

전술 네트워크 환경의 트래픽 특성을 고려한 통합 메트릭 기반 애드혹 라우팅 기법

정회원 노 봉 수*, 허 미 정*, 황 기 민*, 종신회원 박 귀 순*

An Efficient Ad Hoc Routing Method for Tactical Networks using Integrated Metrics and Traffic Characteristics

Bong-soo Roh*, Mi-jeong Hoh*, Ki-min Hwang *Regular Members**, Gui-soon Park* *Lifelong Member*

요 약

전술 네트워크 환경은 분산된 구조 하에 노드의 이동성이 보장되는 망 구조를 지향하며, 상용 통신망에 비해 상대적으로 열악한 무선 채널 환경의 특성이 고려되어야 한다. 이러한 환경에서 신뢰성 있는 데이터 전송을 위해서는 경로 결정 시 다양한 무선 채널 환경 요소 및 기동 노드의 상태를 자체적으로 인지하여, 전송 트래픽의 QoS(Quality of Service) 요구조건에 적합한 최적 경로 선정이 이루어져야 한다. 본 논문에서는 전술 네트워크 환경의 서비스 요구 조건 및 트래픽 특성을 정의하고, 이를 기반으로 라우팅 메트릭(Routing Metric)의 선별적인 선택을 통해 최적경로를 산출함으로써 효율적 데이터 전송이 가능한 AODV-IMTC(Integrated Metrics and Traffic Characteristics)를 제안한다.

Key Words : Tactical Network, Ad hoc, Metric, Routing, Integrated Metric, QoS

ABSTRACT

Tactical network environments are characterized by unreliable connectivity, communication links which has limited bandwidth compared to commercial networks and distributed architecture where users have high mobility. The best route should be selected based on the required traffic characteristics which can be a wireless channel environments and a status of nodes which are moving. Those characteristics are self aware and should be a routing decision factor in order to guarantee a reliable data transfer. In this paper we define the requirements of services and traffic characteristics on tactical network environments and suggest the new routing method "AODV-IMTC" based on selective routing metric to enable efficient data transfer in wireless ad hoc networks.

I. 서 론

무선 이동 애드혹 네트워크(Wireless Mobile Ad Hoc Network) 기술은 전술 네트워크 환경에서 기동 통신플랫폼에 높은 이동성과 망의 생존성을 제공하기 위해 요구되는 필수적인 기술이다. 무선 이동 애드혹 네트워크를 구성하는 노드들은 자체적인 망 구성을

위한 별도의 라우팅 기능을 보유하여, 기지국(Base Station)이나 액세스 포인트(Access Point)와 같은 고정된 특정 인프라 시설이 없이 망 구성이 가능하다. 또한 노드 간 중계가 가능하여, 통달거리와 지형적 제약의 한계를 다중 홉 중계(Multi-hop Relay)를 통해 극복할 수 있다. 이러한 장점으로 인해 최근 개발되는 무전기의 광대역 웨이브폼에는 기본적으로 애드혹 네

* 국방과학연구소 연구원(saintroh@add.re.kr)

논문번호 : KICS2010-07-355, 접수일자 : 2010년 7월 31일, 최종논문접수일자 : 2010년 11월 9일

트위크 기능이 탑재되어 개발되고 있으며, 지원 서비스 형태도 기존 음성 및 단문형태의 텍스트 메시지에서 VoIP 기반 음성서비스 및 멀티미디어 데이터 통신이 가능한 형태로 발전되고 있다. 그러나, 현재의 애드혹 네트워크 기술은 선택되는 라우팅 경로에 따라 노드별 자체 무선 인터페이스를 통한 중계 방식으로 인해 무선 채널 상태가 상이하며, 노드의 이동 혹은 적의 재밍(Jamming)에 의한 영향으로 인해 망 토폴로지 변화가 자주 발생할 수 있다. 이러한 제약사항으로 인한 데이터의 손실 및 지연은 상용 네트워크 환경에서 운용 시에는 큰 문제가 없으나, 전술 네트워크 환경에서 임무와 관련된 중요 정보(Mission Critical Data)를 유통하는 경우에는 상당한 문제점이 야기된다. 즉, 애드혹 네트워크 환경에서 음성 및 데이터 중계를 위해 선택되는 경로는 종단간 서비스 품질에 영향을 미치는 큰 요소이므로, 전술 환경의 QoS 요구조건에 부합하는 라우팅 경로를 제공하는 것은 매우 중요하다.

