병렬유전자알고리즘을 이용한 탐지노드 선정문제의 에너지 효율성과 수렴성 향상에 관한 해석

성기택*

Analysis of Improved Convergence and Energy Efficiency on Detecting Node Selection Problem by Using Parallel Genetic Algorithm

Ki-taek Seong*

요 약

센서네트워크에서는 다수의 유휴노드가 존재하며 네트워크의 이상행위 탐지는 이러한 유휴노드를 이용하여 구현될 수 있다. 최적화 문제로 정의된 탐지노드선정 문제에 대하여, 기존의 방법에서는 중앙처리방식의 유전자 알고리즘을 이용하였다. 본 논문에서는 최적 값으로의 수렴 성을 개선함과 동시에 에너지 효율성을 향상시키는 방법으로써 네트워크의 토폴로지 특성을 고려한 병렬유전자알고리즘을 이용한 방법을 제안하였다. 시뮬레이션을 통하여 제안한 방법이 기존의 방법에 비하여 최적 값으로의 수렴이 개선되었음과 에너지 효율적임을 확인하였다.

ABSTRACT

There are a number of idle nodes in sensor networks, these can act as detector nodes for anomaly detection in the network. For detecting node selection problem modeled as optimization equation, the conventional method using centralized genetic algorithm was evaluated. In this paper, a method to improve the convergence of the optimal value, while improving energy efficiency as a method of considering the characteristics of the network topology using parallel genetic algorithm is proposed. Through simulation, the proposed method compared with the conventional approaches to the convergence of the optimal value was improved and was found to be energy efficient.

키워드

센서 네트워크 보안, 침입탐지 시스템, 병렬 유전자 알고리즘, 이상감지

Key word

sensor networks security, intrusion detection system, parallel genetic algorithm, anomaly detection

* 정회원 : 동명대학교(주저자,ktseong@tu.ac.kr)

접수일자 : 2012. 04. 12
심사완료일자 : 2012. 04. 23

Open Access http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2012.16.5.953

ⓒThis is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(http://creativecommons.org/li-censes/by-nc/3.0/) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Ⅰ. 서 론

유비쿼터스시대의 기반기술로 무선 센서네트워크의 중요성이 점차 커지고 있다. 센서네트워크는 특정 지역에 대하여 무선 인프라를 이용하여 설치된 센서노드를 통하여 상황을 인지하고 획득된 데이터를 외부에 전달하는 기능을 갖고 있다. 이는 전장감시와 같은 군사적, 화재 홍수 감시 등의 생태학적, 인체대상 모니터링 등의 건강관련 등 다양한 분야에 적용되고 있다. 이와 같이 센서네트워크의 광범위한 응용에 따른 보안의 중요성이 대두되고 이에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

센서네트워크에서의 보안기술은 자체 전원사용으로 인한 한정된 전원, 제한된 계산능력, 무선통신에 의한 망 구축 등의 구조적 특성으로 인하여 기존의 유선 네트워크 시스템 또는 ad-hoc 네트워크 시스템에서의 보안기술을 직접적으로 활용할 수 없다. 따라서 센서네트워크의 특성을 고려한 다양한 방법의 보안기술이 연구되어 왔다.

보안 기술 중의 하나인 침입탐지 기술은 크게 오용탐지(misuse detection)와 이상탐지(anomaly detection) 탐지로 분류된다. 오용탐지는 미리 침입이라는 행위에 대한 정보체계가 구축되어 있는 상태에서, 어떤 시점에서 관찰되는 행위에 대하여 알려진 공격 패튼과의 비교를 통하여 침입공격을 탐지하는 방법이다. 따라서 오용탐지기법은 알려진 공격에 대해서는 높은 정확성을 갖고 탐지하지만, 새로운 형태의 공격에 대해서는 정보부재에 따른 탐지기능 저하가 우려되므로 공격 메커니즘의 변화에 따른 데이터베이스의 지속적인 보완을 필요로 한다. 이상탐지는 네트워크에서의 정상동작에 대한 프로파일이 구축된 상태에서 현재의 네트워크 동작과의 비교를 통하여 이상행위와 침입여부를 탐지하는 기술이다. 정상적인 행위에 대한 프로파일이 정확하다면 알려지지 않은 공격을 감지할 수 있다는 장점이 있다.

