

이중 무선랜 기반 차량 통신망에서의 열차 토폴로지 구성 프로토콜(TTDP)

강 신 광*, 박 재 현^o

Train Topology Discovery Protocol(TTDP) over Dual-Band WLAN-Based Train Communication Network

Shinkwang Kang*, Jaehyun Park^o

요 약

열차제어네트워크(TCN)는 현재 단순 제어 기능을 넘어 멀티미디어 등 승객 서비스를 지원하기 위하여 이더넷(Ethernet)을 지원할 수 있어야 한다. 그래서 최근 International Electrotechnical Committee(IEC)는 기존의 TCN 표준인 IEC 61375를 개정하여 Ethernet Train Backbone(ETB), Ethernet Consist Network(ECN)를 포함하였다. 특히 ETB에서는 열차 구성이 자동으로 되는 열차 차량 가변편성 통신규약(TTDP)이 포함되었다. 한편 차세대 온 보드 네트워크로서 무선랜을 사용할 경우, TTDP는 무선 통신의 특성에 맞도록 수정되어야 한다. 본 논문에서는 송신 전력을 제어하며 RSS 값과 HELLO 프레임에 대한 ACK 프레임의 수신 횟수를 이용하여 이웃 노드를 찾는 무선 TTDP를 제안한다. 그리고 대역폭이 다른 두 무선 랜 인터페이스를 사용하여 실행된 TTDP의 옳고 그름의 유무를 판정한다. 제안된 TTDP는 불필요한 다른 노드와의 간섭을 줄일 수 있도록 한다. 성능평가를 위해 무선 네트워크 시뮬레이션에서 가장 많이 쓰이는 NS-2를 사용하였다. 평가 결과, 제안된 TTDP가 무선에서도 높은 신뢰도를 보였다.

Key Words : Train Communication Network(TCN), Ethernet Train Backbone(ETB), Train Topology Discovery Protocol(TTDP), Wireless LAN, Transmission Power Control, Wireless Dual Band Interface

ABSTRACT

In Train Control Network(TCN), to support advanced services beyond control applications, it was revised to support high speed ethernet as IEC 61375-2-5(ETB) and IEC 61375-3-4(ECN). And Train Topology Discovery Protocol(TTDP) was included by which train-consist can be automatically configured. Meanwhile, to adopt wireless LAN as an next onboard network, TTDP need to be modified to reflect the characteristics of WLAN. This paper proposed a TTDP for WLAN using transmission power control and the number of HELLO-ACK handshake. And it determined whether the TTDP executed using the two WLAN interfaces having different bandwidths is correct or not. The proposed TTDP can allow to reduce interference from other nodes. For evaluation of performance of TTDP, NS-2 was used. The evaluation result shows the high reliability of the TTDP in wireless environment.

* First Author : Inha University Department of Communication and Information Engineering, skkang@emcl.org, 학생회원

^o Corresponding Author : Inha University Department of Communication and Information Engineering, jhyun@inha.ac.kr, 정회원
논문번호 : KICS2017-02-059, Received February 28, 2017; Revised May 4, 2017; Accepted May 17, 2017

1. 서 론

최근 증가하는 전동차 전자 제어에 대한 수요에 맞추어, 국제 표준화 기구(IEC)에서는 전동차의 특징을 고려한 전동차용 통신 프로토콜인 열차 제어 네트워크(TCN)를 IEC-61375 표준으로 제정하였다¹⁾. 2000년대 초반에 제정된 TCN은 Wire Train Bus(WTB)와 Multifunction Vehicle Bus(MVB)로 구성된 계층화 통신 프로토콜로 제정되었으나 WTB와 MVB는 최근에 수요가 증가하는 고속 인터넷 같은 다양한 서비스를 지원하기에는 제약점이 많은 프로토콜이다²⁾. 이러한 제약점을 개선하기 위하여 IEC-61375-2-5 (ETB)와 IEC 61375-3-4(ECN)가 WTB 및 MVB의 대안으로 표준 프로토콜에 추가되었다^{3,4)}.

Ethernet Train Backbone(ETB)은 그림 1에서 볼 수 있듯이 Ethernet Consist Network를 하위 네트워크로 하고 차량 간 통신을 담당한다. ETB는 일반적인 통신뿐만 아니라 열차의 구성이 필요에 따라 재구성될 때, 예를 들어 열차가 역 내에서 열차의 길이를 늘이거나 줄이는 경우에 전체 Consist를 구성하는 차량의 구성을 파악하는 기능을 수행해야 한다. 따라서 IEC 61375-2-5에서는 전동차에 어떤 Backbone Node(BN)가 있는지, 그리고 주변 노드(Neighbor BN)가 무엇인지를 파악하여 네트워크를 자동으로 구성할 수 있는 Train Topology Discovery Protocol(TTDP)을 정의하였다. 이후에도 주기적으로 네트워크 상태를 파악하여 새로 들어온 BN은 네트워크에 추가하고 사라진 BN은 네트워크에서 제거하는 동작을 한다^{5,6)}.

