

IEEE 802.11 MAC과 호환성을 갖는 Prioritized DIFS/Backoff/Frame를 통해 차등화된 서비스를 제공하는 메커니즘

심승섭*, 신세영**, 윤석진***, 조정익****

삼성전자 디지털미디어 연구소 IT Solution팀 Connectivity랩

The Mechanism Using Prioritized DIFS/Backoff/Frame for The Differentiated Services Having IEEE 802.11 MAC Backward Compatibility

Shim Seung-seop, Shin Se-young, Yun Suk-jin, Cho kyung-ik

{michael.shim*, shinsy01***, sj.yun***, kyungik.cho****}@samsung.com

요약

기존 IEEE 802.11 MAC [1]에서는 Fairness를 보장하며 Resource를 제공하는 것을 목표로 동일한 DIFS, Backoff알고리즘, Source가 같은 경우 동일한 Frame size등을 사용하는 Specification을 작성하여 구현한다. 최근 Home Network과 같은 특수한 Ad-Hoc 환경에서의 이런 Fairness Resource Usage가 오히려 기대 성능을 떨어뜨리는 결과를 가져오고 있다. 이에 802.11 MAC에서 Backward Compatibility를 유지하면서 Prioritized DIFS/Backoff/Frame를 통해 차등화된 서비스를 제공하는 메커니즘을 제안하고 자 하는 것이 본 논문의 목표이다.

I. 서론

기존 IEEE 802.11의 MAC Sublayer Protocol을 따라 구현된 DCF 구간에서 동작을 보면 무선 단말(Wireless Terminal)은 자신의 데이터 (MPDU나 MMPDU)를 전송하기 전에 다른 WT가 매체(무선 Channel)를 점유하여 데이터를 전송하고 있는 지를 확인하기 위해 우선 채널을 감지하고, 어떤 구간에서 랜덤하게 설정한 Backoff Time을 가지고 매체가 Idle한 동안 그 시간을 줄여 가면서 계속 매체를 감지한다. 그래서 다수의 WT 중 어느 하나의 Backoff Time이 0이 되고, 그때 매체가 Idle하다면, 전송을 시작하게 되고, 여전히 자신의 Backoff Time이 남아 있다면 현재의 다른 WT의 데이터 전송이 끝난 이후, 다시 위에 언급한 과정을 반복하여 전송을 시도하게 된다. 한편, 위의 Backoff 과정을 통하여 RTS Threshold 값보다 큰 데이터를 전송하고자할 때, 매체 점유에 성공한 단말은 RTS/CTS Control Frame을 통해 숨겨진 터미널 문제(Hidden Terminal Problem)를 해결한다.

본 논문에서는 먼저 기존의 Backoff, DIFS에 대한 기술을 먼저 소개(2장)하고 나서 이에 대한 개선점으로 본 논문에서 제안하는 Prioritized DIFS, Backoff, Frame

Size에 대해서 설명(3장)을 하고, 실제 전제되어야 하는 환경(4장)과 이런 전제된 환경을 바탕으로 실제 성능과 활용 방안(5장)에 대해 논하고 결론(6장)을 도출하고자 한다.

II. 기존

1. Random Backoff Time

RBT(Random Backoff Time)은 아래 식(1)에 의해 만들어 진다.식(2)는 논문에서 다루게 될 다른 방식의 RBT 사용 예이다.)

$$T_b = \left[2^{2+i} \times R() \right] \times S, \quad \text{or } \text{-----식(1)}$$

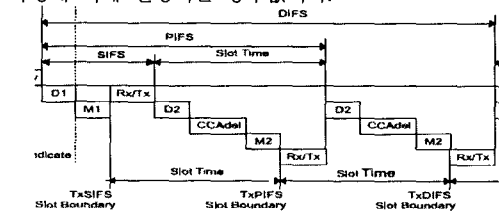
$$T_b = (2^n - 1) \times S, \quad \text{-----식(2)}$$

여기서, T_b 는 Backoff time을, $R()$ 은 Uniform distribution의 [0,1]구간에서 임의로 선택된 Pseudo random 값, i 의 초기값이 1이다.

S 는 aSlotTime으로 실제 PHY 특성에 의해 정해지는 값이다. CW(Contention Window)는 $aCW_{min} < CW < aCW_{max}$ 의 값을 갖는다.

