

효율적인 전력선통신 라우팅 경로 탐색 기법

An Efficient Routing Path Search Technique in Power Line Communication

서 충 기* · 김 준 하* · 정 준 흥*
(Chung-Ki Seo · Jun-Ha Kim · Joonhong Jung)

Abstract - As field of application of AMI, AMR uses the power line as the primary means of communication. PLC has a big merit without installation of the new network for communication in a field using the power line which is the existing equipment. However, there is a serious obstacle in commercialization for the instability by noise and communication environment. Therefore, the technical method for maintaining the communication state which overcome such demerit and was stabilized is required essentially. PLC routing technology is applied with the alternative plan now. The routing technology currently managed by field includes many problems by applying the algorithm of an elementary level. PLC routing path search problem can be modeled with the problem of searching for optimal solution as similar to such as optimal routing problem and TSP(Travelling salesman problem). In this paper, in order to search for a PLC routing path efficiently and to choose the optimal path, GA(Genetic Algorithm) was applied. Although PLC was similar in optimal solution search as compared with typical GA, it also has a difference point by the characteristic of communication, and presented the new methodology over this. Moreover, the validity of application technology was verified by showing the experimental result to which GA is applied and analyzing as compared with the existing algorithm.

Key Words : Genetic algorithm, Smart grid, Advanced metering infrastructure, Auto meter reading, Data concentrate unit, Power line communication, Optimum routing

1. 서 론

원격자동검침(Automatic Meter Reading, AMR)은 원격검침을 위해 전력선통신(Power Line Communication, PLC)을 사용하는 원격검침인프라(Auto Metering Infrastructure, AMI)의 한 응용 분야이다[1]. PLC는 광대역통신 및 지능형 전력망 구축을 위해 수용가의 전력선을 통신망으로 사용하는 유선 네트워크 통신이고 추가적인 통신망 설치 없이 기존의 전력선을 이용하여 광대역 통신을 수행할 수 있다는 측면에서 다른 광대역 통신방식에 비해 장점을 가지고 있다. 그러나 이러한 장점에도 불구하고 노후화된 전력선 사용, 잡음에 취약한 통신대역 (5~25 MHz)의 사용 그리고 상/하향(upload/download) 동일 주파수 대역의 사용 등에 따른 다양한 종류의 인입 잡음에 취약한 문제점을 가지고 있다[2]. 선로 상태 및 잡음에 대한 취약성은 통신의 안정성 및 신뢰성을 떨어뜨림으로써 PLC 상용화에 상당한 장애요인이 되고 있다. 따라서 이에 대한 대안으로 잡음이 많은 통신 대역을 차단함으로써 통신 성능을 향상시키는 방법 그리고 잡음에 영향을 받는 통신 경로를 회피하고 통신상태가 양호한 경로를 지능적으로 찾아 통

신 안정성을 확보하는 방법(라우팅 기술) 등의 연구가 진행되고 있다. 이 중에서 라우팅 기술은 PLC의 단점인 신호 감쇄로 인한 통신 속도 저하나 통신 두절 상태에서도 원활한 서비스를 가능하게 해 주는 기술이다. 이를 활용하면 선로 잡음으로 인해 통신이 불안정한 상태에서도 통신의 안정성 및 신뢰성을 확보할 수 있기 때문에 PLC에서는 상당히 중요한 기술이다. 그럼에도 불구하고 현장에서 운영되고 있는 PLC 라우팅 기술은 master와 slave PLC 모델 간의 최적 라우팅 경로를 설정하는데 상당한 시간과 DCU 리소스를 필요로 하며 최적의 라우팅 경로에 대한 객관적인 평가에 대한 신뢰도가 떨어진다[3,4]. 따라서 master 모델과 slave 모델 간의 통신 적용 범위가 넓거나 통신 잡음이 심한 경우 원활한 통신을 위해서는 최적 라우팅 경로에 대한 만족할 정도의 해를 효율적, 계통적으로 찾을 수 있는 대규모 최적화 방법이 필요하다[4]. 연결된 모든 전력선에 통신신호가 전송되는 PLC 통신방식의 특징으로 인해 PLC에는 유일한 최적 경로뿐만 아니라 통신이 가능한 다양한 최적 경로를 효과적으로 찾을 수 있는 알고리즘을 적용하는 것이 합리적인데 유전자 알고리즘(Genetic Algorithm, GA)은 이 목적에 적합한 알고리즘이다. 본 고에서는 현재 운용중인 PLC에 적용되어 있는 bit per symbols(bps) 기반의 알고리즘에 비해 빠르고 효과적으로 라우팅 경로를 탐색할 수 있는 유전자 알고리즘을 구현하였고 PLC AMI의 한 분야인 AMR에 적용함으로써 원활한 원격검침 서비스가 가능하도록 하는 연구를 진행하였다.

† Corresponding Author : Energy ICT R&D Team of KDNERI, KEPCO KDN, Korea.

E-mail:mdragon_20@kdn.com

* Energy ICT R&D Team of KDNERI, KEPCO KDN, Korea.

Received : June 8, 2018; Accepted : July 30, 2018

2. AMR 시스템 구성

AMR 시스템은 센터 장비인 front end processor(FEP) 서버, headend 장비인 data concentration unit(DCU), 사용자 단말인 slave PLC 모뎀 그리고 digital power meter로 구성되어 있다. 이때 slave PLC 모뎀은 라우팅을 위해 repeater 모뎀의 기능을 동시에 수행할 수도 있다. 그림 1은 PLC 기반 AMR 시스템의 개략적인 구성을 나타내고 있으며, 그림에서 FEP 서버와 DCU는 이더넷으로 연결된 통신 구간이고, DCU와 slave PLC 모뎀은 양방향 통신이 가능한 PLC로 연결된 통신 구간이며 별도의 유·무선 통신망의 설치 없이 기존 전력선을 이용하여 서비스를 할 수 있는 장점을 가지고 있다. 그러나 PLC 구간은 수용가의 노후 전력선 및 가전제품 등에서 발생하는 잡음의 영향에 상당히 취약하여 지속적인 적정 수준의 quality of service(QoS)를 보장할 수 없는 단점을 가지고 있다. 이에 따라 잡음이 많은 전력선 구간에서는 통신 속도 및 품질이 현저히 저하되거나 통신이 두절되는 현상이 발생한다. 이것은 PLC 기반의 AMR 서비스 상용화에 심각한 장애요인이 되기 때문에 이 문제점을 해결하기 위한 기술적인 방법이 필요하다. 따라서 이에 대한 해결 방안 중 하나로 라우팅 기술이 적용되어 현장에서 운영되고 있다. 라우팅 기술은 전력선에 유입되는 잡음에 의한 통신신호 감쇄로 정상적인 통신이 어려운 구간에서도 통신이 가능한 새로운 라우팅 경로를 찾아 통신을 할 수 있도록 해 주는 기술이다.