반면 최근 비약적인 무선 네트워크 기술의 발달에 힘입어 차량 내 배선 무게의 경감과 네트워크 구성에 대한 유연성을 확보하기 위하여 TCN을 무선으로 바

꾸리는 노력이 진행되고 있다^{7,8)}. 특히 Wireless-LAN (WLAN) 같은 무선 기술은 점점 전송속도가 증가하고 있으므로 제어뿐만 아니라 범용서비스를 수용하기에 충분하다. 하지만 TCN을 무선랜으로 구축할 경우, 무선랜의 고유한 특성으로 발생할 수 있는 문제를 충분히 고려해야 한다. 본 논문은 차량 간 통신을 담당하는 Ethernet Train Backbone(ETB)을 무선 랜으로 구축할 경우 TTDP에서 생기는 문제를 다루고 있다.

지금까지 무선 랜에서 RSS를 사용하여 노드의 위치를 찾는 방법에 대한 연구가 다양하게 진행되어 왔다⁹⁻¹¹⁾. 하지만 이들 연구는 철도차량이라는 특수성을 고려하지 않은 일반 실내의 공간을 대상으로 하고 있어, 그 결과를 열차네트워크에 바로 적용하기에는 제약이 있다.

유선 네트워크 환경에서 TTDP를 구현하는 경우, 열차의 특성상 네트워크 구성도 선형 버스 구조로 구성되므로 열차의 구성이 재구성되더라도 이웃한 백본 노드(Neighbor Backbone Node; BN)의 MAC 주소와 위치를 손쉽게 파악할 수 있다. 그러나 무선 랜과 같은 무선 네트워크의 경우, 바로 옆 노드의 위치를 물리적으로 파악할 수 없으므로 네트워크 토폴로지를 쉽게 파악하는 데 어려움이 있다. 또한, 무선 환경에서는 유선 이더넷을 사용할 때와는 다르게 인접한 노드와 원거리 노드 간의 간섭현상 즉, 누화, 음영효과 등이 토폴로지 파악에 변수로서 작용하므로 기존 유선 네트워크에서 사용되던 TTDP의 수정이 불가피하다.

본 논문은 무선 랜 환경에서 TTDP를 구현하기 위하여 RSS와 HELLO 프레임에 대한 ACK 프레임의 수신 횟수를 이용하여 NBN을 결정하고 이를 활용하여 토폴로지를 구축하는 방법을 제안한다. 또한, 무선 네트워크 토폴로지를 오류 없이 물리적 순서에 맞게

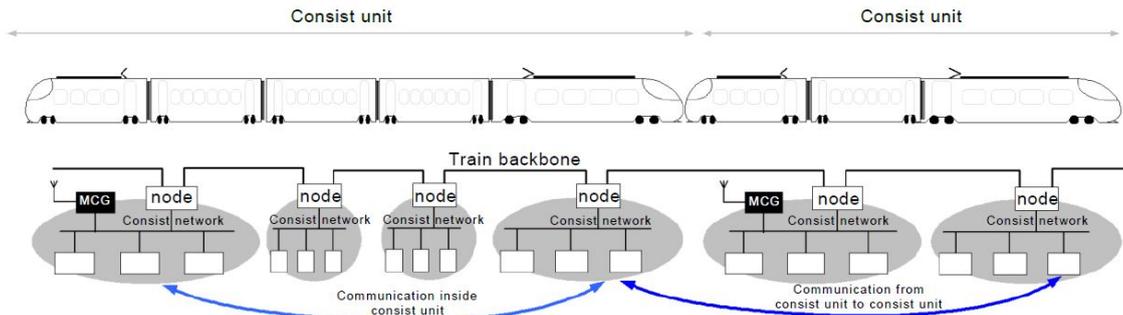


그림 1. 이더넷 기반 계층화 Consist 토폴로지³⁾
Fig. 1. Hierarchical consist topology based on ethernet

구성하기 위하여 주파수 대역폭이 다른 두 개의 무선 랜 인터페이스를 사용한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 챕터 II에서는 기존 표준인 유선 네트워크에서의 TTDP와 제안된 무선 TTDP를 설명한다. 챕터 III에서는 본 논문에서 제안된 TTDP의 성능을 평가하고 마지막 챕터 IV에서 결론을 도출한다.

II. Train Topology Discovery Protocol

2.1 유선 네트워크상의 표준 TTDP

기존 ETB에서의 TTDP는 두 가지 이더넷 프레임 을 사용하여 수행한다. 첫 번째는 **HELLO** 프레임이다. 이 프레임은 출발지 MAC 주소를 주요 정보로 하여 연결된 인접 BN으로만 전송된다. 두 번째는 **TOPO** 프레임이다. 이 프레임은 백본이 연결된 전체 BN에 멀티캐스팅 되며, 이 프레임을 이용하여 각 BN은 토폴로지 테이블을 만든다. 모든 BN의 토폴로지 테이블이 일치하면 전체 네트워크는 **Inaugurated** 되었다고 한다.

