

무선 애드 혹 네트워크에서 잔여 에너지를 고려한 다중 트리 비디오 멀티캐스트 기법

준회원 박재영*, 정회원 강경란**, 종신회원 조영중**

An Energy-Aware Multi-tree Video Multicast Scheme in Wireless Ad Hoc Networks

Jae Young Park* *Associate Member*, Kyungran Kang** *Regular Member*,
Young-Jong Cho** *Lifelong Member*

요 약

본 논문에서는 무선 애드 혹 네트워크에서 비디오 스트리밍 세션을 위한 무선 단말의 에너지를 고려한 다중 트리 멀티캐스트 기법인 MVM-MAODV를 제안한다. 기존의 단일 트리 멀티캐스트 기법인 MAODV를 기반으로 하여 무선 단말의 잔여 에너지와 사용자의 요구에 따라 차등화된 품질의 비디오를 전달하는 다중 멀티캐스트 트리를 구성한다. 데이터 송신자는 MDC (Multiple Description Coding)로 비디오 데이터를 인코딩하여 두 개 이상의 서브 스트림을 생성한다. 각 멤버 단말은 예상되는 스트림별 패킷 수에 근거하여 자신의 잔여 에너지로 수신할 수 있는 서브 스트림의 개수를 결정한다. 중간 전달자 역할을 담당하는 무선 단말들도 자신의 잔여 에너지를 고려하여 전송을 지원할 수 있는 서브 스트림을 선택한다. 결과적으로 서브 스트림 별로 멀티캐스트 트리가 구성되게 되고, 데이터 송신자는 이 트리들을 사용해서 서브 스트림들을 분리하여 전송한다. 각 멤버 단말은 참여한 트리의 개수에 따라 다른 품질의 비디오를 수신하게 된다. 시뮬레이션을 통한 성능 분석에서, 단일 멀티캐스트 기법인 MAODV, 기존의 다중 멀티캐스트 트리 기법인 MT-MAODV에 비해 보다 우수한 비디오 품질을 제공할 수 있으며 네트워크 내의 무선 단말들의 에너지를 보존할 수 있음을 보였다.

Key Words : Energy-Aware, Multi-Tree Multicast, Video Multicast, Wireless Ad Hoc Network

ABSTRACT

In this paper, we propose an energy-aware multi-tree video multicast scheme for wireless ad hoc networks. Some network nodes may have energy enough to receive and forward the whole video content whereas some may not. Even though the video quality may vary depending on the remaining energy, our scheme enables the low-energy nodes to join the video multicast session. The video stream is split into a set of multiple and independent descriptions by MDC (Multiple description coding) scheme. Each description corresponds to a substream and number of substreams determine the video quality. The member nodes determine how many substreams it would receive depending on the remaining energy and expected amount of packets per substream. So does the intermediate tree nodes. That builds a tree per substream and multiple trees per session. The data source disseminates each substream through corresponding tree. The video quality of the member nodes varies

※ 본 연구는 본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음. (NIPA-2009-C1090-0902-0003)

* 인프라웨어 (jypark@infraware.co.kr), ** 아주대학교 정보및컴퓨터공학부 컴퓨터통신연구실 ({korykang, yjcho}@ajou.ac.kr)
논문번호 : KICS2009-06-227, 접수일자 : 2009년 6월 2일, 최종논문접수일자 : 2009년 11월 29일

according to number of participating trees. We evaluate the performance of our scheme by simulation. Our scheme showed better peak signal to noise ratio and extended the lifetime of the network nodes compared with MAODV, which builds a single tree, and MT-MAODV, which builds multiple trees but does not consider the available energy.

I. 서 론

최근 휴대 단말이나 무선 기술의 발전으로 인하여 애드 혹 네트워크 환경에서도 그룹 간 멀티미디어 응용에 대한 요구가 증가하고 있으며, 멀티캐스트가 효율적인 그룹 간 통신 기법으로 제시되고 있다^[1]. 멀티미디어 응용의 대표적인 사례로 들 수 있는 비디오 스트리밍은 세션이 진행되는 동안 지속적으로 데이터 전송이 이루어지고, 단위 시간 당 송수신하는 패킷의 수가 많다. 이러한 세션에 무선 단말이 안정적으로 참여하기 위해서는 멤버 단말뿐만 아니라 멀티캐스트 트리 상에 있는 단말들의 에너지가 해당 패킷들을 송수신할 수 있도록 충분해야 한다. 무선 단말의 특성 상 제한된 에너지를 가지므로 데이터 송신자와 멤버 단말 사이의 경로에 위치한 모든 단말들이 에너지 요구사항을 만족시키는 것을 보장하기 어렵다. 또한, 세션에 참여하고자 하나 전체 데이터를 수신할 수 있는 에너지를 보유하지 못한 단말들도 다수 있을 수 있다. 이런 단말에게는 낮은 품질이지만 지속적으로 데이터를 수신하여 세션에 참여할 수 있는 방안이 제공되어야 한다.

비디오 스트리밍 세션의 경우, 데이터 송신자와 수신자 사이의 경로 다양화를 통해 부하 균등, 경로별 대역폭 소모량 감소 등의 효과를 얻을 수 있다^[2]. 무선 애드 혹 네트워크에서 비디오 스트리밍을 위한 다중 트리 멀티캐스트 기법으로 Parallel MNTMR^[3], Serial MDTMR^[3], MT-MAODV^[4] 등이 제시되어 있다. Parallel MNTMR과 Serial MDTMR은 메쉬 기반의 데이터 송신자가 주도하는 트리 구성 방식인 ODMRP^[5]를 기반으로 하고 있어서, 잔여 에너지나 응용 프로그램의 요구 등과 같은 멤버 무선 단말의 제한 사항을 반영한 트리 구성이 어렵다. MT-MAODV는 AODV^[6]의 멀티캐스트 확장인 MAODV^[7]를 기반으로 다중 트리를 구성하는 기법인데, 무선 단말이나 링크가 중복되지 않도록 다중 트리를 구성하는 것을 강조한다. 이와 같이, 기존의 기법들은 멤버 무선 단말이 동일한 특성을 가진다는 가정 하에 다중 트리를 구성하되 각 무선 단말

들이 모든 트리에 참여할 것을 요구한다. 즉, 단말들의 잔여 에너지나 응용 프로그램의 요구 사항 등이 서로 상이할 수 있다는 점을 고려하지 않고 있다.

본 논문에서 제안하는 기법은 멤버 무선 단말의 잔여 에너지와 응용 프로그램의 품질 요구를 고려한 다중 트리 비디오 멀티캐스트를 제안한다. 데이터 송신자는 Multiple description coding (MDC)^[8]를 사용하여 데이터를 생성한다. MDC는 원본 스트림을 각각의 독립된 서브스트림으로 분할하는 방법으로, 수신하는 서브스트림의 수가 증가하면 더 높은 품질의 비디오 영상을 얻을 수 있다. 각 단말은 응용 프로그램의 요청과 단말의 잔여 에너지를 고려하여 수신하고자 하는 서브스트림의 수를 결정한다. 그리고, 멀티캐스트 트리를 생성하는 과정에서 세션에 참여하지는 않지만 데이터 전달자 역할을 수행하는 단말도 잔여 에너지를 고려하여 전달할 수 있는 서브스트림의 수를 결정한다. 이렇게 함으로써 서브스트림 별로 멀티캐스트 트리가 구성되게 되고, 전달자 무선 단말이나 멤버 무선 단말 모두 자신의 잔여 에너지에 부합하는 트리에 참여하게 된다. 세션 도중에 트리의 무선 단말들이 에너지 고갈로 인해 실패하는 경우가 발생하지 않아 안정된 품질의 데이터를 수신할 수 있게 되고, 전체 네트워크 내의 무선 단말들의 에너지를 안정적으로 보전해 주는 효과를 얻을 수 있다. 시뮬레이션을 통한 성능 분석에서 기존의 단일 트리 기법인 MAODV와 에너지를 고려하지 않는 다중 트리 기법인 MT-MAODV에 비해 비디오 품질과 무선 단말의 수명이라는 점에서 우수한 성능을 보임을 확인할 수 있었다.

