



저작자표시-비영리-동일조건변경허락 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



동일조건변경허락. 귀하가 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공했을 경우에는, 이 저작물과 동일한 이용허락조건하에서만 배포할 수 있습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학석사 학위논문

FMS를 사용하는 유틸리티 기반의
스케일러블 비디오 멀티캐스트 기법

Utility-Based Scalable Video Multicast using
Flexible Multicast Service

2014년 8 월

서울대학교 대학원

전기컴퓨터공학부

백 승 규

FMS를 사용하는 유틸리티 기반의 스케일러블 비디오 멀티캐스트 기법

지도 교수 이 병 기

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함

2014 년 8 월

서울대학교 대학원

전기컴퓨터공학부

백 승 규

백승규의 공학석사 학위논문을 인준함

2014 년 8 월

위 원 장 _____ (인)

부위원장 _____ (인)

위 원 _____ (인)

초 록

본 논문에서는 비디오 멀티캐스트에서 사용자 비동질성 (user heterogeneity) 문제를 해소하기 위해 스케일러블 비디오와 FMS (flexible multicast service)를 접목시킨 새로운 멀티캐스트 기법을 제안한다. 스케일러블 비디오는 서비스 형태에 따라 포맷을 변화시켜 콘텐츠를 가변적으로 사용할 수 있는 비디오 서비스이며, FMS는 송신측에서 전송 할 멀티캐스트 스트림이 여러 개일 때 멀티캐스트 스트림을 각각 분리하여 전송하는 서비스이다.

비디오 멀티캐스트에서 사용자들은 채널 환경, 사용가능한 에너지의 양, 비디오 품질과 에너지 소모량 사이의 선호도 등이 다르기 때문에 멀티캐스트 서비스를 받는 사용자 모두를 만족시키는 것은 어렵다. 그래서 본 논문에서는 스케일러블 비디오의 기본계층(base layer, BL)과 향상계층(enhancement layer, EL)을 각기 다른 스트림으로 분리하여 전송하는 기법을 제안한다. 이때 BL 스트림과 EL 스트림은 FMS에서 각기 전송 시기가 다르며 사용자가 선택적으로 패킷을 수신할 수 있다. 이렇게 하면 사용자는 자신이 원하는 것에 가까운 서비스를 제공받을 수 있게 된다. 또한 제안기법에서는 멀티캐스트 전송 시 일반적으로 재전송이 없어 신뢰성이 떨어진다는 점을 고려하여 네트워크 부호화(network coding)를 사용하여 부호화한 패킷을 전송한다.

사용자의 효용을 나타내는 유틸리티는 비디오의 품질과 에너지 소모 그리고 사용자의 선호가 잘 반영될 수 있도록 정의한다. 사용자측에서는 EL 패킷의 전송 시에 주어진 전송환경을 고려하여 자신의 유틸리티가 최대가 되도록 행동을 결정한다. 송신 측에서는 이러한 사용자의 행동을 파악하고

모든 사용자의 유틸리티의 합이 최대가 되도록 EL의 전송속도와 전송 패킷 수를 결정한다.

시뮬레이션에 의하면 제안한 기법이 기존의 멀티캐스트에 비해서 15 ~ 34 %의 유틸리티 이득이 있어 사용자 비동질성 문제를 해소함을 확인할 수 있었다.

주요어 : 사용자 비동질성, 스케일러블 비디오, FMS, 유틸리티
학 번 : 2012-23218

목 차

초 록	i
제 1 장 서론	1
제 2 장 배경 지식	4
제 3 장 시스템 모델	9
제 4 장 제안 기법	17
제 5 장 시뮬레이션 결과	23
제 6 장 결론	40
참 고 문 헌	42

제 1 장 서론

최근 스마트폰과 태블릿 PC로 대변되는 모바일 단말의 폭발적인 증가와 함께 모바일 단말을 이용하여 비디오를 스트리밍하는 수요가 점점 증가하고 있다. 전통적인 모바일 네트워크는 하나의 송신자가 하나의 사용자에게 콘텐츠를 전송하는 유니캐스트 서비스를 전제하여 설계되었다. 이 경우, 스포츠 또는 공연 생중계와 같이 동일한 비디오를 여러 사용자가 동시에 스트리밍 서비스로 수신하는 때에는 동일한 비디오를 여러 번 반복 전송해야 하기 때문에 네트워크 자원을 엄청나게 낭비하게 된다.

이에 반하여, 비디오 멀티캐스트는 동일한 비디오를 여러 사용자에게 전송할 때 대역폭을 효율적으로 사용할 수 있다. 그러나, 사용자마다 사용하는 무선 채널의 특성이 서로 다르기 때문에 어떠한 전송속도(PHY rate)로 비디오를 전송해야 할 지 결정하는 것은 매우 어려운 문제이다. 전통적인 멀티캐스트 방식에서는 모든 멀티캐스트 사용자들의 수신 성능을 보장해주기 위해서 채널이 가장 좋지 않은 사용자에게 맞춰서 전송속도가 결정된다. 그렇지만 이러한 방식은 전송속도가 너무 낮아서 채널 상태가 좋은 사용자들의 경우, 패킷 수신 시간이 필요이상으로 증가하여 에너지 소모가 커지게 된다는 한계가 있다.

비디오 멀티캐스트 서비스를 위해서는 고려해야 할 중요한 요소들이 여러 가지가 있다. 첫째가 비디오 품질이고, 둘째가 에너지 소모량이다. 멀티캐스트

서비스 사용자들은 모두 서로 다른 채널 환경에 처하고 있기 때문에 서비스 받는 스트리밍 비디오의 품질이 사용자마다 다르게 나타날 수 있다. 또한, 모바일 단말의 에너지 용량은 한정적인데 멀티캐스트 패킷 수신 시간에 따라서 소모되는 에너지의 양이 다를 수 있다. 멀티캐스트 서비스를 받는 사용자들 간에 비디오 품질과 에너지 소모의 선호도가 서로 다르기 때문에 사용자들 모두를 만족시키기 어려운, 사용자 비동질성(user heterogeneity) 문제가 존재한다.

본 논문에서는 무선 랜에서 FMS (flexible multicast service)를 사용하여 스케일러블 비디오(scalable video)를 멀티캐스트 하는 기법을 제안한다. 스케일러블 비디오는 서비스 형태에 따라 포맷을 변화시켜 콘텐츠를 가변적으로 사용할 수 있는 비디오 서비스이며, FMS는 송신측에서 전송 할 멀티캐스트 스트림이 여러 개일 때 멀티캐스트 스트림을 각각 분리하여 전송하는 서비스이다. 제안기법은 스케일러블 비디오의 기본계층(base layer, BL)과 향상계층(enhancement layer, EL)을 각기 다른 스트림으로 분리하고 다른 전송속도와 패킷 수를 적용하여 전송한다. 이 때 BL 패킷은 비디오의 재생에 필수적이기 때문에 모든 사용자들이 수신하며 EL 패킷은 사용자가 자신의 효용(utility)에 맞춰 선택적으로 수신한다. 즉, 모든 사용자들은 비디오 품질과 에너지 소모의 상반적인 관계를 고려하여 최적의 선택을 하게 된다. 이 때 비디오의 품질, 에너지 소모량, 사용자의 선호도가 반영 되도록 유틸리티를 정의하여 이를 최적화한다. 본 논문에서는 송신자는 모든 사용자들의 유틸리티의 합을 최대로 하는 최적의 전송속도와 패킷 수를 구하며 이를 적용하여 전송하

는 비디오 멀티캐스트 기법을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 제안기법에서 사용하고 있는 개념인 스케일러블 비디오, FMS, 네트워크 부호화(network coding)에 대해서 설명하고, 3장에서는 본 논문에서 고려하고 있는 시스템 모델에 대해서 설명한다. 4장에서는 제안기법인 유틸리티 기반의 스케일러블 멀티캐스트 기법에 대해서 설명하고, 5장에서는 시뮬레이션을 통하여 제안기법의 성능 개선을 확인한 후, 마지막으로 6장에서 결론을 내린다.

제 2 장 배경지식

2.1 스케일러블 비디오 코딩(SVC)

스케일러블 비디오 코딩(scalable video coding, SVC)은 비디오 스트림을 인코딩할 때 기본계층(BL)과 향상계층(EL)으로 나누어서 인코딩하는 비디오 코딩을 말한다. 이 때 BL 패킷은 비디오의 기본적인 품질을 보장하기 위한 패킷들로써 BL 패킷만을 수신했을 경우에도 비디오를 재생할 수 있다. 또한, EL 패킷은 비디오의 품질을 향상시키기 위한 패킷들로써, BL과 EL사이에는 상호 의존 관계가 있다. 즉, BL 패킷의 수신에 성공하지 못한 채로 EL 패킷을 수신한다고 하여도 비디오를 재생시킬 수 없기 때문에 비디오의 품질 향상에 아무런 기여를 하지 못한다.

그림 1에서는 EL이 1개인 스케일러블 비디오 멀티캐스트를 하고 있다. 이 때 사용자 A와 사용자 B 모두 BL을 수신한다고 가정했기 때문에 비디오를 재생할 수 있다. 그런데 사용자 A의 경우에는 EL 또한 수신했기 때문에 더 좋은 해상도의 비디오를 재생하고 있는 것을 확인 할 수 있다. 이처럼 스케일러블 비디오 멀티캐스트에서는 사용자들은 각각 자신의 채널 환경에 부합하는 품질의 비디오를 재생 할 수 있다.

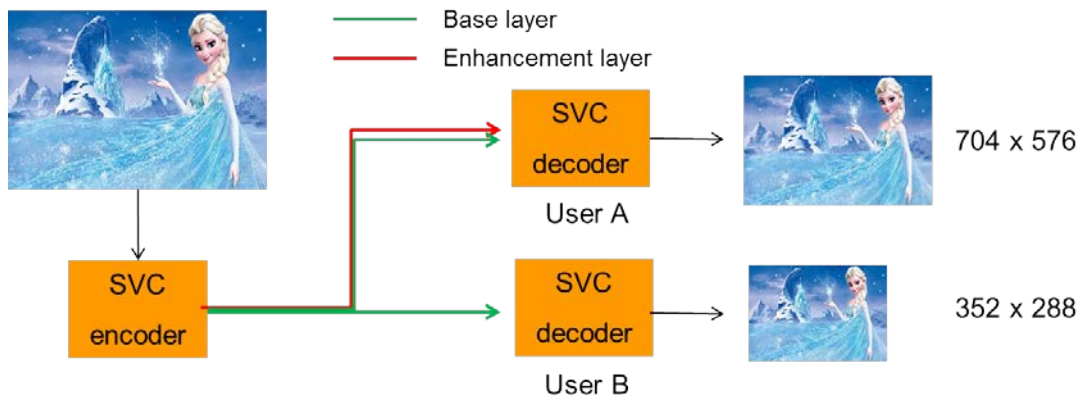


그림 1. 스케일러블 비디오 멀티캐스트

스케일러블 비디오의 품질 향상은 세가지 관점에서 이루어진다. 첫 번째는 공간적인 확장 (spatial scalability)이다. 즉, 하나의 비디오 프레임을 구성하는 픽셀의 수가 많아져서 더 좋은 해상도의 비디오를 스트리밍 할 수 있다. 두 번째는 시간적인 확장 (temporal scalability)이다. 즉, 단위 시간당 전송하는 비디오 프레임의 수를 높여 움직임이 보다 정확한 비디오를 스트리밍 할 수 있다. 마지막은 질적인 확장(quality scalability)이다. 즉, 인코딩할 때 비디오를 압축하는 과정에서 양자화 (quantization) 과정이 일어나는데 이 때 더 작은 QP (quantization parameter)을 사용하여 양자화 함으로써 보다 원본에 유사한 비디오를 스트리밍 할 수 있다.