본 논문에서는 전술 네트워크 환경에서 운용되는 서비스별 요구조건 및 트래픽 특성을 정의하고, 이와 관련된 라우팅 메트릭(Routing Metric)을 식별함으로써 애드혹 네트워크의 QoS 능력을 향상시키는 최적 경로 생성 방법을 제안한다. 각 무선 이동 애드혹 노드는 최적 경로 산정 시 전술 네트워크 환경을 인지하고, 서비스별 트래픽의 요구조건에 따라 각각 다른 최적 경로를 구성하게 된다. 이러한 특징은 결과적으로 전술 네트워크 환경 특성이 반영된 최적 경로 구성을 가능하게 하여, QoS 요구조건에 근접한 서비스 지원이 가능하게 된다. 또한 서비스별 특성에 따라 각각 다르게 식별되는 최적 경로의 다양성으로 인해 전체적인 망의 로드밸런싱 및 형평성(fairness) 효과를 기대할 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 관련 연구로서 최소 홉 기반 라우팅 메트릭의 한계를 극복하기 위한 기존 방안들을 살펴보고, 3장에서는 전술 네트워크의 특성 및 서비스 요구 조건 분석을 통한 라우팅 메트릭 요소를 도출한다. 4장에서는 분석된 라우팅 메트릭 요소를 계산하는 방법과 제안하는 트래픽 특성을 고려한 통합 라우팅 메트릭 기반 애드혹 라우팅 기법을 설명하며, 5장에서는 성능 분석 결과를 기술하고, 6장에서 결론으로 마무리한다.

II. 관련 연구

라우팅 메트릭은 존재하는 다수의 경로 중 최적의

경로(최소 비용)를 계산하기 위해, 사용되는 값을 표현하는 척도이다. 각 노드는 이 값을 바탕으로 라우팅 경로를 결정하게 되므로 라우팅 메트릭은 경로 선정 시 중요한 역할을 수행한다. 현재 대부분의 무선 이동 애드혹 네트워크 프로토콜은 최적 경로 산정 시 경로의 길이를 나타내는 최소 홉 수를 라우팅 메트릭으로 사용한다. 그러나 최근의 연구들은 최소 홉 수에 의해 선택된 라우팅 경로가 최적 경로가 아닐 수 있음을 다양한 성능분석 및 실험을 통해 보여준다. 이는 홉 수가 적은 경로라도 먼 거리에 위치하여 전송물이 떨어지거나, 무선 채널환경이 좋지 않은 경로가 존재할 수 있기 때문이다.

Douglas et al.^[1]은 최소 홉 수 기반 메트릭을 사용하는 라우팅 알고리즘이 실제 가능한 최적 라우팅 경로에 비해 성능 저하가 얼마나 발생하는지를 테스트 베드를 통해 검증하였다. 또한 홉 수 기반의 라우팅 메트릭을 대체하기 위해 각 노드별 예상되는 패킷 전송 횟수를 나타내는 ETX(Expected Transmission)에 의한 새로운 라우팅 메트릭을 제안하였다. ETX는 각 노드가 인접 노드들에게 일정 시간마다 탐지 패킷(probe packet)을 전송하여 측정되는 값이며, 이 값을 통해 각 노드는 해당 링크의 패킷손실률을 계산할 수 있다.

Draves et al.^[2]는 ETX 값을 이용하여, 패킷의 크기와 링크별 전송량을 고려한 예상 전송 소요시간을 나타내는 지표인 ETT(Expected Transmission Time)에 의한 라우팅 메트릭을 제안하였다.

Omesh et al.^[3]은 노드간 상대적 이동속도와 간극의 정도에 따른 RFC(Route Fragility Coefficient)에 의한 라우팅 메트릭을 제안하였다. RFC 값은 수신 신호의 세기에 의해 계산되는 상대적인 값이며, 이를 통해 이동성에 의한 라우팅 경로의 안정도에 따라 경로를 선택할 수 있다.

Rahman et al.^[4]은 WMA(Wireless Mesh Adhoc) 망에서 기존에 제시된 라우팅 메트릭인 ETX, ETT, iWARE(interference Aware), LTA(Link Type Aware)를 기존 AODV(Adhoc On-demand Distance Vector)에 적용하여 다양한 메트릭을 반영하도록 한 IM-AODV(Integrated Metric-AODV) 알고리즘을 제안하였다. 이 기법은 기존 단일 방식의 메트릭을 함께 형태로 통합하여, 최적화된 라우팅 메트릭을 계산하도록 하였다. 그러나 결과적으로 평균 10% 정도의 상대적으로 미비한 성능 개선 효과를 보였다. 즉, 단순히 여러 라우팅 메트릭을 하나로 통합하는 방식만으로는 성능개선의 한계가 있음을 알 수 있다.

기존의 최소 홉 수 기반의 메트릭을 개선하기 위한 관련 연구들은 라우팅 경로를 결정하기 위한 메트릭 계산에 국한되며, 네트워크에 다양한 종류의 트래픽이 유통될 때 각 서비스별 QoS 요소는 고려되지 않았다. 따라서, 특정한 경우를 제외하고는 라우팅 메트릭에 의한 성능 개선 효과가 미비하고, 한 가지 방식의 메트릭에 의해 경로가 결정되는 특성은 전술 네트워크 환경에서 중요한 로드밸런싱 및 망 활용도 측면에서 이득이 없는 제약사항이 존재한다.