본 연구는 센서네트워크에서의 보안에 관한 것으로, 네트워크의 이상행위를 탐지하는 침입탐지시스템에 적용된다. 일반적인 센서네트워크 응용에서는 대규모의 노드가 분포되며 임무에 필요한 노드와 나머지의 잉여노드가 존재한다. 활동노드와 잉여노드가 혼재된 상태에서 활동노드로 구성된 네트워크의 이상행위를 탐지하기 위하여 잉여노드를 탐지노드로 활용하는 방안들이 제안되었다.

본 연구에서는 최적화식으로 모델링된 탐지노드 선정문제에 대하여 에너지 효율성과 최적 값으로의 수렴을 개선한 방법을 제안하였다. 기존의 방법과는 달리 네트워크의 토플러지 특성을 이용하고 보다 나은 수렴성을 기대할 수 있는 병렬유전자알고리즘을 이용한 방법을 제안하였다.

논문의 구성은 다음과 같다. 서론에 이어 본론에서는 연구배경 및 관련연구를 기술하였으며, 3장에서는 병렬유전 알고리즘을 이용한 방안을 소개하고, 4장에서는 제안한 방법에 대한 시뮬레이션 및 결과를 고찰하고 끝으로 결론의 순서로 구성하였다.

Ⅱ. 연구배경 및 관련연구

센서네트워크 IDS(Intrusion Detection System) 구현방법은 다음과 같이 분류된다[1].

- 라우팅 프로토콜을 이용한 IDS
- 이웃노드 관찰 기반의 IDS
- 고장허용(fault tolerance) 기반의 IDS

이외 혁신적 기술을 이용한 IDS 구현 방법으로서 IDS 모듈 배치 및 센서 네트워크 자원 최적화에 대한 많은 연구가 수행되었다. Anjum 등은 클러스터 헤더의 수를 최소화하는 최소 컷 집합(minimal cut sets)을 사용하였다. 통신 부하를 최소화하기 위하여 컷 집합에 속하는 노드에 IDS를 배치함에 있어서 IDS로부터 BS(Base Station)까지 거리가 최단거리가 되도록 하기 위하여 최소가중영역집합 (minimum weighted dominating set) 개념을 이용하였다[2]. Techateerawat 등은 [3]에서 IDS의 에너지효율성과 공격탐지 정확성에 관한 연구에서 모니터 노드 배치 및 선택을 통하여 IDS 모듈의 노드 수를 최소화하는 새로운 IDS 방법을 제안하였다. Roman 등은 정적인 센서네트워크에서 spontaneous watchdog 개념을 이용하여 최적의 이웃노드를 모니터링 하는 IDS를 제안하였다[4]. 여기서는 모든 노드가 IDS 기능 보유하고 있으며 탐지기능을 지역 에이전트(local agent)와 전역 에이전트(global agent)로 구분하여 전역 에이전트는 이웃노드 통신을 감시하고, 지역 에이전트는 자신의 노드와 송수신되는 패킷을 감시하는 기능으로 구분하였다. 모

든 전역 에이전트가 동작하고 동시에 이웃하는 노드를 감시하게 되면 대단히 비효율적이 되므로 주어진 시간에 선택된 부분만 감시하도록 하였다. spontaneous watchdog 개념의 목표는 모든 패킷의 목적지를 검토하여 하나의 패킷에 대하여 하나의 전역 에이전트만이 선정되도록 하여 에너지 효율성을 높이는 것이다.

