

MANET에서 비디오 전송 품질을 위한 Cross-layer 시뮬레이션과 분석

윤협상*

Cross-layer Simulation and Analysis for Video Transmission Quality in MANET

Hyoup-Sang Yoon*

ABSTRACT

Mobile ad hoc networks (MANETs) are self-organized dynamic networks populated by mobile nodes. This paper presents the improved cross-layer approach to complement the recent works for video transmission services on MANET. We use a statistical design of experiment and analysis in order to investigate interactions between major factors of each layer effectively with minimizing ns-3 simulation run time. The proposed cross-layer approach considers MANET protocol layers (i.e., physical, network and transmission layers) and an application layer (i.e., a video encoder) as factors simultaneously. In addition, the approach defines an objective video quality metric as a response variable. The result of this paper can be applicable as a preliminary research to design an optimized video transmission application which has ability to adjust controllable factors to dynamic uncontrollable factors.

Key words : MANETs (Mobile ad hoc networks), Design of experiment, Video quality, ns-3 simulation

요약

MANET(Mobile ad hoc networks)은 이동 단말로 구성된 동적인 자가 생성 네트워크를 의미한다. 본 연구에서는 MANET에서 비디오 전송 서비스를 다루고 있는 최근 연구를 보완하기 위한 개선된 cross-layer 접근 방법을 제시하고 있다. 본 연구는 ns-3 시뮬레이션을 통해 수행되며, 시뮬레이션에 소요되는 시간을 감안하여 효율적으로 각 계층의 주요 인자의 상호작용을 동시에 고려하기 위해 통계적 실험계획법을 활용하고자 한다. 제안된 cross-layer 접근 방법은 MANET 프로토콜 계층(물리, 네트워크, 전송 계층)과 응용 계층(비디오 인코더)을 동시에 인자로 다루고 있고, 반응 변수로는 객관적 비디오 품질 지표를 포함한다. 본 연구의 결과는 통제 불가능한 인자의 값에 따라 통제 가능한 인자를 설정하여 최적의 비디오 품질을 제공하는 MANET 비디오 전송 어플리케이션을 설계하는 기초 연구로서 활용될 수 있다.

주요어 : MANET(Mobile ad hoc network), 실험계획법, 비디오 품질, ns-3 시뮬레이션

1. 서론

MANET(mobile ad hoc network)은 기지국이나 고정적인 액세스 포인트 등의 통신망 설비를 필요로 하지 않고 통신 단말들이 상호 연결하여 통신이 가능한 네트워크

*이 연구는 2012년도 대구가톨릭대학교 교내학술연구비 지원으로 수행되었습니다.

Received: 10 September 2015, **Revised:** 14 September 2015, **Accepted:** 15 September 2015

*Corresponding Author: Hyoup-Sang Yoon
E-mail: hsyoon@cu.ac.kr
Dept. of MIS, Catholic University of Daegu

기술을 의미한다. MANET을 구성하는 단말은 이동과 무선 통신이 가능하며 이를 토대로 인접한 타 단말과 상호 협력하여 라우팅 정보를 교환하고 자가 설정을 통해 네트워크를 구성한다. 전파 도달 거리에 있는 단말을 이웃단말이라고 하고 이웃단말과는 직접 통신이 가능하고 전파 도달 거리 밖에 있는 단말도 중간 지점에 있는 이웃단말을 통해 간접통신이 가능하다. 이는 MANET의 단말이 호스트와 라우터의 기능을 동시에 수행하기 때문에 가능한 것이다^[1].

사전에 통신 설비를 구축하지 않고도 통신이 가능하다는 장점 때문에 MANET은 다양한 응용이 가능하다. 멀

티홉(multi-hop) 광대역 무선 인터넷 접속, 센서 네트워크, 건물 및 고속도로 자동 제어에 활용하는 것에서부터 지진 등 자연재해 발생 지역의 음성, 이미지, 비디오 전송에 활용할 수 있다^[2]. 최근에는 다양한 응용 중에서 특히 비디오 전송에 관한 연구에 많은 관심이 집중되고 있다. 비디오 전송 서비스는 다른 인터넷 서비스에 비해 높은 수준의 자원(CPU, memory, network bandwidth)을 필요로 한다는 점이 서비스 확산의 큰 걸림돌이었다. 최근 고사양의 단말과 무선 전송 기술(IEEE 802.11n, LTE)이 확산됨에 따라 인터넷을 통한 비디오 전송 서비스가 인기를 얻고 비디오 컨퍼런싱, 비디오 스트리밍, 관제 등에 널리 이용되고 있다^[3].

