

Periodic FEC를 위한 ACK 기반 중복 정보 제어 기법

이소현⁰ 지명정 최태욱 정기동
부산대학교 전산학과
(shlee, bluesky, tuchoi, kdchung)@melon.cs.pusan.ac.kr

An ACK-based Redundancy control algorithm in the Periodic FEC

So-Hyun Lee⁰ Myoung-Kyoung Ji Tae-Uk Choi Ki-Dong Chung
Dept. of Computer Science, Pusan National University

요약

인터넷 화상 전화와 같이 비디오 데이터를 압축하여 실시간 전송하는 응용 프로그램의 사용 시 일어날 수 있는 비디오 데이터 오류 전파를 방지하기 위한 대표적인 기법으로 FEC를 향상시킨 Periodic FEC가 있다. 본 논문에서는 ACK 메시지를 기반으로 연속적인 패킷 손실을 예측하여 PFEC의 중복 정보(redundant information)의 전송량 조절이 가능한 ACK 기반 중복 정보 제어 기법을 제안한다. 또한 대용량의 멀티미디어 데이터 전송 시 발생할 수 있는 congestion을 제어하기 위해 TCP와 공정하게 대역폭을 공유하는 TCP-friendly rate control 기법을 고려하여 PFEC의 중복 정보의 양을 네트워크 상태에 적응적으로 조절하는 기법을 제안한다.

1. 서론

인터넷 상에서 대용량 멀티미디어 데이터의 실시간 전송을 필요로 하는 응용 프로그램의 사용이 증가하면서 대역폭이 적고 데이터의 QoS를 보장하지 않는 인터넷의 특성상 멀티미디어 데이터의 전송 시에 오류 및 네트워크 congestion에 대한 제어 기법을 필요로 하게 되었다.

특히, 대용량 비디오 데이터를 압축하여 전송하는 경우 발생하는 패킷 손실은 그 후에 전송되는 프레임에 영향을 미친다. 즉, motion estimation과 compensation으로 인해 오류 전파가 발생하게 된다. 이러한 현상을 막기 위해 이미 많은 기법들이 제안되었는데 그 중 대표적인 기법으로 네트워크 레벨에서 구현된 FEC와 이를 기반으로 제안된 Periodic FEC를 들 수 있다.

1.1. Periodic FEC (PFEC)의 개념

FEC는 현재의 패킷에 이전 패킷에 대한 중복 정보를 함께 전송하는 기법으로, 패킷의 손실이 발생할 경우 이 중복 정보를 기반으로 오류를 복구하여 오류 전파를 막는 알고리즘이다. 추가 지연 시간 없이 오류 복구가 가능하다는 장점을 가지는 반면, 중복 정보로 인해 전송해야 할 데이터의 양이 늘어나므로 추가적인 대역폭을 필요로 한다.

이러한 단점을 보완한 기법이 PFEC(Periodic FEC)[1]이다. PFEC는 프레임들을 일정 주기마다 중복 정보를 포함하여 전송하는 주기적 프레임과 주기적 프레임 사이에 전송되는 비주기적 프레임으로 분류하여 비주기적 프레임들은 주기내의 주기적 프레임만 참조하도록 한 기법이다. 비주기적 프레임은 중복 정보를 포함하지 않으므로 기존의 FEC 보다 데이터 전송량을 줄일 수 있다. 주기적 프레임 {n}의 중복 정보는 그 이전의 {n-i} 주기적 프레임들을 기

반으로 하여 만들어진다. 이때 최대 i값을 PFEC의 order로 정의한다. PFEC에서는 주기적 프레임의 손실률에 따라 중복 정보의 양을 조절함으로써 네트워크 상태에 적응적인 중복 정보 제어 기법을 사용한다. 네트워크 상태에 빠르게 대응하기 위해 NACK 메시지를 사용하는데 연속적인 NACK의 개수를 order로 정함으로써 동적으로 중복 정보량을 조절한다. 이 방법을 통해 중복 정보의 양을 최소화할 수 있고 비디오 질을 향상시킬 수 있다.

