

전술데이터링크 네트워크에서의 노드 이탈 관리 기법

정희원 안 광 호*, 이 주 형**, 조 준 영**, 종신회원 오 혁 준*

A Node Management Scheme in Tactical Data Link Network

Kwangho Ahn*, Juhung Lee**, Joonyoung Cho** *Regular Members*, Hyukjun Oh* *Lifelong Member*

요 약

현대전은 플랫폼 기반의 전장(PCW: Platform Centric Warfare)에서 네트워크 기반의 전장(NCW: Network Centric Warfare)으로 변화하고 있다. 네트워크 기반의 전장으로 변화하면서 네트워크 운용 및 관리의 중요성이 높아지고 있다. 본 논문은 군사용 무선 네트워크에서의 노드 이탈 관리 기법을 제안한다. 군사용 무선 네트워크는 노드의 네트워크 가입, 탈퇴가 비교적 자유로운 특징을 갖는다. 이러한 특징은 네트워크 가용성을 저해하는 요인이 될 수 있다. 일반 노드의 네트워크 이탈 상황에서 발생하는 가용성 저해요인을 파악하고, 이에 대해 RSSI(Received Signal Strength Indication)를 이용한 네트워크 탈퇴 예측 방법을 이용한 기법을 제시한다. 마지막으로 모의실험을 통해 측정 RSSI 신호 시간 간격에 따른 예측 성공률을 확인한다.

Key Words : RSSI, Path Loss, TDL, NCW, Shadowing

ABSTRACT

Modern warfares have changed from PCW (Platform Centric Warfare) to NCW (Network Centric Warfare). Therefore, it is more important to operate and manage the network. This paper proposed a node management scheme in military wireless networks. In military wireless networks, nodes can join and leave the networks easily. It causes a degradation of network capacity. This paper figured out a problem caused by node which is leaving the network. This paper proposed a RSSI based method of estimating and detecting the leaving nodes in the networks. Finally, an experimental result was demonstrated to show the efficiency of the proposed method.

I. 서 론

현대 전쟁의 양산은 강력한 재래식 화력을 기반으로 한 플랫폼 기반의 전장에서 정보통신기술이 접목된 네트워크 기반의 전장(NCW: Network Centric Warfare)으로 변화하고 있다¹⁾. 이러한 움직임은 걸프전, 아프가니스탄전, 그리고 최근 이라크 전을 통해 확인되었다. 미국을 선두로 국방 선진국들은 이러한 추세에 부응하여 각국의 상황에 적합한 미래 전력 극대화 방안으로 국방 개혁을 추진하고 있다.

과거의 군 통신은 주로 음성을 위주로 정보교환이

이루어졌다. 이러한 음성위주 통신은 정보교환의 제한이 있을 수 있고 수동으로 정보처리를 하면서 오류가 발생하는 단점을 가진다. 현재는 전술정보통신체계라는 데이터망을 통해 고속, 실시간으로 자료를 전송하고 전술상황을 공유함으로써 신속한 지휘통제 및 전장 상황에 대한 즉각적인 대응이 가능해졌다.

네트워크 기반의 전장으로 변화하면서 네트워크 운용, 관리의 중요성이 높아지고 있다. 현재 전 세계적으로 다수의 전술정보통신체계가 운용중이며 한국도 다수의 전술정보통신체계를 각각 운용하고 있다. 실제 전장 상황에서는 다수의 이중 전술정보통신체계가 동

※ 본 논문은 2010년도 광운대학교 연구년 지원으로 일부 연구되었음

* 광운대학교 전자통신공학과 (khahn12@hotmail.com, hj_oh@kw.ac.kr) ** 국방과학연구소

논문번호 : KICS2010-07-366, 접수일자 : 2010년 7월 31일, 최종논문접수일자 : 2011년 3월 31일

시에 운용 될 것이며 다수의 크고 작은 네트워크가 운용될 것이다. 여러 네트워크를 운용함에 있어서 네트워크 운용, 관리는 더욱 중요해진다. 본 논문에서는 전장 네트워크에서 노드가 네트워크 영역에서 이탈하거나 갑자기 소실되는 경우에 발생하는 문제점을 파악하고 이에 대한 대응 기법을 제안한다.