본 논문의 나머지는 다음과 같이 구성되어 있다. 2장에서는 무선 애드 혹 네트워크를 대상으로 하는 다중 트리 멀티캐스트 기법들을 기술하고, 3장에서 본 논문에서 제안하고 있는 MVM-MAODV 기법에 대해서 기술한다. 4장에서는 시뮬레이션 환경 인자 및 시뮬레이션 성능 측정 기준들과 시뮬레이션 결과를 제시하고 분석한다. 5장에서 본 연구의 성과를 요약하고 향후 연구 계획을 제시하는 것으로 본 논문을 마무리한다.

II. 관련 연구

ITAMAR (Independent Tree Ad-hoc Multicast Routing)^[9]는 멀티캐스트 트리 단절로 인한 트리 재구성 시간을 줄이기 위해 서로 다른 다수의 멀티캐스트 트리를 유지하는 기법을 제시하고 있다. 이 프로토콜은 네트워크의 무선 단말 정보를 바탕으로 다수의 멀티캐스트 트리가 서로 겹치는 부분을 최소화하도록 형성한다. 다수의 트리 중 하나의 트리를 사용하여 데이터를 전송하고 이 트리에서 단절이 발생하면 다른 트리로 대체함으로써 트리 재구성 시간을 줄이게 된다. 잔여 에너지에 대한 고려 없이 트리를 구성하여, 잔여 에너지 부족으로 단말이 중지되는 상황이 반복적으로 발생할 수 있고, 이때마다 트리를 전환해야 하므로, 트리 재구성 시간은 절약할 수 있지만, 일시적으로 데이터 송수신에 단절이 발생해서 비디오 스트리밍의 경우 비디오 품질이 급격하게 떨어지는 상황이 발생할 수 있다.

참고문헌 [10]에서는 무선 애드 혹 네트워크의 단말들의 연결성과 네트워크 대역폭을 모두 파악하고 있다는 가정 하에 유전 알고리즘을 적용하여 데이터 전송률을 최대화할 수 있는 다중 멀티캐스트 트리를 선택하는 기법을 제시한다. MDC를 기반으로 하되 각 서브스트림의 데이터 전송률을 선택된 멀티캐스트 트리가 허용하는 네트워크 대역폭에 근거하여 결정한다. 기존에 제안된 기법에 비해 우수한 성능을 보이는 것으로 실험 결과를 제시하고 있으나, 무선 애드 혹 네트워크의 단말의 연결성을 모두 파악하는 것이 현실적으로 어렵고, 멤버 단말들의 참여가 동시에 이루어지지 않는다면 매 멤버 단말이 추가될 때마다 최적화된 트리를 재결정해야 하므로 트리를 구성하는데 걸리는 시간과 처리 부담이 크다. 또한, 네트워크 대역폭 외에 단말의 성능에 중요한 영향을 끼칠 수 있는 잔여 에너지에 대한 고려가 포함되어 있지 않다.

참고문헌 [3]은 ODMRP를 기반을 하는 두 가지의 다중 트리 비디오 멀티캐스트 라우팅 기법을 제안한다. Serial MDTMR (Serial Multiple Disjoint Tree Multicast)는 중첩되는 부분이 없도록 두 개의 멀티캐스트 트리를 순차적으로 만든다. 즉, 하나의 멀티캐스트 트리를 만든 후 트리에 속하지 않은 무선 단말로 다른 트리를 형성함으로써 두 개의 무선 단말 비중첩 멀티캐스트 트리를 만들게 된다. 그러나, 이 방법은 라우팅 오버헤드가 클 뿐만 아니라 트리를 생성하는데 있어 긴 지연 시간이 발생하고

완전한 비중첩 트리를 위해서 연결성이 떨어질 수 있다. 이를 보완하기 위해서 [2]에서는 Parallel MNTMR (Parallel Multicast Nearly-disjoint Tree Multicast Routing)을 제안한다. 이것은 각 무선 단말이 자신을 랜덤하게 그룹 1과 2 중에서 어느 그룹에 해당하는 트리에 참여할 것인지 결정하고 트리 생성을 진행한다. 두 개의 멀티캐스트 그룹을 한꺼번에 생성할 수 있게 되고, 트리 생성 시 발생하는 라우팅 오버헤드와 트리 생성 지연 시간을 줄일 수 있으며 무선 단말의 중첩을 줄일 수 있다.

참고문헌 [4]에서는 MAODV를 사용한 다중 트리 비디오 멀티캐스트 기법으로 MT-MAODV를 제안한다. MAODV에서 제시하는 제어 메시지만 RREQ, RREP, MACT를 확장한 제어메시지로 각각 RREQ_J, RREP_J, MACT_J를 제시한다. 세션에 참여하고자 하는 무선 단말은 RREQ_J를 전송하고 수신한 다수의 RREP_J들 중에서 경로의 중첩이 제일 적은 RREP_J에 대해 MACT_J를 생성하여 전송한다. 앞서 언급한 Serial MDTMR, Parallel MNTMR과 마찬가지로, 데이터 송신자는 MDC를 사용하여 여러 개의 서브스트림을 생성하고, 트리들이 서로 다른 서브스트림을 전송한다. 그리고, 모든 무선 단말이 동질적이라는 가정 하에서 모든 무선 단말이 모든 서브스트림을 수신하여 원본 데이터를 재생한다. 서로 다른 잔여 에너지를 보유하고 있거나 응용 프로그램에서 요구하는 데이터 품질에 대한 수요가 다를 때 이를 만족시킬 수 없다는 한계를 갖고 있다. 잔여 에너지보다 과도한 데이터를 수신하게 되면 세션 중간에 에너지 부족으로 참여를 중단해야 하는 경우가 발생할 수 있고, 중간 전달자 무선 단말의 에너지 고갈에 의해 참여가 중단되는 경우가 발생할 수 있다.

III. 제안하는 다중 트리 멀티캐스트 기법

3.1 개요

본 논문에서 제안하는 MVM-MAODV는 무선 애드 혹 네트워크 내 단말들의 잔여 에너지를 고려하여 다중 트리를 구성하는 멀티캐스트 기법이다. 멤버 단말들이 멀티미디어 스트리밍 세션이 마칠 때까지 안정적으로 세션에 참여하여 데이터를 수신할 수 있도록 지원하는 것을 목적으로 한다. 세션 참가자들은 세션이 진행되는 동안에 임의의 시점에 세션에 참여하기보다는 데이터 전송이 시작되는 시점에 대부분의 참가자들이 참여에 필요한 과정을

진행하는 것으로 가정한다. 데이터 송신자와 멤버 단말 상의 경로 상에 위치해서 실제 세션에 참여하지는 않지만 데이터를 전달해주는 역할을 담당하는 단말을 ‘트리 단말’이라고 칭한다.