III. 전술 네트워크 특성 및 서비스 요구조건 분석

3.1 전술 네트워크 특성

전술 네트워크 환경은 일반적으로 상용 망에 비해 지형적인 제약 및 재밍(jamming)등으로 인한 무선 채널 특성이 매우 가변적이며, 높은 이동성과 제한된 통달거리로 인해 토폴로지 변화가 자주 발생한다. 이러한 특성으로 전체적인 채널용량 저하가 발생하며 라우팅 경로가 불안정하게 된다. 또한 전시에 발생할 수 있는 노드 파괴 및 특정 노드(예: 지휘관 노드)에 트래픽이 집중되는 문제로 인해, 다수의 혼잡 링크 구간 형성과 자원분배의 불균등(unfairness)이 발생할 수 있다. 그러므로 각 노드는 최적 경로 선정 시 이러한 무선 및 전술 네트워크 환경의 요소를 라우팅 메트릭에 반영할 수 있어야 한다. 본 논문에서는 무선 및 전술 환경에서 요구되는 라우팅 메트릭 요소를 다음과 같이 정의하였다.

- 신뢰성(R : reliability): 데이터 전달의 정확성
- 적시성(P : punctuality): 데이터 전달의 신속성
- 안정성(St : stability): 노드의 이동성에 따른 라우팅 변경빈도
- 수용성(C : capacity): 경로의 링크 용량 특성
- 지속성(Su : sustainability): 중계노드의 서비스 지속성

각 라우팅 메트릭 요소는 전술 네트워크 환경에서 고려되어야 할 특성을 나타내며, 최적 라우팅 경로 선택 시 QoS 요구조건에 직접적인 영향을 미칠 수 있는 값으로 작용하게 된다.

3.2 서비스별 요구조건 분석

전술 네트워크 환경에서 유통되는 트래픽은 상용과는 달리 응용 어플리케이션의 종류가 한정되어 있기 때문에 분류화가 가능하다. 그러므로 본 논문에서는

표 1과 같이 응용 어플리케이션별 트래픽의 특성에 따른 라우팅 메트릭 요소를 분류하였다. 서비스별로 분류된 라우팅 메트릭 요소는 각 서비스별 QoS 연관성을 나타내는 가중치값인 mandatory(w4), required(w3), normal(w2), low(w1), none(w0) 로 구분된다. 또한, 각 요소별 우선순위를 구분하기 위하여 모든 서비스는 관련성이 없는 none을 제외하고는 중복된 값을 가질 수 없다.

표 1. 트래픽 특성에 따른 연관 라우팅 메트릭 요소

Class name	Application	BW	Related Routing Metrics
TClassUS	Emergency Message	<64 kbps	Reliability, Punctuality
TClassRTS_VoIP	Voice Data	>64Kbps	Punctuality, Stability
TClassRTS	Real-time Video, Tele-conferencing	2 Mbps	Capacity, Punctuality, Stability, Sustainability
TClassRTS	C2, SA Information	~512 kbps	Reliability, Stability, Capacity
TClassBE	FTP, Web Application	maximum	Capacity, Sustainability

3.2.1 TClassUS

전술 네트워크에서 긴급하게 유통되어야 할 트래픽은 TClassUS 클래스로 분류하며, 주로 긴급전문이나 텍스트 기반 중요 임무 정보가 해당된다. TClassUS 트래픽의 특징은 단문 형태의 메시지 정보이기 때문에 요구 대역폭은 매우 낮지만, 경로의 데이터 전달 실시간성과 패킷 손실의 최소화가 가장 엄격하게 요구된다. 그러므로 그림 1과 같이 적시성과 신뢰성 메

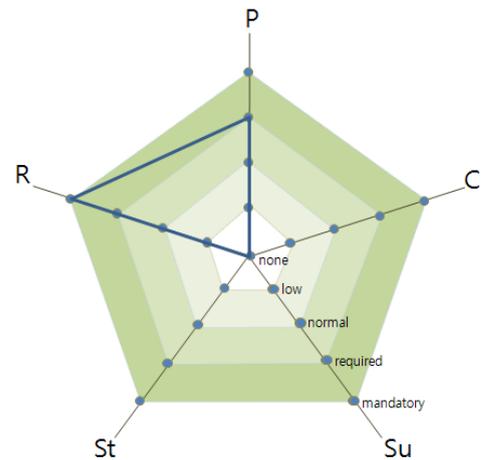


그림 1. TClassUS 메트릭 특성의 예

트릭이 연관된다.

3.2.2 TClassRTS_VoIP

현재의 전술 네트워크 환경에서는 정보 전달을 위한 수단으로 음성이 차지하는 비중이 매우 높으므로, 실시간 트래픽 중 TClassRTS_VoIP 클래스는 음성 VoIP의 QoS를 지원하기 위해 별도로 분류되었다. VoIP 트래픽의 특징은 TClassUS와는 달리 데이터의 일정 부분이 손실되더라도, 정보의 의미를 전달하는 측면에서 미치는 영향은 적은 편이다.

또한 다른 실시간 서비스에 비해 jitter와 delay에 사용자가 민감하게 반응하므로, 그림 2와 같이 적시성과 경로의 안정성 요소가 중요하게 연관된다.

