

AODV에 기반한 에너지 효율적인 경로 재설정 기법의 구현

김택수^o 차호정
 연세대학교 컴퓨터과학과
 {tskim^o,hjcha}@mobed.yonsei.ac.kr

Implementation of an AODV-based Energy Aware Route Redirection

Taek Soo Kim^o Hojung Cha
 Dept. of Computer Science, Yonsei University

요 약

무선 애드 hoc 네트워크에서 이동 단말기 각각의 연결에 필요한 최소 전송 전력을 구하는 기법의 경우, 상대방 단말기에 설정된 전송 전력을 알기 위해 별도의 통신이 필요한데 애드 hoc 네트워크에서 라우팅 프로토콜을 수정해서 사용할 경우 오버헤드 없이 구현이 가능하다. 또 그것을 응용하면 최소 전송 전력을 고려하는 경로를 선택함으로써 과도한 전력 소비를 줄일 수 있다. 본 논문에서는 애드 hoc 네트워크에서 대표적인 라우팅 프로토콜인 AODV를 기반으로 전송 전력 제어와 결합된 AODV 프로토콜을 제안한다.

1. 서 론

최근 무선 네트워크 기술의 발전과 더불어 애드 hoc 네트워크 (Ad Hoc Network) 에 대한 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 애드 hoc 네트워크는 하부 구조 없이 무선 단말기끼리 직접 통신하는 방식으로 구성되고 통신 가능한 공간의 범위를 넓히기 위해서 멀티 홉 경로를 사용하므로 무선 단말기의 성능과 가용성이 망 전체의 연결성 및 처리율에 영향을 미친다. 그런데 많은 무선 단말기가 배터리로 동작하고 사용 시간이 한정되어 있기 때문에 사용 시간을 연장하기 위해서 전력 소비를 줄여야 한다. 전력 소비를 줄이기 위한 접근 방식 중 무선 단말기의 전송 장치에서 전력 소비를 줄이기 위해서는 네트워크의 각 링크에 있어서 전송 전력 수준을 필요한 만큼으로 최소화해야 한다. 그러나 각 링크의 전송 전력을 최소화 한 후에도 하나의 링크에서 필요한 전송 전력이 여러 개의 중간 단말기를 거치는 경로의 전송 전력의 합보다 클 수 있다. 그러나 기존의 애드 hoc 라우팅 프로토콜은 대부분 경로 탐색 과정에서 응답 시간이 가장 작은 경로를 선택하므로 전송 전력을 최소화하는 경로를 선택할 수 없다. 본 논문은 애드 hoc 네트워크의 대표적인 라우팅 프로토콜 중 하나인 AODV 프로토콜[1]을 변형해서 하나의 링크에서 전송 전력이 과도하게 많이 필요할 경우 중간 노드를 경유하는 경로를 선택하게 하는 기법을 제안하고 3개의 노트북을 사용한 실험을 통해 단말기의 밀도가 높은 네트워크에서 확장이 가능한 기법임을 검증한다.

2. AODV 프로토콜

AODV는 애드 hoc 네트워크에서 대표적인 라우팅 기법으로서 Perkins가 제안한 요구기반 (on-demand) 라우팅

프로토콜이다. AODV 프로토콜의 정의에 따르면 모든 동작은 네 가지로 분류할 수 있으며 각각 연결 정보 관리 (Connectivity Management), 경로 탐색 (Route Discovery), 전 방향 경로 설정 (Forward Path Setup), 경로 유지 (Route Maintenance)로 정의한다.

연결 정보 관리 단계에서는 HELLO 라고 불리는 홉 카운트가 1로 제한된 RREP (Route Reply) 메시지를 전파해서 이웃 단말기에게 자신의 존재를 알리게 되고 데이터 전송 요구의 목적지가 이웃한 단말기가 아닐 경우 경로 탐색 작업을 수행한다. 이 단계에서 발신 단말기는 AODV의 RREQ (Route Request) 메시지를 생성해서 이웃 단말기에게 전파한다. RREQ를 받은 단말기의 주소가 목적지 주소와 같거나 목적지까지 경로를 알고 있을 경우 전 방향 경로 설정 작업을 수행한다. 이 과정에서는 경로 탐색과 달리 응답 메시지를 유니캐스트 방식으로 전달하게 된다. 경로 유지 과정에서는 각 경로가 올바르게 동작하는지 관리하고 단말기의 이동으로 인한 연결 실패에 대해 경로를 복구하는 작업을 한다.