센서네트워크에서는 다수의 노드가 분포되고 일부는 잉여노드로써 고장대체, 수명연장 등 다양하게 활용된다. 기존의 이러한 용도로 사용되는 잉여노드를 탐지노드로 하여 구성하는 방법이 제안되었다. 참고문헌 [5]에서는 네트워크에서 잉여노드를 탐지노드로 선택하는 탐지노드 선택문제를 정의하고 이를 수학적으로 모델링하였다. 참고문헌 [6]에서는 탐지노드선택문제가 최적화 문제이며 이에 대하여 유전자 알고리즘을 이용하여 해결하는 방법을 제시하였다. 여기서는 단순히 최적화문제에 대한 해결방안을 제시한 것이며 센서네트워크에서 중요시 되고 있는 에너지 효율성에 대한 고려가 없다. 그리고 모든 연산을 중앙에서 처리하기 때문에 최적 값으로의 수렴에 있어서 효율적인 계산방법은 아니다. 수렴성이 좋다는 것은 짧은 계산시간을 의미하며 에너지 효율적이란 것은 전체 IDS 수명과 관계있다. 그러므로 에너지 효율성과 함께 최적 값으로의 수렴성을 고려한 효율적 방법이 필요하며 이에 부합하는 방안으로 네트워크의 계층적 구조를 이용한 유전자 알고리즘의 병렬처리 방법을 제안한다.

Ⅲ. 병렬 유전자를 이용한 알고리즘

3.1. 탐지노드선정 문제

센서네트워크에서는 다수의 잉여노드가 존재하고 이는 고장노드 또는 에너지를 모두 소모한 노드를 대체한다. 이를 통하여 고장 허용(fault tolerant) 기능을 하거나 네트워크의 수명을 연장하기도 한다.

잉여노드를 네트워크에서의 이상행위를 탐지하는 노드로 활용함으로서 센서네트워크 IDS 구축방법을 설명하면 다음과 같다. 먼저, 네트워크를 구성하는 모든 노드를 활동노드 집합과 유휴노드집합으로 구분한다. 그리고 활동노드부터 송수신되는 패킷을 탐지하는 노드의 집합을 탐지노드 집합이라 하며이러한 탐지노드 선정문제는 최적화 식으로 유도된다[6]. 기존의 최적화문제에 대하여 Greedy 기법을 이용한 방안[5]과 유전자 알고리즘을 이용한 방안[6]이 제안되었다. 여기서는 Greedy 방식에서의 노드 스케줄링에 있어서 이상행위 관찰의 연속성이란 QoS(Quality of Service) 문제를 해결하는 방안으로 유전자 알고리즘을 이용한 방법을 제안하였다.

센서네트워크에서는 일정한 계산능력을 갖는 많은 노드가 존재하는 구조적 특성과 네트워크의 topology 특성을 이용하여 유전자 알고리즘을 병렬로 수행함으로써 탐지노드선택문제를 효과적으로 해결할 수 있다.

3.2. 병렬유전자 알고리즘(PGA : Parallel Genetic Algorithm)

유전자 알고리즘은 구현과 동작과정이 간단하고 유효시간 내에 근사 최적해를 얻을 수 있기 때문에 함수의 최적화, 조합문제, 제어문제, 기계학습 등의 다양한 분야에 적용된다. 근래에 유전자 알고리즘은 더 크고 복잡한 문제들에 대한 적용이 시도되고 있으며 이를 위하여 계산의 고속화 및 보다 나은 근사해를 구하는 방법들이 연구되고 있다. 고속으로 근사해를 얻는 가장 자연적인 방법은 유전자 알고리즘을 병렬 화하는 것이며 이를 병렬 유전자 알고리즘이라 한다. 병렬 유전자 알고리즘은 구현되는 구조, 부 개체군의 유무 및 크기에 따라 그림 1과 같이 기본 모델들, 소규모 병렬 유전자 알고리즘, 추가 모델들로 분류될 수 있다[7,8].

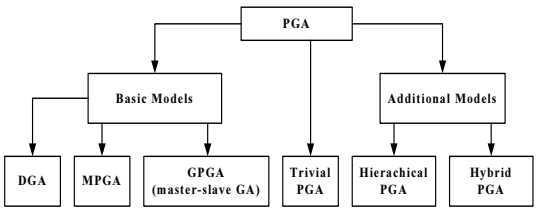

그림 1. 병렬 유전자 알고리즘의 분류
Fig. 1 The classification of PGA(parallel genetic algorithms)

기본모델들은 전역병렬유전자알고리즘(GPGA : global parallel genetic algorithms), 대규모 병렬유전자 알고리즘(MPGA: massively parallel genetic algorithms), 분산 유전자알고리즘(DGA: distributed genetic algorithms)으로 세부적으로 분류될 수 있고, 기본모델들을 조합하