일반적인 인터넷의 상황과 달리 MANET은 이질적인 단말로 구성되며 단말의 상태가 가변적일 수밖에 없기 때문에 안정적인 트래픽 전송을 보장하기 까다로운 특성이 나타나게 된다. 이러한 문제점을 극복하고 MANET에서 비디오 전송 서비스를 구현하기 위해 cross-layer design 연구가 다수 수행되고 있다^[2, 3]. 일반적으로 통신 네트워크는 OSI 7계층, 인터넷 5계층 등 프로토콜 스택으로 구성되어 있고, 상호 인접한 계층 간의 인터페이스를 통해 통신 기능을 구현한다. 인터넷의 네트워크 프로토콜 스택은 물리계층, 링크계층, 네트워크 계층, 전송계층, 어플리케이션 계층으로 구성된다. Cross-layer design은 상호 인접한 계층간에만 인터페이스 한다는 기존 통신 네트워크 프로토콜 개념을 넘어 인접하지 않은 계층의 프로토콜 간에도 정보를 교환하여 효과적인 통신 성능을 추구함을 목표로 하고 있다. 특히 네트워크 성능의 변화에 민감한 비디오 전송 서비스를 MANET에서 제공하기 위해서는 cross-layer design을 활용하는 것이 효과적이라고 할 수 있다^[2].

MANET에서 비디오 전송 서비스에 관한 연구는 물리계층, 링크계층, 네트워크 계층을 각각 최적화하는 연구에서 이들의 상호작용을 고려하는 cross-layer 연구로 확장되고 있다. 추가로 비디오를 압축하고 전송하고 재생하는 어플리케이션 계층까지 포함하여 연구가 필요하다. 비디오 어플리케이션의 성능을 평가하기 위해 PSNR(Peak Signal-to-Noise Ratio) 등을 반응변수로 선정하여 연구를 진행하였다^[2].

기존 연구를 분석하여 밝혀낸 문제점으로는 1) MANET의 성능을 향상하기 위해 단일 계층만을 최적화 대상으로 함^[4], 2) cross-layer 연구를 활용하더라도 일부 계층만을 포함함^[3], 3) 비디오 서비스 성능을 평가하기 위해 화소 기반 비디오 품질 지표를 사용함^[5], 등을 들 수

있다. 본 연구에서는 이러한 문제점을 보완하기 위하여 물리계층, 링크 계층, 네트워크/전송 계층을 포함한 기존의 cross-layer design에 어플리케이션 계층까지 포함한 확장된 cross-layer design을 다루고자 한다. 본 연구는 ns-3 시뮬레이션^[6]을 통해 수행되며 시뮬레이션에 소요되는 시간을 감안하여 효율적으로 각 계층의 주요 인자를 동시에 고려하기 위해 통계적 실험계획법을 활용하고자 한다. 또한, 반응 변수인 비디오 품질을 평가하기 위하여 비디오 서비스 사용자의 주관적인 만족도를 예측하기 위해 고안된 객관적 비디오 품질 지표를 연구 대상으로 삼고자 한다.

2. MANET 시뮬레이션 환경 구축 및 실험계획

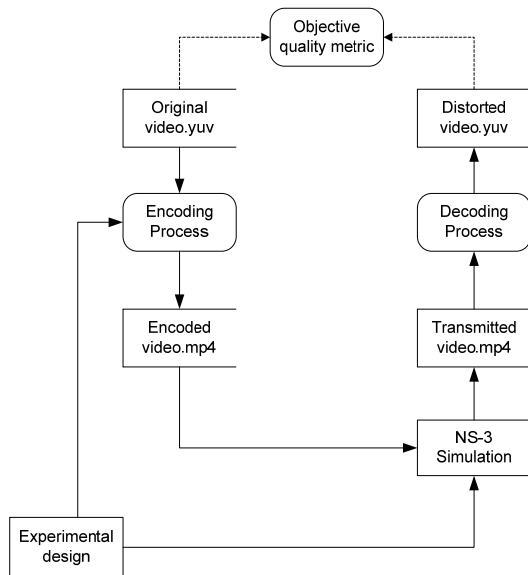
2.1 MANET 시뮬레이션 환경 및 절차

본 연구에서 MANET 시뮬레이션은 ns-3 시뮬레이터를 사용하여 수행되었다. ns-3는 연구와 교육을 주된 목적으로 하는 이산사건 네트워크 시뮬레이터이며 인터넷과 비인터넷을 가리지 않고 다양한 분야의 네트워크 연구에 널리 사용되고 있다^[6]. ns-3는 네트워크 노드 객체 위에, 디바이스, 네트워크 프로토콜 스택, 어플리케이션을 추상화해서 시뮬레이션 모형을 구성하고, 노드와 노드 사이에 통신 채널을 연결하는 방식으로 네트워크를 구성한다. 노드들이 이동이 가능하며 WiFi를 통해 무선으로 통신하며 노드들이 자발적으로 경로설정(routing)에 참여하는 MANET의 상황 역시 ns-3를 통해 구성한다.