데이터 송신자는 멀티미디어 데이터를 여러 서브스트림으로 나누어 생성하고, 멤버 단말은 잔여 에너지와 컴퓨팅 능력에 따라 서브스트림 수를 선택할 수 있도록 한다. 다중 서브스트림을 생성하여 전송하는 기법으로는 크게 계층적 인코딩 기법과 MDC가 제안되어 있다^[11]. 두 가지 기법 모두 수신하는 서브스트림의 수가 많을수록 수신하는 데이터의 품질이 향상되는 기법이므로, 단말의 잔여 에너지에 따라 서브스트림 수를 달리함으로써, 잔여 에너지가 적더라도 세션에 참여하는 것이 가능하다. 그런데, 계층적 인코딩의 경우에는 계층 간의 의존도가 높아서 ‘기본 계층’ (base layer)를 수신하지 않고는 ‘강화 계층’ (enhancement layer)의 활용이 불가능하지만, MDC는 서브스트림 간의 의존성이 낮으므로 에러가 자주 발생할 수 있는 MANET 환경에서는 계층화된 인코딩 기법에 비해 수신된 서브스트림의 활용도가 높다. 본 기법에서는 제약 사항이 적고 효율이 높은 MDC를 사용하여 인코딩한다.

데이터 송신자는 세션이 시작되기 전에 이미 해당 세션의 멤버로서 존재하며, 모든 멀티캐스트 트리의 루트가 된다. 멤버 단말이 자신의 잔여 에너지에 따라 필요한 서브스트림 수를 결정하여 세션 참여를 요청하는 것으로 멀티캐스트 트리 형성이 시작된다. 잔여 에너지가 허용하는 범위에서 많은 수의 트리에 참여할 수 있는 것이므로, 한 멤버 단말이 서로 다른 서브스트림의 트리에 참여하는 것을

허용한다. 멤버 단말의 잔여 에너지가 충분히 높다 하더라도 데이터 송신자와 멤버 단말과의 경로 상에 위치한 단말들의 잔여 에너지가 낮으면 원하는 수준의 데이터 수신이 불가능할 수 있다. 이러한 경우, 주기적으로 경로 검색을 통해 원하는 양의 서브스트림 수신이 가능한지 점검하여 트리 추가를 시도하고, 또한, 멀티캐스트 트리를 갱신해야 하는 상황이 발생하면 원하는 개수의 트리 참여를 시도한다.

본 논문에서 제시하는 MVM-MAODV는 멀티캐스트 트리를 생성하고 유지 관리하는 기본 알고리즘으로 기존의 MAODV를 기반으로 한다. MAODV에서 정의하고 있는 제어 메시지인 RREQ, RREP, MACT를 사용하여 트리 형성 요청, 응답, 확정의 절차를 수행한다. 그리고, 트리의 연결성을 확인하기 위한 GRPH, 이웃 무선 단말의 접근성을 확인하기 위한 HELLO 메시지 등을 활용한다. 다만, 앞서 설명한 바와 같이 잔여 에너지에 따라 수신하는 서브스트림 수를 달리 하고 서브스트림 별로 트리를 형성하는 기법을 추가하게 되므로 RREQ, RREP, MACT에 제어 데이터가 추가되고, 다중 트리 형성을 위한 기법이므로, 제어 메시지를 수용하고 재전달하는 등의 알고리즘이 기존의 MAODV와 다르다. RREQ에는 수신하고 하는 서브스트림의 수 (N_R), 서브스트림별 예상 패킷 수 ($pkts$), 수신하고자 하는 서브스트림 리스트 (L_R)가 추가되고, RREP에는 지원할 수 있는 서브스트림 수 (N_S), 지원 가능한 서브스트림 리스트 (L_S)가 추가되고, MACT에는 수신을 확인하는 서브스트림 리스트 (L_C)가 추가된다.

그림 1은 MVM-MAODV에 따라 형성될 수 있는 다중 트리의 사례이다. 데이터 송신자 S는 데이

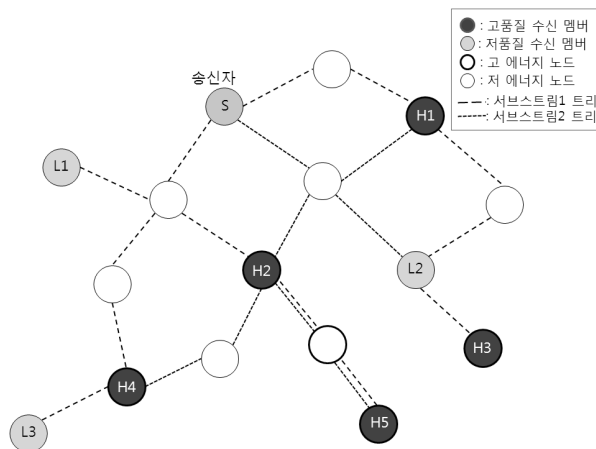


그림 1. MVM-MAODV에 따라 형성된 다중 트리 사례

터들 두 개의 서브스트림으로 나누어 생성한다. 잔여 에너지가 충분해서 고품질 데이터를 수신할 수 있는 멤버 단말은 두 개의 서브스트림을 모두 수신하고, 그렇지 않은 멤버 단말의 경우는 하나의 서브스트림만을 수신한다. H1, H2, H4, H5는 고품질 데이터를 수신할 수 있는 충분한 잔여 에너지를 보유하고 있어서 두 개의 서브스트림을 모두 수신한다. H3의 경우는 데이터 송신자와의 경로 상에 있는 트리 단말들의 잔여 에너지가 부족해서 하나의 서브스트림만을 수신한다. L1, L2, L3는 단말의 잔여 에너지가 부족해서 서브스트림1과 서브스트림2 중에서 하나의 서브스트림만을 수신하게 된다.

3.2 멀티캐스트 트리 생성 과정

응용 계층에서 제공하는 기법에 의해, 응용 세션이 시작할 때 최대 서브스트림의 개수, 각 서브스트림별 예상 패킷 수 등에 대해서 참가할 멤버 무선 단말들이 알고 있다고 가정한다. 응용 계층에서 무선 단말의 잔여 에너지를 검색하는 것이 가능하고, 단위 패킷을 전송하는데 필요한 에너지와 수신하는데 필요한 에너지를 알고 있다고 가정한다.

세션에 참여하고자 하는 단말은 단말의 잔여 에너지와 사용자의 요구 사항을 반영하여 수신할 서브스트림의 수를 선택하게 된다. 단말의 잔여 에너지에 따른 서브스트림의 개수(N_E)는 (1)을 만족하는 최대의 양수 k 로 데이터 송신자가 전송할 최대 서브스트림 수보다 크지 않은 값을 선택한다.

$$\sum_{i=1}^k (pkts_i \times E_{recv}) + \Delta < E_{avail} \quad (1)$$

E_{avail} 은 해당 단말의 현재 잔여 에너지를 의미하며, Δ 는 제어 메시지 교환 등에 에너지가 소모될 것을 고려하여 설정된다. E_{recv} 은 단위 패킷을 수신하는데 필요한 에너지를 의미한다. $pkts_i$ 는 i 번째 서브스트림에서 전송될 패킷의 개수를 의미한다.

해당 단말이 수신할 서브스트림의 수(N_R)은 NE와 응용 프로그램에서 지정한 서브스트림의 개수(N_i) 중에서 최소값으로 결정한다. 결정된 N_R 을 RREQ에 담아서 주변 무선 단말에 브로드캐스트한다. 멤버 단말 혹은 세션에 참가할 의사가 있는 무선 단말들은 앞서 가정한 바와 같이, 응용 계층의 기법에 의해 각 서브스트림 별로 생성될 패킷 수의 예상치를 알고 있지만, 그렇지 않은 단말들은 서브스트림에 대한 정보를 갖고 있지 못하므로 RREQ

에 각 서브스트림에서 생성될 패킷 수의 예상치 $pkts$ 를 포함한다.