2.2 FMS

FMS (flexible multicast service)는 IEEE 802.11v에 정의되어있는

개념으로 기본적인 목적은 에너지를 절약하는 것이다. FMS를 사용하면 송신측에서 전송해야 하는 멀티캐스트 스트림이 여러 개일 때 이 스트림들을 분리하여 전송할 수 있다.

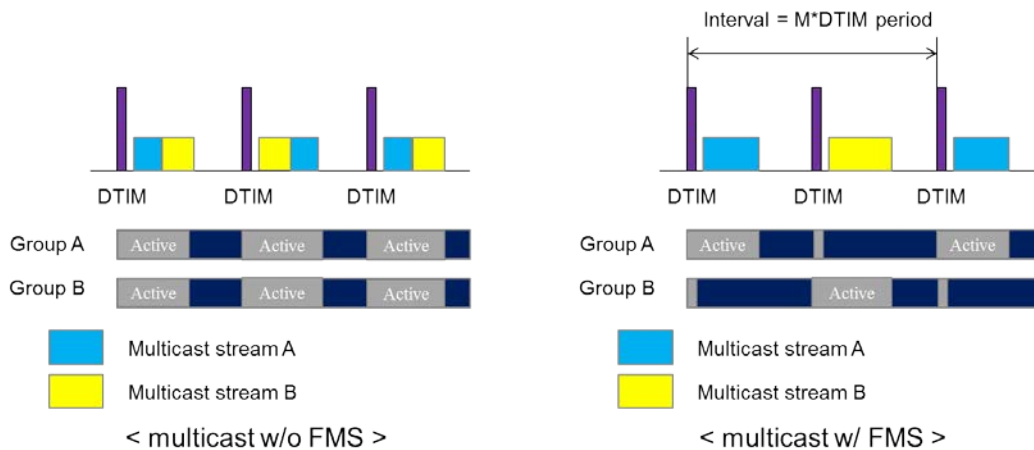


그림 2. FMS 유무에 따른 멀티캐스트

이 때, 분리된 스트림들은 고유의 전송 주기와 시간을 갖고 있으며 이러한 정보는 DTIM (delivery traffic indication message)을 통해서 사용자들에게 알려진다. 그림 2에는 FMS의 사용 유무에 따른 멀티캐스트의 동작을 나타낸 것이다. 그룹 A는 멀티캐스트 스트림 A를 수신하려는 사용자들의 집합이며, 그룹 B는 멀티캐스트 스트림 B를 수신하려는 사용자들의 집합이다. FMS를 사용하지 않을 경우 멀티캐스트 스트림이 섞여서 전송이 되기 때문에 그룹 A와 그룹 B 모두 모든 전송에 대해서 Active 상태로 존재하게 된다. 그렇지만 FMS를 사용할 경우에는 DTIM에 어느 스트림이 전송될 지에 대한

정보가 있으므로 자신이 원하는 스트림의 전송 시에만 Active 상태로 존재하여 패킷을 수신하고 나머지 시간에는 Sleep 상태로 존재하여 에너지를 절약 할 수 있다.

2.3 네트워크 부호화(NC)

네트워크 부호화(network coding, NC)는 K개의 패킷을 하나의 블록으로 설정하여 코딩계수를 이용하여 부호화하는 기술을 말한다. 즉, 하나의 부호화된 패킷에는 K개의 원본 패킷에 대한 정보를 포함하고 있다. 그렇지만 이 부호화된 패킷을 복호화하기 위해서는 코딩계수가 서로 독립인 K개의 부호화된 패킷이 필요하다.

그림 3에서 볼 수 있는 것처럼 멀티캐스트에서는 각 사용자에게 동일하지 않은 에러가 발생할 수 있다. 즉 사용자 1은 첫 번째 패킷에 대해서 사용자 2는 두 번째 패킷에 대해서 에러가 발생했다고 가정하면 두 사용자는 모두 패킷을 온전히 받지 못한 것이다. 그렇지만 NC를 사용하여 1개의 여분의 패킷을 더하여 전송을 하면 두 사용자 모두 원본 패킷을 온전히 복호화 할 수 있다. 즉 NC은 신뢰성을 높이는데 효율적인 방법이라고 할 수 있다.

NC에는 조직적인(systematic) NC와 비조직적인(non-systematic) NC 두 가지로 나눌 수 있다. K개의 원본패킷을 부호화하여 N개의 패킷을 전송한다고 가정한다면 조직적인 NC는 K개의 원본 패킷과 N-K개의 부호화된 패킷을 전송하는 방법이고 비조직적인 NC는 원본 패킷 없이 N개의

부호화된 패킷을 전송하는 방법이다. 두 가지 방법의 차이점은 에러가 많이 발생하여 복호화에 실패했을 때 나타나는데, 그림 4에서 볼 수 있듯이 조직적인 NC의 경우에는 원본 패킷의 일부를 얻을 수 있는데 반하여 비조직적인 NC의 경우에는 원본 패킷을 하나도 얻을 수 없다.

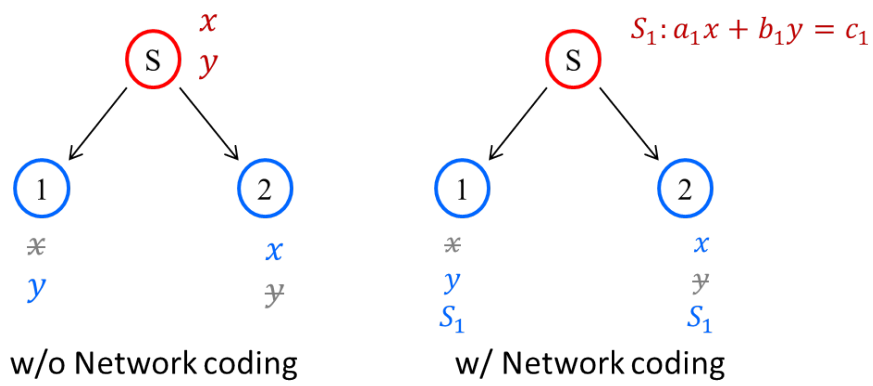


그림 3. NC 유무에 따른 패킷 수신

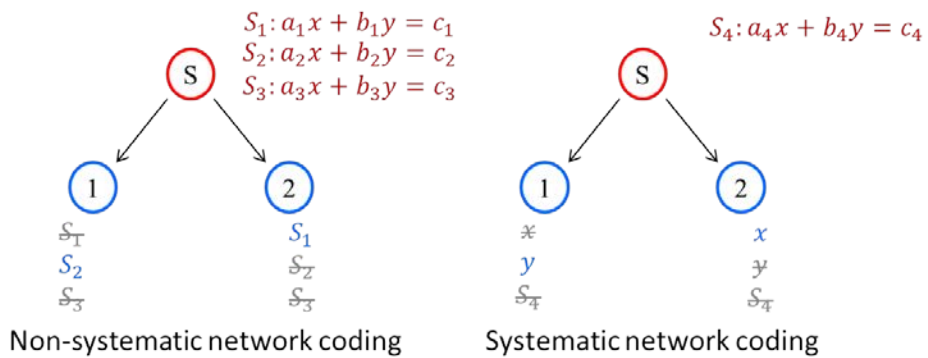


그림 4. 비조직적인 NC와 조직적인 NC의 차이점

제 3 장 시스템 모델

본 논문에서는 사용자 비동질성 문제를 해소하기 위해서 스케일러블 비디오 멀티캐스트를 FMS와 접목시킨 기법에 대해서 제안한다. 제안한 기법에서는 스케일러블 비디오의 BL과 EL을 별개의 스트림으로 분리하여 전송한다. 두 스트림의 전송주기는 모두 $M \cdot DTIM$ (M 은 임의의 자연수)으로 같으며 전송은 DTIM에 따라 번갈아가며 이루어진다. 이 때, BL과 EL 모두 조직적인 NC를 사용하여 부호화 한 후 전송한다.

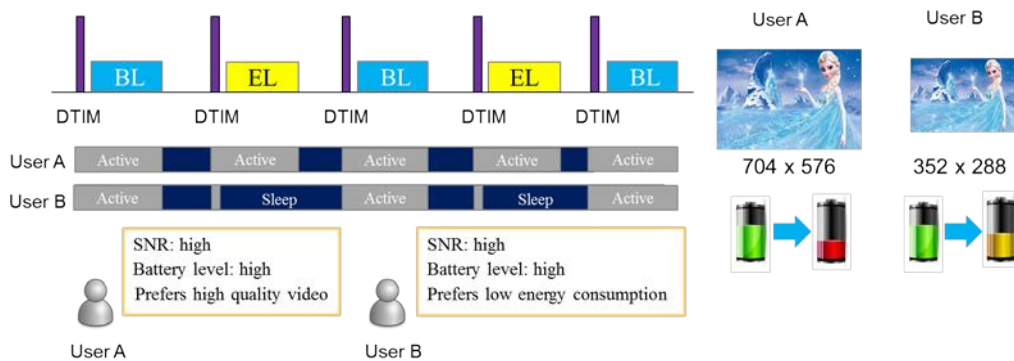


그림 5. 제안기법에서 사용자의 동작

BL는 비디오의 기본적인 재생을 위해 필수적인 요소이므로 모든 사용자가 수신한다고 가정을 하며, EL의 경우에는 사용자 스스로가 자신의 상황에 따라 패킷을 수신할 것인지 아닌지를 결정한다. 그림 5에서 볼 수 있듯이 비디오 멀티캐스트에서는 사용자 A와 사용자 B처럼 채널환경과 보유하고 있는

에너지의 용량이 비슷하더라도 서로 원하는 것이 다를 수 있다. 즉, 사용자 A는 좋은 품질의 비디오를 선호하고, 사용자 B는 에너지 소모가 적은 것을 선호한다. 이러한 경우 사용자 A는 좋은 품질의 비디오를 선호하기 때문에 에너지 소모가 크더라도 EL 패킷을 수신할 것이며, 사용자 B는 에너지 소모가 적은 것을 선호하기 때문에 기본적인 품질의 비디오만을 수신하며 EL을 수신하지 않을 것이다. 제안한 기법에서 사용자는 자신이 좀 더 선호하는 상황을 선택할 수 있으므로 사용자 비동질성을 해소할 수 있다.