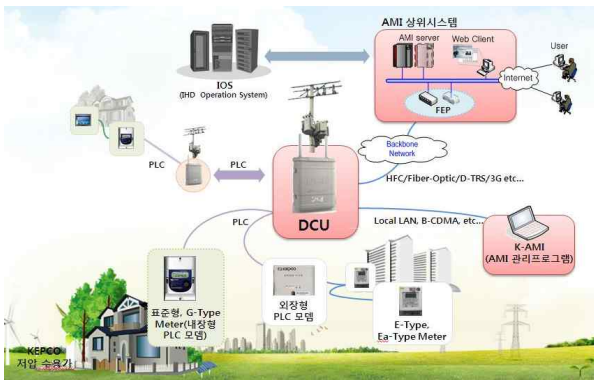


그림 1 AMR 기반 PLC 구성도
Fig. 1 AMR based PLC configuration

2.1 기존 알고리즘

AMR 시스템을 위한 라우팅 경로 탐색 방법은 국내 또는 국제 표준이 제정되어 있지 않아 시스템 개발 업체마다 독자적인 알고리즘을 사용하여 기능을 구현하고 있다. 따라서 이기종 시스템간의 호환성 및 성능 평가 등에 대한 객관적인 기준도 제시되어 있지 않은 상태이다. 현재 국내에서 운영 중인 AMR 시스템의 대표적인 라우팅 기법은 다음과 같은 알고리즘에 의해 구현되어 있는데, 먼저 각 모뎀은 자신과 연결된 node(모뎀) 간의 상/하향 bps 값을 DCU에 내장되어 있는 master 모뎀으로 전송하고 [3] DCU에서 구동되는 NMS(Network Management System)

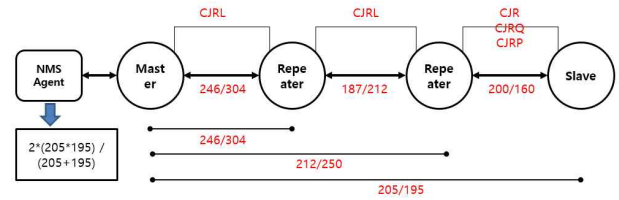


그림 2 단일 경로의 상, 하향 신호 세기 결정
Fig. 2 Determine the up / down link signal strength of a single path

agent는 수신한 bps값을 기반으로 master 모뎀과 slave 모뎀 간의 전체 라우팅 경로에 대한 조화평균값을 계산한다. 그런 다음 DCU NMS agent는 계산 값을 기반으로 각각의 라우팅 경로에 대한 성능을 판단한 후 최종적으로 가장 성능이 좋은 라우팅 경로를 모뎀 간의 새로운 통신 경로로 재설정 하도록 slave 모뎀을 제어한다. 그림 2에 단일 라우팅 경로에 대한 bps값의 조화평균값을 구하는 과정을 나타내었다. 그림 2에서 최우측 종단에 위치한 slave 모뎀은 2개의 repeater 모뎀을 통해 master 모뎀으로 신호를 전송하게 되므로, 인접한 모뎀 간의 bps값을 a_i 라 하면 전체 단계의 상, 하향 신호세기에 대한 조화평균값은 식 (1)에 의해 결정된다. 아래 식에서 n 은 slave 모뎀을 포함한 단일 경로상의 모뎀의 총 개수를 의미한다.

$$Ave(x_j) = \frac{1}{\frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_2} + \frac{1}{a_3} \dots \frac{1}{a_n}} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{a_i}} \quad (1)$$

$(a_i = \text{각 node간 상/하향 bps, } i = 1, n)$

그러나 실제 전력망에서는 모뎀들이 서로 복잡하게 연결되어 있으므로, 종단에 위치한 특정 slave 모뎀이 DCU와 통신할 수 있는 다수의 경로가 존재한다. 따라서 식 (1)을 활용하여 연결 가능한 모든 경로에 대한 bps값의 조화평균값을 구해 상, 하향 신호 세기를 결정해야 한다. 그림 3과 같이 4개의 모뎀과 DCU내의 master 모뎀 1이 상호 연결되어 있고 오른쪽 하단의 모뎀이 종단에 위치한 slave 모뎀이라면, slave 모뎀과 DCU의 직접 연결

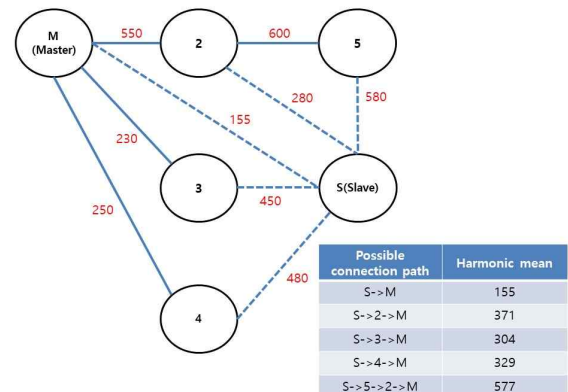


그림 3 최적 라우팅 경로의 결정
Fig. 3 Determining the optimal routing path

경로, slave 모델과 2번, 3번, 또는 4번 repeater 모델을 통한 연결 경로, 마지막으로 5번과 2번 repeater 모델을 통한 라우팅 경로가 형성될 수 있다. 여기서 Parent node는 slave 모델과 바로 연결된 상위 모델을, Possible connection path는 slave 모델에서 master 모델까지 연결된 경로의 수를, Harmonic mean은 slave 모델에서 master 모델까지 연결된 경로에 대한 전체 신호 세기를 나타낸다. 만일 각 라우팅 경로에 대한 bps 조화평균값이 그림 3과 같다면, bps 값이 가장 큰 slave 모델 → 모델 5 → 모델 2 → master 모델 1이 최적 경로로 선택될 것이다.