RREQ를 수신한 단말은 우선, 이미 수신해서 처리한 RREQ인지 점검하고, 그렇다면 RREQ를 무시한다. 이미 수신해서 처리했던 RREQ가 아니라면, 다음의 세 가지 대응이 가능하다. 첫째, 멤버 단말의 자격이든 트리 단말의 자격이든, RREQ에 표시된 N_R 개의 서브스트림을 이미 모두 송수신하고 있다면 RREQ 송신 단말에게 RREP의 N_S 를 N_R 과 동일한 값으로 반영하여 RREP를 송신한다. 만일, 수신만 하고 있는 상태라면, 잔여 에너지가 송신이 가능한 서브스트림의 개수를 계산하여 이를 RREP에 반영하여 RREQ 송신 단말에게 전송한다. 즉, (2)를 만족하는 최대 양수 k 를 RREP의 N_S 로 설정한다. 여기서, E_{trans} 와 E_{recv} 은 단위 패킷을 전송하거나 수신하는데 필요한 에너지를 의미한다. 이미 수신하고 있는 서브스트림 중에서 N_S 개의 서브스트림을 선택하여 RREP의 서브스트림 리스트 (L_S)를 구성한다. 이는 RREP 최종 수신자가 수신하고자 하는 서브스트림 별 경로를 설정할 때 참고하도록 하기 위해서이다.

둘째, RREQ에 제시된 N_R 보다 작은 개수(N_C)의 서브스트림을 이미 송수신하고 있는 상태이고, 추가 서브스트림을 지원할 수 있는 여유가 없다면, N_S 에 자신이 송수신하고 있는 서브스트림의 개수 N_C 를 설정하여 RREP를 RREQ 송신 단말에게 전송한다. 수신만 하고 있는 상태라면, 송신할 수 있는 서브스트림의 개수를 계산하여, (3)를 만족하는 N_C 보다 작은 양수 k 를 결정하여 이를 RREP의 N_S 로 반영하여 RREQ 송신 단말에게 전송한다. 첫 번째 경우와 마찬가지로, 이미 수신하고 있는 서브스트림들을 RREP의 서브스트림 리스트 (L_S)에 추가한다. 이는 RREQ 송신 단말이 수신하고자 하는 서브스트림을 확정하고 서브스트림 별 경로를 설정할 때 참고하도록 하기 위해서이다. 만일, 잔여 에너지가 N_R 까지의 추가 서브스트림을 송수신할 수 있을 만큼 충분하다면 추가 서브스트림을 위한 경로 설정을 위해 수신한 RREQ를 브로드캐스트한다.

$$\sum_{i=1}^k (pkts_i \times E_{trans}) + \sum_{i=1}^{N_R} (pkts_i \times E_{recv}) + \Delta < E_{avail} \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^k (pkts_i \times E_{trans}) + \sum_{i=1}^{N_C} (pkts_i \times E_{recv}) + \Delta < E_{avail} \quad (3)$$

셋째, 해당 멀티캐스트 세션에 참여하지 않고 있

는 상태이면, 자신의 잔여 에너지가 RREQ에 요청된 N_R 를 충분히 지원할 수 있으면, 다시 말해서, (4)를 만족하는 k 가 N_R 과 같다면, 멀티캐스트 트리 설정을 위해 RREQ를 그대로 다시 브로드캐스트한다.

$$\sum_{i=1}^k (pkts_i \times (E_{recv} + E_{trans})) + \Delta < E_{avail} \quad (4)$$

잔여에너지가 N_R 보다 적은 수의 멀티캐스트 트리만을 지원 가능하다면, 즉 $k < N_R$ 이라면, RREQ의 N_R 를 지원 가능한 서브스트림 개수 k 로 변경하여 RREQ를 브로드캐스트한다. RREQ를 수신한 노드에서의 처리 과정은 그림 2에 요약 제시되어 있다.

RREQ 송신 단말은 RREP를 수신할 때까지 일정 시간동안 기다리게 된다. 이 시간 동안 RREP 메시지를 받지 못했다면 RREQ를 재발송한다. 다중 트리를 구성하는 것을 목적으로 하므로 RREQ 송신 단말은 다수 개의 RREP들을 대상으로 다중 트리 후보를 결정한다. 수신한 RREP에 설정된 N_S 를 분석하여 다음의 기준에 따라 가장 적합한 트리 경로를 선택하게 된다. N_S 의 크기와 지연 시간이 작은 순서로 RREP를 정렬해서, N_S 들의 총합이 N_R 보다 같거나 커질 때까지 RREP들을 선택한다. RREP 중

에는 N_S 외에 지원할 수 있는 서브스트림 번호를 지정한 경우도 있으므로 이들이 중복되지 않도록 RREP를 정렬하여 선택한다.

N_S 가 큰 순서로 RREP를 정렬하게 되면 단일 경로를 통해 전달되는 서브스트림의 수가 많아지고 경로 상의 단말의 처리 부담이 집중되는 부작용이 발생하게 될 것이므로 이를 방지하기 위해서 N_S 가 작은 RREP들부터 서브스트림 결정에 사용한다. N_S 들의 총합 k 가 N_R 보다 작다면, 네트워크 내 무선 단말들의 잔여 에너지가 전체 요청한 서브스트림을 만족하기 부족한 상황이므로, 허용되는 $k (<N_R)$ 개의 서브스트림만을 수신하는 것으로 결정한다.

선택된 RREP들에 대한 응답으로 MACT를 생성하여 각 RREP가 전달된 역경로로 전송한다. MACT에는 해당 경로를 통해 수신하고자 하는 서브스트림 목록 (L_C)를 설정하여 전송한다. 해당 RREP를 전달한 이웃 무선 단말에게 MACT를 전송하면 수신 단말은 멀티캐스트 전달을 위한 테이블을 갱신한다. 여러 개의 RREP를 선택하여 MACT를 발송하게 되므로 결과적으로 무선 애드 혹 네트워크 내에 다중 트리가 형성되게 된다.