TTDP의 구체적인 알고리즘은 그림 2와 같다. TTDP는 크게 3가지 상태를 가진다. 바로 'NOT_INAUG

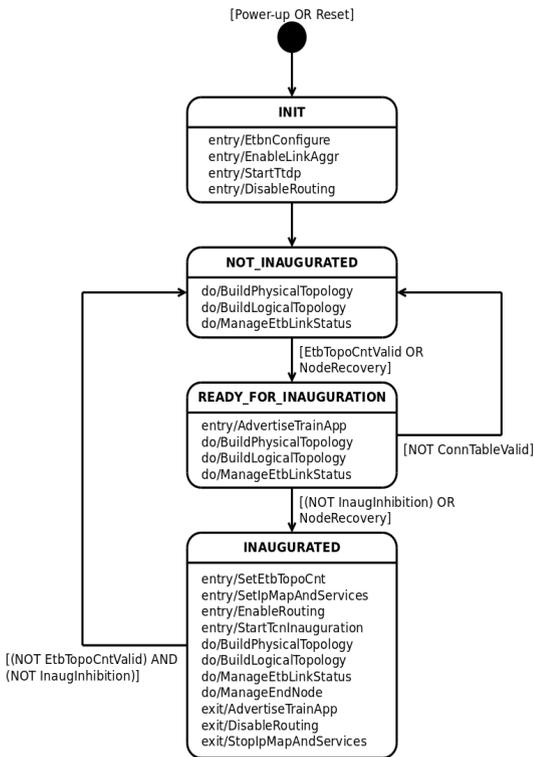


그림 2. 기존 TTDP 프로토콜의 상태 머신
Fig. 2. State machine of existing TTDP protocol

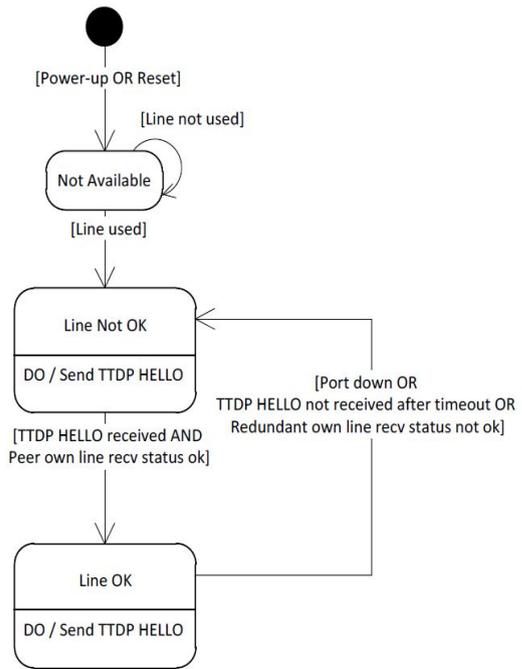


그림 3. TTDP 내 이웃 찾기 과정에 대한 상태 머신³⁾
Fig. 3. State machine of Neighbor discovery in the TTDP

URATED', 'READY_FOR_INAUGURATION', 'IN AUGURATED'이다. NOT_INAUGURATED는 초기에 토폴로지 구성 파악을 하기 전이나 토폴로지 구성에 실패했을 때 들어가는 상태이다. TTDP 관련 프레임들은 이 상태의 BN들을 우회하여 다른 BN으로 전송된다. READY_FOR_INAUGURATION 상태의 BN들은 TTDP를 본격적으로 시작한다. INAUGURATED 상태는 TTDP가 제대로 수행된 상태이며 이 상태의 BN들은 주기적으로 **TOPO** 프레임을 멀티캐스팅 하여 네트워크 구성이 변했거나 잘못되었는지를 감시한다. 이 중에서도 그림 3에 나타나 있는 이웃 찾기(Neighbor Discovery; ND)는 TTDP에서 핵심적인 역할을 수행한다. 이 ND는 TTDP에서 바로 옆에 연결된 NBN을 찾는 과정이다.

2.2 무선 랜 기반 TTDP

먼저 TTDP를 수행하는 BN을 BN_k 라고 한다. 그리고 본 논문에서는 그림 4와 같이 한 BN이 무 지향성 안테나를 대역폭(2.4 GHz, 5 GHz) 당 하나씩, 총 두 개를 가지고 있다고 가정한다. TTDP는 크게 Neighbor Discovery(ND)와 Topology Discovery (TD)로 나누어져 있다.