3.1 시스템 모델

제안기법에서의 시스템 모델은 그림 6과 같다. 여기서 L 은 패킷의 길이, T 는 DTIM 주기이며 FMS에서 한 스트림의 전송이 반복되는 주기는 $M \cdot T$ 이다. 또한 n_b 와 n_e 는 전송하는 BL과 EL의 패킷 수이며, k_b 와 k_e 는 BL과 EL의 원본 패킷의 수이다. R_b , R_e 는 각각 BL과 EL의 비디오 rate, m_b 와 m_e 는 BL과 EL 전송에 사용되는 mcs (modulation and coding scheme) level이며, $r(m)$ 은 mcs level이 m 일 때의 PHY rate이다.

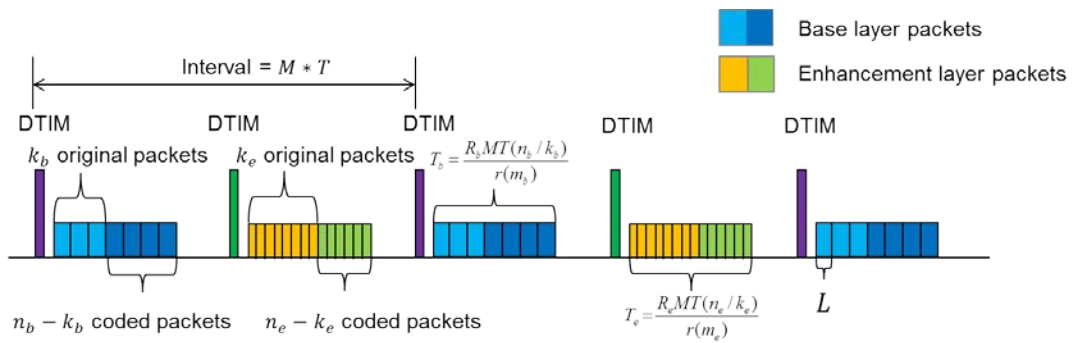


그림 6. 시스템 모델

어떠한 스트림이 전송될지에 대한 정보는 DTIM을 통해서 전달되고 있다. BL과 EL 모두 조직적인 NC를 사용했으므로 각각 k_b , k_e 개의 원본 패킷 뒤에 $n_b - k_b$, $n_e - k_e$ 개의 부호화된 패킷이 뒤이어 전송이 된다. T_b , T_e 는 한 주기 내에서 BL과 EL 패킷을 수신하는데 걸리는 시간이다.

3.2 유틸리티 함수

3.2.1 비디오 품질 모델링

PSNR (peak signal-to-noise ratio)은 비디오의 품질을 평가하는 하나의 지표로써 잘 알려져 있다. PSNR은 두 영상이 어느 정도의 차이를 보이는지를 나타내는 척도로써 PSNR이 클수록 두 영상이 유사하고 PSNR이 작을수록 두 영상이 많은 차이를 보인다고 할 수 있다. 즉, 비디오 멀티캐스트 측면에서 보면 송신자가 전송한 영상과 사용자가 수신한 영상이 얼마나 유사한가를 보여주는 지표라고 생각할 수 있다.

BL 패킷을 에러 없이 받았다고 가정했을 때 PSNR은 EL의 bit-rate에 대해 선형인 함수로 나타난다. [1]

$$Q(B_{EL})=Q_0+\theta B_{EL}(p(m_e),n_e,k_e,\beta) \quad (1)$$

이 때, B_{EL} 은 EL의 bit-rate, Q_0 는 BL 패킷을 모두 수신했을 때의 PSNR이며 θ 는 R-D 상수, $p(m)$ 는 mcs level이 m 일 때의 패킷 수신 확률, β 는 EL의 전송 때 Active 상태로 존재하여 패킷을 수신할 것인지 Sleep 상태로 존재하여 패킷을 수신하지 않을 것인지를 나타내는 지표이다. 그런데 EL 패킷 사이에는 의존성이 존재하여 한 블록에서 앞의 패킷을 수신하지 못하면 뒤의 패킷을 수신해도 비디오의 품질 향상에 기여하지 못한다. 그러므로 B_{EL} 을 계산하는 데에서는 몇 개의 연속적인 EL 패킷을 수신했는지가 반영 되어야 한다.

EL의 패킷 수신 확률을 p 라 하고 (N,K) 코드를 사용했을 때, K 개 이상의 패킷을 수신하여 복호화에 성공할 확률 p_{ds} 는 식 (2)와 같다.

$$p_{ds} = \sum_{i=0}^{N-K} \binom{N}{i} p^{N-i} (1-p)^i \quad (2)$$

또한 K 개 이상의 패킷을 수신하지 못하여 복호화에 실패했을 경우 추출할 수 있는 원본 패킷의 개수 k_{avf} 는 식 (3)과 같다.

$$k_{avf} = \sum_{i=0}^{K-1} i * \{ p^i (1-p) * \sum_{j=0}^{k-i-1} \binom{n-(i+1)}{j} p^j (1-p)^{n-(i+1)-j} \} \quad (3)$$

식 (2)와 식 (3)을 결합하여 EL의 패킷 수신 확률 p 가 주어졌을 때 얻을 수 있는 원본 패킷의 수 k_{ex} 를 구하면 식 (4)와 같다.

$$k_{ex} = K p_{ds} + k_{avf} \quad (4)$$

따라서, F 가 프레임 rate이고 L 이 패킷의 길이일 때 $B_{EL} = k_{ex} FL_{EL}$ 을 구할 수 있다. 또한 B_{EL} 은 p 에 대한 단조 증가함수임을 확인 할 수 있었다.

위의 과정을 통해 PSNR을 모델링 하였지만, PSNR 자체를 비디오 품질에 대한 지표로 모델링 하기보다는 이를 threshold 기준으로 하는 MOS (mean opinion score)로 전환하여 모델링 하였다. PSNR과 MOS 사이의 관계는 표 1에 나타나있다. [2]

표 1. PSNR to MOS 전환표

PSNR [dB]	MOS
> 37	5 (Excellent)
31 - 37	4 (Good)
25 - 31	3 (Fair)
20 - 25	2 (Poor)
< 20	1 (Bad)

MOS를 바탕으로 형성한 비디오 품질에 대한 모델은 식 (5)와 같다.

$$MOS(B_{EL}(p(m_e), n_e, k_e, \beta)) = MOS_0 + \mathbf{1}_{B_{EL}(p(m_e), n_e, k_e, \beta) \geq B_{EL_thr1}} + \mathbf{1}_{B_{EL}(p(m_e), n_e, k_e, \beta) \geq B_{EL_thr2}} \quad (5)$$

이 때 MOS_0 는 BL 패킷을 모두 수신했을 때의 MOS 값이다. 기본적으로 BL 패킷을 모두 수신했을 때의 MOS 값을 3으로, B_{EL} 이 $Q(B_{EL_thr1})=31dB$ 을 만족하는 B_{EL_thr1} 보다 크면 MOS 값을 4로 B_{EL} 이 $Q(B_{EL_thr2})=37dB$ 을

만족하는 B_{EL_thr2} 보다 크면 MOS 값을 5가 되도록 모델링 하였다.

3.2.2 에너지 소모 모델링

에너지 소모에 대한 모델은 기본적으로 Active 상태에서 소모하는 에너지와 Sleep 상태에서 소모하는 에너지를 고려하여 형성하였으며 식 (6)과 같다.

$$E_{tot}(r(m_e), n_e, k_e, \beta) = \frac{T_{tot}}{MT} [T_b P_{rx} + (MT - T_b - \beta T_e) P_{slp} + \beta T_e P_{rx}] \quad (6)$$

이 때, T_{tot} 는 총 비디오의 재생 시간이고, P_{rx} 는 Active 상태에서 패킷을 수신하는데 소모하는 에너지, P_{slp} 은 Sleep 상태에서 소모하는 에너지이다. 그림 6을 참고하여 한 주기 내에서 비디오의 에너지 소모를 보면 모든 사용자는 T_b 의 시간만큼 BL 패킷을 수신한다. 또한 $MT - T_b - \beta T_e$ 의 시간만큼은 Sleep 상태로 존재하며 β 가 1이라면 T_e 의 시간만큼은 EL 패킷을 수신한다. 그러므로 한 주기 내에서 $T_b P_{rx} + (MT - T_b - \beta T_e) P_{slp} + \beta T_e P_{rx}$ 의 에너지를 소모하고 이 같은 주기가 $\frac{T_{tot}}{MT}$ 번 반복되므로 이를 고려하여 에너지 소모 모델을 형성하였다.

3.2.3 유틸리티 함수 모델링

유틸리티 함수는 사용자의 효용을 나타내는 지표로서 기본적으로 비디오 품질과 에너지 소모를 모두 고려해야 한다. 그렇지만 모든 사용자가 비디오 품질과 에너지 소모를 동등하게 생각하는 것은 아니다. 어떠한 사용자는 에너지 소모가 많더라도 고화질로 비디오를 재생하는 것을 선호하는 반면에 다른 사용자는 기본적인 화질의 비디오를 재생하더라도 적은 에너지 소모를 중요시 할 수 있다. 이러한 사용자들의 선호도를 반영하기 위해서 무게 계수(weight factor) (ω_1, ω_2)를 도입하여 유틸리티 함수를 형성하였다. [3]

$$Utility = \omega_1 * MOS_n(B_{EL}(p(m_e), n_e, k_e, \beta)) - \omega_2 * E_{tot_n}(r(m_e), n_e, k_e, \beta, E_r) \quad (7)$$

유틸리티 함수를 보면 비디오 품질 모델의 값에서 에너지 소모 모델의 값을 빼준 형태를 취하고 있다. 그렇지만 비디오 품질과 에너지를 유틸리티에 어느 정도 동등하게 반영하기 위해서 정규화(normalization)를 하였다. 에너지 품질의 경우에는 MOS 모델을 사용했기 때문에 MOS 모델에서 가질 수 있는 최대값인 MOS_{max} 로 정규화 해주었고, 에너지 소모의 경우에는 보유하고 있는 에너지 E_r 이상의 에너지를 소모할 수 없기 때문에 E_r 으로 정규화 해 주었다. 정규화를 반영한 비디오 품질 모델과 에너지 소모 모델은 다음과 같다.

$$MOS_n(B_{EL}(p(m_e), n_e, k_e, \beta)) = \frac{MOS(B_{EL}(p(m_e), n_e, k_e, \beta))}{MOS_{\max}} \quad (8)$$

$$E_{tot_n}(r(m_e), n_e, k_e, \beta, E_r) = \frac{E_{tot}(r(m_e), n_e, k_e, \beta)}{E_r} \quad (9)$$

제 4 장 제안 기법

본 장에서는 새로운 스케일러블 비디오 멀티캐스트 기법을 제안한다. 먼저 BL 패킷 전송과 EL 패킷 전송에 관련된 문제를 각각 검토한 후에 제안 기법을 제시한다.