2. DIFS

표준에서는 DIFS는 정해진 고정 값으로 이것 또한 PHY 특성에 의해 결정되는 상수값이다.



$$\text{PIFS} = a\text{SIFS} + a\text{SlotTime}$$

$$\text{DIFS} = a\text{SIFS} + 2 \times a\text{SlotTime} \quad \text{---- 그림(1)}$$

3.Frame Size

표준에서 제시하고 있는 MAC Header중 FC (Frame Control)를 보면, 그림 (2)와 같다.

80	81B2	83E4	87	88	89	810	811	812	813	814	815
Protocol Version	Type	Subtype	To DS	From DS	More Frag	Retry	Par Mgt	More Data	WEP	Order	

그림(2)

그림(2)에서 Type/SubType이 각각 MAC Frame의 범주와 실제 종류를 결정하는 것으로 일례가 표(1)로 도시하였다.

Type b2b3	Type Description	Subtype b4b5b6b7	SubType Desc
00	Management	0001	Beacon
①00	Management	0110-1110	Reserved (2)
②00	Management	1011-1111	Reserved (3)
10	Control	1011	Ack
③10	Control	0000-1001	Reserved (10)
01	Data	0000	Data
④01	Data	0001-1111	Reserved (8)

표(1)

III. 제안

1. 배경

802.11 MAC에서 Backward Compatibility를 유지하면서 DCF뿐만 운영되는 Independent Basic Service Set(IBSS)에서 Prioritized DIFS/ Backoff/ Frame를 통해 데이터원이 되는 WT별로, 같은 WT내에서도 상위 응용 계층에 따라 Priority를 달리하여 Differentiated Service를 제공할 수 있도록 하기위해 제안하고자 한다. 일례를 들면, HD TV 수신기가 내장된 Home Network 서버가 HD TV Streaming Server이면서 Gateway 역할을 동시에 수행하는 경우, 이 서버는 실제 HD TV 수신 데이터를 자신의 Wireless LAN(802.11a)을 통해 데이터를 Streaming Client Wireless TV등)로 송신하고 있는 메 상황에서, 다른 일반 IT(eg. Internet...)데이터의 전송과 관련되어 Fairness를 유지하게 된다면, Real Time과 High Bandwidth가 요구되는 Streaming Flow가 이 두 가지 면에서 손실을 입게 될 것이다.

2.Prioritized Random Backoff Time

Backoff Algorithm에 제안하고자 하는 바는 식(1),(2)에서 본 수식을 사용하되 다음과 같은 변경을 통해 구하여 원래의 수식과의 성능 차를 구하고자 한다.

- 1) 기존 Binary Exponentially Increase로 동일하게 Backoff Time을 결정짓는 것은 Home Ad-Hoc환경에서는 적절치 않다.
- 2) Home Ad-hoc에서 가능한 WT는 아래 범주로 구분할 수 있다.
 - i) 일반 Internet/Intranetworking 트래픽만을 가지는 WT(iWT)
 - ii) i)외에 특정 목적의 데이터 flow도 가지는 Server/Client WT(sWT/cWT)
- 3) Home Ad-Hoc에서 전송되는 데이터는 크게 아래 범주로 구분할 수 있다.
 - i) Streaming Flow의 특성을 갖는 Data(fDATA)
 - ii) 일반 Internet/Intranetworking 트래픽을 가지는 Data(dDATA)

4) 식(1),(2)에서 n을 달리하여 SlotTime의 증가를 달리하고, SlotTime의 감소 시 최대 6, 최소 1을 하게 한다. 표(2) 참조. 감소 6의 근거는 2³이며 최소 1은 표준과 동일하다.

실제로 이 메커니즘의 적용은 4장에서 논할 전체하는 환경에서 실제 상위 응용 설정에 따라 값을 달리할 수 있다. 표(2)는 일례를 든 경우이다.

- 1) 표(2)에서 0은 초기 n값으로는 사용될 수 없다는 조건을 두고 있다.
- 2) 감소에 의해 SlotTime 감소될 때, 피감수가 작음으로 해서 음의 값을 가질 때는 남은 SlotTime = 0 인 것과 같다고 간주한다.