그림 3과 4에서 데이터 송신자 S가 2개의 서브스트림을 형성하는 경우에, 다중 트리가 형성되는

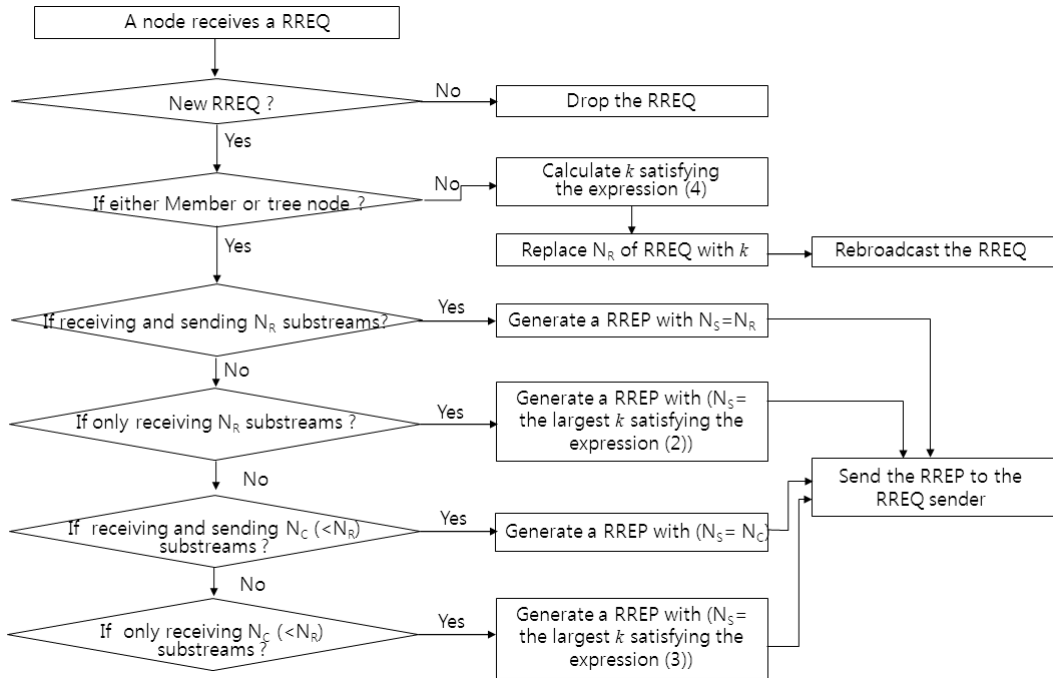


그림 2. 신규 멀티캐스트 그룹을 위한 RREQ 처리 흐름도

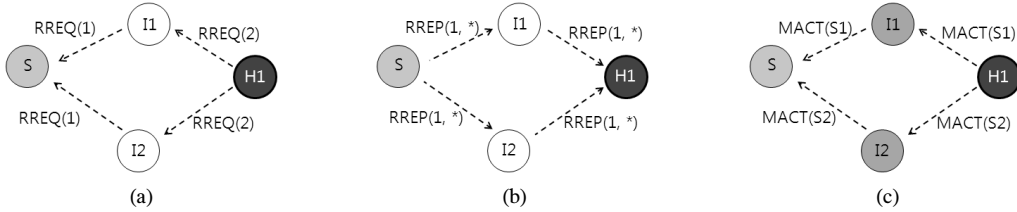


그림 3. 다중 트리 형성 사례 1 - 중간 무선 단말의 잔여 에너지가 멤버 무선 단말보다 낮은 경우

사례를 보여주고 있다. 그림 3에서 멤버 무선 단말 H1은 잔여 에너지가 충분해서 두 개의 서브스트림을 모두 수신할 수 있으므로 $N_R=2$ 로 RREQ를 발송한다. 그러나, H1의 RREQ를 수신한 I1과 I2는 잔여 에너지가 부족해서 하나의 서브스트림만 지원 가능하다. RREQ의 $N_R=1$ 로 수정하여 브로드캐스트하고, 이를 수신한 데이터 송신자 S는 RREP의 N_S 는 RREQ의 N_R 과 동일한 값으로 설정한다. 그리고, 임의의 서브스트림 번호에 대해서 지원 가능하므로 서브스트림 리스트 (L_S)에 특정 서브스트림 번호를 지정하지 않는다. S는 RREQ를 전달해 준 I1과 I2로 RREP를 전송한다. I1과 I2는 수신한 RREP를 H1으로 전달하고, H1은 자신이 발송한 RREQ의 N_R 에 비해 작은 N_S 를 가진 RREP들을 수신했지만, 각 RREP가 서브스트림 번호를 지정하지 않고 있으므로 두 개의 경로에게 서로 다른 서브스트림을 지원해 주도록 MACT의 서브스트림 리스트 (L_C)에 각각 서브스트림1 (S1)과 서브스트림2 (S2)를 지정하여 I1과 I2에게 전송한다.

그림 4는 서브스트림 별로 이미 트리가 형성된 상태에서 새로운 멤버가 추가되는 경우를 보여주고 있다. H1은 멤버 무선 단말로서 잔여 에너지가 충분해서 두 개의 서브스트림을 모두 수신하고 있다. I2는 잔여 에너지가 부족해서 서브스트림2만을 수신하고 있다. H2는 잔여 에너지가 충분해서 두 개의 서브스트림을 모두 수신할 수 있으므로 $N_R=2$ 로 설정해서 RREQ를 브로드캐스트한다. 이를 수신한

I2는 자신이 두 개의 서브스트림을 모두 지원할 수 없고, 서브스트림1에 대해서 송수신을 담당하고 있으므로 $N_S=1$ 로 설정하고 서브스트림 리스트 (LR)에 서브스트림 번호 1을 지정하여 H2에게 RREP를 전송한다. I3는 자신의 잔여 에너지를 반영하여 수신한 RREQ의 NR을 2에서 1로 변경하여 브로드캐스트하고, 데이터 송신자 S로부터 RREP를 수신하면 이를 다시 H2에게 전달한다. I3와 I2에게서 RREP를 수신한 H2는 I2에게서 수신한 RREP의 LR에 서브스트림 번호 1이 지정되어 있으므로 I3에게 서브스트림 2를 요청하기로 결정한다. I2에게 보내는 MACT의 LC에 서브스트림 번호 1을 지정하고, I3에게 보내는 MACT에는 LC에 서브스트림 번호 2를 지정한다.

3.3 멀티캐스트 트리 유지 관리

MVM-MAODV는 MAODV에서 사용하는 방법과 마찬가지로 제어 메시지인 GRPH를 사용하여 주기적으로 멤버들 간의 연결성을 관리한다. 데이터 송신자가 데이터를 전송하지만 네트워크 계층에서의 세션 지속 여부를 확인할 필요가 있으므로 이러한 연결 관리 메시지를 활용한다. 데이터 송신자는 서브스트림의 수와 동일한 개수의 GRPH 메시지를 생성하고 각 GRPH에 해당 서브스트림 번호를 지정하여 브로드캐스트한다. GRPH 메시지를 수신한 무선 단말은 자신이 전송하는 서브스트림에 해당하는 GRPH 메시지를 다시 브로드캐스트한다.

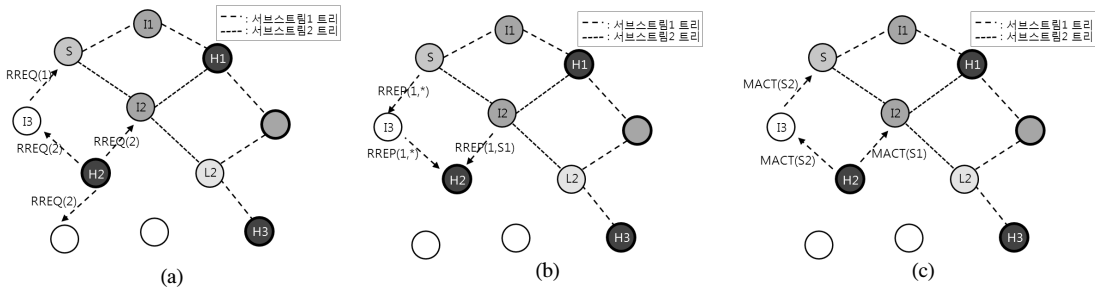


그림 4. 다중 트리 형성 사례 2 - 기존에 형성된 트리에 연결되는 사례

일정 횟수 이상 특정 서브스트림에 대응하는 GRPH 메시지를 수신하지 못하면, 해당 서브스트림을 위한 멀티캐스트 트리가 단절된 것으로 판단하고 새로운 RREQ 메시지를 전송하여 경로를 찾는다. 이때는 세션 참여 시와 달리, GRPH 메시지를 수신하지 못한 서브스트림에 대해서 트리를 재설정하는 것이므로 RREQ의 LR에 서브스트림 번호를 지정하여 전송한다. 새로 만들어지는 트리는 세션의 잔여 시간 동안 활용할 것이므로, $pkts$ 는 서브스트림 별로 잔여 시간 동안 전송될 것으로 예상되는 패킷 수를 지정하여, 해당 패킷 수를 송수신할 수 있는 에너지를 확보한 무선 단말들을 선택하여 경로가 설정되도록 한다. GRPH를 수신하지 못한 서브스트림의 개수가 두 개 이상이라면, 이를 종합하여 하나의 RREQ의 L_R 에 해당 서브스트림들을 모두 포함시켜서 전송한다.