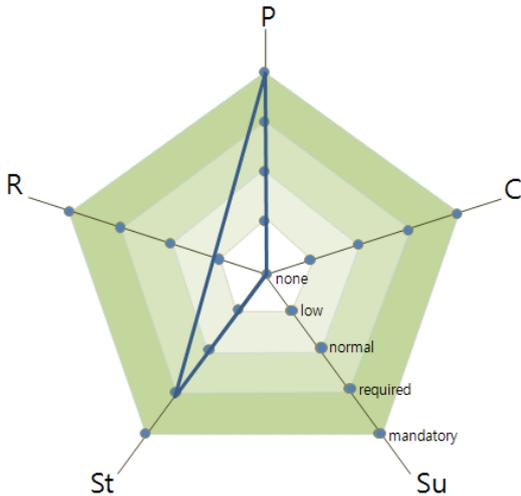


그림 2. TClassRTS_VoIP 메트릭 특성의 예

3.2.3 TClassRTS

TClassRTS 클래스는 음성외의 실시간성 트래픽에 대한 분류를 나타낸다. 최근 무선 전송 기술의 발전으로 전송 용량이 증대되어, 전술 네트워크에서도 기존의 음성이나 텍스트 형태 수준의 서비스 외 실시간 동영상 정보 유통 필요성이 증가하고 있다. TClassRTS 클래스는 링크 용량을 나타내는 지표인 수용성이 가장 중요한 라우팅 메트릭 요소가 되며, 그 외에도 실시간 스트림 서비스의 특성상 적시성, 지속성, 안정성도 연관된다.

3.2.4 TClassnRTS

TClassnRTS 클래스는 지휘·통제 및 상황전파를 위한 응용 어플리케이션 데이터 트래픽 분류를 나타낸다. TClassnRTS 트래픽에서는 지휘관이 지속적인

상황 정보의 보고 및 전파가 가능할 수 있도록, 안정된 경로를 나타내는 지표인 신뢰성 요소가 중요하며, 또한 상대적으로 큰 패킷 페이로드를 감안하여 충분한 데이터 유통이 가능하도록 수용성 요소도 요구된다.

3.2.5 TClassBE

TClassBE 클래스는 파일전송 및 웹 기반 어플리케이션을 위한 정보로서, 전송계층의 연결지향형(connection-oriented) 프로토콜인 TCP에 기반을 둔 서비스로 분류된다. TClassBE는 패킷 손실에 의한 재전송이 가능하므로, 라우팅 경로의 안정성에 대한 요구는 상대적으로 적다. 하지만, 패킷의 사이즈가 크고, 지속적인 세션의 유지가 필요한 서비스이므로, 경로의 수용성과 지속성이 서비스 QoS에 가장 큰 영향을 미치게 된다.

IV. 트래픽 특성을 고려한 통합 메트릭 기반 애드혹 라우팅 기법 : AODV-IMTC

4.1 라우팅 메트릭 설계

4.1.1 신뢰성(Reliability) 메트릭

경로의 신뢰성을 결정하는 메트릭은 ETX 값^[1]에 의해 산정되며, 식(1)과 같이 이 값은 라우팅 경로 P에 존재하는 개별노드 i의 Df(순방향 에러율)과 Dr(역방향 에러율)에 의해 계산된다.

$$ETX(P) = \sum_i \left(\frac{1}{(1 - Df_i)(1 - Dr_i)} \right) \quad (1)$$

전송 에러율은 각 노드가 자신의 이웃한 노드에 탐지패킷(probe packet)을 주기적으로 전송하여 얻어지는 값이다. 순방향 에러율은 송신 노드(source node)에서 목적지 노드(destination node)의 방향으로 요청되는 라우팅 경로에서 발생하는 각 노드별 탐지 패킷의 손실률을 의미하며, 반대로 역방향 에러율은 목적지 노드에서 송신 노드까지 발생하는 에러율을 의미한다. 순방향 에러율과 역방향 에러율을 분리하여 계산한 이유는 무선 애드혹 라우팅 경로가 일반적으로 비대칭(asymmetry) 경로로 형성될 수 있기 때문이다. 결과적으로 ETX 값은 경로 P에 존재하는 노드 i의 에러율에 의한 재전송횟수를 포함한 전송횟수의 합으로 표현되므로, 경로별 상대적인 비교 시 경로의 신뢰성을 의미하는 라우팅 메트릭으로 사용할 수 있다.

4.1.2 적시성(Punctuality) 메트릭

경로의 적시성은 ETT 값^[2]에 의해 결정되며, 식(2)와 같이 ETT 값은 전송횟수인 ETX 값과 링크 대역폭 BW(BandWidth)에 대한 전송 패킷의 크기(S)에 의해 계산되어지는 메트릭이다.

$$ETT(P) = \sum_i (ETX_i * \frac{S}{BW_i}) \quad (2)$$

ETT 값은 결과적으로 경로 P에 존재하는 각 노드 i의 전송횟수와 링크 용량 대비 전송 패킷의 크기로 나타내어지는 예상시간을 의미하므로, 경로별 상대적인 비교 시 경로의 적시성을 의미하는 라우팅 메트릭으로 사용할 수 있다.