4.1 BL 패킷 전송

앞에서도 언급했듯이 BL은 비디오의 기본적인 품질을 보장하기 위한 패킷이다. 그러므로 모든 사용자들은 BL의 패킷을 수신한다. 그렇지만 만약 송신 측에서 가능한 가장 보수적인 전송의 경우에도 BL 패킷을 복호화 할 확률이 일정 기준 이하이면 사용자를 전송에서 제외한다. 이 제외 절차는 다음과 같이 정리할 수 있다.

```
Initialize  $m_b = 0, n_b = n_{\max}(m_b), k_b = \text{GOP size}$   
for node  $i$   
  if  $\text{Pr}_{dec}(n_b, k_b, p^{(i)}(m_b)) < \text{Pr}_{thr}$  then  
     $N = N \setminus \{i\}$ 
```

단, $\Pr_{dec}(n, k, p) = \sum_{i=k}^n \binom{n}{i} p^i (1-p)^{n-i}$ 이다.

위의 절차를 이용하여 사용자를 제외한 후, 나머지 사용자에 대해서는 에너지 소모를 최소화하는 BL의 패킷 수와 PHY rate을 구한다. 이때 BL 패킷의 복호화 확률을 일정 기준 이하가 되지 않도록 해야 하는 조건과 패킷을 전송하는데 필요한 시간에 대한 조건이 제한 조건으로 주어진다. BL의 패킷 수와 PHY rate을 결정하는 최적화 문제는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} & \underset{n_b, m_b}{\text{minimize}} \quad \frac{n_b}{r(m_b)} \\ & \text{subject to} \quad \Pr_{dec}(n_b, k_b, p^{(j)}(m_b)) \geq \Pr_{thr}, \quad \forall j \in \mathcal{N} \\ & \quad \quad \quad T_b \leq T_{thr_b} \end{aligned}$$

4.2 EL 패킷 전송

4.2.1 사용자 문제

사용자들은 EL 패킷 전송시 주어진 m_e, n_e, k_e 에 대하여 자신의 유틸리티를 최대화하려고 동작한다. 즉, EL 패킷 전송시에 Active 상태로 존재하는 것이 좋을지 Sleep 상태로 존재하는 것이 좋을지를 판단하여 유틸리티를 최대화한다. 사용자 j 가 자신의 유틸리티를 최대화하는 최적화 문제는 아래와 같다.

$$\begin{aligned} & \underset{\beta^{(j)}}{\text{maximize}} \quad \text{utility}^{(j)} = \\ & \quad \omega_1^{(j)} \text{MOS}_n(B_{EL}(p^{(j)}(m_e), n_e, k_e, \beta^{(j)})) - \omega_2^{(j)} E_{tot_n}^{(j)}(r(m_e), n_e, k_e, \beta^{(j)}, E_r^{(j)}) \quad (10) \\ & \text{subject to} \quad E_{tot}^{(j)}(r(m_e), n_e, k_e, \beta^{(j)}) \leq E_r^{(j)} \quad (11) \end{aligned}$$

이 때, 식 (11)은 비디오 재생을 위한 에너지 소모가 보유하고 있는 에너지의 용량을 초과하지 않아야 한다는 제한 조건이다. 이 최적화 문제에서 사용자가 조절할 수 있는 변수는 β 이다. 유틸리티를 최대화하기 위해서는 EL 패킷을 받기 위해 Active 상태로 존재할 때의 품질 향상 기여분과 증가된 에너지 소모량을 비교하여야 한다. 즉, 비디오 품질의 향상의 기여가 더 클 경우에는 Active 상태로 에너지 소모가 더 클 경우에는 Sleep 상태로 존재하는 것이 유틸리티 면에서 유리하다. 유틸리티 함수를 수식적으로 나타내면 아래와 같다.

$$\text{utility} = a\beta + b$$

$$\begin{aligned} a &= \frac{w_1 (\mathbf{1}_{B_{EL}(p_e(m), n_e, k_e, \beta) \geq B_{EL_thr1}} + \mathbf{1}_{B_{EL}(p_e(m), n_e, k_e, \beta) \geq B_{EL_thr2}})}{\text{MOS}_{\max}} \\ & \quad - \frac{w_2 T_{tot}}{E_r MT} \left[\left(\frac{R_e MT (n_e / k_e)}{r_e} (P_{receive} - P_{sleep}) \right) + \right] \\ b &= \frac{w_1 \text{MOS}_0}{\text{MOS}_{\max}} - \frac{w_2 T_{tot}}{E_r MT} \left[(P_{receive} \frac{R_b MT (n_b / k_b)}{r_b} + P_{sleep} (MT - \frac{R_b MT (n_b / k_b)}{r_b})) \right] \end{aligned}$$

그러므로 $a > 0$ 인 경우에는 유틸리티를 최대화 하는 최적의 β 는 1이고 $a \leq 0$ 인 경우에는 유틸리티를 최대화 하는 최적의 β 는 0이다.

4.2.2 네트워크 문제

송신측에서는 사용자들의 유틸리티의 합을 최대화 하는 PHY rate과 패킷 수를 결정한다. 사용자들의 유틸리티 계산에 필요한 mcs level에 따른 패킷 수신 확률, 보유하고 있는 에너지의 용량, 무게계수는 전송이 있기 전에 피드백을 받는다. 이를 최적화 문제로 나타내면 아래와 같다.

$$\begin{aligned} \underset{r(m_e), n_e, \beta}{\text{maximize}} \quad & \sum_{j \in \mathcal{N}} \text{utility}^{(j)} = \\ & \sum_{j \in \mathcal{N}} [\omega_1^{(j)} \text{MOS}_n(B_{EL}(p^{(j)}(m_e), n_e, k_e, \beta^{(j)})) - \omega_2^{(j)} E_{tot_n}^{(j)}(r(m_e), n_e, k_e, \beta^{(j)}, E_r^{(j)})] \end{aligned} \quad (12)$$

$$\text{subject to } E_{tot}^{(j)}(r(m_e), n_e, k_e, \beta^{(j)}) \leq E_r^{(j)}, \quad \forall j \in \mathcal{N} \quad (13)$$

$$T_{enh} \leq T_{thr} \quad (14)$$

이 때, 모든 사용자에 대한 에너지 조건이 식 (13)에 제시되어있고 EL 패킷의 전송 시간에 대한 조건이 식 (14)에 제시되어있다.

송신측에서 유틸리티를 최대화하기 위해서 조절할 수 있는 변수는 EL의 PHY rate과 패킷의 수이다. PHY rate을 증가시키면 패킷을 수신하는데 필요한 시간이 짧아져서 사용자 측면에서 에너지를 아낄 수 있지만 패킷 수신 확률이 감소하여 비디오의 품질이 나빠질 가능성이 있다. 또한 전송하는 패킷의 수를 늘리게 될 경우에는 패킷을 복호화할 확률이 높아져서 비디오의 품질이 좋아질 가능성이 있지만 사용자 측에서는 수신하는 데 필요한 에너지 소모가 커지게 된다. 즉, 트레이드 오프가 존재하는 두 변수를 조절하여 가장 최적인

값을 네트워크 문제를 통해서 찾는다.

4.3 제안 기법

제안기법을 순서도로 나타내면 그림 7과 같다. 비디오 패킷의 전송이 있기 전에 토폴로지에 대해서 학습한다. 토폴로지 학습 과정에서 송신자는 비디오의 총 재생길이를 사용자들에게 알려주고 사용자는 자신의 선호도를 나타내는 무게계수, 남아있는 배터리의 용량을 피드백 한다. 또 각 mcs level을 사용할 때의 PHY rate을 이용하여 일정 수의 패킷을 전송하고, 수신한 패킷의 수를 측정하여 채널을 측정한다. 토폴로지 학습을 통해서 얻은 정보를 바탕으로 최적의 패킷 전송을 계산한다.

BL의 경우 송신자가 제공할 수 있는 가장 보수적인 전송의 경우에도 BL 패킷을 복호화 할 확률이 일정 수준 이하이면 그 사용자를 전송에서 제외한다. 나머지 사용자에 대해서는 에너지 소모를 가장 적게 하는 최적의 PHY rate과 전송 패킷 수를 최적화 문제를 통해서 구하고 이를 적용하여 BL 패킷을 전송한다. EL의 PHY rate과 전송 패킷 수는 네트워크 문제를 풀으로써 구하고 이를 적용하여 EL 패킷을 전송한다. 한 주기의 전송이 끝나면 사용자들의 남은 에너지 용량을 갱신하고 다시 네트워크 문제를 풀며 이를 바탕으로 패킷을 전송한다. 이 때 채널 정보의 갱신을 위하여 s 라는 변수를 도입하였으며 주어진 비디오의 패킷을 모두 전송하였으면 알고리즘이 끝난다.

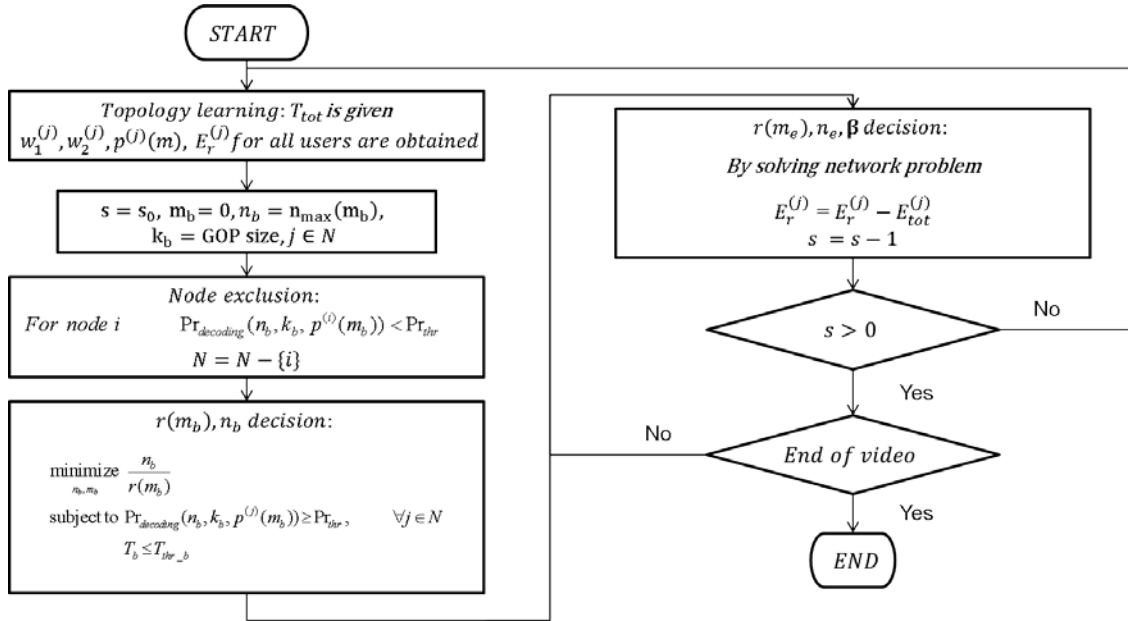


그림 7. 제안 기법 순서도

제 5 장 시뮬레이션 결과

본 장에서는 시뮬레이션을 통해 제안기법의 성능을 검증한다. 시뮬레이션은 MATLAB을 이용해 수행하였다. 성능 분석 지표는 논문에서 제안한 유틸리티이며 사용자의 만족도를 나타내는 지표로써 사용하였다. 모든 시뮬레이션 결과는 사용자 분포를 달리하여 100회 실시한 결과의 평균값이다. 비교 기법으로는 기존의 IEEE 802.11 멀티캐스트 기법을 NC의 유무에 따라 두 가지 기법으로 나누어 제시하였다. 제안기법의 경우에는 네트워크 파라미터는 조절하지 못하고 사용자측에서 β 만 조절하는 User 기법과 제안한 모든 알고리즘을 구현한 User + Network 기법으로 나누어 제시하였다.