서브스트림 번호가 지정된 RREQ를 수신한 무선 단말은 다음의 세 가지 방법으로 대응한다. 첫째, 지정된 모든 서브스트림 번호에 대한 송수신을 이미 수행하고 있다면 서브스트림 번호를 모두 지정하여 RREQ 송신 무선 단말에게 RREP를 전송한다. 둘째, 일부 서브스트림 번호에 대해 송수신을 수행하고 있다면, RREP의 L_S 에 자신이 지원할 수 있는 서브스트림 번호를 지정하여 RREQ 송신 무선 단말에게 전송한다. 셋째, 지정된 서브스트림 번호에 대해 송수신을 전혀 수행하지 않고 있다면, 자신의 잔여 에너지를 고려하여 지원할 수 있는 서브스트림

수 k 를 계산하고, RREQ의 N_R 이 k 보다 크다면 N_R 을 변경하여 RREQ를 다시 브로드캐스트한다. 이때, 새로 계산된 N_R 이 지정된 서브스트림 수보다 작다 하더라도 지정된 서브스트림 번호는 변경하지 않는다. 추후에 RREQ를 수신하는 멤버 단말이나 트리 단말이 N_R 범위 내에서 서브스트림 번호를 지정할 수 있도록 하기 위해서이다. 서브트리 재구성을 위해 발송된 RREQ를 수신한 노드에서의 처리 과정은 그림 5에 요약 제시되어 있다.

RREP를 수신한 무선 단말은 초기에 멀티캐스트 트리를 생성할 때와 마찬가지로 기준을 적용하여 RREP를 선택하고 MACT를 생성한다.

3.4 추가 서브스트림 수신을 위한 멀티캐스트 트리 설정

멀티캐스트 세션 참여 시에 데이터 송신자와 멤버 무선 단말 사이의 무선 단말들의 잔여 에너지가 낮아서 멤버 무선 단말이 원하는 수의 서브스트림을 수신하지 못하게 된 경우, 해당 멤버 무선 단말은 주기적으로 추가 서브스트림 수신을 요청하는 RREQ를 브로드캐스트한다. 본 기법이 고려하는 네트워크 환경은 무선 단말들의 이동이 발생하는 환경이므로, 세션에 참여할 시에는 충분한 에너지를 보유한 무선 단말들이 경로 상에 존재하지 않아서 수신하는 서브스트림 수에 제한이 있었지만, 세션이 진행되는 동안 무선 단말들의 이동에 의해 충분한 에너지를 보유한 무선 단말이 경로 상에 존재하게

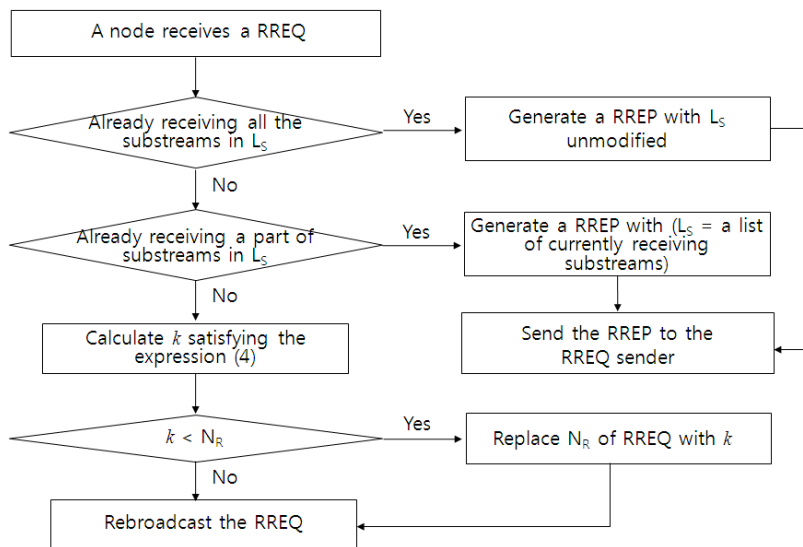


그림 5. 단절된 서브스트림의 트리 재구성을 위한 RREQ 처리 흐름도

될 수 있을 것이기 때문이다.

멤버 무선 단말은 추가로 수신하고자 하는 서브스트림의 번호를 RREQ의 L_R 에 지정한다. 또한, 현재 수신하고 있는 서브스트림에서 수신된 패킷 수를 근거로 잔여 패킷수를 예측하고, 자신이 수신하지 못한 서브스트림에 대해서도 앞서 계산한 잔여 패킷수와 유사한 개수의 패킷을 수신할 것으로 예측하고 이를 RREQ에 반영한다. 3.3에서 설명한 것과 마찬가지로의 방법으로 추가 서브스트림 수신을 위한 RREQ가 처리된다.

IV. 성능 분석

4.1 시뮬레이션 환경

본 성능분석은 NS-2^[12]를 이용하여 수행되었다. 무선 액세스 기술로 IEEE 802.11을 사용하도록 설정하였으며, 네트워크 규모는 2000m × 2000m의 크기로 설정하고, 50개의 무선 단말을 랜덤하게 분포시켰으며 각 무선 단말의 전송 거리는 250m로 설정하였다. 표 1은 본 논문에 사용된 성능분석 환경에 대한 파라미터들을 나타낸다.

비디오 원본 데이터로, QCIF 형식의 총 400개의 프레임으로 구성된 'Foreman'^[13]이 사용되었다. 비디오 소스는 두 개의 디스크립션 스트림을 생성하도록 하였다. 송수신된 비디오의 품질을 측정하기 위한 도구로 EvalVid^[14]를 사용한다. 무선 단말들의 에너지는 총 400개의 프레임을 송수신하기 위한 에너지를 100으로 간주할 때, 30~100 범위 안에서 랜덤하게 설정하였다.

표 1. 시뮬레이션 환경
Table 1. Simulation Environments

파라미터	값
네트워크 크기	2000 × 2000 (m ²)
참여 무선 단말 개수	50 개
무선 단말 분포 형태	Random
MAC 프로토콜	IEEE 802.11
전송 거리	250 m
패킷 크기	1024 byte
시뮬레이션 시간	20 min
Example Sequence	Foreman
Format	QCIF (176 × 144)
Number of Frames	400 개
Frame rate	15 fps

본 논문에서 제안하는 MVM-MAODV와 기준에 제시된 기법인 MAODV, MT-MAODV를 비교하였다. 2장에서 기술한 바와 같이, MAODV는 단일 트리를 구성하는 멀티캐스트 기법으로 가장 널리 사용되고 참고되는 멀티캐스트 기법이다. MT-MAODV는 본 논문에서 제시하는 기법과 유사하게 비디오 멀티캐스트를 응용 대상으로 하고 있으며, 다중 트리를 구성하는 기법이다.

4.2 성능분석 측정 기준

제안하는 기법의 성능을 측정하기 위해 다음의 세 가지 요소에 대한 평가를 시행하였다.

- PSNR (Peak Signal-to-Noise Ratio): 시각적인 화질의 대한 정도를 평가하기 위한 척도이다. 송신 영상 데이터와 수신 영상 데이터에 대한 차이를 표현한 것으로 수치가 높을수록 원본 영상 데이터에 근접하게 데이터가 수신되었음을 의미한다. 일반적으로 $m \times n$ 이미지 I 와 K 에 대하여 다음의 수식들을 사용하여 PSNR을 계산한다.

$$PSNR = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{MAX_I^2}{MSE} \right) = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{MAX_I}{\sqrt{MSE}} \right),$$

$$MSE = \frac{1}{mn} \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} \|I(i,j) - K(i,j)\|^2$$

- 패킷 전달율 (Packet Delivery Ratio) : 데이터 송신자가 송신한 패킷 수와 멤버 무선 단말이 수신한 패킷 수의 비율이다. 멤버 무선 단말이 수신하고자 지정한 서브스트림 별로 패킷 전달율을 측정한다.
- 사용 가능한 단말 비율: 특정 시점에 네트워크 내 전체 무선 단말 중에서 사용 가능한 무선 단말의 비율이다. L_{thresh} 이상의 에너지를 보유한 무선 단말을 사용 가능한 무선 단말로 간주한다. 시험 환경에서 멀티캐스트 서브스트림을 수신하는데 필요한 에너지의 양을 L_{thresh} 로 설정하였다.