1.2. PFEC의 단점

지금까지 언급한 바와 같이 PFEC는 FEC 보다 훨씬 적은 대역폭을 사용해서 오류 복구 및 전파 방지가 가능하고 패킷 손실률에 따라 동적으로 중복 정보의 양을 조절할 수 있는 장점을 가지는 것을 알 수 있지만, 반면에 PFEC가 NACK 기반 중복 정보 제어 기법을 이용함으로써 인해 발생하는 몇 가지 문제점을 발견할 수 있다. 먼저, 데이터 송신측에서 NACK 메시지 수신 후에 연속적인 손실 개수인 burst NACK의 길이를 계산해야 하는 오버헤드가 발생한다. 그리고 두 번째로 손실의 예측이 불가능하다. 즉, NACK 정보를 이용하여 손실을 계산하므로, 패킷 손실이 일어날 경우 사후 처리 되게 되고 따라서 효과적으로 손실에 대처하여 중복 정보량을 조절할 수 없다. 그리고 원래 데이터 패킷의 손실과 NACK 패킷의 손실을 구분할 수 없다.

PFEC의 또 다른 문제점으로는 TCP-friendly rate control 기법을 고려하지 않는다는 점이다. 따라서 TCP 데이터와 동시에 같은 전송로(path)를 통해 전송될 경우 대역폭을 공유하는데 있어 TCP에 불공평한 결과를 초래하게 되고, 또한 네트워크 congestion

발생 시에 효과적으로 대처할 수 없게 된다.

따라서 본 연구는 PFEC의 NACK를 기반으로 한 중복 정보 제어 방식을 개선하고 TCP-friendly rate control 기법을 적용하여 좀더 효과적인 오류 복구 및 congestion 제어를 제공할 수 있도록 하고자 한다. 본 논문의 2장에서는 ACK 기반 중복 정보 제어 기법을 제안하고, 3장에서는 TCP-friendly rate control을 적용하여 적절한 order를 결정하는 기법을 제안한다. 4장에서는 제안 기법의 성능 평가를 위한 실험 결과를 보여주고, 마지막으로 5장에서는 이 논문의 결론을 맺는다.

2. ACK 기반 중복 정보 제어 기법

기존 NACK 기반의 중복 정보 제어 기법을 사용한 PFEC는 위에서 살펴본 바와 같이 몇 가지 단점을 가지고 있는 것을 알 수 있는데 이를 개선하기 위해 다음과 같은 ACK 기반 중복 정보 제어 기법을 제안한다. 이 기법에서는 NACK 메시지 대신 ACK 메시지를 사용하여 상대방의 데이터 수신 상태 및 네트워크 상태 정보를 얻는다. 이때 효과적인 정보 수집을 위해 ACK 메시지에 다음과 같은 추가 정보를 포함시켰다[2].

- A_{curr} : 현재 수신자 측에 전송된 패킷의 sequence number
- N : A_{curr} 이전 패킷 중 가장 최근에 손실된 패킷의 sequence number
- A_{last} : N 이전의 패킷 중 가장 최근에 성공적으로 전송된 패킷의 sequence number

[그림1]은 ACK 패킷에 포함된 정보가 어떻게 사용되는지 보여주는 예이다. Packet loss pattern의 숫자는 성공적으로 전송된 패킷의 sequence number를, “_”는 손실된 패킷을 나타내고, ACK message에서 한 행 “0 0 1”은 ACK1, 즉 1번 패킷에 대한 ACK의 내용을 의미한다. 이러한 추가 정보를 사용할 경우 연속적인 패킷 손실의 길이를 한번에 알 수 있고, original 패킷의 손실과 ACK 패킷 손실의 구분이 가능하다는 이점을 가진다.

Packet Loss Pattern	ACK Message		
	A_{last}	N	A_{curr}
1 _	0	0	1
1 _ _ 4	1	3	4
1 _ _ 4 _ 6	4	5	6
1 _ _ 4 _ 6 _ _ 9	6	8	9
_ 6 _ _ 9 10	6	8	10
6 _ _ 9 10 11	6	8	11