시뮬레이션에서 고려하는 환경과 파라미터는 다음과 같다.

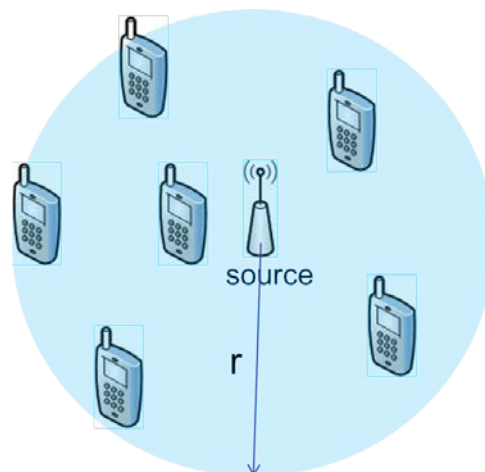


그림 8. 시뮬레이션 토폴로지

커버리지가 r 인 원형 토폴로지 중앙에 송신자가 존재하고 있고 총 10명의 사용자가 커버리지 r 내에서 임의로 분포하고 있는 환경을 고려하였다. 각 사용자들이 보유하고 있는 용량은 500 ~ 5000 Joule 사이에서 임의의 값을 갖도록 하였다. 각 사용자들의 특성이 반영된 무게 계수는 $\omega_1 + \omega_2 = 1 (\omega_1, \omega_2 \geq 0)$ 의 조건하에서 임의의 값을 갖도록 하였다. 전송에 사용되는 PHY rate은 IEEE 802.11n에 정의된 PHY rate을 사용하였으며, 시뮬레이션에 사용한 채널은 yans 채널 모델을 사용하였다. [4] 또한 $P_{rx} = 0.9W$, $P_{slp} = 0.05W$ 로 설정하여 사용하였으며 비디오의 재생 시간은 10분으로 설정하였다. [5]

5.1 사용자 문제

그림 9는 $\omega_1=0.9, \omega_2=0.1$ 인 사용자의 E_r 이 500 J인 경우와 4000 J인 경우에 사용자 문제를 푼 결과이다. 이 때 x 축은 EL 패킷의 수신 확률이고 y 축은 사용자의 유틸리티 함수의 값이다. 사용자 문제를 풀고 그 결과에 따라서 동작하는 경우를 optimal로 나타내었으며 β 가 0인 경우, β 가 1인 경우와 함께 유틸리티 함수 값의 변화를 나타내었다. 사용자의 무게 계수를 보면 사용자는 비디오 품질을 중시하는 사용자인 것을 확인 할 수 있다. 그래프에서 비디오 품질의 변화가 없을 때 β 가 0인 경우와 β 가 1인 경우의 유틸리티 값의 변화가 많이 나지 않았으며 에너지 용량이 클수록 차이가 더 적은 것을 확인 할 수 있었다. E_r 이 500 J인 경우와 4000 J인 경우 모두 더 좋은 품질의 비디오를 재생할 수 있다면 Active 상태로 존재하여 패킷을 수신하는 것이 더 좋음을 확인 할 수 있었다.

이에 반해서 그림 10은 $\omega_1=0.1, \omega_2=0.9$ 의 사용자가 E_r 이 500 J인 경우와 4000 J인 경우에 사용자 문제를 푼 결과이다. 그림 9와 달리 유틸리티 값이 음수를 나타내고 있는데 유틸리티가 에너지 지배적이기 때문에 나타난 결과이다. 그래프에서 비디오 품질의 변화가 없을 때에도 β 가 0인 경우와 β 가 1인 경우의 유틸리티 값의 변화가 많이 나는 것을 확인 할 수 있었다. E_r 이 500 J인 경우와 4000 J인 경우 모두 패킷을 수신하지 않고 Sleep 상태로 존재하여 에너지를 절약하는 것이 더 좋음을 확인 할 수 있었다.

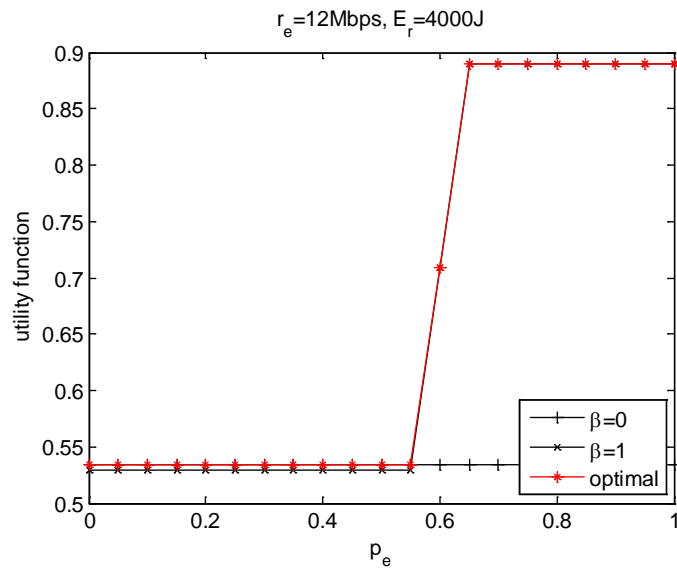
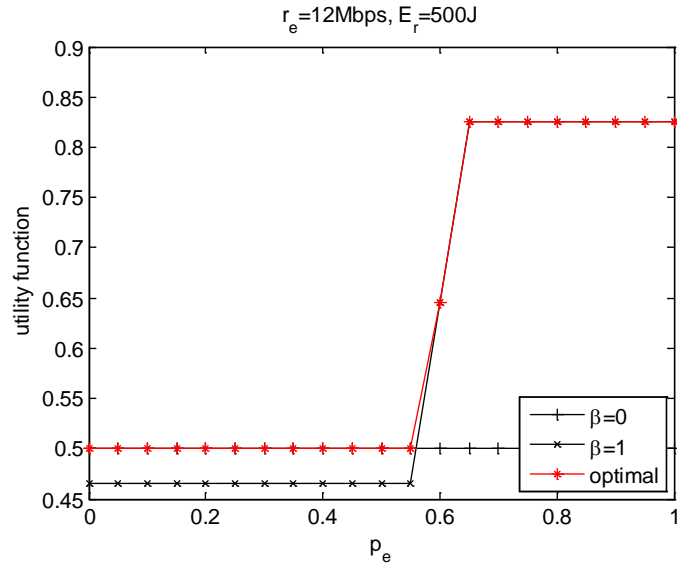


그림 9. $\omega_1=0.9, \omega_2=0.1$ 인 사용자의 사용자 문제 결과

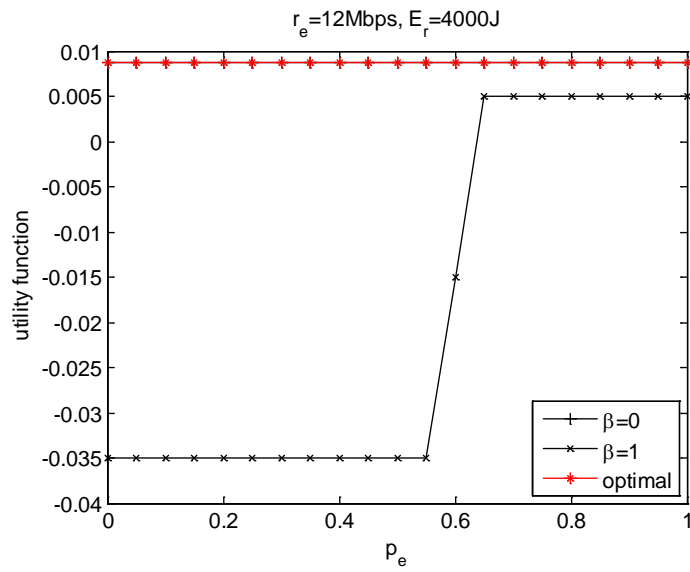
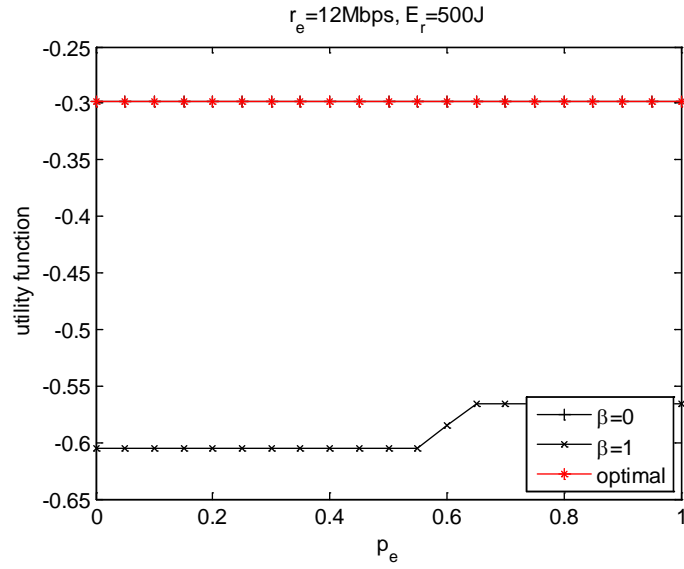


그림 10. $\omega_1=0.1, \omega_2=0.9$ 인 사용자의 사용자 문제 결과

5.2 네트워크 문제

그림 11, 12, 13은 커버리지가 10 ~ 80 m까지 변화할 때의 사용자들의 비디오 품질의 합, 에너지 소모의 합, 유틸리티의 합의 변화를 보여주는 그림이다. 그림에서 볼 수 있듯이 기존의 Legacy 기법이 모든 패킷 수신에 대해서 Active 함으로 비디오 품질 면에서 가장 좋은 것을 확인할 수 있다. 그렇지만 에너지 소모 또한 가장 큰 것을 확인 할 수 있다. 제안한 모델의 경우에는 커버리지가 작을 때에는 높은 PHY rate을 사용함으로 에너지 소모를 적게 하여 유틸리티의 이득이 크게 나타났다. 커버리지가 점점 커지면서 낮은 PHY rate 또는 더 많은 패킷을 전송함에 따라서 에너지 소모가 커지게 되어 유틸리티의 이득이 작아졌다. 그렇지만 커버리지가 매우 클 때는 NC의 효과로 다시 유틸리티 이득이 커지는 것을 확인 할 수 있다. 제안한 기법은 Legacy (w/o NC)에 비해 평균적으로 15.1%, 최대 27.5%의 이득이 있었다.