본 연구에서 사용한 MANET 시뮬레이션 환경 설정 조건은 Table 1과 같다. MANET을 구성하는 이동단말은 시뮬레이션이 시작할 때 직각형태의 2차원 영역상에 있는 임의의 위치에 존재하게 된다. 시뮬레이션이 시작되면 안정화를 위한 30초간의 워밍업 시간을 갖게 된다. 이때 이동단말은 ns-3에서 제공하는 RandomWalk2dMobility Model에 의해서 시뮬레이션 영역의 임의의 위치로 이동하게 된다. RandomWalk2dMobilityModel은 이동단말을 소지한 채 정해진 영역 내부에서 탈 것을 이용하지 않고 이동하는 인간의 움직임을 모형화한 라이브러리 함수이다. 시뮬레이션 영역 내에 존재하는 이동단말의 총 수는 MANET의 성능에 영향을 주는 것으로 알려져 있으므로 실험계획의 인자에 포함하고자 한다. 비디오를 송신하는 단말과 수신하는 단말의 위치는 영역상의 (50, 50)와 (650, 650) 위치에 각각 고정된다. 모든 단말에는 IEEE 802.11b 표준의 무선 프로토콜을 사용하며 최대 전송속

Table 1. Simulation environmental parameters

Parameters	Description and value
Simulation time	Warm-up 30 sec., video transmission 10 sec.
Network region	Rectangle area of 700 m × 700 m
Node mobility model	RandomWalk2dMobilityModel
Sender and receiver nodes position	sender (50, 50), receiver (650, 650)
WiFi standard	IEEE 802.11b
Mac protocol	OLSR
Transmission protocol and packet size	UDP, 1KB

**Fig. 1.** Simulation procedure of video transmission in MANET

도는 11Mbps로 설정된다. 비디오 패킷의 크기는 1KB이며 UDP를 사용하여 전송된다.

MANET 설정과 관련한 실험계획의 인자는 총 5 가지이며, 1) MANET에 속한 이동 단말의 수(50개, 70개), 2) 이동 단말의 평균 이동 속도(4m/s, 8m/s), 3) 전파의 세기 (15.85dB, 16.15dB), 4) OLSR의 hi(hello interval)(1 sec., 5sec.), 5) OLSR의 ti(transmission control interval)(100%, 300%) 등이 있다.

Fig. 1에서는 본 연구의 시뮬레이션 과정을 도식화하여 나타내고 있다. 먼저 원본 영상(original video)을 인코

딩하여 MANET을 통해 전송하게 될 영상(encoded video)을 생성한다. NS-3 시뮬레이터를 통해 전송된 영상(transmitted video)은 디코딩 과정을 통해 열화(손실) 영상(distorted video)으로 변환된다. 열화된 원본 영상을 압축하여 신호에 손실이 발생하거나 전송과정에서 패킷의 손실이나 지연이 발생하여 품질이 저하된 것을 의미한다. 객관적 품질지표는 원본 영상과 열화 영상을 비교하여 품질의 저하 정도를 나타내는 지표이다.

2.2 원본 영상 선정 및 인코딩

본 연구에서는 해상도가 352×288(CIF, common intermediate format)이고 각각 300 프레임으로 구성된 두 종류의 YUV420p 형식의 비디오 파일을 선정한다. YUV 파일은 색공간을 RGB 형식으로 나타내는 대신 밝기(Y)와 푸른색(U), 붉은색(V) 형식으로 표현한 비압축 상태의 원본 파일을 의미한다. 본 연구에서 사용하는 YUV 파일의 크기는 대략 45 MB의 저장 공간을 차지한다. YUV 파일은 해상도와 프레임 수 대비 용량이 크기 때문에 네트워크를 통한 전송을 위해서는 동영상 압축과정을 거치게 된다. 실험용 비디오 샘플을 만들기 위해 현재 널리 사용되고 있는 압축 표준인 H.264/AVC 표준을 사용하여 인코딩 과정을 수행한다.

비디오 인코딩과 관련된 인자는 총 3 가지이며, 1) 영상의 종류(Akiya, Hall), 2) 목표 비트율(64Kbps, 96Kbps), 3) I 프레임 간격을 의미하는 gop(group of pictures)(15, 30)를 다르게 설정하여 총 8 종류의 비디오 샘플을 생성한다. Akiyo 비디오는 배경의 변화가 없고 주 피사체의 움직임도 크지 않은 반면에 Hall 비디오는 배경의 변화는 크지 않지만 주피사체의 움직임이 큰 특성이 있다. 이러한 차이로부터 비디오 압축을 통해 생성되는 변환된 비디오 파일의 크기와 이를 전달하기 위해 필요한 대역폭에 차이가 발생할 수 있고 결과적으로 전송 품질에도 차이가 발생할 수 있다. 일반적으로 인접한 프레임간의 유사도와 프레임 내부에서 인접 영역의 유사도가 높을수록 비디오 압축률이 높아지게 된다.

Fig. 2는 원본 영상으로 선정된 (a) Akiyo와 (b) Hall이라는 제목의 비디오로부터 각각 프레임 하나씩을 추출한 것이다.