그림 5는 제안된 TTDP를 설명하는 상태 다이어그램

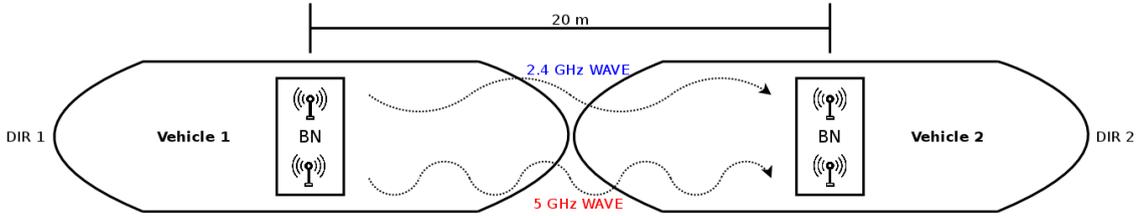


그림 4. 두 주파수 대역의 무선 랜 인터페이스를 가지고 있는 BN의 차량 상면도
 Fig. 4. Train top view with dual band wireless LAN interface in a backbone node

램이다. 'Initialization' 상태에서 초기 전송 전력, 이웃 BN 후보 수, 찾기 시간을 초기화한다. 'SendHELLO/WaitACK' 상태에서는 양방향으로 HELLO 프레임 신호를 송신하고 HELLO를 수신한 노드에서 보낸 ACK 프레임을 기다린다. 이때 무선 랜의 송신 전력은 인접한 노드만을 파악할 수 있도록 적절하게 조정된 낮은 전력으로 송신하게 된다. 만약 주어진 시간 내에 응답이 없는 경우(타임아웃), 전송 전력을 더 증가시켜서 HELLO 프레임을 재전송하도록

한다. 만약 최대 전송 전력으로도 통신이 안 되는 경우 네트워크 오류로서 'Initialization' 상태로 되돌아간다.

외부로부터 받은 정보는 Neighbor Candidate Table(NCT)에 저장한다. NCT는 미처 NBN이 응답을 하지 않아 전송 전력이 더 증가하면 그다음으로 가까운 BN이 응답을 할 수 있으므로, 고정된 전송 거리 내에 있는 노드들 사이에서 실제 NBN을 찾기 위해 정의한 테이블이다. 주변 노드(BN_i)가 수신한