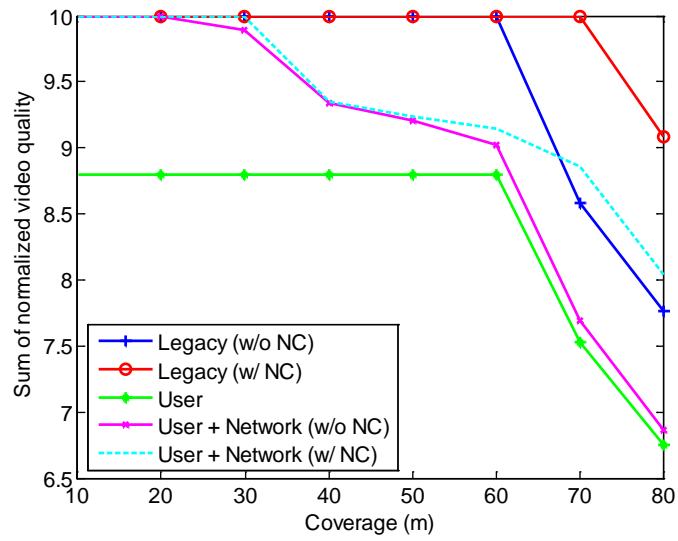


그림 11. 커버리지에 따른 비디오 품질 합의 변화

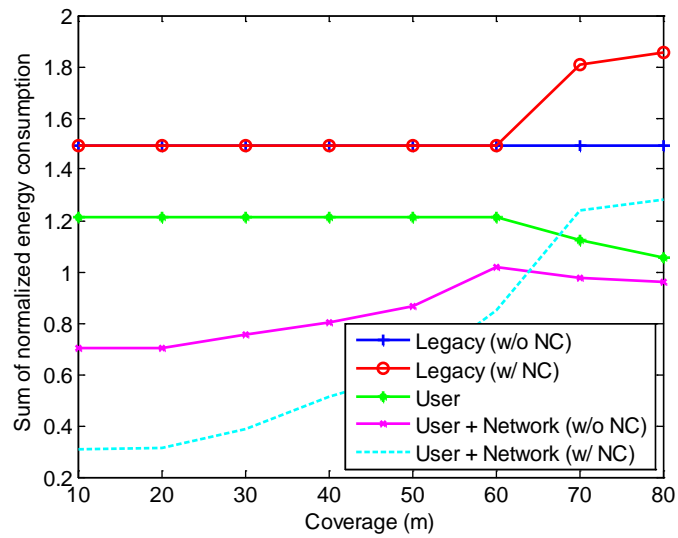


그림 12. 커버리지에 따른 에너지 소모량 합의 변화

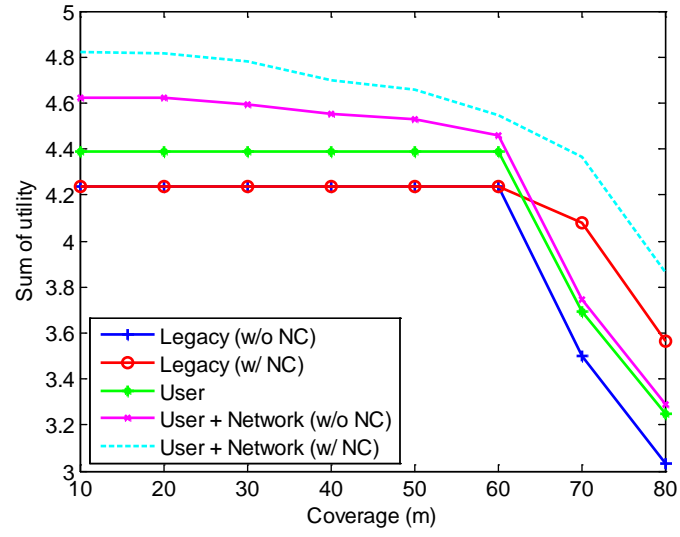


그림 13. 커버리지에 따른 유틸리티 합 변화

그림 14, 15, 16은 E_r 이 500 ~ 5000 Joule까지 변화할 때의 사용자들의 비디오 품질의 합, 에너지 소모의 합, 유틸리티의 합의 변화를 보여주는 그림이다. Legacy 기법의 경우 E_r 에 관계없이 항상 Active 상태로 존재하기 때문에 비디오 품질의 그래프는 직선으로 나타났다. 이에 반해서 제안한 기법들은 E_r 이 작을 때는 유틸리티에서 E_r 의 영향이 크기 때문에 Sleep 하는 사용자들이 많다가 E_r 이 커지면 서서히 Active 하는 사용자들이 생겨 비디오 품질이 향상하는 것을 확인할 수 있다. 에너지 소모량은 Legacy 기법이 모든 경우에서 큰데 E_r 이 작을수록 상대적인 차이가 큰 것을 확인할 수 있었다. 또한 NC를 사용할 경우 추가의 패킷을 전송하므로 에너지소모가 더 큰 것을 확인할 수 있다. 제안한 기법은 Legacy (w/o NC)에 비해 평균적으로 34.1%, 최대 119.0%의 이득이 있었다.

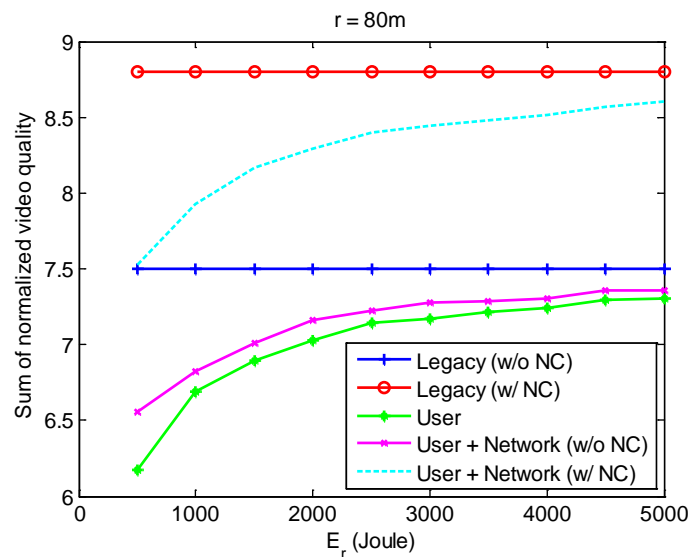


그림 14. E_r 에 따른 비디오 품질 합의 변화

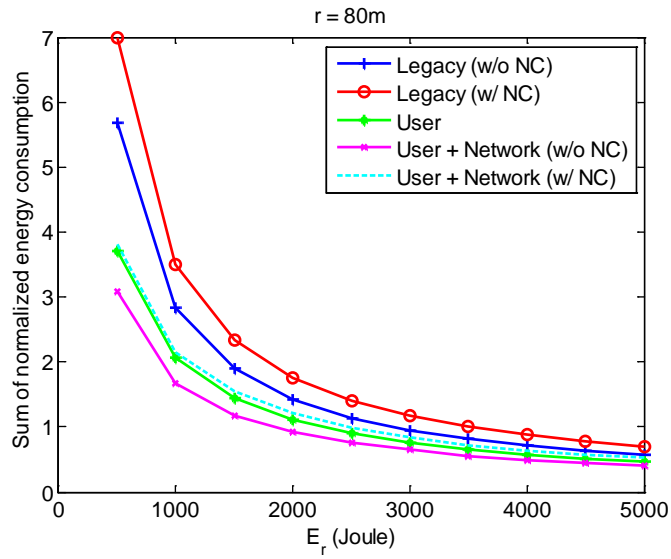


그림 15. E_r 에 따른 에너지 소모량 합의 변화

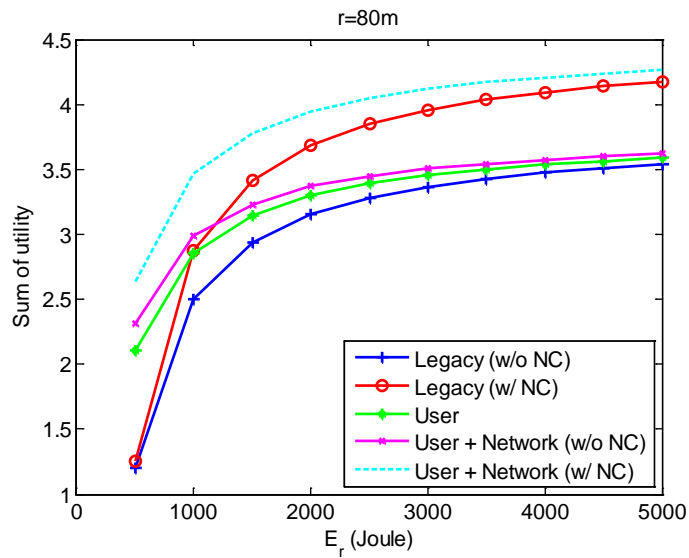


그림 16. E_r 에 따른 유틸리티 합의 변화

그림 17, 18은 모든 사용자의 무게계수가 $\omega_1=0.8, \omega_2=0.2$ 이고 E_r 이 500 J 일 때와 3000 J 일 때 커버리지의 변화에 따른 사용자들의 유틸리티 합의 변화를 보여주는 그래프이다. 두 시뮬레이션 결과를 보면 모든 영역에 대해서 제안기법의 유틸리티가 가장 크게 나타나는 것을 확인 할 수 있다. NC의 유무에 따른 유틸리티의 차이가 나타났으며 에너지 소모의 절약으로 인한 유틸리티의 차이는 크게 나타나지 않은 것을 확인 할 수 있었다. 이는 NC로 인한 패킷 수신 신뢰성을 높인 결과 높은 품질의 비디오를 재생함으로써 발생하는 유틸리티의 이득이다. 또한 에너지 소모의 절약으로 인한 유틸리티의 이득은 500 J 인 경우가 3000 J인 경우보다 더 크게 나타나는 것을 확인 할 수 있었다.