그림 4에 기존 알고리즘을 적용한 PLC 라우팅 경로 계산 순서도를 나타내었는데 조화평균법을 이용한 기존의 알고리즘은 계산이 단순하고 엄정한 성능 평가가 가능해 통신 경로에 1~5단 정도의 repeater 모델이 존재하는 경우 신호(bps)의 계산 및 이를 이용한 효율적인 경로의 재설정 가능성이 가능하지만, repeater 모델 개수가 늘어날수록 통신이 가능한 경로의 수가 급격하게 증가하게 되어 계산량, 계산시간 및 DCU 리소스(CPU 사용률, 메모리 등)를 많이 소모하게 된다. 따라서 시스템을 현장에서 운용 시에는 통신 성능 및 DCU 리소스를 감안하여 intra-cell 안의 모델 수 및 경로 구성을 제한해야 하는 단점이 있다. 이는 master와 slave 모델의 개수 및 경로 구성을 임의로 제한해야 하는 불합리한 상태를 야기하여 상용 서비스에 대한 안정성 및 신뢰성을 보장할 수 없다.

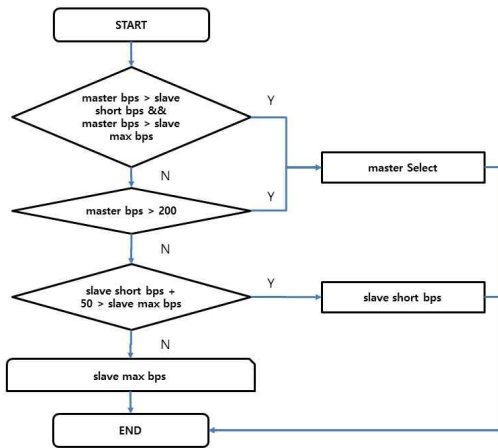


그림 4 PLC 라우팅 경로 계산 순서도(기존 알고리즘)
 Fig. 4 PLC routing path calculation flowchart(existing algorithm)

2.2 새로운 탐색기법

PLC 통신을 기반으로 한 저압원격검침은 잡음 및 전력선 특성으로 인해 통신 신호가 약한 경우 검침 성공률이 저하되고 기존 알고리즘으로는 모델 및 계기의 대규모 증설에 따른 효율적인 네트워크 관리가 어렵기 때문에 전력선 통신을 위한 효율적인 알고리즘의 필요성이 대두 되고 있다. 유전자 알고리즘은 이러한 문제들을 적당한 연산 시간 안에 풀 수 있는 주요한 메커니즘

으로써 사용되고 있다. 전력 배전망의 네트워크 구성은 TSP 최적화 문제와 유사하기 때문에 유전자 알고리즘을 적용하면 효율적인 네트워크 최적화가 가능할 뿐 아니라 시스템의 지속적인 증가에 따른 대규모 최적화에도 유리하다. 유전 알고리즘은 선택(selection)과 교차(crossover), 돌연변이 연산자를 이용하여 문제에 대한 후보 해 또는 유기체의 집합인 개체군을 새로운 개체군으로 반복적으로 변형함으로써 최적 해를 찾는 것이다[2,5]. 통신 성능에 따라 최적 라우팅 경로를 구하는 문제는 한정된 계산 시간과 리소스를 가지고 최적의 해를 찾아야 한다는 점과 실시간 처리가 가능해야 한다는 점 때문에 유전 알고리즘이 매우 효율적인 것이므로 본 연구에서는 다중경로 PLC 라우팅에 GA를 이용하는 방법을 제안하였다.

2.3 제안 알고리즘

최근 공학의 여러 가지 응용 분야 중 복잡한 제약성을 가진 대규모의 최적화 문제들은 일반적인 수학적 프로그램이나 최적화 알고리즘의 조합을 이용하여 짧은 연산 시간 안에 최적의 해를 구하기가 매우 어렵다. 그러므로 이러한 문제들을 적당한 연산 시간 안에 풀 수 있는 주요한 mechanism으로 진화 알고리즘(Evolutionary Algorithm)의 하나인 유전자 알고리즘이 사용된다 [6,7]. 유전자 알고리즘은 선택(selection), 교차(crossover) 및 돌연변이(mutation) 연산자를 이용하여 문제에 대한 후보 해 또는 유기체의 집합인 개체군을 새로운 개체군으로 반복적으로 변형함으로써 최적 해를 찾는다. 이들은 유전자 알고리즘의 기본적인 연산으로서 알고리즘의 mechanism을 규정하고 효율성에 영향을 미치게 되는 요소이다.[8] 통신 성능에 따른 최적 라우팅 경로를 구하는 문제는 한정된 계산 시간과 리소스를 가지고 최적의 해를 찾아야 한다는 점, 그리고 통신이라는 특성상 실시간 처리가 가능해야 한다는 점에서 유전자 알고리즘을 이용한 최적화 방법이 효율적이다. 따라서 본고에서는 다중경로 PLC 라우팅에 GA를 이용한 방법을 제안하였다. 기존 알고리즘[9]과 제안된 알고리즘에

표 1 알고리즘의 비교
 Table 1 Algorithm comparison

항목	기존 알고리즘	제안 알고리즘
Preprocess	x	○ 모델 통신 속도가 기준 이하인 경우 (<50bps) 구간 연결 제거
	x	○ preprocess 적용 및 경로 보정
라우팅 알고리즘	○ 최대 신호 경로 선택	○ 최적 경로 선택
라우팅 방법		○ 모델 통신 속도 세기에 따른 라우팅 기법 적용
	x	○ 검침 성공률 변화에 따른 라우팅 기법 - 검침 성공률 기준 값 이하인 경우 라우팅 재설정
	○ polling 주기에 취득한 1회 모델 통신 속도 값 사용	○ 입력 모델 통신 속도 값의 적용 방법 변경 - polling 주기 3회에 걸쳐서 취득한 평균 모델 통신 속도 값 사용

대한 비교를 표 1에 나타내었다. 제안 알고리즘은 기존 알고리즘과 비교하여 시스템의 통신 안정성 및 신뢰성 확보를 위해 전처리와 검침 성공률 변화에 따른 라우팅 재설정 기능을 추가하였다.