4.3 성능분석 결과

그림 6은 두 디스크립션을 모두 수신할 수 있는 에너지를 가진 무선 단말에서 관찰한 프레임별 PSNR 값이다. 전체적으로 세 가지 방법론들이 유사

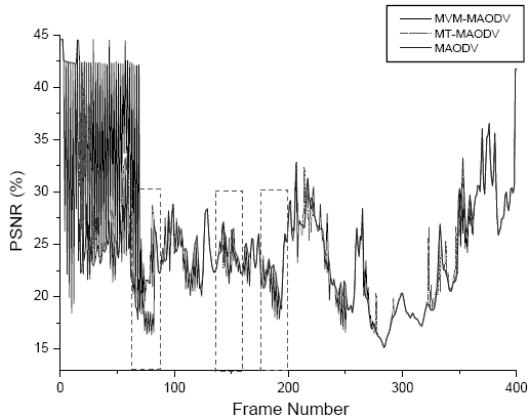


그림 6. 프레임 별 PSNR

한 PSNR값을 갖는 것으로 보이지만, 점선 사각형의 내부를 보면, 다중 트리를 구성하는 MT-MAODV와 MVM-MAODV에 비해 단일 트리를 사용하는 MAODV에서 PSNR값의 변화가 많다.

그림 7은 그림 6의 첫 번째 점선 사각형에 해당 되는 프레임별 실제 화면의 예로서, MVM-MAODV를 사용한 경우와 MAODV를 사용한 경우를 비교하며 보이고 있다. 본 논문에서 제안하는 MVM-MAODV가 MAODV에 비해 우수한 품질의 화면을

제공한다.

그림 8은 그림 6의 두 번째 점선 사각형에 해당 되는 프레임별 실제 화면의 예로, MVM-MAODV를 사용한 경우와 MT-MAODV를 사용한 경우를 비교하며 보이고 있다. 본 논문에서 제안하는 MVM-MAODV가 MT-MAODV에 비해 우수한 품질의 화면을 제공하는 것을 확인할 수 있다.

그림 9는 전체 멤버 무선 단말의 세션 내 수신한 프레임들의 PSNR 평균값에 대한 누적 분포를 보여주고 있다. 그래프 상에 분명하게 표시되지 않았으나, PSNR=42 이상의 값을 갖는 무선 단말들의 비율을 살펴보면 MAODV가 가장 낮은 값을 갖고, MVM-MAODV가 가장 높은 비율을 가지며, MT-MAODV가 중간값을 갖는다. 그리고, MVM-MAODV가 다른 기법들에 비해 PSNR=40 이상의 높은 값을 갖는 노드들의 비율이 높다.

그림 6-9에서 보여주는 결과를 종합하면, 본 논문에서 제시하는 MVM-MAODV가 기존 기법에 비해 PSNR이 안정적인 값을 유지하며, PSNR의 값의 변화가 주목되는 경우의 실제 화면 분석에서도 MVM-MAODV가 타 기법들에 비해 좋은 품질의 화면을 보인다.

제안하는 기법인 MVM-MAODV가 MAODV에

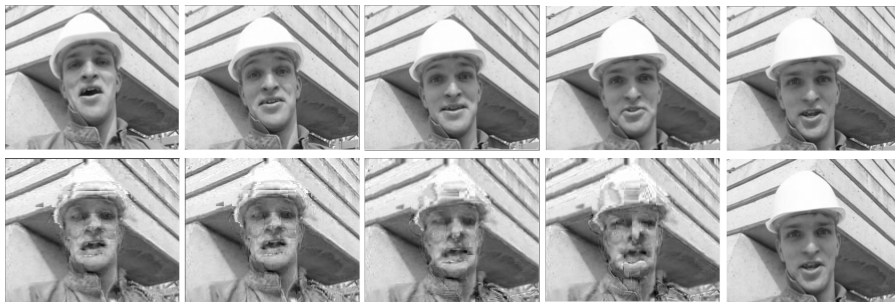


그림 7. MVM-MAODV vs. MAODV - 프레임 69, 73, 77, 81, 85



그림 8. MVM-MAODV vs. MT-MAODV - 프레임 139, 142, 145, 148, 151

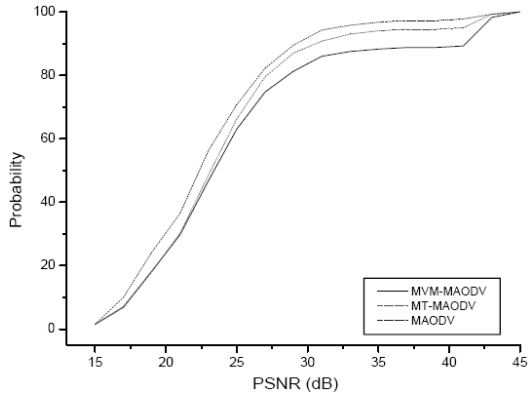


그림 9. 평균 PSNR에 대한 누적분포

비해 우수한 비디오 품질을 제공하는 것은, 무선 단말들 중에 잔여 에너지가 두 개의 서브스트림을 모두 전달하기에 충분하지 않은 단말들이 있는데, MAODV는 단일 트리를 사용하고 경로 설정에서 잔여 에너지를 고려하지 않기 때문이다. 잔여 에너지가 부족한 단말들이 세션 중간에 에너지가 소진되어 데이터 전달을 하지 못하게 되고 트리를 재구성하는 과정이 발생하게 되어 이로 인한 패킷 손실이 일부 발생하여 비디오 품질이 낮게 나타난 것이다. MVM-MAODV는 두 개의 트리를 사용해서 데이터를 분산하여 전달하고 잔여 에너지가 적은 무선 단말들은 전체 데이터의 일부만을 수신하므로 세션 중간에 에너지 고갈로 인한 단절이 크게 억제되지 않기 때문이다.

MT-MAODV가 제안하는 기법인 MVM-MAODV와 마찬가지로 두 개의 트리를 사용해서 데이터를 전송하지만 MVM-MAODV가 보다 좋은 품질의 비디오를 제공하는 것은, 두 개의 트리를 구성하는데 있어서 참여 무선 단말의 에너지를 고려하여 경로를 설정하였으므로 무선 단말들이 트리에 지속적으로 참여하는 비율이 에너지를 고려하지 않은 MT-MAODV에 비해 높기 때문이다.

그림 10은 단위 시간 당 전송하는 패킷의 수를 증가시켜 가면서 측정된 패킷 전달율을 보여주고 있다. 세 가지 기법 모두 패킷 수가 증가함에 따라 패킷 전달율이 크게 감소한다. 전송하는 패킷의 수가 증가하면 충돌에 의한 패킷 손실이 자주 발생하게 되어 전체적으로 전달율의 감소가 발생한다. 본 논문의 MVM-MAODV는 MAODV와 MT-MAODV와 달리 모든 멤버 단말이 동일한 수의 스트림을 수신하지 않으므로 패킷 충돌이 적게 발생하고, 수

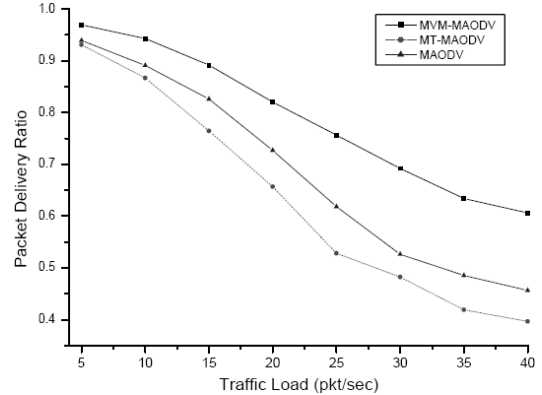


그림 10. 단위 시간 당 패킷 수 증가에 따른 패킷 전달율 변화

신하는 서브스트림에 대해 안정적인 데이터 수신은 보장된다.