4.1.3 안정성(Stability) 메트릭

경로의 안정성은 노드의 이동성으로 인한 네트워크 토폴로지 변화가 최소인 경로를 식별하기 위한 메트릭이다. 네트워크 토폴로지가 변화가 자주 발생하면, 새로운 대체 경로를 찾기 위한 경로 재탐색 과정을 반복해야한다. 재탐색을 하는 과정에서 트래픽의 형태가 단위 패킷 혹은 짧은 스트림인 경우는 영향을 적게 받지만, VoIP 혹은 멀티미디어 스트림 서비스 등은 QoS 측면에서 jitter나 delay, 손실에 의해 많은 영향을 받게 된다. 이러한 애드혹 노드의 이동성에 의한 라우팅 경로의 깨짐현상(Fragility)을 방지하기 위해 본 논문에서는 RFC 값^[3]을 이용한다. RFC 값은 데이터를 송신하는 노드를 기준으로 수신하는 노드의 상대적인 움직임(movement)을 의미하는 값으로, CCM(Cumulative Contraction Metric)과 CEM(Cumulative Expansion Metric)의 합에 의해 계산된다. CCM과 CEM을 결정하는 송·수신 노드간 상대적인 이동속도 v는 연속되는 2개의 패킷에 대한 수신 신호 세기(Pow)를 통해 계산된다. 식(6)의 결과에 의해, 두 노드간의 거리차가 좁혀지는 경우(C)는 식(4)와 같이 계산된 결과가 CCM의 메트릭으로 RFC에 반영되며, 멀어지는 경우(E)에는 식(5)와 같이 계산된 결과가 RFC에 반영된다.

$$RFC(P) = CCM_i + K * CEM_i \quad (3)$$

$$CCM(P) = \sum_{i \in C} v_i \quad (4)$$

$$CEM(P) = \sum_{i \in E} v_i \quad (5)$$

$$v = \frac{\sqrt{d_m^2 - d_s^2}}{(t_m - t_s)} = \frac{1}{(t_m - t_s)} * \sqrt{\frac{1}{Pow_m} - \frac{1}{Pow_s}} \quad (6)$$

식(3)에서 RFC는 CCM과 CEM값의 합으로 계산되며, CEM에 곱해지는 상수 K는 페널티 값을 의미한다. 이는 CEM의 경우 두 노드간의 거리가 멀어지는 상태를 의미하므로, CCM에 비해서 라우팅 경로가 변화될 가능성이 높기 때문이다. 결과적으로 RFC 값은 노드의 이동성에 의한 라우팅 경로의 변화빈도를 반영할 수 있기 때문에, 안정성을 반영하는 메트릭으로 활용이 가능하다.

4.1.4 수용성(Capability) 메트릭

CSMA/CA 기반 802.11 MAC의 경우, 캐리어 감지 범위에 따라 1, 2, 5.5, 11Mbps의 링크 용량을 설정하게 된다. 수용성 메트릭을 나타내는 지표인 ABW(Available BandWidth)는 링크의 서비스 가용용량을 반영하기 위한 값이다. ABW 값은 식(7)과 같이 경로 P 내에 존재하는 노드 i간에 형성된 링크들이 갖는 링크 대역폭 중 가용한 최소 링크 대역폭으로 나타난다. 최소 대역폭을 경로의 ABW 값으로 설정하는 이유는, 최소 대역폭의 값이 병목링크(bottleneck link)가 되어 전체 경로의 대역폭을 제한하기 때문이다.

$$ABW(P) = \min | BW_i | \quad (7)$$

4.1.5 지속성(Sustainability) 메트릭

식(8)의 ABP(Available Battery Power)는 중계 노드의 서비스 지속성을 고려한 라우팅 메트릭이다. 최적경로 P에 위치한 노드는 상대적으로 다른 sleep 모드에 있는 노드들에 비해 많은 중계역할을 수행해야 하므로 많은 에너지 소모가 발생하게 된다. ABP는 이러한 서비스 제공의 불균등(unfairness)을 완화시켜주는 역할을 하게 된다.

$$ABP(P) = \frac{1}{\max_i | Res_Power_i |} \quad (8)$$

4.2 라우팅 알고리즘 동작

본 장에서는 대표적인 무선 이동 애드혹 라우팅 알고리즘인 AODV를 활용하여, 전술 네트워크 트래픽 특성과 통합 메트릭 요소를 적용한 최적 경로 생성 기법인 AODV-IMTC를 제안한다.

4.2.1 통합 메트릭 TCM(Total Cost Metric)

식(9)와 같이 TCM은 앞에서 식별된 5가지 전술 네트워크 환경의 라우팅 메트릭 요소를 반영한 결과 값이다.

$$TCM(P) = R * ETX + P * ETT + St * RFC + C * ABW + Su * ABP \quad (9)$$

라우팅 메트릭 연관성 가중치 값($w_4 \sim w_0$)을 의미하는 R, P, St, C, Su 값은 서비스 트래픽 별 연관도를 기준으로 설정된 값이다. 예를 들어, TClassUS와 같이 St, C, Su 계수가 0인 경우는 R과 P 값만 라우팅 메트릭으로 반영된다. TCM에 반영되는 ETX, ETT, RFC, ABW, ABP 값은 RREQ 메시지를 통해 broadcast 형태로 전달되어야 한다.