2.4 시스템 구현

제안된 방법의 개념을 설명하기 위해 그림 5에 알고리즘과 순서도를 나타내었다. 유전 알고리즘을 적용한 최적의 라우팅 경로를 계산하기 위해서는 가장 먼저 적절한 초기 집단을 생성하여야 한다. PLC 시스템은 물리적으로 연결된 전력선을 통해 통신 속도에 해당하는 bps 값을 주기적으로 송수신하기 때문에 이 값을 사용하여 식 (2)와 같이 초기 부모 염색체(parent chromosome) 집단 행렬을 구성하고 라우팅 경로 계산에 필요한 mesh node를 생성한 후 각 부모 염색체에 대한 적합도(fitness)를 평가한다.

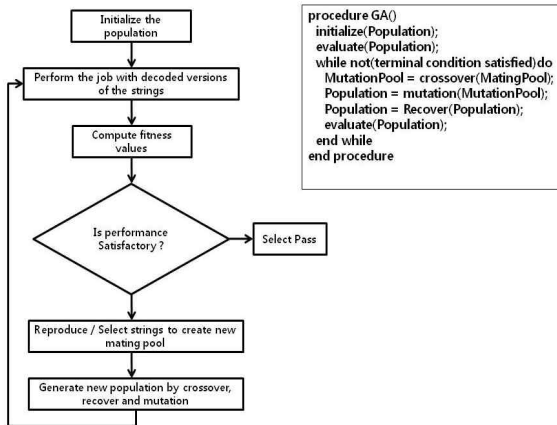


그림 5 유전자 알고리즘과 순서도
Fig. 5 Genetic algorithm and flowchart

$$x_{ij} = \begin{bmatrix} 0 & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & 0 & a_{23} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & a_{n3} & \dots & 0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

(a_{ij} =각 node 간의 상/하향 통신 속도)

2.4.1 전처리(preprocess)

전처리는 특정 신호 이하의 통신 경로가 불필요한 경우 계산에 앞서 사전에 처리하는 절차로서 초기 population의 모뎀 통신 속도 값을 그림 6과 같이 0으로 치환한다. 이 절차를 통해 계산량을 대폭 감소시킴으로써 계산의 효율성을 높일 수 있다.

2.4.2 유전자 알고리즘 연산

PLC 시스템은 물리적으로 연결된 전력선을 통해 통신 속도인

* 15bps 이하 신호를 preprocess 한 경우

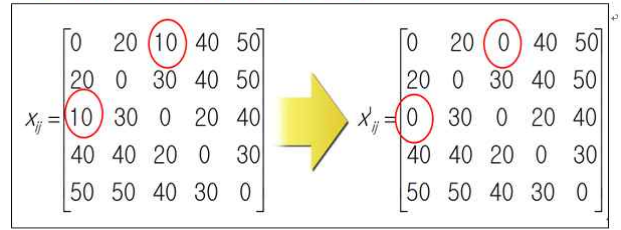


그림 6 모뎀 통신 속도 15bps 이하인 경우 preprocess
Fig. 6 Preprocessing when the communication speed of the modem is 15 bps or less

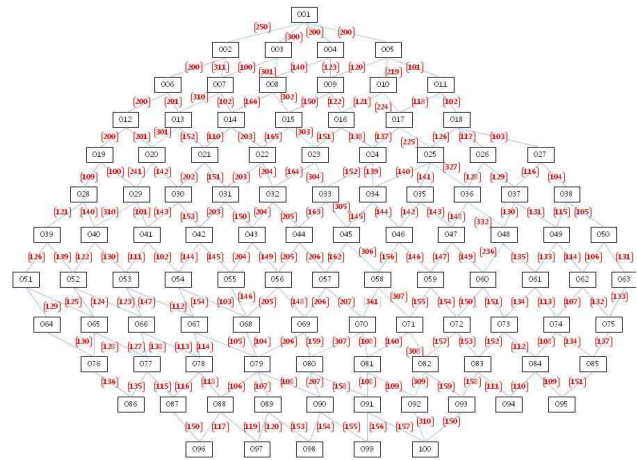


그림 7 PLC 라우팅 경로 선택을 위한 mesh node
Fig. 7 Mesh node for PLC routing path selection

bps 값을 주기적으로 송수신하기 때문에 초기집단의 구성을 위해 bps 값을 사용한다. 따라서 제안된 유전자 알고리즘에서는 DCU agent에서 수신한 각 PLC 모뎀의 bps 값을 사용하여 계산에 필요한 mesh node를 그림 7과 같이 생성한다.

또한 생성된 mesh node와 연결된 node의 bps 값을 사용하여 식 (3) 과 같이 초기 부모 염색체(parent chromosome)의 집단을 생성하고 각 부모 염색체 후보군에 대한 적합도(fitness)를 평가하여 부모 염색체를 선택한다.

$$x_i = [a_{i1} a_{i2} a_{i3} \dots a_{in}] \quad (3)$$

(a_{in} = 각 node 간의 상/하향 bps, $i = 1, n$)

선택교차 방법에는 적응도 비례전략, 기대치 전략, 순위 전략, 엘리트 보존 전략, 토너먼트 선택 전략, genitor 알고리즘 등의 방법이 있으며, 본 연구에서는 토너먼트 선택 전략을 사용하였으며 이 전략은 식 (4)에 나타난 바와 같이 두 개의 염색체 x_1, x_2 를 임의로 선택하고 [0,1] 범위의 난수 r을 발생시킨다. 만일 난수 r이 사전 설정된 t 값보다 작으면 두 염색체 중 품질이 좋은 것을 선택하고 그렇지 않으면 품질이 나쁜 것을 선택하게 된다 [6].

