링크가 무조건 선택이 된다. 이 때문에 L_3, L_4 의 지연이 설정한 한계값과 비슷한 수치를 보여주고 있다. 그리고 위의 이유 때문에 λ 가 증가할수록 소스, 유저버퍼의 큐 길이가 늘어나므로 L_1, L_2 의 지연이 증가하게 된다. Case3의 경우 모든 링크의 지연값이 같은 결과를 보인다. 왜냐하면, 각 버퍼들의 한계값이 동일하며, 우선순위가 따로 정해지지 않았기 때문에 가장 긴 큐 길이를 가진 버퍼를 우선으로 선정해 데이터 전송을 하기 때문이다. 전체 지연은 Case2,3이 동일하며, Case1 경우 보다 높은걸 확인 할 수 있다.

그림6-7은 $B_j^{thr} = 2, 3$ 일 경우 지연 변화를 보여준다. Case1를 보면 그림 5와는 다르게 λ 값이 낮을 때 L_3, L_4 의 지연이 굉장히 높아지는 것을 알 수 있다. 그 이유는 B_j^{thr} 이상일 경우 릴레이로부터 데이터를 전송 할 수 있는 상황이 만들어지기 때문이다. 즉, λ 가 매우 작을 때는 릴레이에 충분한 데이터가 저장되기 전까지 데이터가 오랜 시간 릴레이 버퍼에 저장되어 있기 때문에 L_3, L_4 의 지연이 높아진다. Case2의 경우 각 채널의 SNR 상황에 따라 1순위 전송링크가 선택이 되기 때문에 Case1과는 다른 결과가 나타난다. 예를 들면, $Q_1 = 1, Q_2 = 1, Q_3 = 1, Q_4 = 2, B_j^{thr} = 3$ 인 경우의 K_j 값은 $\{2, 1, -2, -1\}$ 이다. Case1일 때는 K_1 값이 가장 커서 1순위 전송링크인 L_1 을 통해 데이터 전송을 시도 할 것이다. 하지만 L_1 이 채널 SNR에 따라 데이터 전송을 실패 할 수도 있기 때문에 지연 L_1 이 길어지며, Case2의 경우 $P_s = \{L_2, L_3\}$ 일 때 링크를 제외하고 전송링크 우선순위를 결정하기 때문에 이 경우에는 2순위인 L_2 가 선택이 되기 때문에 상대적으로 지연이 작아지게 된다. Case3의 경우 각 버퍼의 큐 길이를 이용해 전송링크를 선택하며, 한계값이 동일하기 때문에 각 노드들의 우선순위의 차이가 없기 때문에 각 링크의 지연이 같게 나타난다.

V. 결론

본 논문에서는 유저버퍼의 상황을 고려한 적응형 링크선택 방안을 제시하고, 마코프 체인 기반의 분석모델을 개발하였다. 제시한 방안 및 분석모델은 다양한 환경에서의 릴레이 네트워크 성능을 분석하는 데 활용할 수 있을 것으로 기대한다.

References

- [1] Ralf Pabst et al., "Relay-based deployment concepts for wireless and mobile broadband radio," *IEEE Communications Magazine*, vol.42, no.9, pp.80-89, 2004.
DOI:10.1109/MCOM.2004.1336724
- [2] Deze Zeng, et al., "On the throughput of two-way relay networks using network coding," *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, vol.25, no.1, pp.191-199, 2014.
DOI:10.1109/TPDS.2013.187
- [3] Mohammad Moghadari, Ekram Hossain, and Long Bao Le, "Delay-optimal distributed scheduling in multi-user multi-relay cellular wireless networks," *IEEE Transactions on Communications*, vol.61, no.4, pp. 1349-1360, 2013.
DOI: 10.1109/TCOMM.2013.020413.120457
- [4] Tarikul Islam et al., "Multisource buffer-aided relay networks: Adaptive rate transmission," *IEEE Global Communications Conference*, 2013.
DOI:10.1109/TCOMM.2013.020413.120457
- [5] Nikola Zlatanov, Robert Schober, and Petar Popovski, "Buffer-aided relaying with adaptive link selection," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol.31, no.8, pp.1530-1542, 2013.DOI:10.1109/JSAC.2013.130816
- [6] Vahid Jamali, Nikola Zlatanov and Robert Schober, "A delay-constrained protocol with adaptive mode selection for bidirectional relay networks," *IEEE Global Communications Conference*, 2014.
DOI:10.1109/GLOCOM.2014.7037460

- [7] J. D. C. Little, "A Proof of the Queueing Formula: $L = \lambda w$," *Operations Research*, vol. 9, no. 3, pp. 383-388, 1961.DOI:10.1287/opre.9.3.383

BIOGRAPHY

HyujunKim (Member)



2012 : BS degree in Electrical Engineering, Kwangwoon University.
2016 : MS degree in Electronic Engineering, Kwangwoon University.

Young-ukChung (Member)



1997 : BS degree in Electrical Engineering, KAIST.
1999 : MS degree in Electrical Engineering, KAIST.
2003 : PhD degree in Electrical Engineering and Computer Science, KAIST.
2005~current : Professor in Dept. of Electronic Engineering, Kwangwoon University.