3. AODV 프로토콜을 응용한 최소 전송 전력 라우팅

단말기간의 연결에서 양방향의 주파수 대역이 동일할 경우 최소 전송 전력은 수신 측에서 측정된 전파의 세기에 좌우된다. [2] 에서 언급하듯이 최소 전송 전력은 상대방이 무선을 수신할 때 신호를 제대로 인식하기 위해서 필요한 최소한의 신호 세기가 되도록 하는 값으로 정의할 수 있다. 이때 최소 전송 전력 값을 P_{rx}' , 이미 전송된 패킷의 전송 전력 값을 P_{tx} 그리고 수신 측에서 측정된 신호의 세기를 P_{rx} , 신호를 올바르게 인식할 때 필요한 신호 세기의 최소값을 P_{min} 이라고 할 때 P_{rx}' 는 식(1)과 같이 표현될 수

본 논문은 대학 IT 연구센터 육성 지원 사업의 연구 결과임.

있으며 각 항의 단위는 dBm 이다.

$$P'_{rx} = P_{tx} - P_{rx} + P_{min} \quad (1)$$

식 (1)에 의해 상대방에서 최소 전송 전력을 산출하기 위해서는 상대방의 전송 전력을 알아야 하는데 본 논문에서 제안한 기법에서는 AODV 메시지 중 RREP 메시지에 전송 전력 정보를 실어서 보낸다. 이럴 경우 별도의 패킷을 생성해야 하는 오버헤드가 없다.

최소 전송 전력을 갖는 경로 탐색 과정을 위해 [3]에서는 RREQ 와 RREP 메시지 타입에 각 링크에서의 전송 전력 값을 누적하는 기법을 제시하고 있다. 기존의 AODV 프로토콜은 같은 목적지에 대해서 BROADCAST RECORD TIME 으로 정해진 시간 이내에 RREQ 메시지를 받게 될 경우 첫 번째 RREQ 메시지에 대해서만 응답을 하는데 [3]에서는 여러 번의 RREQ 메시지를 허용해서 중복된 RREP 메시지를 송신한다. 그러나 이로 인해 AODV 메시지가 지나치게 증가할 수 있다. 또 다른 문제점은 라우팅 테이블의 주기적인 갱신에 의해 경로가 불안정하게 변경되는 현상이다. 이런 문제점을 감안해서 본 논문은 각 단말기가 AODV 라우팅 테이블과 별도의 연결 정보 테이블을 두고 두 개의 이웃 단말기에서 직접 연결에 필요한 전송 전력이 그 단말기를 경유해서 통신하는 전송 전력보다 클 경우에 경로 재설정 메시지를 발생시키는 기법을 제안한다. 경로 탐색 과정에서는 경로 재설정을 위한 선행 과정으로서 목적지가 이웃한 단말기일 때 RREQ 메시지 타입에 링크에 필요한 전송 전력을 포함해서 보내도록 수정해야 한다. RREQ 메시지는 브로드캐스트 방식으로 전송되므로 수신 가능한 범위에 있는 모든 단말기들이 RREQ에 기록되어 있는 전송 전력 값과 자신을 경유한 경로의 전송 전력 값을 비교해서 후자가 작을 때 경로 재설정 메시지를 보내서 최적화된 전송 전력에 기반한 경로가 선택되게 할 수 있다. 만일 목적지가 이웃 노드가 아니거나 아직 최소 전송 전력이 산출되지 않은 경우에는 RREQ의 MinPtx를 1000으로 설정한다. RREQ를 수신한 단말기는 MinPtx가 1000일 경우 경로 재설정 과정을 생략한다.

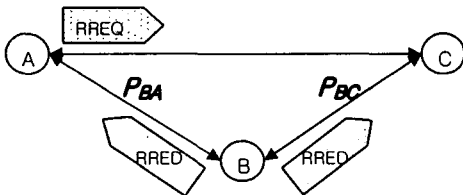


그림 1. 최소 전송 전력에 따른 경로 재설정

본 논문에서는 경로 재설정 메시지를 Route Redirect (RRED) 메시지 라고 명명한다. RRED는 자신을 경유하는 경로의 총 전송 전력 값을 포함하고 있어야 한다. 이 때의 전송 전력은 그림 1에서 최소 전송 전력 P_{BA} 와 P_{BC} 값의 합이다. 하나의