목표 비트율은 인코딩을 통해 생성되는 영상 파일의 품질을 결정하며 비트율이 높을수록 우수한 품질의 영상이 생성되지만 네트워크 전송속도가 이를 따라주지 않으면 손실이 발생하여 사용자가 체감하는 품질이 저하될 수 있다. H.264는 압축률 향상을 위해 모든 프레임에 동일한



Fig. 2. First frame of each raw video (a) Akiyo.yuv and (b) Hall.yuv

압축 방식을 적용하지 않고 I, P, 그리고 B 프레임으로 구분하여 서로 다른 압축 방식을 사용한다. 특정 간격을 두고 프레임의 전체 화소 정보를 압축하여 담고 있는 I 프레임을 두고, I 프레임 간의 프레임인 P프레임에는 직전 I 프레임과의 차이를 나타내는 정보만을 담고 있다. 즉, *gop* 값이 작을수록 인코딩된 품질이 우수하지만 파일의 크기는 증가하게 된다. 네트워크에서 I 프레임의 손실이 발생하면 P프레임이 손실되었을 때 보다 사용자가 체감하는 영상 품질의 저하는 더 심각하게 나타나게 된다.

2.3 객관적 품질 지표 계산

본 연구에서 다루고 있는 반응 변수(Y)인 비디오 품질을 계산하기 위해 원본 YUV 파일과 압축, 전송 후 손실이 발생한 YUV파일을 객관적 비디오 품질 지표를 사용하여 평가한다(Fig. 1 참조). 객관적 품질 지표는 원본과 손실본의 차이를 계산하여 원본 대비 손실본의 품질이 상대적으로 어느 정도인지 평가하는 방법을 의미한다. 비디오 품질을 가장 정확하게 측정하는 방법은 사용자로부터 시청 만족도를 직접 조사하는 것이지만, 이는 많은 시간과 비용을 필요로 하므로 활용이 제한될 수밖에 없다. 주관적 품질 측정의 대안으로 사용자의 주관적인 시청 만족도를 예측하기 위해 객관적 비디오 품질 지표가 사용되고 있고 이미 여러 종류의 객관적 비디오 품질 지표가 개발되었다. Fig. 3은 Fig. 2의 영상이 시뮬레이션을 통해 열화가 발생한 예를 나타내고 있다.

본 연구에서는 객관적 비디오 품질 지표를 계산하기 위해 MMSPG(Multimedia Signal Processing Group)에서 개발한 공개 소프트웨어인 VQMT(Video Quality Measurement Tool)을 사용한다^[7]. VQMT는 PSNR(Peak Signal-to-Noise Ratio), SSIM(Structural Similarity)^[8], VIF(Visual Information Fidelity)^[9] 등 다양한 객관적 품질 지표를 계산할 수 있다. PSNR은 원본과 손실본의 서로 대응되는 각 화소를 비교하여 그 차이의 최소제곱합으로 계산하는



Fig. 3. First frame of each tested video (a) Akiyo.yuv and (b) Hall.yuv

원리이며 계산이 쉽고 직관적이라는 장점이 있다. 하지만 인간이 느끼는 품질과 PSNR은 상당한 차이를 나타낼 수 있다고 알려져 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 개발된 객관적 품질 지표 중 대표적인 것이 SSIM과 VIF이다. SSIM은 화소의 차이를 직접 비교하는 것이 아니라 영상의 구조적인 특징을 비교하여 주관적 품질을 예측하고, VIF는 영상에 포함된 정보를 ‘자연스러운(natural)’ 것과 ‘부자연스러운(unnatural)’ 것으로 구분하는 방식으로 주관적 품질을 예측한다. 본 연구에서는 객관적 품질 지표 중에서 주관적 품질을 예측하는 성능이 가장 뛰어나다고 알려진 VIF를 사용한다.

2.4 실험계획

본 연구에서 고려하고 있는 실험계획은 2.1절에서 나열한 총 5가지의 네트워크 관련 인자와 2.2절에서 나열한 총 3가지의 영상 인코딩 관련 인자를 포함하도록 설계된다(Table 2 참조). 네트워크 관련 인자 중 *nN*, *sn*, *tp*는 물리계층에 속하고, *hi*와 *ti*는 라우팅프로토콜인 OLSR의 파라미터이다. 단, *ti*는 *hi*의 값에 대한 상대적인 크기로 결정된다. *nN*과 *sn*은 이동단말의 개수와 평균속도를 의미하며 통제가 불가능한 반면, *tp*는 이동단말의 주파수 도달 거리를 나타내며 통제가 가능하다. 어플리케이션 관련 인자 중 *bps*와 *gop*는 H.264 인코딩 표준에서 설정하는 파라미터이고 통제가 가능하며, *video*는 비디오의 특성과 관련된 인자로 통제가 불가능하다. 총 8개의 인자는 각각 2개의 수준을 갖고 있다(Table 2 참조). 따라서, 64개의 실험점을 갖는 FFD(fractional factorial design)을 이용하여 실험을 설계하였으며, *ti*는 *hi*에 *nested* 되도록 설계하였다.