Index	가능한 조합	Value of n Square	Value of Subtrahend
p_1	sWT +fDATA	0	6
p_2	sWT +tDATA	3	3
p_3	cWT +fDATA	1	5
p_4	cWT +tDATA	3	2
p_5	iWT +fDATA	2	4
p_6	iWT +tDATA	2	1
p_7	Reserved	N/A	N/A
p_8	Standartd	2	1

표(2)

이렇게 계감수와 감수를 Backoff Time을 증가시킬 때와 감소시킬 때 각각 달리하는 이유는 각 WT와 WT내의 DATA의 종류에 따라 Priority를 주고자 하는 것이다. 여기에는 표준과의 호환을 위해 p_8 과 같은 인덱스를 두었다. 물론 여기서 증가와 감소를 달리한 효과는 명확하며 이는 Priority를 높게 주고자 하는 대상에 실제 계감수의 값을 통해 증가 시에는 그 값을 0로 하여 실제로는 Streaming 데이터를 가진 Priority Index의 WT와 응용 프로그램은 실제 Slot time(ST)이 할당되지 않고 바로 전송 기회를 얻는다. 감소 시에는 기존 작게 할당된 ST를 크게 빼 나가는 방식으로 항상 Priority를 높이고자 하는 것이다. ST를 DIFS동안 매체의 상태가 Idle함을 확인하여 감소시키고자 할 때,

$$\text{if } (ST_r < ST_m) \text{ then } ST_r = 0;$$

$$\text{else } ST_r = ST_m; \text{ -----식(3)}$$

처럼 처리한다. r은 남은 SlotTime을 m은 감소 시키는 SlotTime의 크기(Value of Subtrahend)를 의미한다. 여기서, 만약 Priority를 달리하였으나 어느 순간 ST가 동일한 WT_x, WT_y 가 존재하는 경우에는,

$$\text{if } (WT_x(p_i) > WT_y(p_i)) \text{ then } ST_x = 0;$$

$$\text{else } ST_y = 0; \text{ -----식(4)}$$

처럼 처리한다. 다시 표(2)를 보면 Priority 2, 4, 6은 기존 Internet Traffic을 가지는 경우 Priority 8과 ST의 증가는 같은 단위로 한다는 점에서는 같지만, 감소는 6을 제외하고는 달리한다는 점은 Priority가 지원되는 MAC에서 동작되는 WT에서 Priority 8를 갖는 WT과는 또 다른 우선순위 인덱스로서 우선순위를 가지게 된다는 점에 의미가 있다.

만약, 같은 Priority Index를 가지는 경우 두 가지

데이터가 동시에 ST이 0이 되는 경우는 그들간의 다시 제안한 RBT 메커니즘을 사용하는 것은 기존과 동일하다.

3. Prioritized DIFS

SIFS와 더불어 DCF의 Timing의 단위인 DIFS에 Priority를 두고자 하는 제안에는 다음과 같은 배경이 있다. 기존 DFIS는 항상 일정한 시간 단위로 즉, 그림(2)에 나온 수식과 같은 Duration을 가지고 있다. 이는 원래, CCA를 통한 채널 상태를 확인하고자 하는 기존 표준에서는 필요한 항목이었을 지는 몰라도 Priority를 가지게 하자는 본 논문에는 적절하지 못하므로 다음과 같이 제안하고자 한다. 먼저 표(2)에서 사용한 Priority인덱스를 사용하여 아래와 같은 표(3)를 작성하였다.

Index	Duration
P_1, P_2, P_3, P_4	SIFS + aSlotTime(PIFS)
P_5, P_6, P_7, P_8	SIFS + 2 × aSlotTime

표(3)

위 표와 같은 인덱스에 따라 실제 DIFS의 Duration을 달리하는 Priority를 둔다. 여기서 보면, 실제 표준에서도 SIFS, PIFS, DIFS는 실제 각각 $PIFS = SIFS + aSlotTime$, $DIFS = SIFS + aSlotTime + aSlotTime$ 의 관계를 가지고 있다. 그러므로, Priority를 달리하는 데이터에 대해서는 PIFS를 DCF에 적용하여 Priority 인덱스 Set의 한 인덱스로 삼았다. 물론, 기존 표준의 DIFS는 인덱스 분류로 기존 DIFS Duration을 갖는다. 또 SIFS는 기존 Beacon과 Fragmented Data에 대한 ACK을 위한 쓰임새는 표준과 동일하다.