본 논문은 2장에서는 전술데이터링크에 대해 소개하고 3장에서는 노드의 네트워크 영역 이탈과 갑작스런 소실로 인해 발생하는 네트워크 가용성 저해요인을 파악하고 4장에서 노드의 네트워크 영역 판단기법을 제시하고 5장에서는 RSSI 신호를 이용한 네트워크 이탈 판단 기법을 설명한다. 6장에서는 성능 평가를 위한 모의실험을 하고 마지막으로 7장에서 결론을 제시한다.

II. 전술정보통신체계

전술정보통신체계는 무기체계 및 지휘 통제 체계간 전술자료를 실시간 또는 근 실시간으로 교환하여 전술상황을 공유하기 위한 디지털 통신 체계를 말한다. 전술자료는 전술작전을 수행하는데 있어서의 모든 자료를 의미하며, 표적위치, 식별정보, 무장정보, 연료정보, 표적 할당 정보, 교전 정보, 명령, 영상 정보 등이 있다.

과거 군 통신은 음성을 위주로 정보 교환이 이루어졌다. 무선망을 이용한 음성위주의 통신을 이용해 지휘통제를 수행함으로써 정보 교환이 제한되고 수동으로 정보처리를 함으로써 오류가 발생할 수 있는 단점이 있다. 현재는 전술데이터링크라는 데이터망을 통해 대용량으로 상황정보를 실시간으로 전달함으로써 신속한 지휘통제와 즉각적인 대응이 가능해졌다.

전술정보통신체계는 데이터 송수신에 필요한 통신 장비와 데이터를 처리하는 처리기 그리고 각 무기체계간 정보 교환을 위한 메시지 포맷으로 구성된다. 데이터링크의 종류에 따라 전술정보통신체계의 구성에 차이가 있을 수 있지만 일반적으로 그림1과 같이 이종 데이터링크 프로토콜에 적합하게 데이터를 변환하는 데이터 링크 처리기(DLP: Data Link Processor), 보안을 위한 암호화 장비 및 데이터 송수신을 위한 통

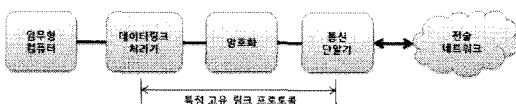


그림 1. 일반적인 전술데이터링크체계의 처리 과정 [2]
Fig 1. Basic components of general tactical data links

신 모뎀으로 이루어진다.

2.1 전술데이터링크체계

전술정보통신체계는 미국을 중심으로 1950년대부터 개발되기 시작했으며 정보통신, 무기체계의 발전에 따라 다양한 전술데이터링크가 개발되었다. 한국군은 해군과 공군의 무기체계를 중심으로 미군의 표준 전술데이터링크를 도입해 운용하고 있다. 현재는 LINK-16, LINK-11A/B, ATDL-1, KVMF 등의 체계가 개별적으로 운용되고 있으며, 일부 무기체계에는 전술데이터링크가 없이 음성으로 운영되고 있다. 현재는 육, 해, 공 합동작전을 수행할 수 있는 한국형 합동 전술데이터링크는 미보유 상태이다^[3].

III. 노드의 네트워크 영역 이탈

현대전 양상이 네트워크 기반 전장으로 변화하면서 네트워크 운용, 관리가 중요한 이슈로 부각되고 있다. 네트워크 영역에 존재하는 노드들을 파악하는 것은 대역폭 프로비저닝 측면에서 중요한 문제가 되고 이는 전체 네트워크 가용성에도 영향을 미치게 된다.