본 연구의 시뮬레이션은 실험점에 따라서 영상을 인코딩하는 과정과 인코딩된 영상을 ns-3 시뮬레이터에서 MANET 시뮬레이션을 하는 과정으로 진행된다. 인코딩 과정에서는 *bps*와 *gop*, *video* 인자의 수준값이 사용되며, MANET

Table 2. Factors of MANET simulation

Factors	Levels		Controllable	protocol layer
	0	1		
nN: number of mobile nodes	50	70	no	physical
sn: average speed of mobile nodes	4 m/s	8 m/s	no	physical
tp: transmission power of mobile nodes	15.85 dB	16.15 dB	yes	physical
hi: hello message interval	1 sec.	5 sec.	yes	routing
ti: topology control interval	100%	300%	nested in hi	routing
bps: target bit rate of video encoding	64 kbps	96 kbps	yes	application
gop: group of pictures	15	30	yes	application
video: complexity of video encoding	low	moderate	no	application

시뮬레이션 과정에서는 nN와 sn, tp, hi, ti 인자의 수준 값이 사용된다.

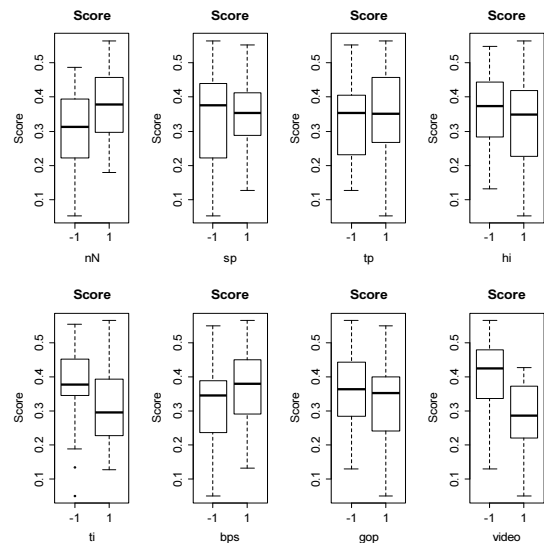
3. 결과 분석

실험을 통해 생성된 결과는 총 64개의 실험점에서 각 실험점마다 300 프레임의 객관적 품질 지표값을 포함하고 있다. 각 프레임마다 원본(original video)과 손실본(distorted video)을 비교하여 VIF 지표가 계산되며, 각 실험점에서 300 프레임의 VIF 지표의 평균을 계산하여 반응변수의 값이 계산된다(Table 3 참조). 본 연구의 통계 분석은 통계 패키지인 R^[10]을 이용하여 진행된다.

먼저, 시뮬레이션을 통해 생성된 VIF 값의 평균(score)을 반응변수로 하여 분석하기에 앞서 Fig. 4의 상자그림을 통해 개략적인 데이터의 특성을 파악하고자 한다. 각 인자들의 상자그림에서 이상치가 발견되지 않았으며, 대칭형으로 분포하는 특성을 확인할 수 있다. 수준 간의 차이가 확연하게 나타나는 인자들은 nN과 bps, video가 있다. 네트워크에 존재하는 이동단말의 수가 많을수록, 비디오 압축률이 낮을수록(전송 속도가 높을수록), 비디오의 프레임 변화가 낮을수록 MANET을 통해 전송되는 비디오 품질이 우수함을 파악할 수 있다.

Table 3. VIF Metric of MANET simulation

Run	Score	Run	Score	Run	Score
1	0.2106	23	0.3440	45	0.1360
2	0.4455	24	0.3858	46	0.3459
3	0.3535	25	0.1316	47	0.4262
4	0.1889	26	0.3966	48	0.5330
5	0.2216	27	0.1281	49	0.1317
6	0.4881	28	0.1794	50	0.4416
7	0.3858	29	0.2514	51	0.4717
8	0.2859	30	0.3772	52	0.3792
9	0.3456	31	0.2311	53	0.2246
10	0.5357	32	0.2934	54	0.5007
11	0.3528	33	0.3970	55	0.4609
12	0.3540	34	0.3771	56	0.2979
13	0.0517	35	0.3747	57	0.2213
14	0.4564	36	0.3503	58	0.4128
15	0.4620	37	0.4859	59	0.3007
16	0.3556	38	0.3724	60	0.2023
17	0.2424	39	0.2848	61	0.2072
18	0.2815	40	0.4590	62	0.5646
19	0.2893	41	0.4352	63	0.3229
20	0.5484	42	0.3981	64	0.2418
21	0.3912	43	0.3999		
22	0.2829	44	0.5527		