if ($t > r$) then select x_1 ; (4)
 else select x_2 ;

교차는 두 부모의 염색체를 조합하여 바꾸어 자식의 염색체를 만드는 조작이다. 교차의 방법에는 단순교차, 일정교차, 부분일치교차, 순위교차, 주기교차, 2차원교차 등의 방법이 있다. 단순교차(1점 교차) 방법은 알고리즘 구현 시 가장 단순하면서도 효율적인 방식이기 때문에 현재도 많이 사용되고 있으며 본고에서도 이 방법을 사용하고 있다[7].

$$P_c = \frac{P_a}{(pop_size)} \quad (5)$$

(P_c = 교배확률, P_a = 교배대상이 되는 유전자 수)

돌연변이는 유전자를 일정한 확률로 변화시키는 조작이다. 돌연변이를 너무 큰 변이 확률로 설정하면 schemata가 파괴되어 임의 탐색으로 변해 버리게 되지만 돌연변이가 없는 경우는 local solution에 빠져 원하는 해를 구할 수 없게 된다. 따라서 적절한 확률로 돌연변이를 적용하는 것은 가능한 한 넓은 해 공간의 탐색을 위해 반드시 필요하다.

$$P_m = \frac{P_{mi}}{(pop_size)} \quad (6)$$

(P_m = 돌연변이 확률, P_{mi} = 돌연변이 대상이 되는 유전자 수)

최적의 통신 경로 설정 시 그림 8과 같이 루프가 포함된 라우팅 경로가 포함될 수 있다. 이는 경로 탐색 시 $N1 \rightarrow N2 \rightarrow N3 \rightarrow N1$ 으로 순환하는 치명적인 결과를 초래하게 된다. 이 경우 루프 경로를 찾아 제거하여야만 적절한 해를 도출할 수 있다.

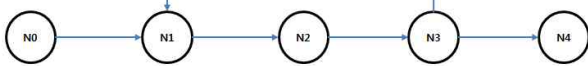


그림 8 루프가 포함된 라우팅 경로
 Fig. 8 Routing path including loops

또한 그림 9와 같이 preprocess 적용 과정에서 연결된 경로가 하나도 존재하지 않는 상태가 발생할 수 있다. 이 경우 유전자 알고리즘의 계산을 위해서는 특정 라우팅 경로를 추가해 주는 경로 보정 과정을 수행해 주어야 한다.

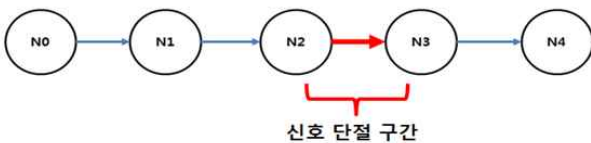


그림 9 특정 구간의 신호가 단절된 경우의 라우팅 경로
 Fig. 9 Routing path including no-signal

DCU의 master 모뎀과 라우팅을 원하는 PLC slave 모뎀 간에 유전 알고리즘을 적용하여 전체 경로의 신호가 가장 좋은 최적의 경로를 선택할 수 있다. 그러나 모뎀 통신 속도의 조화 평균값이라는 단일 요소만으로 염색체 배열을 평가하고 PLC의 최적 라우팅 경로를 찾는다면, 최적 경로의 통신 성능을 보장할 수 없다. 하나의 셀에는 통상 1개의 DCU master 모뎀, 다수의 리피터 모뎀 및 slave 모뎀이 설치되어 있으며 상호간 전력선으로 연결되어 있으므로, PLC에서는 전체 경로에 대한 통신 상태뿐만 아니라 경로상의 각 모뎀 간 통신 상태도 최적 경로를 판단하는 중요한 요소로서 고려되어야 한다.

2.4.3 최적 경로 선택 기법

전체 라우팅 경로 중 최적 경로를 구하기 위해 제안된 유전자 알고리즘에서는 DCU가 수신한 인접 모뎀 간의 상/하향 bps 값의 조화평균을 구하여 초기 값으로 설정하였다. DCU의 master 모뎀과 라우팅을 원하는 slave 모뎀 간에 유전자 알고리즘을 적용하면 염색체 배열에 대한 평가를 수행하여 최적의 경로(전체 경로의 신호가 가장 좋은 경로)를 선택할 수 있다. 그러나 PLC에서 최적 라우팅 경로를 찾는 문제는 통신이라는 분야의 특성상 일반적인 순회 세일즈맨 문제(TSP)와 비교하여 다양한 제약조건들을 가지고 있기 때문에 염색체 배열에 대한 평가만으로 최적 경로를 선택한다고 해서 원활한 통신이 가능한 것은 아니다. 하나의 통신 셀 범위에는 통상 1개의 DCU master 모뎀, 다수의 repeater 모뎀 및 slave 모뎀이 설치되어 있으며 상호간 전력선으로 연결되어 있기 때문에 PLC에서는 전체 경로에 대한 통신 상태뿐만 아니라 경로상의 모뎀 간 통신 상태도 최적 경로를 판단하는 중요한 요소로서 고려되어야 한다. 따라서 본고에서는 기존의 방식에 비해 PLC 최적화된 node 선택 기법을 다음과 같이 제시하였다.

- 1단계 : 전체 경로의 모뎀 간 bps 값을 염색체 배열로 사용하여 유전자 알고리즘을 적용하고 최적 경로를 선택한다.
- 2단계 : 모뎀 간 통신 상태에 대한 임계값을 설정하고 이 값 이상일 경우 최종 해로 선택하지만 이를 만족하지 않을 때는 다른 경로를 찾으려 한다.
 - ① 각 모뎀 간 bps 값 중에 임계값 이하가 존재하는 경우 최적 경로에서 제외한다.
 - ② 선택 가능한 모든 경로 상에 임계값 이하 구간이 존재하면 repeater 수가 최소인 경로를 선택한다.
 - ③ repeater 수가 동일하면 그 중에서 bps값이 가장 큰 경로를 최적 경로로 선택한다.