4. Prioritized Frame Size

표(1)에서 열거한 실제 Type에 대한 식별 Bit들 중에서 기존에 사용하지 않고 있는 표(1)상의 ①, ②, ③, ④의 Bit set 값들은 아래 가장 하에서 사용될 수 있다.

- 1) 먼저 Management, Control Frame은 그 크기와 내용이 정해져 있고 실제 본 논문과 같은 상황에서도 동일하다.
- 2) 실제 표(2)와 같은 인덱스로 실제 Data Frame을 가변 크기를 갖게 Mapping 시킬 수 있다. 즉, 표(1)의 4)의 SubType Bit을 적용하여 표 (4)와 같이 설정이 가능하다.

Index	SubType	가능한 조합	Frame Size
P_1	0001	sWT +fDATA	2304
P_2	1001	sWT +tDATA	1500
P_3	0101	cWT +fDATA	1500
P_4	1101	cWT +tDATA	1500
P_5	0011	iWT +fDATA	2304
P_6	1011	iWT +tDATA	1500
P_7	0111	Reserved	1500 / 2304
P_8	1111	Standartd	1500

표(4)

위 Frame Size의 실제 결정은 4장에서 언급할 환경에 따라 값을 결정할 수 있으나 여기서 제시한 것은 본 논문에서 일례로 사용한 것이다.

IV. 전체 환경

본 논문은 3장 중 배경에서 언급한 내용대로 Home Ad-

hoc에서 Unfairness하게 IEEE 802.11 MAC을 운영하고자 하는 것이 논문의 목적이므로 다음과 같은 전체 환경을 가진다.

- 1) DCF로만 동작하는 Home Ad-Hoc 환경이다.
- 2) 기존 WT와 본 논문의 MAC(Prioritized MAC)을 탑재한 WT가 공존하고 있다.
- 3) 제안한 Prioritized Backoff/DIFS/Frame Size는 아래 두 가지 조건을 통해 적용된다.
 - i) 기존 MAC과 Prioritized MAC을 구분한다.
 - ii) MAC상단의 Application Layer에서의 응용 프로그램에 의해 실제 이런 Prioritized Backoff/DIFS/Frame Size를 결정한다. 있다. 이는 Device Driver를 통한 설정 값이 MAC에 전달되어 Setting되는 형태가 될 것이다. (Registry Setting등..)
- 4) Unfairness를 가지는 Home Ad-Hoc 환경이므로 기존 MAC을 따르거나 Priority가 뒤쳐지는 WT 또는 동일 WT의 뒤쳐지는 데이터원은 이를 감수한다.

V. 성능평가

성능 평가는 기존 표준의 Theoretical Maximum Throughput(TMT)[2]과 나머지 Priority 인덱스에 의한 본 논문에서 제안한 메커니즘의 TMT를 비교하는 것으로 보여 줄 수 있을 것이다.

DIFS P_i	Backoff	Data	SIFS	ACK
------------	---------	------	------	-----

그림(4)

1. 전체 [2],[3],[4]

0) 본 논문은 IBSS에서 DCF Mode로만 동작하는 MAC을 전체하고 있다.

- 1) BER(Bit error rate) is zero.
- 2) There are no losses due to collisions.
- 3) Point coordination function (PCF) mode is not used.
- 4) No packet loss occurs due to buffer overflow at the receiving node.
- 5) Sending node always has sufficient packets to send.
- 5) The MAC layer doesn't use fragmentation.
- 6) Management frames such as beacon and associationframes are not considered.
- 7) Phy uses 64-QAM Modulation(54Mbps). =>IEEE 802.11a
- 8) $SIFS = 16\mu s$, $aSlotTime = 9\mu s$ 일때,
 $SIFS + aSlotTime = 16 + 9 = 25\mu s$
 $SIFS + 2 \times aSlotTime = 16 + 18 = 34\mu s$
 $tSymbol = 4\mu s$, $tPLCPpreamble = 16\mu s$
 $tPLCPHeader = 4\mu s$, $CWmin = 15$, $CWmax = 1023$
- 9) TMT = The Payload of the MPDU in Length / The Duration of Successful Data Transmission -----식(5)
- 10) The number of the symbol = Ceiling((16 + 8 * the length of MPDU + 6)/216) -----식(6)