군사용 네트워크는 노드의 네트워크 가입, 탈퇴가 비교적 자유로운 특징을 가지고 있다. 네트워크 영역에 노드가 존재하는지 여부는 중심노드나 일반노드들에게 중요한 정보이다.

3.1 일반노드의 네트워크 영역 존재 여부

일반노드는 네트워크 영역 내 존재 여부를 파악해 네트워크 가입, 재가입, 탈퇴를 미리 준비할 수 있다.

그럼 2과 같이 중심노드에게 위치정보를 주기적으로 송신하는 노드와 중심노드와 메시지를 주고 받는 노드의 경우에는 네트워크 영역 내에 존재하는지 여부를 파악할 수 있다.

메시지의 수신 여부만으로 네트워크 영역을 판단할

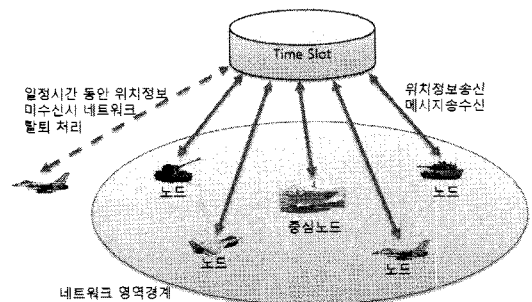


그림 2. 메시지를 송수신하는 노드의 네트워크 영역 이탈
Fig 2. Leaving the network for TX-RX node

경우, 원활한 네트워크 탈퇴 절차가 수행되기 어렵다. 왜냐하면 메시지가 수신되지 않는다는 것은 이미 네트워크 영역을 벗어나서 해당노드와 중심노드간의 connection이 단절되었다고 봐야하기 때문이다. 따라서 이러한 한계를 개선할 수 있는 기법이 요구된다.

3.2 TX-off 노드의 네트워크 영역 존재 여부

네트워크 운용 중 노드가 아무런 메시지 송신 없이 중심노드로부터 메시지를 수신만 하는 경우가 발생할 수 있다. 이는 적에게 자신의 위치를 감추기 위해 RF 송신을 완전히 off시키는 경우에 발생한다. 이러한 경우 각 노드는 그림 3과 같이 현재 네트워크 영역 내에 존재하는지 여부를 판단할 수 없다.

결론적으로 TX-on이든 TX-off이든 관계없이 효과적으로 노드의 네트워크 존재 여부를 판단할 수 있는 기법이 필요하다.

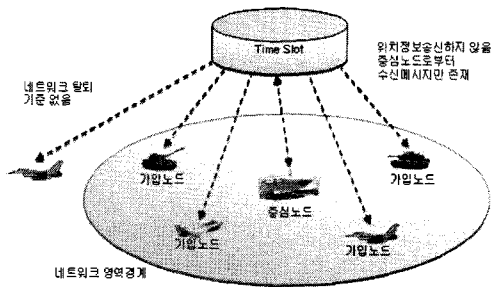


그림 3. 메시지를 송신하지 않는 노드의 네트워크 영역 이탈
Fig 3. Leaving the network for TX-off node

IV. 네트워크 존재여부 판단 기법

중심노드로 메시지를 송신하지 않는 노드는 현재 자신의 위치가 네트워크 영역을 벗어났는지 여부를 파악할 수 없다. 본 논문에서는 RSSI(Received Signal Strength Indication) 신호를 이용한 네트워크 탈퇴 기준을 제안한다. RSSI 신호는 무선 환경에서 사용하는 RF 신호의 상대적인 크기를 나타내는 값이다.

네트워크 영역의 경계는 보통 중심노드를 중심으로 하는 원의 형태로 형성된다. 각 노드에서 송신된 신호는 Path Loss에 의해 신호세기의 감쇄가 이루어지고 이에 따라 수신 가능한 모든 노드에게 전달된다. 따라서 각 노드는 중심노드로부터 수신한 신호 세기를 측정하고 거리를 계산하여 현재 네트워크 영역 내의 존재 여부를 판단할 수 있다.