3. 최적 라우팅에 대한 실험적 결과

3.1 실험 환경 및 inPros GUI

PLC AMR 시스템은 DCU, 라우팅 경로의 계산을 위한 InPros 서버, digital power meter 그리고 slave 모뎀으로 구성되며 그

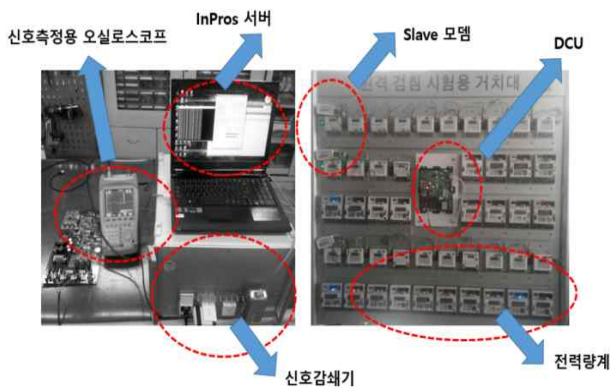


그림 10 실험 환경
Fig. 10 Experiment environment

림 10에 실험을 위한 환경을 나타내었다. DCU와 모뎀은 전력선으로 연결되며 라우팅 경로의 계산을 위해 유전자 알고리즘이 적용된 InPros 서버는 DCU와 이더넷으로 연결되어 있다.

DCU agent는 연결된 원격지 slave 모뎀의 bps 값 정보를 주기적으로 수신하여 저장한다. InPros 서버는 DCU의 agent에서 수집한 각 node(모뎀)의 bps 값 정보를 주기적으로 수집하여 유전자 알고리즘을 적용한 계산을 수행하고 계산된 최적 경로 정보를 DCU agent로 송신한다. DCU agent는 수신한 최적 경로 정보를 가지고 slave 모뎀이 새로운 경로를 통해 통신을 할 수 있도록 통신 경로를 설정한다. slave 모뎀은 DCU agent로부터 수신한 정보를 기반으로 새로운 라우팅 경로를 사용하여 데이터를 전송한다. DCU agent는 모뎀으로부터 주기적으로 검침 등의 정보를 수신하므로 검침데이터의 누락이나 통신 불안정 상태가 발생하는 경우 수집한 각 node의 bps 값 정보를 가지고 위의 과정을 주기적으로 수행하여 새로운 라우팅 경로를 설정함으로써 유입 잡음으로 인해 통신망의 품질이 불안정한 경우에도 안정적으로 통신이 이루어지도록 한다.

3.2 실험 결과

본고에서는 DCU와 slave 모뎀 간의 최적 라우팅 경로를 선택하기 위해 유전자 알고리즘을 적용하였고 기존의 bps 조화평균법을 이용한 라우팅 알고리즘과 비교, 검증을 실시하였다. 알고리즘의 비교 검증을 위한 시뮬레이션을 위해 모뎀 bps 초기 값은 임의로 설정한 값을 사용하여 계산을 수행하였다. 또한 최적 경로 선택 여부의 실제적인 검증을 위해 모뎀 100대를 설치하여 실험하고 그 결과를 확인하였다. 라우팅 경로 계산에 사용된 유전자 알고리즘 환경 변수를 표 2에 나타내었다. node 수를 10~100개까지 증가시키며 node 수 증가에 따른 계산 시간의 변화를 검증하기 위하여 개발한 InPros 프로그램과 계산 결과를 그림 11에 나타내었다. 시스템의 성능에 따라 차이가 있지만 표 3에 나타낸 시스템 사양에서 node 수가 40개 이하인 경우 최적 경로 계산에 1초 정도가 소요되었으며 100개인 경우 대략 50초 정도 소요되었다. 각각의 node는 현장에서 모뎀에 해당하고 한 개의 DCU에 통상적으로 모뎀 40~50개 정도를 연결하기 때문에

표 2 환경 변수

Table 2 Environment variable

순번	Node 수	초기집단	Mutation	Fitness
1	10	10x10	0.1	0.003
2	20	20x20		
3	40	40x40		
4	60	60x60		
5	80	80x80		
6	100	100x100		

표 3 시스템 사양

Table 3 System Specifications

항목	사 양
CPU	Intel Core i7-6500U CPU@2.50GHz, x64 기반
MEMORY	16GB RAM
HD	240GB SSD
OS	WIN10, 64비트 운영체제

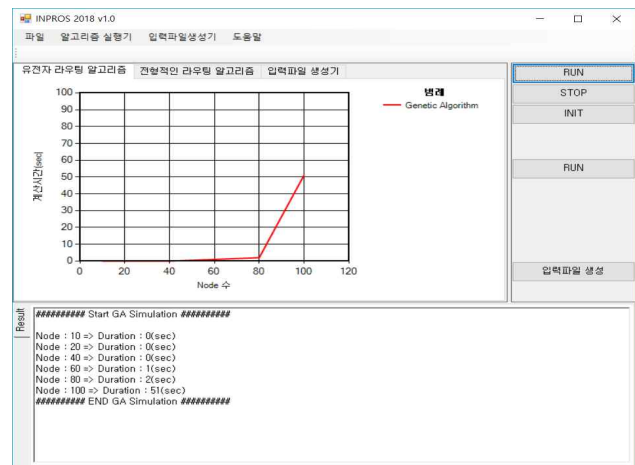


그림 11 경로 계산 시간 vs node 수

Fig. 11 Path calculation time vs node number

최적 경로 라우팅 알고리즘에 GA를 사용하더라도 현장 운용에 문제가 없음을 실험 결과를 통해 확인 할 수 있다.

InPros를 통해 계산된 최적 경로를 그림 12에 나타내었다. 그래프상의 굵은 선은 유전자 알고리즘 수행 후 DCU master 모뎀과 slave 모뎀 간의 최적 통신 경로를 나타낸다. PLC의 특성상 이 통신 경로는 시간 및 환경 요인(유입 잡음 등)에 의하여 주기적으로 변경 되어 질 수 있다. 따라서 InPros 프로그램의 검증을 위해 반복적인 실험 및 검증을 진행하였으며 기존의 라우팅 선택 방식과 비교하여 최적의 통신 경로를 효과적으로 계산하는 것을 확인하였다.