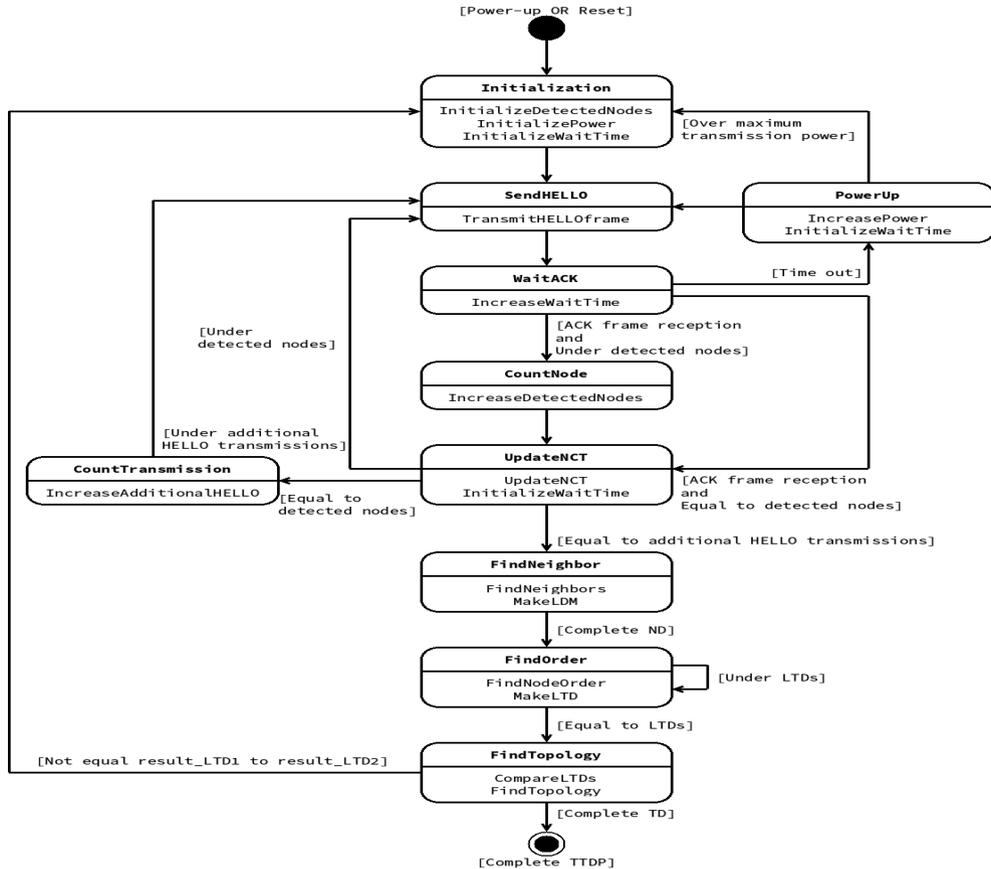


그림 5. 이중 무선 랜 TTDP 상태 다이어그램
 Fig. 5. State diagram of TTDP on dual wireless-LAN

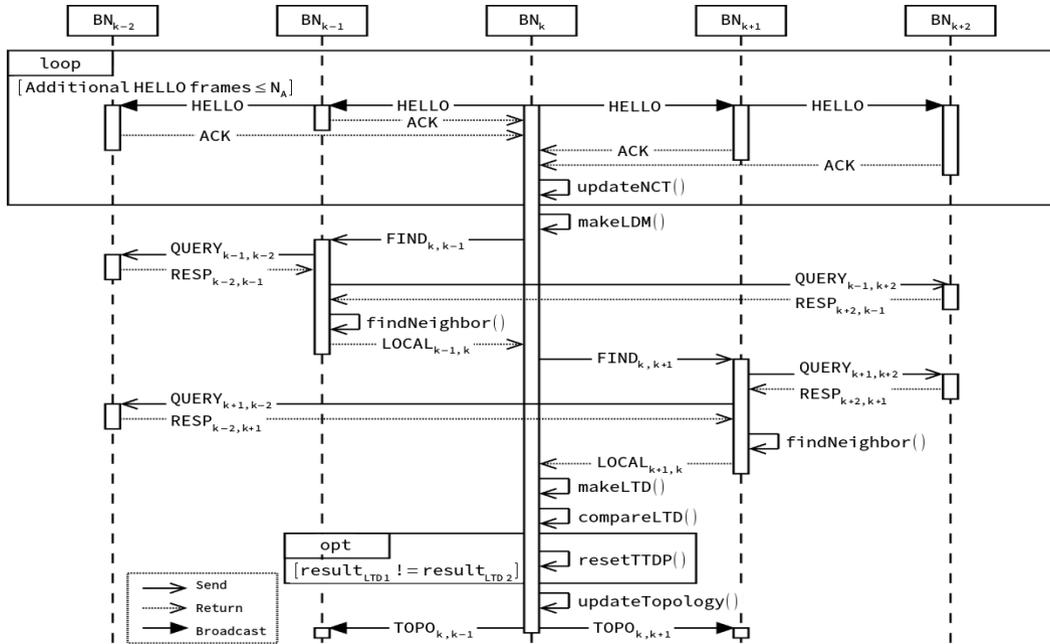


그림 6. 이중 무선 랜 TTDP 시퀀스 다이어그램
 Fig. 6. Sequence diagram of TTDP on dual wireless-LAN

HELLO 프레임의 RSS를 RSS_1 라고 하고 답으로 보낸 **ACK** 프레임을 BN_k 이 수신했을 때 **ACK** 프레임의 RSS를 RSS_2 라고 하면 NCT는 RSS_1 와 RSS_2 의 평균인 \overline{RSS} 와 **ACK**로 응답한 BN_i 의 MAC 주소로 이루어져 있다. **HELLO** 프레임을 추가 송신 수(N_A)만큼 더 송신, **ACK** 프레임을 추가로 수신하여 NCT를 완성한다. NCT가 완성되면 NCT에 저장된 각 인접 노드들에 대해 식(1)과 같이 TTDP를 수행하는 BN_k 에서 BN_i 에 대한 $m_{k,i}$ 를 계산한다. 그렇게 하여 계산된 $m_{k,i}$ 중 최댓값을 가지는 두 노드를 NBN으로 선정하고 추가로 2홉 거리의 BN도 선정한다.

$$m_{k,i} = \sum_{j=1}^{n_{k,i}} \overline{RSS_{k,i,j}} \quad (1)$$

식(1)에서 $n_{k,i}$ 은 BN_i 으로부터 BN_k 가 수신한 **ACK** 프레임 수이고 $\overline{RSS_{k,i,j}}$ 는 BN_k 가 BN_i 으로부터 j번째로 얻은 \overline{RSS} 이다. 위 식으로 선정된 4개의 BN에 대한 정보를 가지고 표 1과 같이 TTDP를 실행하는 노드를 중심으로 가장 가까운 4개의 노드 정보($m_{k,i}$, MAC 주소)를 담은 Local Distance Map(LDM)을 만든다. 여기까지가 ND의 과정이다.