하지만 중심노드로부터 수신하는 신호가 항상 주기적이라고 보장할 수 없고, 노드는 이동할 수 있기 때

문에 최근 수신한 하나의 메시지를 바탕으로 네트워크 영역 내 존재 여부를 판단하는 것은 어렵다.

네트워크 영역 내 존재 여부를 판단하고 영역 이탈을 예측하기 위해 다음 방안을 제시한다. 노드는 중심노드로부터 수신한 최근 두 신호의 세기를 측정한다. 이를 바탕으로 중심노드로부터의 거리를 측정하고 두 수신메시지의 시간 간격을 이용해 노드의 이동속도를 계산한다. 이와 같은 방법으로 얻은 정보를 이용해 중심노드는 네트워크 영역을 벗어나는 시점을 대략적으로 예측한다. 그림 4는 네트워크 영역 이탈을 판단하는 기법을 대략적으로 설명하는 그림이다.

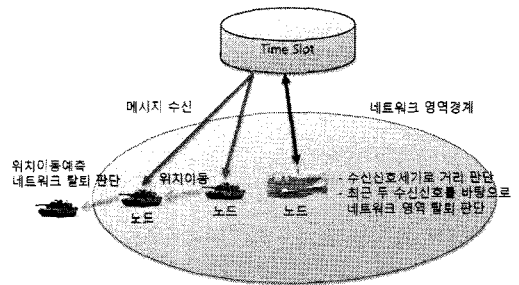


그림 4. RSSI 신호를 이용한 네트워크 영역 이탈 판단
Fig 4. Decision for node of leaving the network using RSSI signal

각 노드는 RSSI 신호를 이용해 네트워크 영역 이탈 여부를 판단하고 이후의 네트워크 가입, 재진입을 준비함으로써 네트워크 가용성 저해 요인을 최소화할 수 있다.

V. RSSI 신호를 이용한 노드 이탈 관리 기법

무선 통신 시스템의 페이딩 채널은 넓은 공간을 이동하면서 발생하는 large-scale 페이딩과 송신단과 수신단 사이의 짧은 시간, 짧은 거리 변화에 의해 발생하는 신호의 진폭과 위상이 급격한 변하는 small-scale 페이딩으로 분류될 수 있다.

Large-scale 페이딩은 거리에 따라 수신 신호의 평균 전력이 감쇠하는 현상을 나타내는 경로 손실과 송신단과 수신단사이의 장애물로 인해 수신 신호가 평균 전력을 중심으로 변화하는 현상을 나타내는 shadowing으로 나누어진다. 본 모의실험에서는 large-scale 페이딩인 경로 손실과 shadowing를 고려하여 실험을 진행한다⁴⁾.

송신단과 수신단 사이에 장애물이 존재하지 않는 환경에서는 자유 공간 전파 모델을 주로 사용한다. 위

성 통신 시스템이나 전형적인 LOS(Line of Sight) 무선 전파 환경에서 가장 널리 사용된다.

경로 손실 모델은 Friis의 자유공간 방정식에 의해 수신 신호의 전력을 구하는 모델을 사용한다⁵⁾. 실제 무선 전파 환경에서는 송신단과 수신단의 거리가 같더라도 주위 환경에 의해 경로 손실이 다를 수 있다. 이를 고려하기 위해 같은 거리에 있더라도 다른 경로 손실을 발생하게 하는 랜덤 Shadowing 효과가 추가된 모델을 사용한다^{6,7)}.

$$PL(d) = -10 \log \left(\frac{\lambda^2}{(4\pi)^2 d^2} \right) + 10n \log \left(\frac{d}{d_0} \right) + X_\sigma \quad (1)$$