거나 다른 최적화 방법을 조합한 추가 모델들은 계층적 병렬 유전자 알고리즘(HPGA : hierarchical parallel genetic algorithms)과 하이브리드 병렬 유전자 알고리즘(hybrid parallel genetic algorithms)으로 분류될 수 있다. 유전자 알고리즘의 병렬처리를 위한 방법으로는 분산처리형과 중앙집중형이 있는데 분산처리형 유전자 알고리즘은 각 노드들이 독립적으로 유전자 알고리즘을 수행하는 방식으로서 탐지노드선정문제의 경우 이웃하는 노드의 상태에 대한 정보를 가져야하는 등의 알고리즘 수행에 있어서 이웃노드의 데이터 의존성이 높기 때문에 적절한 방법이 되지 않는다. 따라서 본 연구에서는 중앙 집중형 병렬 유전자 알고리즘을 이용한 방법을 제안한다. 제안하는 중앙 집중형 병렬 유전자 알고리즘에서는, 각 노드들의 정보를 하나의 센터노드에서 수신하여 염색체를 생성하고, 생성된 염색체를 이용하여 개체군을 생성하여 문제 해결에 참여하는 클라이언트 노드들에 분배한 후, 각 클라이언트 노드들에서 정해진 이주주기에 맞춰서 자신의 엘리트를 센터노드에 전달한다. 센터노드에서는 이렇게 전달된 각 클라이언트 노드들의 지역 엘리트를 이용하여 전역 엘리트를 구하고, 구해진 전역 엘리트를 다시 각 클라이언트 노드들에 분배함으로써 전역 엘리트에 대한 수렴속도를 향상시킬 수 있다. 제안한 병렬유전자알고리즘(PGA)을 적용하여 탐지노드선택문제를 해결하는 시스템의 동작은 그림 2와 같다.

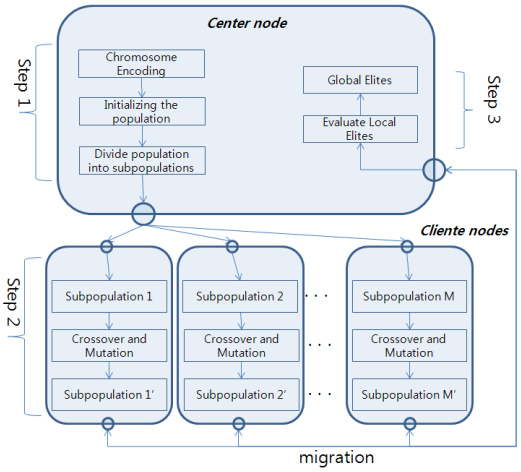

그림 2. PGA 기반의 시스템 동작
Fig. 2 The operation of PGA based system

센터노드의 동작과 클라이언트들의 동작에 준하여 각 동작을 Step 1 ~ Step 3으로 동작순서를 나눌 수 있다. 그림 2에서 Step 1, Step 3은 센터노드에서 수행되고 Step 2는 클라이언트노드들에서 수행된다.

단계 1:
1) 염색체를 부호화하여 생성
2) 생성된 염색체를 이용하여 초기개체군을 생성
3) 생성된 초기 개체군을 클라이언트 수를 고려하여 부개체군으로 나누어 클라이언트노드로 이주

단계 2:
1) 센터노드로부터 개체군으로 유전자 알고리즘을 수행
2) 엘리트를 선정(지역 엘리트)
4) 엘리트를 센터노드에 전달

단계 3:
1) 각 지역 엘리트들 중에서 최고의 적합도를 만족하는 엘리트 선정(전역 엘리트)
2) 전역 엘리트를 클라이언트에 전달

여기서, 단계 2의 엘리트 선정과정과 단계3의 전역엘리트 선정과정을 최종 세대수에 도달할 때까지 반복한다. 센터노드는 주 기능은 전역 최적해의 선택과 이를 각 클라이언트에 분배하는 것이다. 이러한 동작을 위하여 센터노드는 그림 3과 같이 초기화 프로세스, 이주관리자, 평가 프로세스로 구성된다.