- 7)에서 64QAM/54Mbps이므로 bps는 216이다.
 -PSDU Header 내 Service 16bits
 -PSDU Tail Bit 6bits
 11) $1 MPDU = MAC Header + FrameBody + FCS = 24(1BSS이므로) + 1500 \text{ or } 2304 + 4 \text{ } 1528 \text{ or } 2332$ - 식(7)

- 13) 식(7)과 식(8)을 통해 Symbol의 수를 구하면,
 - 1528 일때, 57개 (P2,P3,P4,P6,P8)
 - 2332 일때, 87개 (P1, P5)
 - 14 일때, 1개 (ACK)

13) Transmission duration of data = number of symbols * symbol interval -----식(8)

- Data의 경우, $57 * 4$ or $87 * 4 = 228$ or $348\mu s$
- ACK의 경우, $1 * 4 = 4\mu s$

14) Average Prioritized Backoff Time

기존 표준의 경우는 아래 수식에서 구할 수 있다.

$$T_{\text{backoff}}(i) = \begin{cases} (1) \frac{2^i(Cw_{\text{min}}+1)-1}{2} * aSlotTime, 0 \leq i \leq 6 \\ (2) \frac{CW_{\text{max}}}{2} * aSlotTime, i \geq 6 \end{cases}$$

$i =$ consecutive unsuccessful transmission attempts

본 논문에서 i 는 n Square의 값을 취하고, -1에서의 1은 Subtrahend의 값을 취하도록 한다.

여기서, Collision이 없다는 전제 2)에 의해 표(2)의 각 Priority Index에 이를 적용한다면,

- P_1 : $((1 \times (15+1)-6) \times 9) / 2 = 45\mu s$
- P_2 : $((8 \times (15+1)-3) \times 9) / 2 = 562.5\mu s$
- P_3 : $((2 \times (15+1)-5) \times 9) / 2 = 243\mu s$
- P_4 : $((8 \times (15+1)-2) \times 9) / 2 = 567\mu s$
- P_5 : $((4 \times (15+1)-4) \times 9) / 2 = 270\mu s$
- P_6, P_8 : $((8 \times (15+1)-1) \times 9) / 2 = 571.5\mu s$ -----식(10)

여기서 표준이 취하는 0에서 부터 시작되는 i 의 값을 여기는 3에서 부터 시작하도록 고정함, 결국 표준 MAC만 탑재한 WT가 제안한 Home Ad-Hoc MAC 메커니즘을 탑재한 IBSS에 들어오면, i 값이 3미만으로 택해져서 Backoff들어오는 경우가 발생하고, 이는 P_1, P_3, P_5 와 충돌을 일으키게 된다. 이 경우, 다시 Backoff Window를 다시 취하는 기존 메커니즘으로 다시 들게된다. 이후, n Square 값이 3으로 set되고 난 뒤에야 P_6 과 같은 메커니즘으로 본 논문에서 제안한 MAC과 상호 동작하게 된다.

2.TMT 비교

데이터 전송 소요시간은 다음과 같이 구할 수 있다.

The Duration of Successful Data Trans -mission = DIFS + Backoff + PLCP Preamble + PLCP Header + Data + SIFS + PLCP Preamble + PLCP Header + ACK -----식(11)

4장 1절에서 전제한 값들을 가지고 각 Priority Index로 식(11)에 대입하여 구하여 다시 식(5)에 대입하면 1개 MPDU를 성공적으로 전송하는 데 요구되는 소요되는 시간을 구할 수 있다.

- P_1 : $25 + 45 + 16 + 4 + 348 + 16 + 16 + 4 + 4 = 478\mu s$
- P_2 : $25 + 562.5 + 16 + 4 + 228 + 16 + 16 + 4 + 4 = 875.5\mu s$
- P_3 : $25 + 243 + 16 + 4 + 228 + 16 + 16 + 4 + 4 = 556\mu s$
- P_4 : $25 + 567 + 16 + 4 + 228 + 16 + 16 + 4 + 4 = 880\mu s$
- P_5 : $34 + 270 + 16 + 4 + 348 + 16 + 16 + 4 + 4 = 712\mu s$
- P_6, P_8 : $34 + 571.5 + 16 + 4 + 228 + 16 + 16 + 4 + 4 = 893.5\mu s$ -----식(12)

이를 식(5)에 대입하면 TMT를 구할 수 있다.