[그림1] 추가 정보를 가지는 ACK 기법

[그림2]는 위의 ACK를 기반으로 중복 정보 제어 기법을 보여주고 있다. ACK의 추가 정보를 이용하여 연속적으로 손실된 패킷 개수 L_{Burst_loss} 와 수신측에서 연속적으로 받은 패킷 개수 L_{Burst_ACK} 를 계산하고 이 두 값을 이용하여 order값을 조절한다. 초기에는 order를 0으로 설정하여 중복 정보를 보내지 않는다. 그 후, ACK를 전송 받으면 ACK의 추가 정보를 이용하여 L_{Burst_loss} , L_{Burst_ACK} 를 계산

```

IF (an ACK message is received) THEN
BEGIN
  read  $A_{last}$ ,  $N$ ,  $A_{curr}$  of ACK message,
   $L_{Burst\_loss} = N - A_{last}$ ;
   $L_{Burst\_ACK} = A_{curr} - N$ ;
  IF ( $L_{Burst\_ACK} > 3$ ) THEN
    order--;
  ELSE
    order =  $L_{Burst\_loss}$ ;
END
    
```

[그림2] ACK 기반의 중복 정보 제어 기법

한다. 그리고 L_{Burst_ACK} 가 3을 초과하는지를 검사하여 초과할 경우 order를 하나 줄여주고, 그렇지 않으면 L_{Burst_loss} 를 order값으로 설정한다. 이를 통해 연속적인 손실 만큼 중복 정보를 늘리면서, 또한 연속적인 ACK 개수를 고려함으로써 네트워크 상태를 예측하여 중복 정보량을 조절할 수 있다.

3. TCP-friendly rate control의 적용

TCP-friendly rate control은 본래 인터넷 상에서 UDP를 이용하여 데이터 전송 시에 congestion 제어 기법이 존재하지 않으므로 TCP의 congestion avoidance 방식과 유사한 방식을 적용하여 congestion을 제어하는 기법인데, 이는 TCP와 UDP 트래픽이 동시에 같은 전송로를 통해 전송될 경우 TCP 트래픽만 데이터 전송량을 줄이므로 대역폭을 공유하는데 있어 TCP 트래픽에 불공평한 결과를 초래하므로 이러한 현상을 방지하기 위함이다[3].

본 논문에서는 네트워크 상태에 적응적으로 데이터 전송량을 증가/감소시키는 rate control 방식을 응용하여 order 값을 결정하는데 적용한다.

[그림3]이 제안하는 TCP-friendly rate control 알고리즘으로, 위 2장에서 중복 정보 제어 기법에 의해 결정된 order 값이 TCP-friendly 정책에 위배되지 않는지 즉, 현재의 네트워크 상태에서 사용 가능한 값인지의 여부를 결정한다. 이 알고리즘에서 사용된 변수들의 의미는 다음과 같다.

- network_BW : 네트워크 상태를 나타내는 네트워크 대역폭 값
- curr_BW : 현재의 데이터 전송량
- Add_BW_n : order 값이 n일 때의 중복 정보 전송 대역폭.
- curr_order : 현재 사용되고 있는 order 값
- order : ACK 기반 중복 정보 제어 기법에 의해 새로이 결정된 order값

알고리즘의 동작을 살펴보면, 우선 네트워크 상태를 나타내는 network_BW를 계산한다. 그리고 현재의 대역폭에 새로이 결정된 order 값을 사용할 경우 추가되는 중복 정보량을 더한 값, 즉 중복 정보 제어 기법에

```

calculate network bandwidth network_BW;
IF [curr_BW+(Add_BWorder-Add_BWcurr_order)
  < network_BW] THEN
  curr_order = order;
    
```

[그림3] TCP-friendly 기법을 사용한 order 결정 알고리즘

의해 결정된 새로운 order를 사용할 경우의 데이터 전송량을 network_BW와 비교한다. 이 비교를 통해 network_BW가 더 큰 값인 것이 판명되면 이는 새로운 order값을 사용해도 congestion이 일어나지 않는다는 것을 의미한다. 따라서 현재의 order 값을 새로운 order 값으로 설정한다. 새로운 order 값이 위의 조건을 만족시키지 못할 경우에는 현재 사용하고 있는 order 값을 그대로 사용한다. 이 알고리즘에서 Add_BW_n 값을 구하기 위한 order와 중복 정보량의 관계는 [표1]과 같다. 실측에 의한 결과값으로, 0에서 5 까지의 order 값에 따른 중복 정보 전송량의 평균값을 사용한다.