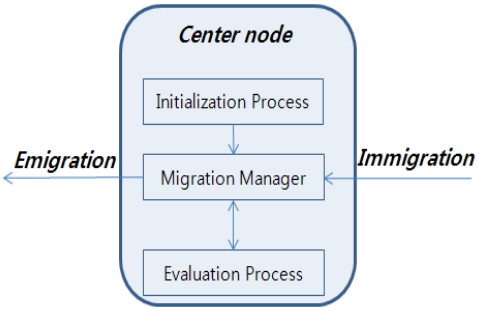

그림 3. 센터노드의 구성
Fig. 3 The consist of center node

그림 3에서, 초기화 프로세스에서는 염색체 부호화 및 초기 개체군 생성을 담당하고, 이주관리자에서 각 지역 엘리트의 이주와 전역 엘리트의 이주를 담당한다. 평가 프로세스에서는 각 지역 엘리트의 평가를 수행하고 이들 중 적합도가 가장 높은 지역 엘리트를 전역 엘리트로 설정한다.

각 클라이언트들은 지역 최적 해를 구하기 위해서 개별적으로 유전자 알고리즘을 수행한다. 클라이언트 노드는 그림 4와 같이 이주관리자와 유전자 알고리즘 실행부로 구성된다.

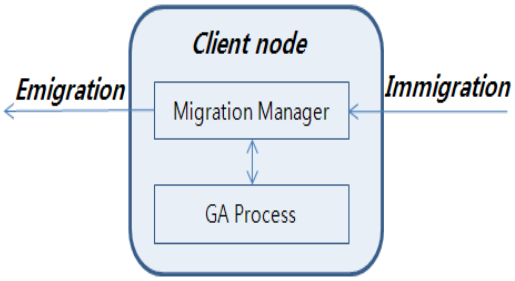

그림 4. 클라이언트의 구성
Fig. 4 The consist of client

그림 4에서, 이주관리자는 지역 엘리트를 센터노드로 전송하고(emigration), 센터노드로부터 받은 전역 엘리트를 유전자 알고리즘 실행부에 전달한다. 실행부는 전달받은(immigration) 전역 엘리트를 이용하여 유전자 알고리즘을 적용하여 지역 엘리트를 갱신한다.

Ⅳ. 시뮬레이션 및 고찰

제안한 방법의 시뮬레이션 대상이 되는 최적탐지노드선택문제의 최적화식은 다음과 같다[6].

$$\text{Maximize } T_1 + \cdots + T_p \tag{1}$$

$$\text{subject to } \sum_{j=1}^{p} x_{ij} t_j \le 1 \;\forall\, s_i \in C$$

$$\sum_{i \in C_k} x_{ij} \ge 1 \;\forall\, r_k \in R, j = 1, \cdots, p$$

$$\text{where } x_{ij} = 0,1 \,(x_{ij} = 1 \text{ if and only if } s_i \in S_j)$$

여기서,

C_k : 특정 활동노드 k의 탐지반경이내에 존재하는 유휴노드 집합

p : 활동 중인 모든 노드를 관찰하는 유휴노드의 집합의 수

$s_1, s_2, \cdots, s_p$: 활동 중인 모든 노드를 관찰하는 유휴노드의 집합

$t_1, t_2, \cdots, t_p$: $s_1, s_2, \cdots, s_p$의 해당 에너지(수명)

x_{ij} : 특정 활동노드 k를 관찰할 수 있는 유휴노드의 존재 유무(1: 존재, 0: 없음)

식 (1)의 문제를 해결하는 유전자 알고리즘 방법은 참고문헌 [5],[6]에서 참조 가능하다. 사용된 프로그램은 JAVA (SE version 1.6.0_31 B01)이며, HP prolient ML350(INTEL ZEON 3.0GHz, 4CPU), MS Windows Server 2003 SE 운영체제에서 수행되었다.

참고문헌 [6]에서는 최적탐지노드선택문제의 최적화식을 BS와 같은 중앙에서 일괄처리 하는 중앙처리 방식의 유전자 알고리즘(CGA: centralized genetic algorithm)을 사용하였다. 본 연구에서 제안한 PGA 방식의 효율성을 확인하기 위하여 CGA 방식과 비교하는 시뮬레이션을 수행하였다.