**Fig. 4.** Box plots of each factor

각 인자의 효과와 교호작용을 파악하기 위해 분산분석을 실시하며, 분석 결과의 타당성을 보장하기 위해 정규

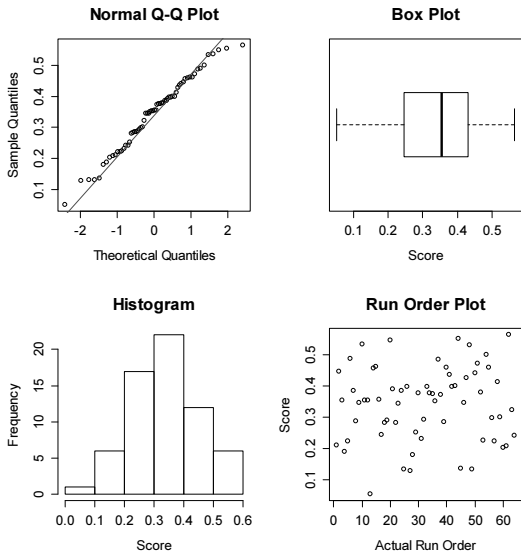


Fig. 5. Four plots for normality test

성 검정을 수행하고자 한다. Fig. 5의 Q-Q 그림, 상자그림, 히스토그램, run order그림을 보면, 분석하고자 하는 데이터가 정규 분포를 따르고 있음을 확인할 수 있다.

추가로 Shapiro-Wilk 정규성 검정을 통해 계산된 p-value는 0.477로 나타났으며 데이터의 정규성 가정이 부당하지 않다고 결론내릴 수 있다.

다음으로는 각 인자의 주효과와 교호작용을 확인하기 위해 분산분석을 실시한다(Table 4 참조).

분산분석에는 각 인자의 1차항과 두 인자간의 교호작용을 포함하며, AIC 기반 양방향 변수선택 방법을 통해 유의하지 않은 인자를 제거한다. Table 4의 첫 번째 열은 주효과와 교호작용을 나타낸다. 예를 들어 ‘nN’은 인자 nN의 주효과를 의미하고 ‘nN:sp’는 인자 nN과 sp의 교호작용을 의미한다. 마지막 열은 유의수준을 코드화하여 표시한 것으로 코드 ‘***’는 유의수준이 0과 0.001 사이, ‘**’는 0.001과 0.01 사이, ‘*’는 0.01과 0.05 사이, ‘.’는 0.05와 0.1 사이의 값이라는 것을 의미한다.

유의한 주효과는 nN과 hi, bps, gop, video 등이 있고, 유의한 교호효과는 nN:sp, nN:hi, nN:gop, hi:ti, hi:video, sp:ti:hi, tp:hi:ti, gop:hi:ti 등이 있다. 특히, 이동단말의 수(nN)과 비디오의 종류(video)가 MANET에서 비디오 품질에 많은 영향을 끼치고 있음을 확인할 수 있다. Table 2에서 언급한 바와 같이 nN과 video 인자는 통제 불가능하며 MANET 환경에서 비디오 품질에 변동이

Table 4. Results of analysis of variance

Factor	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	Sig. Code
nN	1	0.107	0.107	39.831	2.67E-07	***
sp	1	0.003	0.003	1.101	0.301	
tp	1	0.001	0.001	0.517	0.477	
hi	1	0.009	0.009	3.296	0.078	.
bps	1	0.033	0.033	12.479	0.001	**
gop	1	0.011	0.011	4.044	0.052	.
video	1	0.191	0.191	71.471	4.51E-10	***
nN:sp	1	0.103	0.103	38.652	3.57E-07	***
nN:hi	1	0.015	0.015	5.612	0.0233	*
nN:gop	1	0.030	0.030	11.029	0.002	**
nN:video	1	0.004	0.004	1.588	0.216	
sp:hi	1	0.001	0.001	0.515	0.478	
sp:gop	1	0.006	0.006	2.324	0.136	
tp:hi	1	0.004	0.004	1.337	0.255	
tp:gop	1	0.007	0.007	2.579	0.117	
tp:video	1	0.005	0.005	1.790	0.189	
hi:ti	2	0.088	0.044	16.449	8.43E-06	***
hi:gop	1	0.002	0.002	0.909	0.347	
hi:video	1	0.016	0.016	6.107	0.018	*
bps:gop	1	0.005	0.005	1.843	0.183	
sp:hi:ti	2	0.092	0.046	17.145	5.88E-06	***
tp:hi:ti	2	0.041	0.020	7.574	0.002	**
gop:hi:ti	2	0.018	0.009	3.309	0.048	*
Residuals	36	0.096	0.003			

Sig. codes: 0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘.’ 1

크게 발생함을 알 수 있다. 그 다음으로 유의한 주효과는 bps, hi, gop이며, bps와 gop는 비디오 인코딩과 관련된 인자이며 hi는 라우팅 프로토콜과 관련된 인자이다.

주효과와 교호효과의 관계를 더 자세히 살펴보기 위해, 분산분석을 통해 유의하다고 밝혀진 인자를 포함한 선형 모형을 구성하고 인자의 계수를 추정할 결과는 Table 5와 같다.