RREQ에 대해서 여러 개의 응답 RRED를 수신할 수 있는데 그 중에서 총 전송 전력 값이 작은 경로를 선택한다. RRED 메시지를 수신 받은 단말기는 라우팅 테이블에서 경로 재설정 플래그를 셋팅하고 라우팅 테이블에 경유하는 단말기의 맥 주소를 저장한다. 각 단말기는 데이터를 송신하기 전에 만일 목적지가 이웃한 단말기이고 라우팅 테이블을 검색해서 경로 재설정 플래그가 셋팅되어 있을 경우 경유하는 단말기로 전송을 시작한다. RRED 메시지의 유효 시간은 제한되어 있지 않고 만일 경유하는 단말기로 데이터 패킷을 전송하는데 실패했을 때에는 경로 유지 과정을 통해서 경로가 복구 되면서 라우팅 테이블의 경로 재설정 플래그가 초기화된다. 그림 2는 경로 재설정 처리 과정의 순서도이다.

제안하는 기법은 큰 전송 전력을 필요로 하는 하나의 링크를 전송 전력이 보다 작은 두 개의 링크로 분할하는 과정을 기반으로 한다. 중간 단말기 수가 많은 경로에 대해서는 각 링크마다 경로 재설정이 반복하면서 전송 전력이 많이 필요한 경로가 보다 적은 전송 전력을 필요로 하는 경로로 분할 될 것이므로 일반적인 경로에 대해서도 최소 전송 전력에 기반한 경로 선택이 이루어질 것이라고 예상할 수 있다.

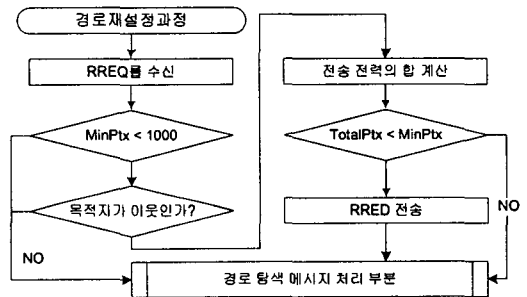


그림 2. 경로 재설정 과정

4. 실험

제안한 프로토콜을 구현하기 위해서 AODV-UU [4] 의 소스 코드를 수정하였다. 애드 혹 네트워크의 단말기는 시스코 에어로 넷 350 무선 랜 카드를 장착한 노트북 컴퓨터로 구성하였고 노트북의 OS는 커널 버전 2.4.25 를 포함하는 리눅스로 하였다. 구현은 두 단계로 진행하였다. 첫 단계는 각 링크 별로 전송 전력을 최적화하는 기법의 구현이고 두 번째 단계는 전송 전력 소비를 최적화하는 경로를 선택하도록 하는 기법의 구현이다. 첫 단계의 구현을 위해 무선 랜 드라이버로부터 현재 전송 전력 값을 구하고, 패킷을 받을 때 신호의 세기를 구한다음 전송 전력 값을 조절해야 하는 세가지 기능의 구현이 필요하다. 받은 패킷의 신호의 세기를 관찰하기 위해서 리눅스의 와이어리스 스파이 (wireless spy) 기능을 이용하였다. 이것은 송신자의 맥 주소별로 RSSI (received signal strength inductor)를 저장하고 검색할 수 있다. 리눅스에서 무선 랜 카드의 전송 전력을 제어는 ioctl 함수를

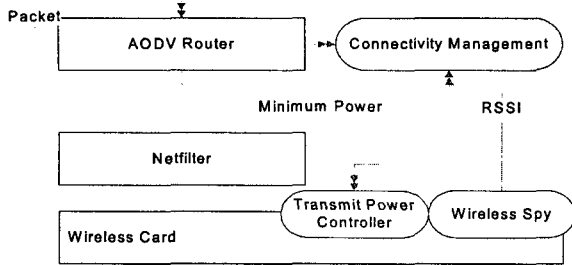


그림 3. 전송 전력 제어 과정

통해 이루어진다. 그림 3은 첫 번째 단계에서 구현의 전체적인 구조도이다. 두 번째 단계는 그림 2에서 설명한 알고리즘의 구현을 기반으로 한다.

경로 재설정 과정을 추가하고 그 과정의 메시지를 다른 메시지 처리 함수와 분리하기 위해서 추가한 새로운 메시지 포맷인 RRED 메시지의 크기는 64bit 이고 그 형태는 그림 4와 같다. 중에서 Total Transmit Power 필드는 중간 단말기를 경유했을 때 총 전송 전력을 mW 단위, 16bit 양수로 표현한다. Type 필드는 RRED의 메시지 번호에 해당하는 5를 포함하고 Destination IP Address는 32bit 주소 값으로 경로의 목적지 주소를 포함한다.