그림 19, 20은 모든 사용자의 무게계수가 $\omega_1=0.2, \omega_2=0.8$ 이고 E_r 이 500 J 일 때와 3000 J 일 때 커버리지의 변화에 따른 사용자들의 유틸리티 합의 변화를 보여주는 그래프이다. 두 시뮬레이션 결과 또한 모든 영역에 대해서 제안기법의 유틸리티가 가장 크게 나타나는 것을 확인 할 수 있다. 이 경우에 제안기법과 나머지 기법에 대한 이득이 매우 크게 나타났다. 이는 PHY rate, 패킷 수를 최적화 함으로써 절약한 에너지의 양이 유틸리티에 크게 반영이 된 결과이다.

종합적으로 보면 커버리지, 보유하고 있는 에너지의 양, 사용자들의 선호도에 상관없이 제안기법의 유틸리티가 가장 크게 나타났다. 그렇지만 보유하고 있는 에너지의 양이 적을수록, 또 에너지를 중시하는 사용자가 많을수록 제안기법으로 인한 유틸리티 이득이 크게 발생하였다.

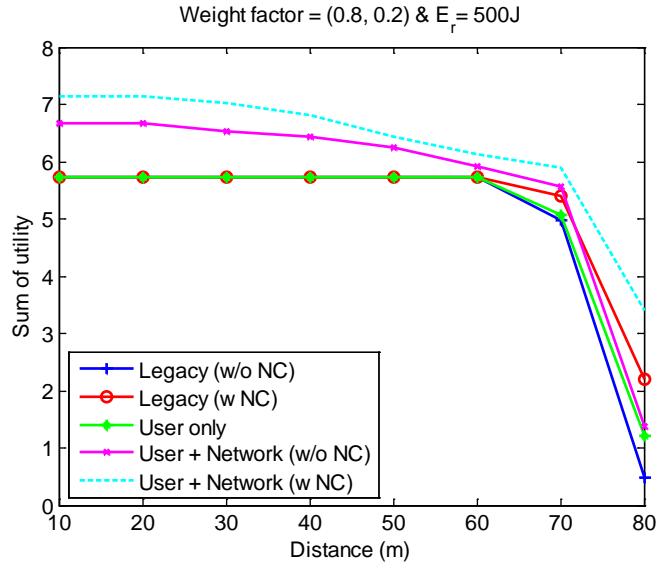


그림 17. 무게계수가 (0.8, 0.2) 이고 $E_r = 500 J$ 일 때
커버리지에 따른 유틸리티 합 변화

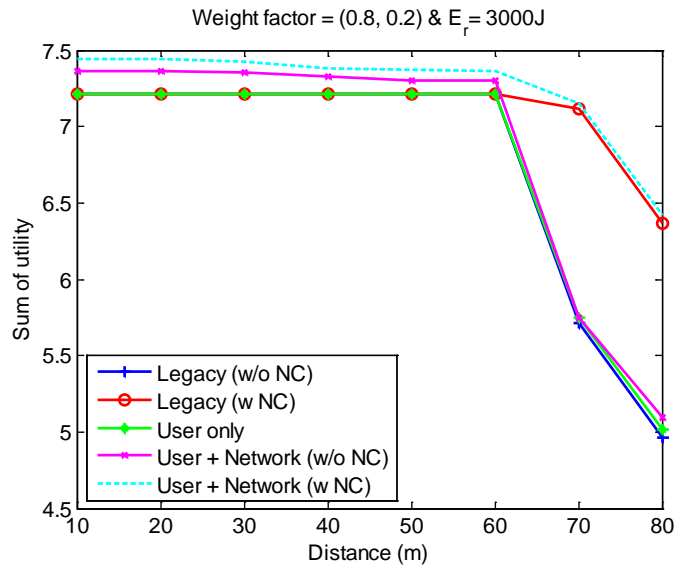


그림 18. 무게계수가 (0.8, 0.2) 이고 $E_r = 3000 J$ 일 때
커버리지에 따른 유틸리티 합 변화

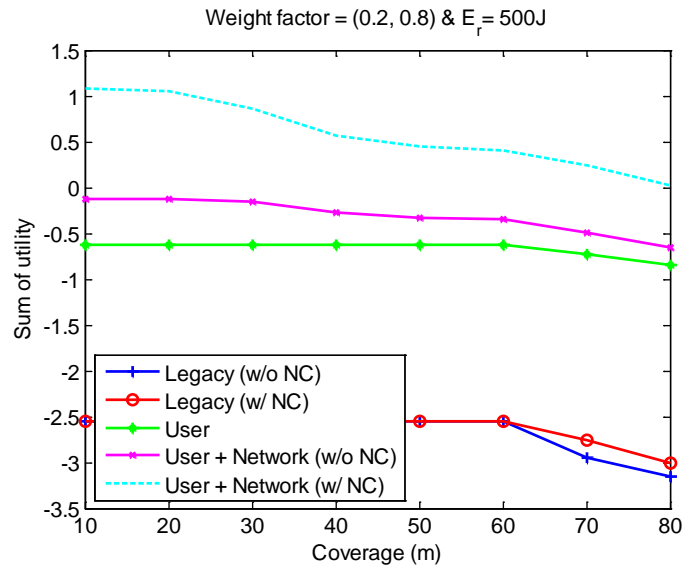


그림 19. 무게계수가 (0.2, 0.8) 이고 $E_r = 500 J$ 일 때
커버리지에 따른 유틸리티 합의 변화

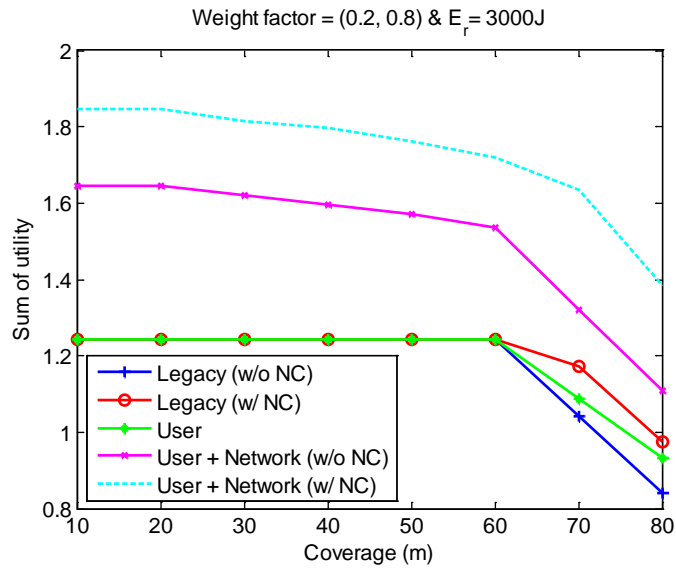


그림 20. 무게계수가 (0.8, 0.2) 이고 $E_r = 3000 J$ 일 때
커버리지에 따른 유틸리티 합의 변화

그림 21은 모든 사용자의 무게계수가 $\omega_1=0.8, \omega_2=0.2$ 이고 커버리지가 80 m 일 때 E_r 의 변화에 따른 사용자들의 유틸리티 합의 변화를 보여주는 그래프이다. 시뮬레이션 결과를 보면 모든 영역에 대해서 제안기법의 유틸리티가 가장 크게 나타나는 것을 확인 할 수 있다. 모든 사용자가 에너지의 소모보다는 비디오 품질에 대해서 선호도를 가지고 있기 때문에 에너지 소모를 조정하는 β , PHY rate, 전송 패킷 수가 유틸리티에 크게 반영되지 못하는 것을 확인 할 수 있었다. 이에 반해서 NC의 적용 유무는 유틸리티에 크게 반영되는 것을 확인 할 수 있다. 이는 NC이 패킷 수신 신뢰성을 부여하여 패킷을 복호화할 확률을 높여준 결과 더 좋은 품질의 비디오를 재생할 수 있기 때문이다.

그림 22은 모든 사용자의 무게계수가 $\omega_1=0.2, \omega_2=0.8$ 이고 커버리지가 80 m 일 때 E_r 의 변화에 따른 사용자들의 유틸리티 합의 변화를 보여주는 그래프이다. 시뮬레이션 결과는 역시 모든 영역에 대해서 제안기법의 유틸리티가 가장 크게 나타나는 것을 확인 할 수 있다. 모든 사용자가 비디오의 품질보다는 에너지 소모에 대해서 선호도를 가지고 있기 때문에 에너지 소모를 조정하는 β , PHY rate, 전송 패킷 수가 유틸리티에 크게 반영이 되는 것을 확인 할 수 있다. 특히, E_r 이 작을수록 제안기법의 유틸리티 이득이 더 크게 나타났는데, 이는 E_r 이 작을 때 상대적인 에너지 소모가 유틸리티에 크게 반영되기 때문이다.

