

# 우선 순위 트래픽을 고려한 자동차 이더넷 토폴로지 최적화

박승기\* · 이정엽 · 장주욱

서강대학교 전자공학과

## Optimizing Vehicle Ethernet Topology Considering Priority Traffic

Seungki Park\* · Jungyub Lee · Ju wook Jang

Department of Electronic Engineering, Sogang University, 35 Baekbeom-ro(Sinsu-dong), Mapo-gu, Seoul 121-742, Korea

**Abstract** : In current vehicles, a large number of control units are connected by several automotive communication buses. Ethernet is currently explored as the upcoming network for an automotive industry. It offers higher performance and flexibility over traditional control bus systems such as CAN and FlexRay.

For applying the ethernet network to a vehicle, there are many possible choice for topology configuration way. In previous research, they propose to find the best distribution of the industrial devices on a switched Ethernet architecture with GA techniques. But the priority issue is one of the main factor for topology optimization in car ethernet network.

In this paper, We propose new fitness evaluation way to improve ethernet-based car network performance. Our objective is to optimize the redundant hierarchical network with considering priority.

**Key words** : Genetic algorithm(유전 알고리즘), optimization(최적화), Car network(자동차 네트워크), Fitness function(적합도 함수), Ethernet(이더넷), Priority(우선순위)

### 1. 서론

현재 차량 내 ECU(Electronic Control Unit)의 급속한 증가와 ADAS(Advanced Driver Assistant System) 등에서의 대용량 데이터 전송으로 인해 차량 내 네트워크 트래픽이 증가해가고 있다. 이에 따라 자동차 업계는 기존 자동차 네트워크 CAN, MOST 또는 FlexRay에서 대역폭이 큰 차량용 이더넷 개발에 중점을 두고 있다.<sup>1)1)</sup>

이더넷은 넓은 대역폭과 기존에 이미 널리 사용되고 있는 장점이 있지만 실시간 보장에 관한 문제점으로 자동차에 적합한 이더넷으로 사용하기 위한

연구 및 표준 개발이 진행 중이다.

차량용 이더넷으로 자동차 네트워크를 구성하였을 시 star, linear, mesh 형태 등과 같은 다양한 토폴로지가 구성이 되고 토폴로지에 따른 ECU, 기존 네트워크 연결이 어떠한 이더넷 스위치에 연결 되어 질 것인가에 따라 다양한 경우의 수가 발생한다.

일반적인 유전 알고리즘(Genetic Algorithm)은 선택, 교배, 변이의 세 연산을 통해 매우 복잡한 최적화 문제를 해결하기 위해 사용하는 알고리즘이다.

기존 연구의 경우 유전 알고리즘을 사용하여 네트워크 토폴로지를 최적화할 경우 Priority traffic에 대한 고려가 되지 않아 기존 자동차 네트워크 특성인 데이터 Class type별 중요성이 반영되지 않는다.

본 논문에서는 차량용 이더넷으로 자동차 네트워

---

\* 박승기, [monopsk@sogang.ac.kr](mailto:monopsk@sogang.ac.kr)

크가 구성이 될 시 우선순위를 고려하여 네트워크 토폴로지를 최적화하기 위한 방법을 제안한다.

## 2. 네트워크 토폴로지 최적화 관련 연구

### 2.1 토폴로지 종류 및 네트워크 구성

네트워크 구성은 linear topology, star topology, hierarchical topology, redundant hierarchical topology 등이 존재 한다. 자동차 네트워크에서 토폴로지를 구성할 경우 가장 고려해야할 점은 네트워크 신뢰성이다. ECU들이 전송하는 데이터 중에는 자동차 운전과 직결되는 Control Signal 등이 존재하므로 네트워크의 지속적인 연결이 되어야 한다.

linear topology나 star topology로 구성할 경우 백본 링크가 존재하지 않아 링크 연결 단절 시 데이터 전송이 불가능하게 된다. Redundant hierarchical topology와 같은 예비 링크가 존재하는 토폴로지로 구성하여야 시스템의 안정성을 보장된다.