- $TMT_{P_1} = (2304 * 8) / 476 = 38.7227Mbps$
- $TMT_{P_2} = (1500 * 8) / 875.5 = 13.7065Mbps$
- $TMT_{P_3} = (1500 * 8) / 556 = 21.5827Mbps$
- $TMT_{P_4} = (1500 * 8) / 880 = 13.6364Mbps$
- $TMT_{P_5} = (2304 * 8) / 712 = 25.8876Mbps$
- $TMT_{P_6,8} = (1500 * 8) / 893.5 = 13.4303Mbps$

지금까지 도출된 값들을 모아 표로 도시한 것이 표(4)이다. 표(4)에서 각 TMT의 단위는 Mbps임.

Index	Average Backoff	DIFS	Frame Size	TMT
-------	-----------------	------	------------	-----

P_1	45 μs	25 μs	2304	38.7227
P_2	562.5 μs	25 μs	1500	13.7065
P_3	243 μs	25 μs	1500	21.5827
P_4	567 μs	25 μs	1500	13.6364
P_5	270 μs	34 μs	2304	25.8876
P_6	571.5 μs	34 μs	1500	13.4303
P_7	N/A	N/A	N/A	N/A
P_8	571.5 μs	34 μs	1500	13.4303

표(4)

표(4)를 두고 본 제안된 메커니즘을 평가하자면, Priority Index에 따라 각기 TMT가 달리 나오게 되는 결과를 얻는데, 대체적으로 의도한 대로 Streaming Flow > 제안 Internet 데이터 > 기존 호환 데이터의 순으로 Throughput이 나옴을 표로서 알 수 있다. 본 논문의 메커니즘에 의한 Throughput은 최소 13.4303 Mbps 이고 최대 38.7227Mbps이다. 이는 기존 표준과 큰 차이가 없다. 그러나 본 논문에서 제안한 메커니즘을 보면 Backoff도 표(4)에서 보듯 우선 순위를 가지게 되고, DIFS Duration도 각기 달리하게 하며, Frame Size 역시 달리하게 되어 우선 순위가 높은 데이터 원과 WT는 항상 점유율이 높게 되고 전송률도 높게 된다. 다시 말하면, P1이 연속 점유하게 되는 빈도가 높을 수록 실제 TMT로 전송이 연속되어질 확률이 높게 되어 의도하는 Unfairness한 Home Ad-Hoc Networking에 적합함을 알 수 있다. 이에 대해서는 본 논문의 1장 배경에서도 언급한 바 있다.

VI. 결론

1장에서부터 5장까지를 통해 기존 표준에 의한 Resource의 Fairness한 활용에서 Unfairness한 환경으로 전환하고자 하는 메커니즘을 기술하였다. 실제 수식에 의한 바로도 오버헤드에 해당될 수도 있는 새로운 메커니즘의 요소를 가미하여도, 기존 메커니즘과 큰 차이는 없음을 알 수 있었고, 또한 점유율과 전송률이 이 Ad-Hoc 환경에서는 실제 Throughput을 지배하는 요소로 바뀌었음을 알 수 있었다. 이는 5장에서 5장까지 예로 든 파라미터 들의 적절한 Setting만으로도 충분히 전체 기대 성능을 높일 수 있음을 반증하고 있다 하겠다. 이는 Prioritized Backoff/DIFS/Frame Size로서 WT의 우선 순위에 따라 또, 같은 WT내에서도 상위 Application에 따라서 MAC Differentiated Service가 가능하게 하고자 하는 본 논문의 목적에 부합된다고 하겠다. 또한 기존 ISP업체가 IP 계층에서 제공한 Differentiated Services와 같은 개념적 서비스가 가능하게 할 수 있는 점이 의의라고 볼 수 있다.

참고 문헌

- [1] ANSI/IEEE Std 802.11, 1999 Edition
- [2] Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications Amendment 1: High-speed Physical Layer in the 5 GHz band
- [3] Theoretical Maximum Throughput of IEEE 802.11 and its Applications - Jangeun Jun, Pushkin Peddabachagari, Mihail Sichitiu
- [4] Goodput Enhancement of IEEE 802.11a Wireless LAN via Link Adaptation -Daji Qiao and Sunghyun Choi,