Type(8bit) ^a	Reserved(8bit) ^a	Total Transmit Power(16bit) ^c
Destination IP Address(32bit) ^b		

그림 4. 추가된 RRED 메시지

구현된 AODV 프로토콜을 탑재한 3개의 노트북으로 실험을 수행하였다. 이번 실험에서는 전력 조절이 이루어지는지, 또 경로 재설정 과정이 이루어지는지 검증하였다. 실험은 반경 20미터 이내의 실내에서 수행되었으며 실험 조건은 그림 1과 동일하게 3개의 단말기가 통신 가능한 범위에 있고 A,C 사이의 최소 전송 전력이 $P_{BA} + P_{BC}$ 보다 작도록 조절해서 경로 재설정이 발생하도록 구성하였다.

데이터 패킷이 발생했을 때 전송 경로가 변경되는 것을 관찰하기 위해 A에서 C로 ICMP 패킷을 발생시켜서 경로에 변경에 따른 경과를 관찰하였다. 패킷을 100msec 마다 56byte 씩 200번 반복해서 발생시켜서 시간의 경과를 관찰한 결과 중간 노드인 B에서 RRED 패킷이 발생하고 A-C 경로가 A-B-C 경로로 재설정되는 과정을 관찰할 수 있었다. 일단 RRED 패킷이 발생한 다음에는 변경된 A-B-C 경로가 다시 A-C 경로로 바뀌지 않음을 알 수 있었다. 각 단말기에서 산출한 평균 전송 전력은 그림 5와 같다. 패킷 당 평균 전송 전력 값은 패킷이 한번 발생할 때마다 사용하는 전송 전력 값을 평균한 값이고 감소율은 전송 전력을 고정했을 때와 대비한 전송 전력의 감소율이다. 참고로 노드당 평균 약 1057 bit/sec의 데이터가 송신되었다.

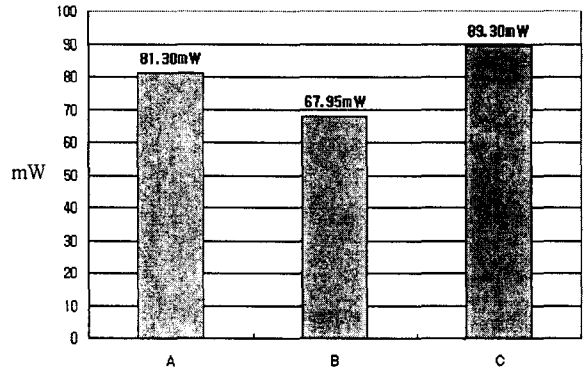


그림 5. 평균 전송 전력

5. 결론

본 논문에서는 애드 혹 네트워크에서 전송 전력을 조절하고 전송 전력이 많이 필요한 하나의 링크를 두 개로 분할하는 경로 재설정 과정을 제안하였다. 이 과정이 네트워크에서 확산 반복되면서 네트워크 전체의 전력 소비가 절감될 것으로 예상할 수 있으며 기본 과정의 검증에 위해 3개의 노트북을 이용한 실제 실험을 통해 구현된 프로토콜이 예상대로 동작하고 전송 전력을 감소 시켰음을 확인하였다. 또 실제 실험 경과의 관찰을 토대로 단말기 수가 많은 조건에서 시뮬레이션을 위해 모델 설정에 도움이 되는 수치를 확인할 수 있었다. 한편 최소 전송 전력을 적용하는 과정에서 신호의 세기가 충분하지 못한 경우 에러율이 증가하는데 이에 대한 보완이 필요하다.

6. 참고문헌

- [1] C. E. Perkins, Ad Hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing, Internet Draft, IETF MANET Working Group, draft-ietf-manet-aodv-12.txt, November 2002.
- [2] Sheth, R.Han, An Implementation of Transmit Power Control in 802.11b Wireless Networks, University of Colorado, Department of Computer Science, Technical Report, CU-CS-934-02, August 2002.
- [3] Pierpaolo Bergamo, Alessandra Giovanardi, Andrea Travasoni, Daniela Maniezzo, Gianluca Mazzini and Michele Zorzi, "Distributed Power Control for Energy Efficient Routing in Ad Hoc Networks," *Wireless Networks*, v.10 n.1, pp. 29-42, January 2004.
- [4] Wiberg, Porting AODV-UU implementation to ns-2 and Enabling Trace-based Simulation, UPPSALA University Master's Thesis in Computer Science, December 2002.