또한, 자동차 네트워크에서 데이터 량이 증가함에 따라 기존 자동차 CAN, MOST, LIN 네트워크에서 자동차용 Ethernet을 활용한 네트워크 구성이 진행되고 있어 네트워크 구성은 자동차용 이더넷 스위치로 구성되어 있고 이에 각 ECU나 기존 자동차 네트워크가 연결되어 있다고 가정한다.

따라서 본 논문에서 대상으로 하는 자동차 네트워크 구조는 Fig.1 과 같이 자동차용 이더넷 스위치를 이용한 redundant hierarchical topology로 구성하고 최적화 과정을 수행한다.

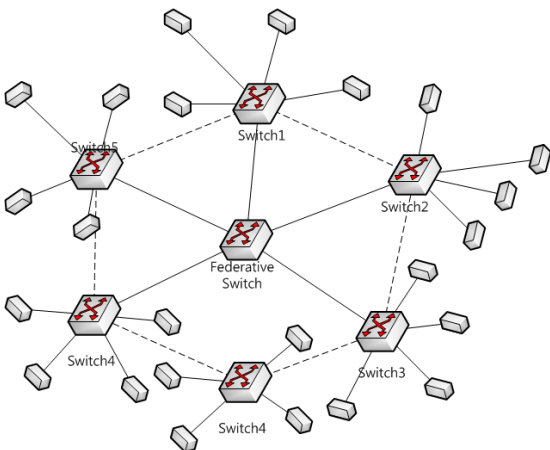


Fig. 1 Redundant hierarchical topology example

### 2.2 네트워크 설계 문제

최적의 네트워크 토폴로지를 찾아내는 것은 매우 복잡한 최적화 문제이며 네트워크 규모가 복잡하고 확대 될수록 문제를 풀이하기 힘들어 진다. 예를 들어 n개의 노드와 k개의 스위치로(중앙 스위치 개수 미포함) redundant hierarchical topology 형태의 네트워크를 구성하였을 때 최적의 토폴로지를 찾기 위해서 탐색해야할 경우의 수는 다음과 같다.<sup>2)</sup>

스위치에 연결된 노드의 수가 같게 구성된 네트워크라 하면 경우의 수는 수식 (1)과 같이 계산된다.

$$\frac{1}{k!} \binom{n}{S} \binom{n-S}{S} \dots \binom{2S}{S} \binom{S}{S} \quad (1)$$

S: 스위치에 연결된 노드의 수

n: 총 노드의 수

40개의 노드와 5개의 partition인 경우 경우의 수는 대략  $3.37 \times 10^{40}$ 개가 된다.

따라서, 유전 알고리즘(GA)을 기초로 하는 휴리스틱 알고리즘을 사용하여 네트워크 토폴로지를 최적화 한다.

### 2.3 유전 알고리즘

유전 알고리즘은 자연선택과 생물학적 유전학 작용에 근거를 둔 확률 탐색 알고리즘이다. 유전 알고리즘은 선택(selection), 교배(crossover), 돌연변이(mutation)와 같은 세 가지 연산에 의해 작동되어 진화 과정을 수행하는 것으로, 이에 따른 교배 확률, 돌연변이 확률, 개체 수 등의 매개변수가 포함된다. 유전 알고리즘의 과정은 일련의 유전 내용을 가진 다수의 초기 염색체(chromosome)들을 세 가지 연산에 의해 변화하고 각 세대에서 적합도에 따라 도태, 진화해 나가는 과정을 반복하여 점차 최적의 해를 찾는 것이다. 일반적인 유전자 알고리즘은 다음과 같이 구성된다.

```

Generate initial Population
while(condition){
    select two parents;
    crossover;
    mutation;
    if (fitness condition)
        replace; }
    
```

본 연구에서 자동차 네트워크에서 토폴로지를 최적화하기 위해 기존 일반 네트워크 토폴로지 최적화에 사용된 유전 알고리즘을 이용하였다.<sup>2)</sup>

### 2.3.2 network coding

유전 알고리즘을 사용하기 위해 네트워크 토폴로지를 염색체로 변환하는 인코딩과 진화과정을 통해 최적화된 염색체를 다시 네트워크 토폴로지로 변환하는 디코딩 과정이 필요하다. 여러 인코딩 기법<sup>3)</sup> 중 본 문에서는 N-string 염색체 표현 방법으로 네트워크 코딩을 하였다.