식 (1)은 shadowing이 포함된 최종 경로 손실 모델을 나타낸다. d_0 는 기준거리를 의미한다. n 은 경로손실 지수를 의미하며 여러 환경에 따라 2에서부터 6까지 다양한 값을 갖는다. X_σ 는 σ 의 표준편차를 가지는 랜덤 shadowing 효과를 의미하며 그림 5와 같이 σ 값에 따른 shadowing 효과를 확인할 수 있다.

$$d = d_0 10^{\frac{(P_{TX} - RSSI) + 20 \log \left(\frac{\lambda}{4\pi d_0} \right)}{10n}} \quad (2)$$

식 (2)를 이용해서 측정된 RSSI 신호를 바탕으로 거리를 계산할 수 있다. 식 (2)는 식 (1)에서 송신부의 전송 전력을 고려하여 다시 정리한 식이다.

서로 다른 두 시간 t_1, t_2 에서 측정된 RSSI 신호를 식 (2)에 적용해 거리를 측정한다. 측정된 두 시간에서의 거리와 시간 간격을 이용해 네트워크 영역을 벗어나게 되는 시점을 예측한다.

VI. 성능 평가 및 모의실험

모의실험은 표 1의 모의실험 환경을 기반으로 다음과 같은 방법으로 진행한다. 네트워크 영역 안에서 셀 경계 방향으로 일정한 속도, 일정한 방향으로 진행하는 노드를 가정한다. 시간 t_1, t_2 에서 RSSI 신호를 측정한다. 측정된 RSSI 신호와 식 (2)를 이용해 중심노드와 노드사이의 거리를 측정한다.

측정한 두 신호 사이의 시간 간격과 거리 간격을 이용해 중심노드로부터 멀어지는 속도를 계산한다. 이를 이용해 네트워크 영역을 벗어나게 되는 시점을 예측한다. 예측한 시점과 실제 네트워크 영역을 벗어나는 시점을 비교하여 예측 성공 확률을 계산한다.

표 1. 모의실험 환경
Table 1. Simulation Parameters

중심노드 TX power	43 dBm
반송주파수	2 GHz
노드 이동 속도	30 km/h
경로 손실 지수	3
Shadowing 표준편차	3dB
기준거리(d_0)	100m

표 2. 시간간격에 따른 예측 성공률
Table 2. Detection success probability of time gap

측정 RSSI 신호 시간 간격(초)	예측 성공률
60	0.9091
70	0.9378
80	0.9650
90	0.9742
100	0.9822
110	0.9865

RSSI 신호를 이용해 중심노드와의 거리를 구할 경우 Shadowing 효과로 인해 오차가 발생한다. 측정된 2개의 RSSI 신호 사이의 시간 간격이 작은 경우에는 Shadowing 효과로 인한 오차 때문에 예측 성공률이 저하된다. 하지만 측정된 2개의 RSSI 신호 사이의 시간 간격이 충분히 크게 할 경우 표 2와 같이 0.95 이상의 예측 성공률을 얻을 수 있다.

RSSI에 기반한 기법들은 일반적으로 RSSI 추정의 부정확성으로 인하여 신뢰성 저하 문제가 발생할 수 있음이 기존 여러 연구들에서 지적되어 왔다. 이러한 RSSI 기반 기법들의 성능 개선을 위하여 본 연구에서 제안한 방법을 포함하여 상대적 임계값 사용, 적응여파기 및 칼만여파기 응용, RTT (round trip time)와 같은 추가적인 정보의 활용 등등의 다양한 기법들이 제안되어 왔다.

VII. 결론

현대전은 네트워크 기반 전장으로 변화하면서 네트워크 운용, 관리의 중요성이 높아지고 있다. 본 논문에서는 전송정보통신체계 네트워크에서 노드의 이탈로 발생할 수 있는 네트워크 가용성 저해요인을 파악하고 이에 따른 해결 기법을 제시했다.