그림 11은 세션이 진행되는 동안에 관찰된 사용 가능한 무선 단말의 비율을 보여준다. 본 논문에서 제안하는 MVM-MAODV는 사용 가능한 무선 단말들의 비율이 1.0에서 떨어지기 시작하는 시점이 타 기법에 비해 늦고 감소하는 속도가 느리다. 기존 기법 중 MT-MAODV가 MAODV보다 사용 가능한 단말의 비율이 낮은 까닭은, 다중 트리를 사용함으로써 패킷 전송 부담을 분산할 수 있으나 더 많은 무선 단말에서 데이터 전송이 발생하며 에너지 손실이 발생하는 무선 단말들이 많기 때문이다.

본 논문의 MVM-MAODV는 다중 트리를 사용하여 개별 단말들이 전송해야 하는 트래픽 부담을 감소시켰고, 잔여 에너지에 따라 전달하는 서브스트림의 수가 다르므로, 잔여 에너지가 적은 단말들의

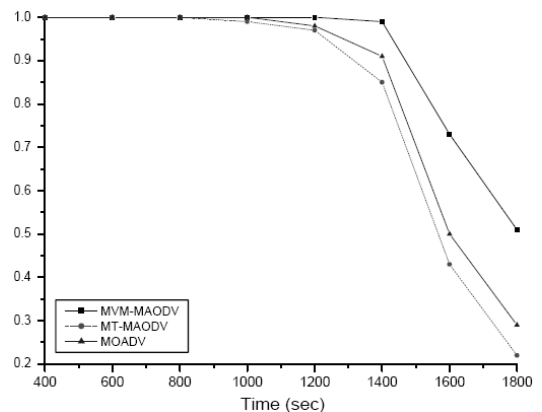


그림 11. 전송 시간에 따른 사용 가능한 무선 단말의 비율

에너지 감소량이 타 기법보다 적으므로 보다 오랜 시간 동안 사용 가능한 단말의 비율을 높게 유지할 수 있다.

V. 결 론

무선 애드 혹 네트워크에서 안정적인 멀티미디어 데이터 전송을 위해 MDC를 활용한 다중 트리 구성 기법이 다수 제안되어 있다. 이 기법들은 모든 멤버 무선 단말들이 잔여 에너지나 비디오 품질 요구의 관점에서 동질적이라는 가정 하에 설계되었다. 본 논문에서 제안하는 기법은, 기존의 기법과 유사하게 MDC를 적용하여 여러 개의 서브스트림으로 데이터를 전송하고, 다중 트리를 사용해서 트리들이 서로 다른 서브스트림을 전송하도록 한다. 기존 기법과의 차이는, 멤버 단말이나 트리 단말이 각 단말의 잔여 에너지를 고려하여 지원 가능한 서브스트림의 수를 결정하도록 한다는 점이다. 멤버 무선 단말은 응용 프로그램의 품질 요구도 함께 고려하여 서브스트림의 수를 결정하게 되고, 멤버 무선 단말마다 결과적으로 참여하는 트리의 수가 달라진다. 수신하는 서브스트림의 수에 따라 품질에는 다소 차이가 있지만 세션이 마칠 때까지 안정적으로 참여할 수 있다는 장점을 갖는다. 시뮬레이션을 통한 성능평가에서도 기존의 기법에 비해 비디오 품질이 더 안정적이고 세션 내 무선 단말들의 수명이 연장되는 것을 확인할 수 있었다.

본 연구에서는 단일 데이터 송신자를 고려한 다중 트리 구성 기법을 제시하고 있으나, 이를 확장하여 다중 데이터 송신자가 있는 경우에도 효율적으로 적용할 수 있도록 할 것이다. 그리고, 에너지 요구에 대한 기준으로 패킷 수를 제시했으나, 실시간 스트리밍의 경우도 고려하여, 에너지 요구를 표현하고 예측하는 점에서 보다 다양한 기법을 제시하도록 할 것이다.

참 고 문 헌

[1] C. Cordeiro et al, "Multicast over Wireless Mobile Ad hoc Networks: Present and Future Directions," *IEEE Network*, 17(1), pp.52-59, 2003.

[2] J. Apostolopoulos and M. Trott, "Path diversity for enhanced media streaming," *IEEE Communications, Special Issue Proxy Support*

Streaming Internet, 42(8), pp.80-87, 2004.

[3] W. Wei and A. Zakhor, "Multiple tree video multicast over wireless ad hoc networks," *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 17(1) pp.2-15, 2007.

[4] C.O. Chow and H. Ishii, "Multiple Tree Multicast Ad Hoc On-Demand Distance Vector (MT-MAODV) Routing Protocol for Video Multicast over Mobile Ad Hoc Networks," *IEICE Transactions on Communications*, E91-B(2), 2008.

[5] Sung Ju Lee et al, "On-demand multicast routing protocol in multihop wireless mobile networks," *Mobile Networks and Applications*, 7(6), pp.441-453, 2002.

[6] C. E. Perkins and E. M. Royer, "Ad-hoc On-Demand Distance Vector Routing," *Proc. of the 2nd IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications*, pp.90-100, 1999.

[7] E.M. Royer and C.E. Perkins, "Multicast operation of the ad-hoc on-demand distance vector routing protocol," *Proc. of ACM MOBICOM*, pp.207-218, 1999.

[8] V.K. Goyal, "Multiple description coding: Compression meets the network," *IEEE Signal Processing*, 18, pp.74-93, 2001.

[9] S. Sajama and Z.J. Haas, "Independent-tree ad hoc multicast routing (ITAMAR)," *ACM/Kluwer Mobile Networks and Applications*, 8(5), pp.551-566, 2003.

[10] S. Mao, X. Cheng, Y.T. Hou, and H.D. Sherali, "Multiple description video multicast in wireless ad hoc networks," *ACM/Kluwer Mobile Networks and Applications*, 11(1), pp.63-73, 2006.

[11] J. Chakareski, S. Han, and B. Girod, "Layered coding vs. multiple descriptions for video streaming over multiple paths," *Multimedia Systems*, Springer, online journal publication: Digital Object Identifier (DOI) 10.1007/s00530-004-0162-3, 2005.

[12] ISI, *The Network Simulator ns-2*, available at <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>.

[13] Arizona State University, *Traffic Analysis for Multiple Description Coded Video Sequences*, available at <http://trace.eas.asu.edu/MDC/QCIF/>

foreman.html

[14] Berlin University of Technology, *EvalVid - A Video Quality Evaluation Tool-set*, available at <http://www.tkn.tu-berlin.de/research/evalvid/>

박 재 영 (Jae Young Park)

준회원



2009년 2월 아주대학교 학사
현재 인프라웨어 주임
<관심분야> 멀티캐스트, 무선
네트워크

조 영 중 (Young-Jong Cho)

종신회원



1985년 2월 KAIST 석사
1990년 2월 KAIST 박사
1996년 3월~현재 아주대학교
교수
<관심분야> 멀티캐스트, 무선
네트워크, 트래픽 모델링

강 경 란 (Kyungran Kang)

정회원



1994년 2월 KAIST 석사
1999년 2월 KAIST 박사
2004년 3월~현재 아주대학교
부교수
<관심분야> 멀티캐스트, 이동
네트워크, 전송 통신