교호효과 중에서 유의한 것으로 나타난 인자들을 통해 통제 불가능한 인자와 통제 가능한 인자의 관계를 밝혀내고, MANET에서 비디오 품질을 최적화하기 위한 네트워크와 비디오 어플리케이션의 설정 방안에 대해 파악하고자 한다. nN1:sp1은 이동단말의 수가 1수준, 단말의 평균 이동 속도가 1수준인 경우를 의미한다. 본 연구에서는 계수 추정치의 값 자체 보다는 유의도와 반응변수(비디오 품질)에 끼치는 영향에 대해 집중하고자 한다. 통제 불가능한 인자인 nN과 교호작용이 있는 것으로 밝혀진 통제

Table 5. Estimation for model coefficients

Factor	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	Sig. Code
(Intercept)	0.3431	0.0065	53.058	< 2e-16	***
nN1	0.0408	0.0065	6.311	2.67E-07	***
sp1	0.0068	0.0065	1.049	0.3011	
tp1	0.0046	0.0065	0.719	0.4768	
hi1	-0.0117	0.0065	-1.815	0.0778	.
bps1	0.0228	0.0065	3.533	0.0011	**
gop1	-0.0130	0.0065	-2.011	0.0519	.
video1	-0.0547	0.0065	-8.454	4.51E-10	***
nN1:sp1	-0.0402	0.0065	-6.217	3.57E-07	***
nN1:hi1	0.0153	0.0065	2.369	0.0233	*
nN1:gop1	0.0215	0.0065	3.321	0.0021	**
nN1:video1	-0.0081	0.0065	-1.26	0.2158	
sp1:hi1	-0.0046	0.0065	-0.717	0.4778	
sp1:gop1	0.0099	0.0065	1.525	0.1361	
tp1:hi1	-0.0075	0.0065	-1.156	0.2552	
tp1:gop1	-0.0104	0.0065	-1.606	0.1170	
tp1:video1	-0.0087	0.0065	-1.338	0.1893	
hi0:ti1	-0.0002	0.0091	-0.026	0.9798	
hi1:ti1	-0.0525	0.0091	-5.736	1.57E-06	***
hi1:gop1	-0.0062	0.0065	-0.954	0.3466	
hi1:video1	0.0160	0.0065	2.471	0.0183	*
bps1:gop1	-0.0088	0.0065	-1.357	0.1831	
sp1:hi0:ti1	0.0311	0.0091	3.404	0.0016	**
sp1:hi1:ti1	-0.0436	0.0091	-4.765	0.0000	***
tp1:hi0:ti1	-0.0057	0.0091	-0.629	0.5336	
tp1:hi1:ti1	0.0351	0.0091	3.841	0.0005	***
hi0:gop1:ti1	0.0135	0.0091	1.476	0.1486	
hi1:gop1:ti1	0.0193	0.0091	2.107	0.0422	*

Sig. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

가능한 인자는 hi(라우팅 프로토콜 설정 파라미터)와 gop(비디오 인코딩 파라미터)이며 이동단말의 수가 많을수록 hi의 값을 크게 설정하고 gop를 크게 설정하면 비디오 품질이 우수하게 된다는 것을 의미한다.

hi와 ti는 MANET에서 경로를 설정하는 역할을 수행하는 라우팅 프로토콜인 OLSR의 파라미터이고 ti는 hi에 대한 상대적인 크기로 설정된다. 이처럼 한 인자가 다른 인자의 값에 종속적인 경우 nested design 분석 방법을 사용하며, hi0:ti1과 hi1:ti1은 교호작용을 표시하는 것이 아니고 ti가 hi에 nested 되어 있음을 나타낸다. hi0:ti1은 유의하지 않고 hi1:ti1이 유의한 것으로 보이고, 이는 hi가 0 수준 값일 때(hi=1)는 ti의 수준 값이 변하여도 비디오 품질에 영향이 없고 hi가 1수준 일 때는 ti가 비디오 품질에 영향을 주고 ti가 0수준일 때 비디오 품질이 더 우수함을

의미한다.

hi 인자는 video, sp, tp 인자들과 교호작용이 있음을 확인할 수 있다. hi:video와 tp:hi1:ti 인자는 양의 교호작용이 있는 반면 sp:hi:ti는 음의 교호작용이 있음을 알 수 있다. sp와 video는 통제불가능한 인자이므로 sp와 video의 값에 따라 hi:ti를 변경하여 최적의 비디오 품질을 달성할 수 있다. sp의 값이 크다는 것은 이동 단말의 평균 속도가 빠르다는 것을 의미하고, hi의 값을 작게 설정하는 것이 바람직하다고 할 수 있다. 또한, video에 변화가 많을수록 hi의 값은 크게 설정하는 편이 바람직하다고 할 수 있다.