염색체의 1번째부터 i번째까지 노드 번호를 나타내고 염색체 내용은 해당 노드가 연결된 Switch 번호를 나타낸다. 예를 들어, Fig. 2의 경우 노드 1,2번이 switch 1번에 노드 3,4,5번이 switch 2에 연결되어 [11222]의 염색체로 인코딩 된다. 디코딩의 경우 이와 반대 과정을 거치게 된다.

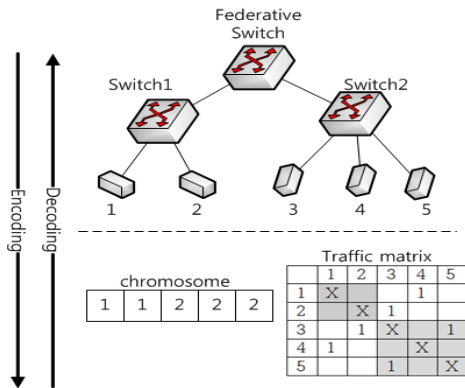


Fig. 2 network coding example

## 3. 우선순위를 고려한 토폴로지 최적화

기존 일반 네트워크 토폴로지 최적화에 사용된 유전 알고리즘<sup>2)</sup>은 일반 네트워크의 중앙 스위치에 흐르는 cross traffic 양을 줄이고 데이터를 송수신하는 노드들을 같은 스위치로 모아 토폴로지 최적화 과정을 수행하였다.

본 문에서 자동차 네트워크 최적화를 위한 목적은 다음과 같다.

1. priority가 높은 메시지를 송/수신하는 ECU들을 중심으로 데이터 경로의 hop수를 줄여 최적화 과정 수행한다.
2. 상위 스위치의 cross traffic을 줄여 부하도를 감

소시킨다.

이에 따라 적합도 함수를 구성하여 유전 알고리즘을 수행 토폴로지 최적화 과정을 수행하였다.

### 3.1 Priority Network Coding

자동차 네트워크의 ECU traffic은 Priority에 따라 여러 Class로 분류 되어 토폴로지의 인코딩을 수행하며 traffic matrix를 구성할 때 traffic의 class를 반영하여야 한다. Fig.3과 같이 다른 class에 따른 priority 정보를 traffic matrix에 반영하여 이를 적합도 함수에 이용한다.

	1	2	3	4	5	6
1	X				1	
2		X	2			3
3			2	X		
4		1			X	1
5			3			1
6		1		1		X

Fig. 3 traffic matrix example about priority traffic

### 3.2 Fitness Function

최적화를 진행하기 위해 여러 탐색 군에서 목적에 따른 그 적합성을 평가하기 위한 fitness function은 다음과 같다.

$$fitness = \frac{\sum_1^c p_i e_{i,in}}{\sum_1^c p_i e_{i,total}} \quad (2)$$

c: priority class type 수

$e_{i,in}$ : i번째 class 중 같은 스위치에 있는 traffic

$e_{i,total}$ : i번째 class traffic 전체 합

$p_i$ : i번째 priority class의 우선순위 가중치

같은 스위치에 traffic이 모일수록 데이터 경로의 hop수 역시 줄어들게 되므로 식(2)와 같이 적합도 함수를 구현하고 이를 최대화 하는 방향으로 진화 과정을 수행한다.

또한, priority class에 따라 중요도가 달라지기 때문에 class type에 따라  $p_i$ 와 같이 서로 다른 가중치를 부여하여 최적화를 진행한다.

### 3.3 자동차 네트워크 토폴로지 최적화

본 논문에서 사용한 유전 알고리즘에서는 현 세대의 가장 좋은 일부 우성 개체를 다음 세대로 변형

없이 보존하는 elitism 방식을 채택하여 최적 해에의 수렴성을 향상시켰다. 부모 선정과정에서는 적합도 정도에 따라 확률적으로 선택하는 Roulette Wheel Selection 방식으로 선택하여 유전 알고리즘의 개체의 다양성을 향상시켰다.