위 과정에서 거리상 가장 가까운 노드를 찾았다고 해도 무선 네트워크의 특성과 선형 토폴로지를 생각해보면 TTDP를 수행하는 노드(BN_k)를 중심으로 하는 4개 노드(BN_{k-2} , BN_{k-1} , BN_{k+1} , 그리고 BN_{k+2})의 순서를 알 수가 없다. 위에서 구한 양방향의 NBN을 찾은 후에는 TD를 수행하게 된다. 이에 대한 세분된 내용을 그림 6의 TTDP 시퀀스 다이어그램에서 볼 수 있다. 먼저 BN_k 에 이웃하는 4개 노드의 순서를 구하기 위하여 가장 가까운 이웃노드(BN_{k-1} , BN_{k+1})에 LDM을 가진 **FIND** 프레임을 보낸다. **FIND** 프레임을 받은 두 노드는 LDM의 정보를 바탕으로 자신의 이웃 노드가 누구인지 파악하기 위해 BN_{k-2} 와 BN_{k+2} 에 **HELLO** 프레임의 역할과 비슷한 역할을 하는 **QUERY** 프레임을 보낸다. **QUERY**

표 1. l_k 에 대한 Local Distance Map
 Table 1. Local Distance Map for l_k

$m_{k,i}$	MAC 주소
$m_{k-2,k}$	a_{k-2}
$m_{k-1,k}$	a_{k-1}
$m_{k+1,k}$	a_{k+1}
$m_{k+2,k}$	a_{k+2}

프레임을 받은 BN_{k-2} 와 BN_{k+2} 는 **QUERY** 프레임의 응답으로써 **RESP** 프레임을 BN_{k-1} , BN_{k+1} 에 각각 보낸다. BN_{k-1} 와 BN_{k+1} 는 **RESP** 프레임의 RSS와, **RESP** 프레임에 들어있는 BN_{k-2} 와 BN_{k+2} 이 받은 **QUERY** 프레임의 RSS를 가지고 자신의 이웃 노드가 BN_{k-2} 인지 BN_{k+2} 인지를 알 수 있게 된다. BN_k 는 이렇게 알게 된 노드의 순서정보로 Local Topology Directory(LTD)를 만든다.

위 과정은 하나의 무선 랜 인터페이스에서 일어난다. 하지만 LTD를 만들었다고 해도, 이 LTD에서의 노드 순서가 실제 물리적인 노드 순서와 같지 않을 수 있다. RSS는 차량 거리에 따라 정밀하게 비례하는 것이 아니고 ACK 수신 횟수를 이용하더라도 여전히 불확실성이 존재하기 때문이다. 그래서 본 논문에서는 이중 무선 랜 인터페이스를 도입하여 각 인터페이스에서 각각 TTDP를 수행한다. 즉 두 개의 무선 랜 인터페이스가 그림 6에서의 ND와 TD를 독립적으로 수행한다. 이렇게 두 무선 랜 인터페이스에서 TTDP가 수행되면 BN_k 은 두 개의 LTD를 가지게 된다. 두 무선 랜 인터페이스를 통하여 TTDP가 수행되어 만들어진 두 LTD에서 토폴로지 순서 결과가 다르거나 BN_k 와의 $m_{k,i}$ 값에 대한 노드 순위가 다르면 TTDP가 제대로 이루어지지 않았다고 여기고 두 무선 랜 인터페이스에서 TTDP를 다시 수행한다. 그렇게 하여 두 LTD의 결과가 같고 BN_k 와의 $m_{k,i}$ 값에 대한 노드 순위가 같을 때까지 위 과정을 반복한다. 위 두 조건을 만족하게 되면 다음 과정으로 넘어간다. 다음 과정은 이 LTD를 가진 **TOPO** 프레임을 방송하여 같은 네트워크에 있는 BN들이 서로의 토폴로지 테이블을 공유하도록 하여 네트워크 구성을 완성하게 된다. 혹은 TTDP를 수행 완료한 각 노드가 **TOPO** 프레임을 통하여 토폴로지 테이블을 공유할 때 자신이 기존에 갖고 있던 것과 다르면 TTDP를 초기화하고 다시 수행한다.

III. 성능 평가

제안한 TTDP의 성능은 **TOPO** 프레임을 보내기 전까지 걸린 시간과 TTDP 성공 확률로 평가한다. 성능 평가는 네트워크 시뮬레이션에 가장 많이 사용되는 시뮬레이터인 NS-2를 사용하여 수행한다. 무선 랜의 수신 강도는 Path-loss 효과와 대규모 페이딩인 음영효과, 간섭 효과 등을 고려하여 표준편차인

σ_{dB} 를 갖는 가우스 분포(Gaussian Distribution)를 가진다고 하면 식(2)과 같이 나타낼 수 있다¹²⁾.

$$\left[\frac{P_{rx}(d)}{P_{rx}(d_0)} \right]_{dB} = -10\beta \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + X_{dB} \quad (2)$$

여기서 d 는 노드 사이의 거리, d_0 는 참조로 쓰이는 기준 거리, β 는 Path-loss exponent라고 불리며 실외에서 노드 사이에 장애물이 없을 것을 가정하여 2로 설정한다. X_{dB} 는 평균이 0이고 표준편차가 σ_{dB} 인 정규확률변수이다. 본 논문에서는 NS-2에서 위 식을 반영하는 대규모 페이딩 전파 모델인 Shadowing model을 사용한다¹²⁾. 그리고 다중경로 효과를 반영하는 소규모 페이딩에 대한 전파 모델로는 Rician model을 사용한다¹³⁾. 이때 송신된 프레임이 BN 노드에서 수신되는 경우는 P_{rx} 가 수신감도 P_{TH} (-80 dBm)보다 클 때이다.