그림 3에서 송신노드(S)와 목적지노드(D) 사이에는 3가지 경로가 존재한다. 전송데이터 타입이 TClassRTS_VoIP일 때, 적시성(P)과 안정성(St)의 계수만 반영된다. 따라서, TCM 값은 ETT값과 RFC값 두 가지만 반영되어, Path 1은 120, Path 2는 50, Path 3은 40으로 최적 경로는 Path 3으로 결정되었다.

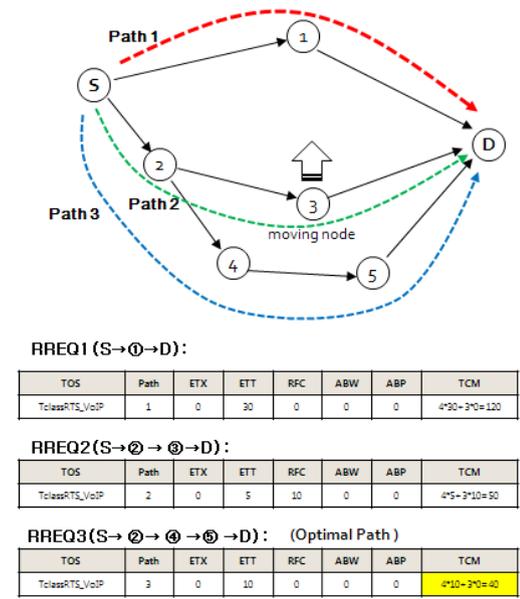


그림 3. TCM에 의한 최적 경로 선택의 예

4.2.2 동작 플로우 맵

그림 4는 AODV-IMTC 알고리즘의 라우팅 메트릭과 모듈별 관계를 나타내기 위한 애드혹 노드 내부의

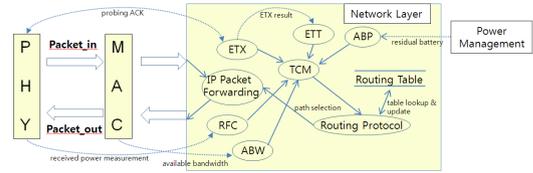


그림 4. AODV-IMTC 동작 플로우 맵

동작 플로우 맵을 나타낸 것이다. TCM 값을 계산하기 위한 네트워크 계층의 각 라우팅 메트릭 요소들은 PHY 계층과 MAC 계층, 전원관리모듈을 통해 필요한 정보를 얻게 되며, TCM은 라우팅 프로토콜의 라우팅 테이블에 반영하는 과정을 거쳐 최종적으로 IP 패킷의 라우팅 요청에 대한 경로 선택을 수행하게 된다.

V. 성능 분석

5.1 시뮬레이션 환경 설정 및 노드 모델

시뮬레이션 환경은 네트워크 시뮬레이터 툴인 OPNET Modeler 14.5A를 활용하였으며, 노드 모델은 표 2와 같은 설정을 통해 WNW(Wideband Network Waveform) 기반의 전술 무선기(Tactical Radio) 노드를 모델링하여 시뮬레이션을 수행하였다. WNW는 C2OTM(Command & Control On The Move)을 위한 웨이브폼으로 기존의 VHF-FM 무선기에 비해 고효율, 광대역의 통신환경을 제공하며, 통달거리의 한계를 극복하기 위해 애드혹 기반의 네트워크를 구성한다.

표 2. 시뮬레이션 주요 설정 내용

항목		설정
Network 계층	Adhoc Protocol	Modified AODV
	MAX-HOP	10
	경로 탐색 대기 시간	3
	경로 탐색 재시도수	2
MAC 계층	충돌회피모드	Based on CSMA/CA (Modified 802.11)
	Back-off Window 크기	4 Slot
PHY 계층	무선전파모델	Free Space Model
서비스 타입	VoIP /	64kbps /
	Real Time Stream	1.8 Mbps

5.2 시뮬레이션 결과

5.2.1 단일 경로 성능분석 시나리오

시뮬레이션 시나리오는 그림 5와 같이 7개의 무선

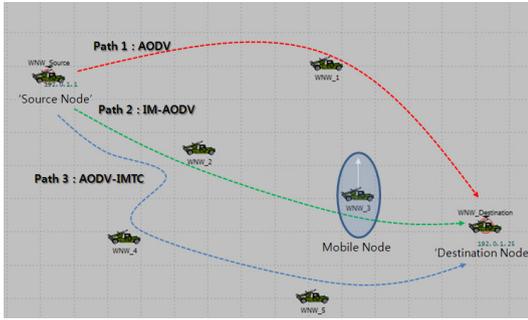


그림 5. 단일 경로 성능분석 시나리오 구성도

기 노드를 배치하여, 송신 노드에서 목적지 노드까지 각 알고리즘에 따라 3가지의 경로가 나올 수 있도록 하였다. Path 1은 기존 최소 홉 수를 라우팅 메트릭으로 사용하는 AODV 알고리즘에 의해 선택되는 경로로써, 거리에 따른 신호 대 잡음비의 감소로 인해 데이터 손실률이 가장 큰 구간이다.