또한 네트워크 관리 에이전트는 연결된 원격지 PLC 모뎀의 bps 값 정보를 주기적으로 수집하고 제안된 알고리즘을 적용한 계산을 수행하여 target slave 모뎀이 새롭게 설정된 경로를 통

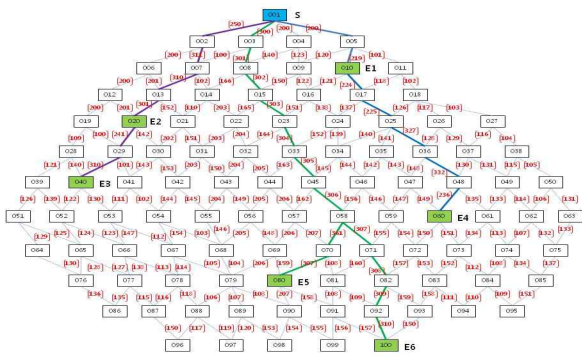


그림 12 선택된 최적 경로
Fig. 12 Selected optimal path

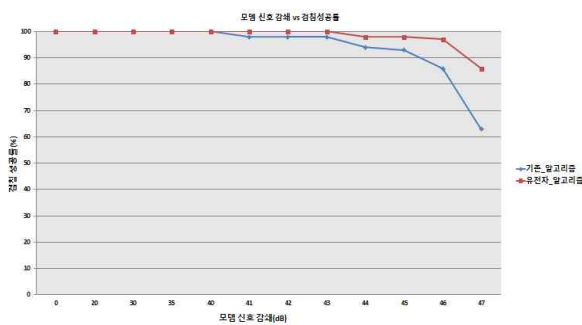


그림 13 모뎀 통신 속도 감쇄에 따른 검침 성공률 변화
Fig. 13 Changes in meter reading success rate due to modem communication speed attenuation

해 통신을 할 수 있도록 계산된 최적 경로 정보를 slave 모뎀으로 송신한다. target slave 모뎀은 네트워크 관리 에이전트로부터 수신한 정보를 기반으로 새로운 라우팅 경로를 사용하여 데이터를 전송한다. 네트워크 관리 에이전트는 모뎀으로부터 주기적으로 검침 등의 정보를 수신하므로 검침데이터의 누락이나 통신 불안정 상태가 발생하는 경우 수집한 각 node의 통신 속도 값 정보를 가지고 위의 과정을 주기적으로 수행하여 새로운 라우팅 경로를 설정함으로써 노이즈로 인해 통신망의 품질이 불안정한 경우에도 안정적으로 원활한 통신이 이루어지도록 한다. 통신 경로 설정이 불안정하여 통신이 끊기는 경우 모뎀의 상태가 주기적으로 active에서 fault가 되며 링크정보의 통신 속도가 아주 낮은 값으로 나타나게 된다. 모뎀간의 신호가 정상 상태(신호감쇄=0dB)인 경우 모뎀의 topology 및 모뎀간의 통신 속도는 기존의 시스템과 제안된 시스템 간에 비슷한 성능을 보장한다. 그러나 신호감쇄를 준 경우 제안된 시스템이 기존의 시스템에 비하여 안정적으로 모뎀 간의 통신 경로를 유지하고 검침을 수행함에 따라 검침의 성공률이 크게 향상됨을 그림 13과 같이 확인할 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 AMR 기반 AMI 시스템에서 문제점으로 대두되

고 있는 PLC의 노후 선로로 인한 잡음과 라우팅 경로 탐색의 비효율성을 해결하여 결과적으로 AMI 시스템의 검침 성공률을 향상시키기 위한 경로 탐색 기법으로 유전 알고리즘을 적용하여 최적의 라우팅 경로 계산 및 설정을 수행하였다. PLC 최적 경로 선택 문제는 TSP 및 최단경로 도출 문제와 유사하기 때문에 계산의 효율성 및 정확도 측면에서 기존의 단순한 조화평균법 계산 알고리즘을 유전 알고리즘으로 대체하는 것이 유용하다. 제안된 유전 알고리즘에서는 node(모뎀)간 통신 속도 임계치를 경로 선택 평가에 포함시킴으로써 기존의 방식에 비해 더 나은 최적 경로를 구할 수 있도록 새로운 node(모뎀) 선택 기법을 제시하였다. 이를 적용한 시뮬레이션을 통해 알고리즘의 타당성을 검증하였으며 검증된 코드를 PLC 에이전트에 구현하여 실증을 진행하였다. 검침 성공률 향상을 위하여 유전자 알고리즘의 적용 외에도 preprocess 기법, 경로 보정 기법, 검침 성공률 변화에 따른 라우팅 기법, 그리고 3회의 polling 주기에 걸쳐 평균화된 모뎀의 통신 속도 값 활용 등 다양한 새로운 알고리즘을 제안, 구현하여 실험 결과를 도출하였다. 모뎀 40개에 대한 실험 결과 최소 허용 fitness 레벨에 대한 평균 경로 찾기는 모뎀 통신 속도 50~450 bps에서 100%의 성공률을 보였으나 통신 속도가 470~550bps 구간에서는 2~98%, 570~610bps 구간에서는 0%의 결과를 보였다. 이는 최소 허용 fitness 레벨 값이 클수록 연결된 경로의 수가 적어지기 때문이다. 또한 모뎀 수량 변화에 따른 평균 경로 계산 회수와 계산 시간에 대한 시뮬레이션을 통해 수량이 증가하면 계산 횟수나 시간이 일정하게 증가함을 알 수 있다. 모뎀 200개의 경우 평균 계산 시간이 117~479ms 정도 소요되지만 이는 모뎀 등록에 소요되는 시간(10~30초)에 비해 극히 짧은 시간이므로 제안한 알고리즘을 적용하는데 문제가 없음을 알 수 있다. 또한 preprocess 적용 전, 후의 시뮬레이션을 진행하였으며 모뎀 통신 속도 370bps 이상에서 preprocess를 적용하지 않은 경우 경로 계산 회수 및 계산 시간이 급격히 증가하나 preprocess를 적용하면 이 구간에서 경로 계산 회수가 일정하게 유지되거나 감소하는 경향을 보인다. 따라서 preprocess를 적용하는 것이 성능 면에서 우수함을 알 수 있다. 그러나 preprocess 적용 시 모뎀 통신 속도를 너무 높게 되면 최적 경로가 하나도 존재하지 않는 상태가 발생할 수 있기 때문에 적절한 수준의 모뎀 통신 속도를 임계값으로 설정하는 것이 중요하다. 이와 같은 시뮬레이션 결과를 통해 우리는 시스템 적용을 위한 최적 환경변수를 추출할 수 있었고, 최소 허용 fitness 레벨 및 preprocess를 통한 최소 통신 속도 값을 통신 가능 임계값으로 활용하면 검침 성공률 향상을 위한 효율적인 통신 경로 설정이 가능함을 증명하였다. 또한 시뮬레이션의 결과를 바탕으로 DCU 네트워크 관리 에이전트에 알고리즘을 실제 적용하였고 DCU master 모뎀과 하위 모뎀들 간의 신호를 0~47dB까지 단계적으로 감쇄시키면서 신호 세기 및 변동률, 그리고 그에 따른 1일 평균 검침 성공률을 측정하였다. 측정 결과 제안된 알고리즘은 기존 알고리즘에 비해 신호 감쇄 40dB이상에서 검침 성공률이 평균 2~23% 정도 향상됨을 알 수 있다. 이는 PLC 통신의 특성상 검침 성공률이 모뎀 통신 속도가 낮은 구간에서 현저히 떨어지기 때문에 전체 검침 성공률 향상 측면에서 상당히 의미 있는 결과이다. 본 연구에서 도출한