본 논문에서 설명한 프로토콜을 사용한 TTDP의 시뮬레이션은 다음과 같이 진행된다. 사이 거리가 20m인 노드 9개가 선형으로 나열되어 있고, 이 중에서 가운데 노드가 TTDP를 수행한다. 이때 TTDP를 수행하지 않는 노드들은 다른 프레임을 송/수신할 수 있고 이 경우에 TTDP가 받을 간섭 및 영향을 NS-2에서 제공하는 Traffic generator 중 하나인 Constant Bit Rate(CBR)를 이용하여 구현하였다. 이 시뮬레이션을 수행해보면 그 결과로 제대로 토폴로지를 파악하였을 확률, TTDP를 완료하는 데 걸리는 수행시간, 그리고 TTDP 재수행 횟수에 대한 비율을 확인할 수 있다.

먼저 표 2은 음영효과의 파라미터 중 하나인 도착지 도달 시 수신 전력에 대한 표준 편차 σ_{dB} 에 따라 10초 이내에 TTDP가 성공한 횟수를 나타낸다. 각각의 경우에 대한 실험은 10000번씩 이루어진다. 이 결과로 보아 본 논문에서 제안한 알고리즘을 사용하면 상당히 높은 확률로 제안된 TTDP가 성공할 수 있는 것을 알 수 있다. 그리고 아주 낮은 확률로 완료된 결과가 실제 차량의 구성과 다르게 나올 수 있는데, 이는 TTDP 완료 후 주기적으로 **TOPO** 프레임을 주

표 2. 표준 편차 별 TTDP 시뮬레이션 수행 결과
Table 2. Result of TTDP NS-2 Simulation by standard deviation

σ_{dB}	2	3	4	5
Success(횟수)	9656	9677	9637	9556
Miss(횟수)	5	24	83	131

고받아 Topology directory를 확인하는 과정에서 발견되어 문제 발생 시 TTDP를 다시 수행함으로써 해결할 수 있을 것이다.

그림 7은 제안된 TTDP의 수행 횟수에 따라 TTDP가 10초 이내에 완성될 경우의 완료 시간을 나타낸 것이다. 그림 8은 TTDP 재수행 횟수에 따른 TTDP 성공 비율을 나타낸다. 전체 TTDP 성공의 90%에 해당하는 재수행 횟수 10번 이내로, TTDP가 완료가 되는 것을 알 수 있다. 이는 제안된 TTDP는 그림 7에서 알 수 있듯이 90%의 성공한 TTDP가 5초 이내로 수행된다는 것이다. 이로써 ETB를 무선 랜으로 구성하여도 안정적으로 TTDP를 수행할 수 있다는 것을 확인하였다.

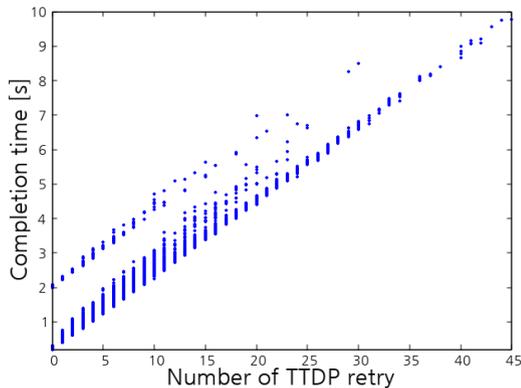


그림 7. 재수행 횟수에 대한 TTDP 수행 시간 ($\sigma_{dB}=4$)
 Fig. 7. Completion time for retry of TTDP ($\sigma_{dB}=4$)

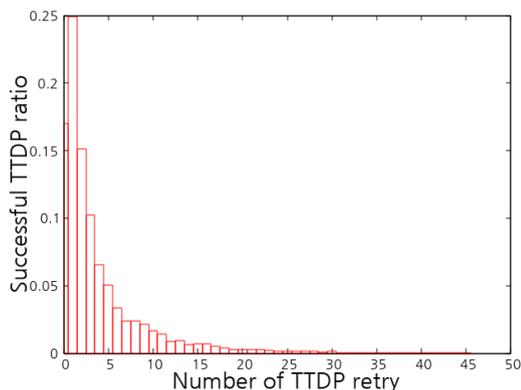


그림 8. 재수행 횟수에 대한 TTDP 성공 비율 ($\sigma_{dB}=4$)
 Fig. 8. Ratio of successful TTDP for retry ($\sigma_{dB}=4$)