Path 2는 AODV를 개선한 IM-AODV 알고리즘에 의해 선택되는 경로로써, 목적지 노드까지 가장 인접한 위치로 인해 시뮬레이션 시작 시점에는 가장 좋은 성능을 가진 링크이다. 그러나 60km/h로 이동하는 WNW_3 노드에 의해 점차 중계위치에서 이탈하게 된다. Path 3은 제안하는 AODV-IMTC에 의해 선택되는 경로로써, Path 2에 비해 초기 링크 성능은 상대적으로 낮지만 최소 요구대역폭을 만족하는 링크로서, VoIP의 QoS 요구특성에 의한 TCM 값에 의해 상대적으로 안정된 링크를 구성하게 된다.

5.2.2 분석 결과

그림 6은 설정된 시나리오를 기반으로 송신 노드에서 초당 33개의 64bytes의 패킷스트림(VoIP Stream)을 목적지 노드에 전송했을 때, 서비스 QoS 성능에

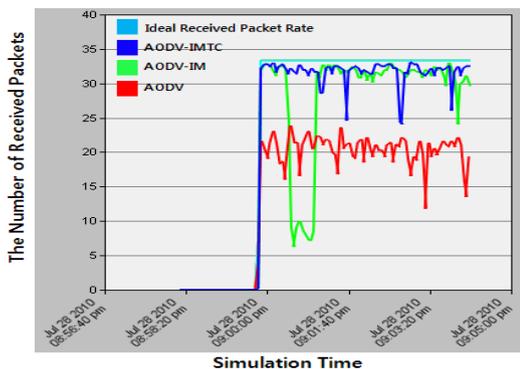


그림 6. 경로별 패킷 수신 결과

많은 영향을 미치는 요소 중 하나인 패킷 전달 성공률을 수신단에서 측정한 결과이다.

Path 1을 선택한 AODV의 경우는 입력 스트림 대비 66%에 해당하는 상당한 손실이 발생하게 된다. Path 2를 선택한 IM-AODV는 초기에는 거의 손실이 없지만, 이동노드인 WNW_3 노드가 중계가능 지점에서 벗어나는 순간부터 상당한 손실이 발생하게 되어 전체 전달성공률은 60%로 저하된다. VoIP 서비스의 안정성을 반영한 RFC 라우팅 메트릭에 의해 Path 3을 선택한 AODV-IMTC는 입력 스트림 대비 평균 93%에 해당하는 패킷 전달 성공률을 보인다.

그림 7은 총 시뮬레이션 시간동안 애드혹 제어패킷을 포함한 각 경로별 무선 데이터 손실량의 분포를 나타낸 것으로서, AODV-IM의 경우에는 이동구간 노드에 의해 약 1만 5천개 이상의 패킷이 손실되는 빈도가 가장 높은 것으로 측정되었다.

결과적으로, VoIP 음성트래픽의 경우 상대적으로 낮은 데이터 전송속도를 갖는 링크라도 최소 요구대역폭을 만족하면, 노드의 이동성이 적은 안정된 링크를 갖는 TCM값에 의한 경로선택 방법이 기존 AODV나 AODV-IM에 비해 좀 더 적합한 경로를 선택함을 알 수 있다. 이러한 최적 경로의 산출은 트래픽의 QoS 특성과 연관 있는 라우팅 메트릭에 의해 결정되며, 만약 TClassUS 서비스에 속하는 긴급전문 트래픽인 경우에는, 노드의 이동성보다는 신뢰성과 적시성을 고려한 라우팅 메트릭인 R과 P의 가중치가 높아지게 되어 VoIP 트래픽인 경우와는 다르게, Path 1 혹은 Path 2를 선택하게 될 수도 있다.

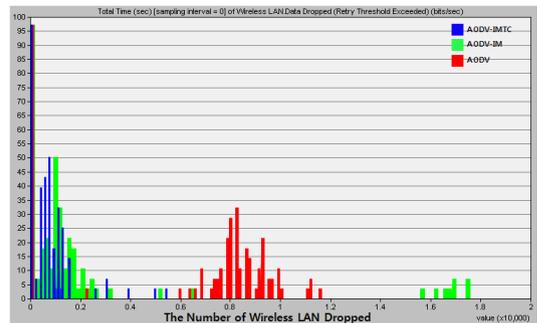


그림 7. 제어 패킷을 포함한 경로별 무선 데이터 손실량 분포도

5.2.3 다중 경로 성능분석 시나리오

다중 경로 성능분석 시뮬레이션 시나리오는 그림 8과 같이 다수의 무선기가 배치된 상황에서, VoIP 음성 스트림(TClassRTS_VoIP)과 1.8 Mbps의 영상 스