4. 결론 및 향후연구과제

본 연구에서는 MANET(mobile ad hoc network)에서 비디오 전송 서비스를 할 때, 비디오 품질에 영향을 주는 요인을 파악하고 요인간의 관계를 규명하여 비디오 품질을 최적화하기 위한 cross-design 접근 방법을 살펴보았다. 비디오 품질에 영향을 주는 주요 요인은 MANET의 네트워크 프로토콜과 비디오 인코딩 표준의 여러 파라미터들 중에서 선정되었으며, 이를 기반으로 하여 실험을 설계하고 통계적 방법을 이용하여 분석하였다. MANET 환경은 ns-3 시뮬레이터를 활용하여 구축하였으며, h.264 AVC 표준을 따라 비디오를 압축하고 비디오 품질 평가를 위한 객관적 지표인 VIF를 사용하여 비디오 품질을 평가하였다. 효율적인 시뮬레이션 수행을 위해 fractional factorial design을 이용하여 시뮬레이션 실험을 계획하였다.

통계적 분석을 통해 비디오 품질에 영향을 주는 주요 과와 교호효과를 규명한다. 유의한 주요과는 nN과 hi, bps, gop, video 등이 있고, 유의한 교호효과는 nN:sp, nN:sp, nN:hi, nN:gop, hi:ti, hi:video, sp:ti:hi, tp:hi:ti, gop:hi:ti 등이 있다.

본 연구의 의의는 다수의 통신 프로토콜 계층(MANET protocol layer)의 설정 파라미터와 어플리케이션(video encoder)의 설정 파라미터를 동시에 고려하여 비디오 품질을 최적화 할 수 있는 cross-design 개념을 MANET 비디오 전송에 도입하였다는 점이다. 또한, 각 인자의 통제 가능 여부에 따라 통제 불가능한 인자의 값에 따라 통제 가능한 인자를 설정하여 최적의 비디오 품질을 제공하는 MANET 비디오 전송 어플리케이션을 설계하는 기초 연구로써 본 연구 결과가 활용될 수 있다.

본 연구는 비디오의 특성(화면의 동적 변화의 크기)에 대한 객관적인 지표가 연구에 반영되지 못하였다는 한계

점을 개선할 필요가 있다. 본 연구는 다수의 인자들 중에서 유의한 인자를 스크리닝하기 위한 사전 연구를 목표로 진행되었고, 인자들과 비디오품질간의 모형을 구축하고 최적화하기 위해서 크리깅 메타모델링을 이용한 추후 연구를 진행하고자 한다.

References

1. I. Chlamtac, M. Conti, and J. J. N. Liu (2003), "Mobile ad hoc networking: imperatives and challenges," Ad Hoc Networks, Vol. 1, No. 1, pp. 13-64.
2. E. Setton, T. Yoo, X. Zhu, A. Goldsmith, and B. Girod (2005), "Cross-layer design of ad hoc networks for real-time video streaming," IEEE Transactions on Wireless Communications, Vol. 12, No. 4, pp. 59-65.
3. S. Mantzouratos, G. Gardikis, H. Koumaras, and A. Kourtis (2012), "Survey of cross-layer proposals for video streaming over mobile ad hoc networks (MANETs)," 2012 International Conference on Telecommunications and Multimedia (TEMU), pp. 101-106.
4. O. Ben Rhaïem and L. Chaari Fourati (2013), "Routing protocols performance analysis for scalable video coding (SVC) transmission over mobile ad-hoc networks," 2013 IEEE International Conference on Signal and Image Processing Applications (ICSIPA), pp. 197-202.
5. M. O. Martínez Rach, O. López, P. P. Nol, M. P. Malumbres, J. Oliver, and C. T. Calafate (2007), "Quality assessment metrics vs. PSNR under packet loss scenarios in manet wireless networks," International workshop on Workshop on mobile video, pp. 31-36.
6. G. Riley and T. Henderson (2010), "The ns-3 network simulator," in Modeling and Tools for Network Simulation, K. Wehrle, M. Güneş, and J. Gross, Eds. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, ch. 2, pp. 15-34.
7. Multimedia Signal Processing Group, VQMT (Video Quality Measurement Tool). <http://mmspg.epfl.ch/vqmt>.
8. Z. Wang, A.C. Bovik, H.R. Sheikh, and E.P. Simoncelli (2004), "Image quality assessment: from error visibility to structural similarity," IEEE Transactions on Image Processing, Vol. 13, No. 4, pp. 600-612.
9. H. R. Sheikh and A. C. Bovik (2006), "Image information and visual quality," IEEE Transactions on Image Processing, Vol. 15, No. 2, pp. 430-444.
10. R Core Team (2013). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. <http://www.R-project.org>.



윤 협 상 (hsyoon@cu.ac.kr)

1997 한국과학기술원 산업공학과 학사
 2000 한국과학기술원 산업공학과 석사
 2007 한국과학기술원 산업공학과 박사
 2010~현재 대구가톨릭대학교 경영정보학과 조교수

관심분야 : 실험계획법, 네트워크 시뮬레이션, 비디오 품질