네트워크에서 노드의 자유로운 가입, 탈퇴가 가능한 군사용 네트워크의 특징으로 인해 문제점이 발생할 수 있다. 메시지를 송신하지 않는 노드가 네트워크

영역을 벗어날 때 문제점을 파악하고, 이에 따른 해결 방안으로 RSSI 신호를 이용한 네트워크 영역 탈퇴 판단 관리 기법에 대해 제안했다.

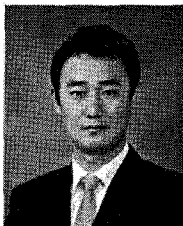
RSSI 신호를 이용한 네트워크 영역 이탈 판단 기법을 사용함으로써 네트워크 운용에서 네트워크 가용성 저해를 완화할 수 있음을 모의실험을 통해서 확인하였다.

참고 문헌

- [1] A. Cebrowski and J. Gartska, "Network-Centric Warfare: Its Origins and Future," *Naval Institute Proceedings*, Jan 1998.
- [2] 김한동, 최대봉, "전술데이터링크 기술 표준화 동향", *국방 전술 통신*, Oct 2007.
- [3] 김종성, 김상준, 임만엽 "전술데이터링크 기술 소개 및 개발 동향", *국방 전술 통신*, Sep 2007.
- [4] M. Hata, "Empirical formula for propagation loss in land mobile radio services," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, Vol.29, No.3, pp.317-325, Aug. 1980.
- [5] H.T. Friis, "A note on a simple transmission formula," *Proc IRE*, Vol.34, No.5, pp. 254-256, May 1946.
- [6] IEEE 802.16j-06/013r3, "Multi-hop relay system evaluation methodology (channel model and performance metric)," Feb. 2007.
- [7] V. Erceg, L.J. Greenstein, "An empirically based path loss model for wireless channels in suburban environments," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, Vol.17, No.7, pp.1205-1211. July 1999.

안 광 호 (Kwangho Ahn)

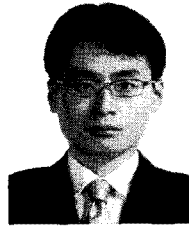
정회원



2009년 2월 광운대학교 전자통신공학과 졸업
 2011년 2월 광운대학교 전자통신공학과 석사
 2011년 2월~현재 현대모비스 기술연구소 연구원
 <관심분야> 무선통신, 통신신호처리

이 주 형 (Juhjung Lee)

정회원



1999년 9월 한국항공대학교 통
 신정보공학과
 2002년 2월 한국항공대학교 통
 신공학과 석사
 2002년 1월 국방과학연구소 연
 구원
 2008년 1월~현재 국방과학연
 구소 선임연구원

<관심분야> 전술데이터링크 네트워크 관리시스템,
 주파수 도약 대전자전 모델

조 준 영 (Joonyoung Cho)

정회원

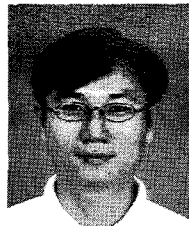


2006년 2월 연세대학교 컴퓨터
 산업공학과
 2008년 2월 연세대학교 컴퓨터
 과학과 석사
 2008년 2월~현재 국방과학연
 구소 연구원

<관심분야> 전술데이터링크 네
 트워크 관리시스템, 전술데이터링크 프로토콜, 유
 도무기 발사통제시스템

오 혁 준 (Hyukjun Oh)

중신회원



1993년 2월 KAIST 전기및전
 자공학과
 1995년 2월 KAIST 전기및전
 자공학과 석사
 1999년 8월 KAIST 전기및전
 자공학과 박사
 1999년~2000년 미국 Stanford
 대학교 박사 후 과정

2000년~2004년 미국 Qualcomm사 3GPP CSM/MSM
 개발

현재 광운대학교 전자통신공학과 (부교수)

<관심분야> 유무선통신, 전술통신, 통신신호처리,
 통신 모델 SoC