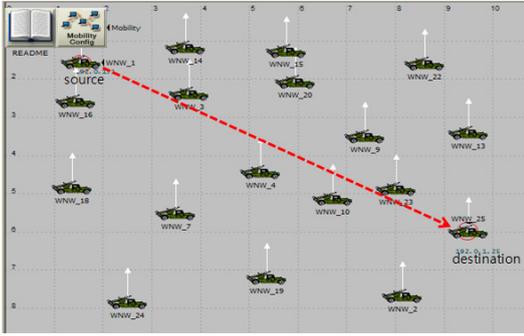


그림 8. 다중 경로 성능분석 시나리오 구성도

트림 서비스(TClassRTS)의 2가지 서비스가 유통되는 상황을 가정하였다. 기존 AODV와 AODV-IM은 트래픽의 특성과 무관하게 라우팅 메트릭에 의한 하나의 경로만을 생성하지만, AODV-IMTC의 경우에는 TClassRTS_VoIP와 TClassRTS간의 차이점인 가용대역폭(ABW)에 대한 가중치인 C 값에 의해, 두 개의 다른 경로를 생성할 수 있다.

5.2.4 다중 경로 성능분석 결과

그림 9는 각 라우팅 알고리즘에 의해 설정된 경로에 의한 음성 패킷 수신 결과를 나타낸 것이다. AODV와 AODV-IM은 음성 트래픽과 영상 스트림 트래픽의 QoS 특성에 대한 구분 없이 동일한 라우팅 메트릭이 선택되므로, 결과적으로 영상 스트림 트래픽에 의해 링크 혼잡도가 증가하게 된다. 시뮬레이션 타임 초기에는 AODV-IM이 가장 좋은 결과를 보이지만, 점차 링크 혼잡의 영향으로 인해 음성 패킷 수신이 급격히 저하된다. AODV-IMTC의 경우에는 영상 스트림이 VoIP 트래픽과는 다른 경로를 통해 전송되게 되어, 일정수준의 패킷 수신율을 유지할 수 있게 된다.

또한 음성 트래픽과 영상 스트림 트래픽이 동일한

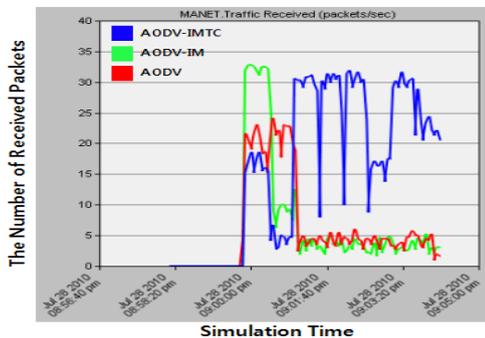


그림 9. 경로별 음성 패킷 수신 결과

경로로 선택될 경우, 패킷 수신율뿐만이 아니라 음성 품질에 영향을 미치는 버퍼링 등으로 인한 지연시간도 영향을 받게 된다. 그 예로, 그림 10에서 AODV-IMTC의 경우, VoIP 음성트래픽의 지연시간은 대부분 20ms 이내로 측정되었고 AODV-IM의 경우 300ms이상으로 측정되어 상대적으로 긴 지연시간을 보였다.

이러한 결과는 각 트래픽의 QoS 요구특성에 따라 다양하게 최적 경로를 선택하는 것이, 해당 트래픽의 개별 QoS 측면의 성능 증대뿐만이 아니라, 전체적인 망의 활용도와 로드밸런싱 측면에서도 유리할 수 있음을 나타낸다.

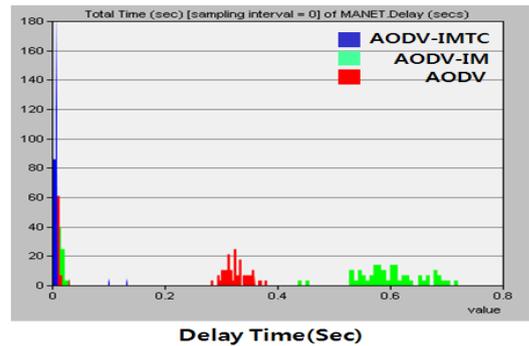


그림 10. 경로별 지연시간 분포

VI. 결 론

전술 네트워크 환경은 분산된 구조에서 이동성을 보장하고 무선 채널이 열악한 상황에서도 통신이 가능해야 한다. 또한 전지에 발생할 수 있는 다수의 통신 노드 파괴 및 혼잡 링크가 형성되는 시나리오에서도 생존성을 극대화하고 전체적인 망의 효율성을 높여, 서비스의 QoS를 지속적으로 유지하여야 한다. 현재 전술 네트워크 환경에 가장 적합한 망의 형태로 평가받고 있는 애드혹 네트워크는 특정 인프라 없이 개별 노드간 자가망(독립망)을 구성하거나 복구할 수 있어 망의 생존성이 뛰어나며 노드 이동성 지원이 가능하다. 반면 애드혹 네트워크는 멀티 홉 기반의 통신링크를 구성하기 때문에 토폴로지의 변화가 자주 발생하며, 무선채널의 용량의 가변적인 특성으로 인하여 서비스 QoS를 보장하기 어렵다.

본 논문을 통해 제안된 AODV-IMTC는 전술 네트워크 환경에서 유통되는 대표적인 서비스들에 대한 특성을 정의 및 분류하고, 서비스 QoS에 영향을 미칠