IV. 결론

본 논문에서는 이중 무선 랜 환경에서의 TTDP를 제안하였다. 기존 ETB에서의 TTDP는 먼저 각 BN이 이웃 BN을 찾기 위해 HELLO 프레임을 송/수신하는데 이를 무선 환경에 그대로 적용한다면 누화로 인하여 다른 BN으로부터 간섭을 받을 수 있다. 그래서 본 논문에서는 TTDP에서의 주요 과정 중 하나인 이웃 BN을 찾기 위해 각 BN들은 전송 전력을 제어하여 이웃 BN에게만 신호가 전달되도록 하고 HELLO 프레임에 대한 ACK 프레임 수신 횟수와 RSS 값을 사용한다. 추가로 무선 랜 인터페이스를 이중화하여 타 BN으로부터의 간섭을 최소화하고 TTDP가 정확하게 완료될 수 있도록 하였다. 성능 평가 결과, 대규모, 소규모 페이딩에 크게 상관없이 95% 이상 TTDP가 10초 이내에 성공하였다. 그리고 성공한 TTDP 중에서 약 90% 정도가 10번의 수행 만에, 즉 최대 5초 이내에 TTDP가 완료되는 것을 확인하여서 제안된 프로토콜은 무선 환경에서도 잘 동작한다는 것을 보였다. 향후 연구 과제로서, 본 논문에서 수행한 성능 평가에 지표를 달리하여 다양한 평가를 추가 수행하여 실제 철도 네트워크 환경에 최적의 알고리즘을 도출할 예정이다.

References

- [1] H. Kirmann and P. A. Zuber, "IEC/IEEE train communication network," *IEEE J. & Mag.*, vol. 21, no. 2, pp. 81-92, Aug. 2002.
- [2] IEC 61375-1 Standard, *Train Communication Network(TCN)*, 1999.
- [3] IEC 61375-2-5 Standard, *Ethernet Train Backbone(ETB)*, 2014.
- [4] IEC 61375-3-4 Standard, *Ethernet Consist Network(ECN)*, 2013.
- [5] H. Hwang, J. Kim, K. W. Lee, and J. H. Yun, "Analysis of network topology for distributed control system in railroad trains," *J. Inst. Electron. and Inf. Eng.*, vol. 52, no. 10, pp. 21-29, 2015.
- [6] J. Kim, J. Park, Y. Oh, and H. Hwang, "Reliability analysis of train Ethernet backbone," *The Trans. KIEE*, vol. 62, no. 3, pp. 414-416, 2013.
- [7] J. Y. Heo, K. M. Lee, and H. C. Hwang,

“Train wireless backbone for train coupling and uncoupling automatically,” in *Proc. KICS Int. Conf. 2015*, pp. 943-944, Jeju Island, Korea, Jun. 2015.

- [8] N. P. M. H. Salem, and A. M. Haimovich, “Effect of mac type and speed on neighbor discovery in wireless train networks,” in *Proc. CISS. Conf. 2015*, pp. 1-5, Baltimore, USA, 2015.
- [9] K. Kim, S. K. Lee, J. Jung, S. Yoo, and H. Kim, “Indoor wi-fi localization with LOS/NLOS determination scheme using dual-band AP,” *J. KICS*, vol. 40, no. 8, pp. 1643-1654, 2015.
- [10] D. Ahn and R. Ha, “Indoor localization methodology based on smart phone in home environment,” *J. KICS*, vol. 39C, no. 4, pp. 315-325, 2014.
- [11] J. Lee, S. R. Lee, and S.-C. Kim, “Analysis of localization scheme for ship application using received signal strength,” *J. KICS*, vol. 39C, no. 8, pp. 643-650, 2014.
- [12] K. Fall and K. Varadhan, *The ns Manual* (2011), Retrieved Feb., 16, 2017, from www.isi.edu/nsnam/ns/ns-documentation.html/
- [13] Z. Wu, *Introduce ricean fading to produce probabilistic link error*, Retrieved Feb., 16, 2017, from http://www.winlab.rutgers.edu/~zhibinwu/html/ns_fading_error.html

강 신 광 (Shinkwang Kang)



2015년 2월 : 인하대학교 정보통신공학과 졸업
 2015년 3월~현재 : 인하대학교 정보통신공학과 석사과정
 <관심분야> 임베디드시스템, 무선 네트워크

박 재 현 (Jaehyun Park)



1986년 2월 : 서울대학교 제어계측공학과 졸업
 1988년 2월 : 서울대학교 제어계측공학과 석사
 1994년 2월 : 서울대학교 제어계측공학과 박사
 1995년 9월~현재 : 인하대학교 정보통신공학과 교수
 <관심분야> 임베디드시스템, 실시간 네트워크, 제어용 컴퓨터 시스템