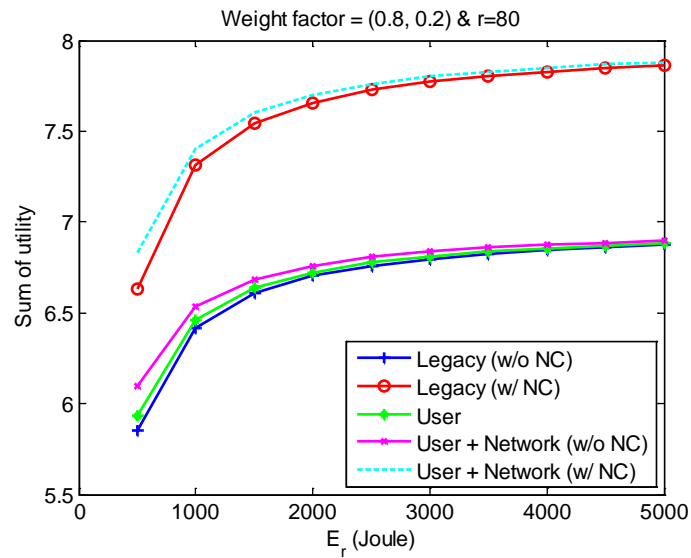


그림 21. 무게계수가 (0.8, 0.2) 이고 $r = 80$ m 일 때 E_r 에 따른 유틸리티 합 변화

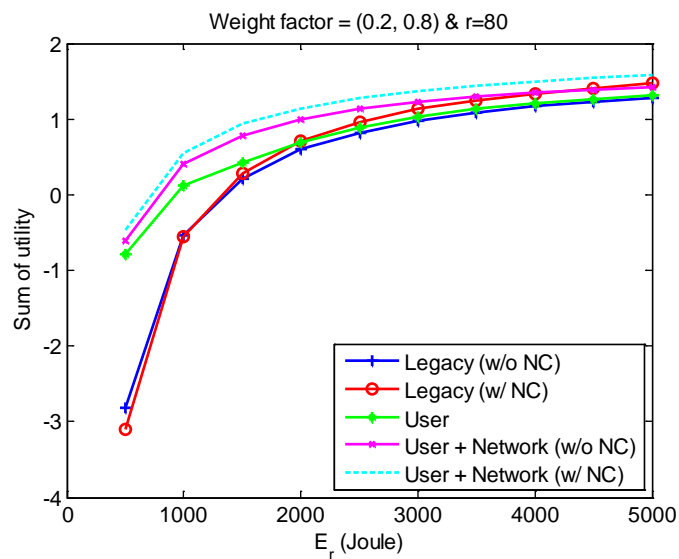


그림 22. 무게계수가 (0.2, 0.8) 이고 $r = 80$ m 일 때 E_r 에 따른 유틸리티 합 변화

그림 23과 24는 모든 사용자의 E_r 이 500 J 일 때와 3000 J 일 때 송신자로부터의 거리의 변화에 따른 유틸리티 합의 변화이다. 즉, 모든 사용자가 송신자와 같은 거리만큼 떨어져있어서 거리에 따른 사용자들의 유틸리티를 확인 하기 좋다. 거리가 60 m 보다 작을 때에는 가장 낮은 PHY rate으로 전송을 했을 경우 패킷을 수신할 수 있는 것으로 나타났다. 이 때, 송신자와의 거리가 작을수록 PHY rate과 수신 패킷 수의 선택에 의한 유틸리티의 이득이 크게 나타났다. 송신자와의 거리가 70m가 되면 NC의 유무에 의해 유틸리티 이득이 나타났다. 즉, 송신자와의 거리가 70m 일 때, NC를 사용하지 않을 경우에는 패킷을 제대로 수신하지 못해서 비디오를 재생할 수 없지만, NC를 사용할 경우에는 패킷 복원이 가능하여 가능하여 비디오를 재생 할 수 있는 것으로 나타났다. 그렇지만 송신자와의 거리가 80m가 되면 NC를 사용하더라도 패킷을 복호화 하지 못하는 것으로 나타났다. 이 지점에서 유틸리티가 기존 기법보다 높은 이유는 β 의 조절에 의한 에너지 절약 효과 때문이다. E_r 의 변화에 의해 유틸리티의 경향성은 변하지 않으나 E_r 이 작을 때 유틸리티의 이득이 더 큰 것을 두 그래프를 통해서 확인하였다.

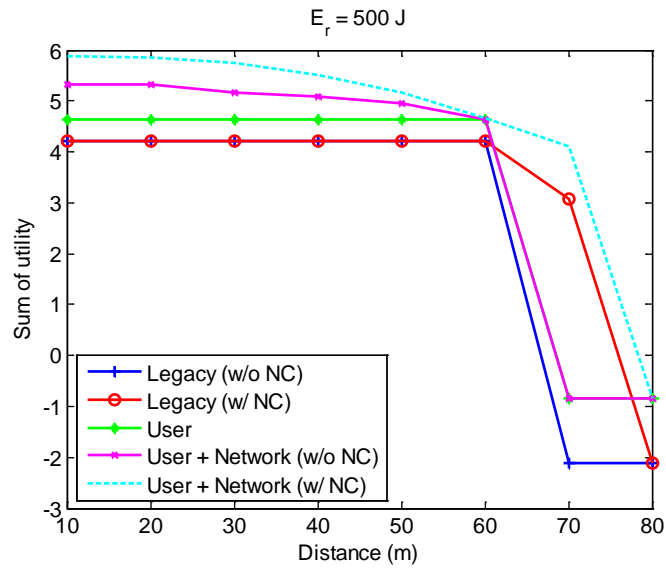


그림 23. $E_r = 500 \text{ J}$ 일 때 송신자와의 거리에 따른 유틸리티 합 변화

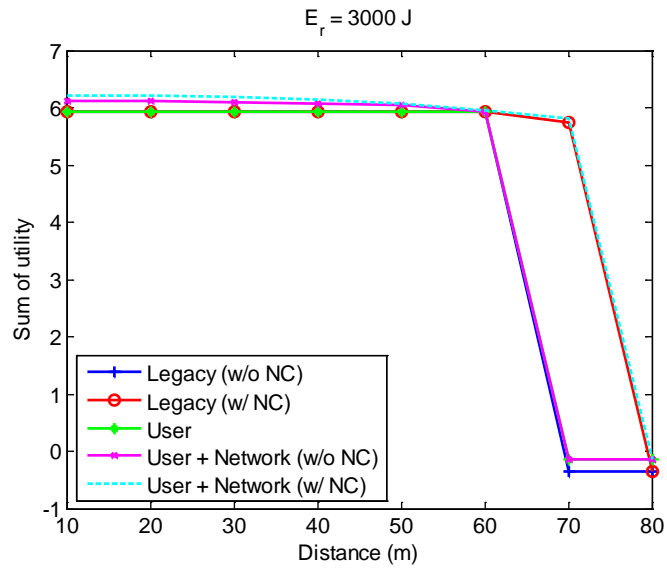


그림 24. $E_r = 3000 \text{ J}$ 일 때 송신자와의 거리에 따른 유틸리티 합 변화

제 6 장 결론

본 논문에서는 비디오 멀티캐스트에서 발생하는 사용자 비동질성 문제를 해소하기 위해서 스케일러블 비디오와 FMS를 접목시킨 기법을 제안하였다. 또한 멀티캐스트에서 신뢰성을 확보하기 위해서 패킷 전송에 NC를 적용하였다.

사용자의 만족도를 나타내는 지표로서의 유틸리티 함수에는 비디오의 품질, 에너지 소모량, 그리고 비디오의 품질과 에너지 소모량 사이에서의 사용자의 선호도를 반영하였다. 이 때 두 변수를 어느 정도 동등한 수준으로 평가하기 위해서 정규화를 수행하였다.

제안 알고리즘에서 BL 패킷은 비디오의 기본적인 품질을 보장하기 때문에 비디오의 재생에 필수적이므로 모든 사용자가 수신한다고 가정한다. 그렇지만 송신자에서 제공할 수 있는 가장 보수적인 전송에도 사용자가 패킷을 복호화할 확률이 일정 수준 이하이면 전송에서 제외하며, 나머지 사용자에 대해서는 에너지 소모를 가장 줄일 수 있는 전송속도와 패킷 수로 전송을 한다. EL 패킷은 비디오의 품질을 향상시키는 역할을 하므로 사용자에게 따라서 수신을 할 수도 있고 하지 않을 수도 있다. 이는 사용자가 Active 상태에서 패킷을 수신할 때의 유틸리티와 Sleep 상태에서 패킷을 수신하지 않을 때의 유틸리티를 비교하여 유틸리티를 최대로 하는 β 를 결정한다. 송신측에서는 EL의 임의의 전송속도와 패킷수에 대해서 사용자들의 β 값을 계산할 수 있고

따라서 사용자들의 유틸리티 또한 계산할 수 있다. 송신측에서는 모든 사용자들의 유틸리티 합이 최대가 되게 할 수 있는 최적의 전송속도와 패킷 수를 계산하며 이를 적용하여 전송을 한다.

제안기법의 성능을 검증하기 위해 시뮬레이션을 실시한 결과, 사용자들은 비디오 품질과 에너지 소모의 트레이드 오프관계에서 최적의 β 를 찾았으며 송신자 또한 전송속도와 패킷 수의 트레이드 오프 관계에서 최적의 전송속도와 패킷 수를 잘 찾는 것을 확인하였다. 제안기법은 기존의 IEEE 802.11 멀티캐스트 기법에 비해서 유틸리티의 이득이 있음을 확인하였는데 송신자의 커버리지가 작을수록, 사용자들이 보유하고 있는 에너지의 용량이 작을수록, 에너지를 중시하는 사용자가 많을수록 유틸리티의 이득이 크게 나타나는 것을 확인하였다. 송신자의 커버리지가 작으면 전송속도와 패킷 수의 선택에 따른 에너지 소모의 감소 효과가 크게 나타난다. 또한 보유하고 있는 에너지의 용량이 작으면 유틸리티가 에너지 소모에 대해 지배적이기 때문에 에너지 소모의 감소 효과가 유틸리티에 크게 반영된다. 그리고 같은 양의 에너지 소모의 절약이 에너지를 중시하는 사용자가 많을수록 유틸리티에 더 크게 반영되기 때문에 유틸리티 이득이 크게 나타난다. 이처럼 제안기법에서 사용자들은 자신들이 원하는 것에 가까운 서비스를 받을 수 있기 때문에 사용자 비동질성을 해소 할 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] M. van der Schaar, *et al.*, "Adaptive cross-layer protection strategies for robust scalable video transmission over 802.11 WLANs," *IEEE Journal on Selected Areas in Communication*, Dec. 2003.
- [2] J.Klaue *et al.*, "Evalvid – a framework for video transmission and quality evaluation," *Proc. 13th Int. Conf. on Modelling Techniques and Tools for Computer Performance Evaluation*, Urbana, IL, USA, 2003, pp. 255–272.
- [3] W. Lee *et al.*, "E\$PA: Energy, Usage (\$), and Performance-Aware LTE-WiFi adaptive activation scheme for smartphones," in *Proc. IEEE WoWMoM 2014*, Sydney, Australia, June 16-19, 2014
- [4] M. Lacage *et al.*, "Yet Another Network Simulator," in *Proc. from the 2006 Workshop on NS-2: the IP Network Simulator*, Pisa, Italy, ACM, 2006.
- [5] V. Khanna *et al.*, "A high throughput and low power ad hoc wireless LAN protocol," *Wireless Networks*, Vol. 14, Issue 1, January 2008.

Abstract

The thesis proposes a new multicast scheme which combines scalable video with FMS (flexible multicast service) for handling user heterogeneity problem in video multicast. In scalable video, content may be provided in a variable format depending on the service type. FMS is a service that the source separates the multicast streams and transmits respective streams at specific time, when the source has multiple multicast streams to transmit.

In video multicast, it is difficult to satisfy the requirements of all users, because they differ in channel conditions, available energy capacity, preference between video quality and energy consumption, etc. In the proposed scheme, the BL (base layer) and the EL (enhancement layer) of the scalable video are separated into different streams and then transmitted. The BL and the EL streams have different transmission times and users can selectively receive those packets. As a consequence, users can receive services that are better tailored for individual users. Noting that multicast is unreliable in general because retransmission is not used, we transmit the coded packets by using network coding.

We define the utility function to reflect the video quality, energy consumption and the preference of users. At the user side, users

determine their actions to maximize their own utility considering their situation when EL packets are transmitted. At the source side, the source determines the PHY rate and the number of EL packets to maximize the sum of all user's utilities after determining user's behavior.

Through simulations, we have confirmed that the proposed scheme has about 15 % to 34 % gain in utility over the legacy IEEE 802.11 multicast scheme and alleviates the user heterogeneity problem.

Keywords : user heterogeneity, scalable video, FMS, utility function

Student Number : 2012-23218