유전 알고리즘 진화 과정에서 교차, 변이 이후 네트워크 토폴로지의 스위치별 노드 수 제한 요건을 만족하기 위해 교차의 경우 Fig.4와 같은 2-cut-point 교차 이후 제한 조건을 벗어나는 염색체의 경우 부모의 염색체를 다시 이용하여 교차하지 않은 부분에 적용하여 제한 요건을 만족하도록 repairing 과정을 수행하였다. 교차 연산 이후 변이 과정에서는 노드의 banlance를 위하여 Fig.5와 같은 swap mutation 방식을 사용하여 연산을 수행하였다.

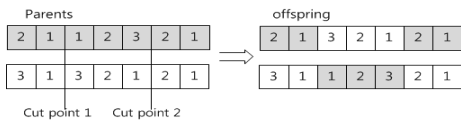


Fig. 4 2-cut point crossover

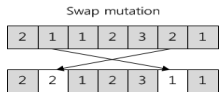


Fig. 5 swap mutation

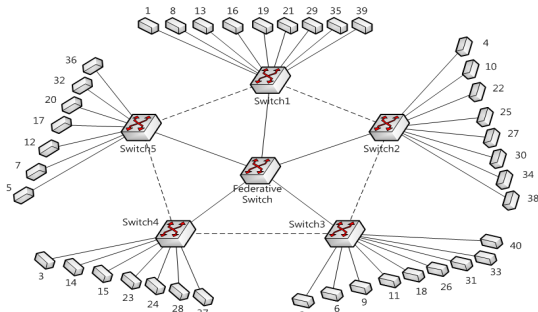


Fig. 6 Topology optimization simulation result

시뮬레이션은 population size = 15, 교차확률 = 0.6, 변이 확률 = 0.1, 세대수 = 600으로 구성하였고 총 traffic 은 일반 traffic 60개, priority traffic의 6개로 구성하였다. 30번의 반복 시뮬레이션 결과 적합도 값은 평균 0.56을 얻었고 priority 관련 class를 적용하지 않았을 경우 같은 generation 이후 평균 0.45의 적합도 값을 갖는 반면 가중치를 부여한 경우 priority traffic이 같은 스위치로 모여 적합도 값이 상승하였다. Fig. 6는 유전 알고리즘 이후 찾은 최적화 해 중 일부이다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 자동차 네트워크 토폴로지를 최적화 할 때 우선순위 traffic을 전송하는 ECU에 중요도를 두어 최적화 과정을 수행하였다.

일반적인 cross traffic 감소와 priority traffic 전송 노드들을 같은 스위치에 위치시켜 전송 딜레이를 감소시키도록 적합도 함수를 구현하였다.

유전자 알고리즘을 이용한 최적화 과정의 수식적 분석과 population과 generation수 등의 세밀한 파라미터 조정이 필요하여 차후 연구에서는 최적화 결과에 대한 수식적 분석 및 우선순위와 아닌 link cost, data traffic rate를 복합적으로 고려한 최적화 기법에 관한 연구를 진행할 것이다.

#### 5. ACKNOWLEDGMENT

This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MEST) (NRF-2013R1A1A2011856).

#### References

- 1) Hyuntae Ju, Dongmin Kim, Yongmu Jeong, and Soo-Young Min, A Gateway Platform for Automotive Synchronous Ethernet Network System, Transactions of KSAE, 1177-1182, may 2013.
- 2) Krommenacker, N., T. Divoux, and E. Rondeau. "Using genetic algorithms to design switched Ethernet industrial networks." International Symposium on Industrial Electronics(ISIE), Vol. 1., 152-157, 2002.
- 3) D.R. Jones, M.A. Beltramo "Solving Partitioning Problems with Genetic Algorithms", in Proceedings of the 4th ICGA, 442-449, 1991.
- 4) Georges, Jean-Philippe, et al. "A design process of switched Ethernet architectures according to real-time application constraints." Engineering Applications of Artificial Intelligence, 19, 3, 335-344, 2006.
- 5) T.N. Bui. B.R. Moon, "Genetic Algorithm and Graph Partitioning", IEEE Transactions on Computers, 45., 7., 841-855, 1996