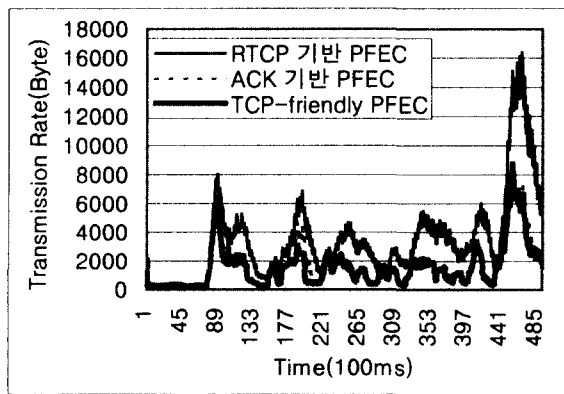
[표1] order에 따른 평균 중복 정보량

order	평균 중복 정보량 (Bytes/s)
0	0
1	352.6633
2	693.6193
3	1026.145
4	1349.554
5	1655.496

이러한 TCP-friendly 기법을 사용할 경우 네트워크 상태에 따라 order 값을 조절하므로 중복 정보량도 제어되어 네트워크 congestion을 피할 수 있게 된다.

4. 실험

본 논문에서 제안한 ACK 기반 중복 정보 제어 기법과 TCP-friendly를 고려한 order 결정 기법을 적용한 PFEC의 성능을 평가하기 위한 실험을 실행하였다. 성능 평가를 위해 RTCP feedback 정보를 이용한 PFEC 기법과 ACK 기반 중복 정보 제어 기법, TCP-friendly 기법을 고려한



[그림4] 전송량 측면에서의 성능평가

ACK 기반 중복 정보 제어 기법에 대해 각각 전송량을 측정 비교한 결과가 [그림4]이다. RTCP feedback 기반 PFEC는 네트워크 손실률을 측정하여 이에 따라 중복 정보량을 조절한다. 그리고, ACK 기반 PFEC는 본 논문에서 제안한 추가적인 정보를 가지는 ACK를 기반으로 중복 정보량을 조절하고, 마지막 TCP-friendly PFEC는 ACK 기반 중복 정보 조절 기법을 통해 정해진 정보량을 TCP-friendly하게 조절한다. 전송량은 데이터 패킷 크기와 중복 정보량을 모두 포함한 전체 전송량을 기준으로 측정하였다.

RTCP feedback 정보를 이용한 PFEC의 경우 패킷 손실률의 측정에 긴 시간이 필요하므로 네트워크 상태에 적응적이지 못한 것을 볼 수 있다. ACK 기반 중복 정보 제어 기법을 사용한 경우에는 패킷 손실에 민감하게 반응하여 중복 정보를 보내고 있는 것을 볼 수 있고, TCP-friendly 제어 기법을 고려한 PFEC의 경우 중복 정보의 양을 네트워크에 적응적으로 조절하기 때문에 ACK 기반의 PFEC 보다 전송량이 줄어든 것을 볼 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 비디오 데이터 전송 시에 오류 복구와 전파 방지를 위한 PFEC의 성능을 향상 시키기 위해 ACK를 기반으로 PFEC의 중복 정보량을 제어하는 기법을 제안하고, 또한 네트워크 congestion 제어를 위한 TCP-friendly를 고려한 order 결정 기법을 제안하였다. 그리고 성능 분석을 위한 실험을 통해 제안 기법들을 이용함으로써 좀 더 나은 오류 복구와 congestion 제어를 보다 적은 중복 정보를 이용하여 실행할 수 있는 것을 알 수 있다.

참고 문헌

- [1] Tae-Uk Choi, Myoung-Kyoung Ji, " An adaptive Periodic FEC scheme for Internet video applications" , IWDC, 2001
- [2] Reza Rejaie, " An End-to-end architecture for quality adaptive streaming applications in the Internet" , 1999
- [3] Dorgham Sisalem, " TCP-friendly congestion control for Multimedia communication in the Internet" , 2000
- [4] J-C. Bolot, T. Turetti, " Experience with Control Mechanisms for Packet Video in the Internet" , INRIA, France, 1998
- [5] Jitendra Padhye, Jim Kurose, Don Towsley, Rajeev Koodli, " A Model Based TCP-Friendly Rate Control Protocol" , Dept. of Computer Science, UMass, 1999
- [6] Thierry Turetti, Christian Huitema, " Videoconferencing on the Internet" , IEEE/ACM Transactions on Networking, Vol. 4, No. 3, June 1996
- [7] ITU-T, " H.263 Recommendation" , 1998