새로운 알고리즘의 타당성 결과를 바탕으로 SoC를 설계하여 H/W 기반의 시스템을 구축한다면 S/W 알고리즘에 비해 성능 면에서 월등한 검침 시스템을 구성할 수 있으며 이를 DCU 시스템에 적용함으로써 현재보다 더 안정적인 검침 데이터 취득 및 서비스가 가능할 것이다[10,11].

감사의 글

본 연구는 “경로 최적화 알고리즘을 적용한 전력선 통신 기반 저압원격검침 네트워크 관리 에이전트에 관한 연구”의 이론 및 실험결과를 기반으로 하였음.

References

[1] Park. B.S, Hyun, D.H, Cho. S.K, “Implementation of AMR system using power line communication”, *Transmission and Distribution Conference and Exhibition 2002: Asia Pacific. IEEE/PES*, Vol. 1, pp. 18-21, Oct. 2002.

[2] Seo. C.K, Jeong. S.M, Chung. D.J, “A Research on the Extraction and Interpretation of power line communication Noise Pattern Using Genetic Algorithm”, *Advanced Engineering Forum*, Vol. 2-3, pp. 645-648, 2012.

[3] General Technical Specifications of KEPCO, “Data Concentration Unit for Low Voltage AMI system”, *KEPCO*, GS-5895-0026, pp. 23-25, 101-102, Feb. 2011.

[4] ISO, Information technology-Telecommunications and information exchange between systems - power line communication (PLC)-High speed PLC medium access control (MAC) and physical layer (PHY), *ISO/ IEC12139-1*, 2009.

[5] Seo. C.K, “A study on the implementation of intelligent power distribution Geometric Information System Using Genetic Algorithm”, *Dept. Info. and Comm. Eng., Inha University*, Aug. 2015.

[6] Moon. B.R, “Easy-to-learn genetic algorithm, An evolutionary approach”, *Hanbit Media*, pp. 59-81, 2008.

[7] Kitano Hiroaki, “Basic Theory Engineering Applications of Genetic Algorithms and Artificial Life Genetic Algorithms”, *Daechung Information System*, pp. 35-36, 1996.

[8] Jeong. S.W, Kim. H.S, Kim. D.S, Jeong. D.J, “Implementation of Adaptive Genetic Algorithm Processor for Evolvable Hardware”, *The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers*, Vol. 53, No. 4, 2004.

[9] General Technical Specifications of KEPCO, “Data Concentration Unit for Low Voltage AMI system”, *KEPCO*, *GS-5895-0026*, pp. 171-175, Dec. 2017.

[10] Barry Shackleford et al., “A High-Performance Hardware Implementation of a Survival-Based Genetic Algorithm”, *ICONIP'97*, pp. 686-691, Nov. 1997.

[11] N. Yoshida, T. Moriki and T. Yasuoka, “GAP: Genetic VLSI processor for genetic algorithm”, *Second International ICSC Symp. On Soft Computing*, pp. 341-354, 1997.

저 자 소 개



서 충 기 (Chung-Ki Seo)

1993년 인하대학교 공과대학 공학학사. 1998년 동 대학원 공학석사. 2015년 동 대학원 정보통신공학과 공학박사. 2000년~2003년 해태전자 중앙연구소 책임연구원. 2003년~2005년 인하공업전문대학 정보통신공학과 겸임교수. 현재 한전KDN 전력IT연구원(KDNERI) 에너지ICT연구팀 주임연구원. 관심분야는 AMI 시스템 F/W. 인공지능 알고리즘과 빅데이터 분석, 정보보안, VLSI & SoC.



김 준 하 (Jun-Ha Kim)

2008년 조선대학교 공과대학 공학학사. 2015년 한국교통대학교 공학석사. 현재 전남대학교 정보보안 협동과정 박사과정. 2013년~2017년 전자부품연구원 연구원. 현재 한전KDN 전력IT연구원(KDNERI) 에너지ICT연구팀 연구원. 관심분야는 AMI 시스템 F/W. 인공지능 알고리즘과 정보보안, VLSI & SoC.



정 준 흥 (Joonhong Jung)

1996년 성균관대학교 공과대학 공학학사. 1998년 동 대학원 공학석사. 2005년 동 대학원 전기전자 및 컴퓨터공학과 공학박사. 2007년~2008년 성균관대학교 정보통신공학부 겸임교수. 현재 한전KDN 전력IT연구원(KDNERI) 에너지ICT연구팀 선임연구원. 관심분야는 스마트그리드, 네트워크기반 제어 시스템 등.