두 가지 방식이 유전자 알고리즘을 기반으로 구성되어있기 때문에 먼저, 세대수 변화에 따른 네트워크의 수명 값을 관찰하였다. 세대수는 두 방법 공히 적용되며 동시에 결과값의 성능에 영향을 주기 때문에 세대수 증가에 따른 두 가지 방식의 성능을 비교하였다. 시뮬레이션 환경은 교차율은 0.9, 돌연변이율은 0.7, 염색체 길이는 100으로 하였다. PGA에서 클라이언트 노드의 수는 3개로 하였으며 클라이언트에서의 지역엘리트 이주주기는 10세대로 고정하였다. 먼저 CGA 방식과 PGA 방식에 대하여 세대수의 증가에 따른 네트워크 수명 값이 최적 값으로의 수렴하는 과정을 관찰하였다. 일반적으로 유전자 알고리즘에서 세대수가 많을수록 좋은 해를 구하는 확률이 높아진다. PGA의 경우, 여러 개의 클라이언트 노드에 의하여 지역 엘리트를 만들어 내며 센터노드에서는 클라이언트로부터 전달받은 지역 엘리트로부터 가장 우수한 염색체를 선정하여 다시 각 클라이언트로 전달하여 우수한 염색체를 만드는 과정을 하기 때문에 CGA 방식에 비하여 좋은 결과값을 도출할 확률이 높다.

그림 5는 네트워크 환경에서 유휴노드수가 100, 활동노드의 수가 10이고, 유전자 알고리즘 요소에 대하여 교차율 0.9, 돌연변이률은 0.7, 염색체 길이는 100으로 설정하였으며, PGA에 대해서는 3개의 클라이언트 노드와 지역 엘리트의 이주 주기를 10세대로 하였다.

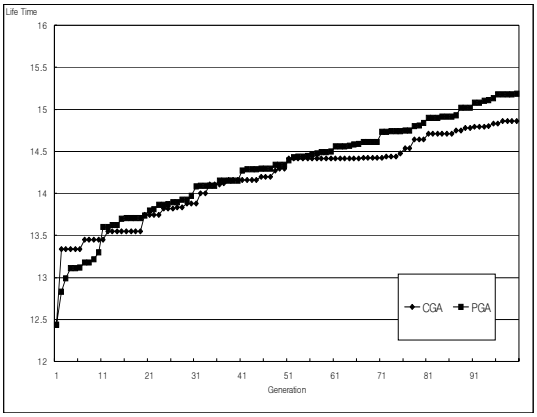

그림 5. 세대 수에 따른 네트워크 수명
(유휴노드 수 : 100, 활동노드 수: 10)
Fig. 5 Lifetime on the number of generations
(no. of idle nodes: 100, no. of active nodes: 10)

그림에 나타난 바와 같이 PGA방식의 경우 10세대 당 이주하는 특성으로 인하여 매 이주 시점에 CGA 방식보다 빠른 수렴도를 보이고 있다. PGA방식에서 클라이언트 노드수를 많이 설정하면 보다 나은 개선도를 보일 수 있음이 예측된다. 따라서 유전자 알고리즘방식에서 세대수가 한정된 조건이라면 PGA 방식이 나은 결과를 보임을 알 수 있다.

에너지 효율성을 확인하기 위하여 활동노드 수 변화에 따른 두 가지 유전자 알고리즘 기법을 적용하여 침입탐지 네트워크의 수명 값을 비교하였다. 네트워크 환경에서 유휴노드 수를 600개에서 1400개까지 100개 단위로 변화시킨 반면, 활동노드 수 50으로 고정하였다. 유전자 알고리즘 관련 요소의 값으로, 교차율은 0.9, 돌연변이율은 0.7, 염색체 길이는 100으로 하였다. 또한 비교대상의 알고리즘이 동일한 유전자 알고리즘 기반이므로 세대수는 10으로 하였다. PGA에서 사용한 클라이언트 노드 수는 3개로 설정하였다. 그림 6은 시뮬레이션 결과이다.

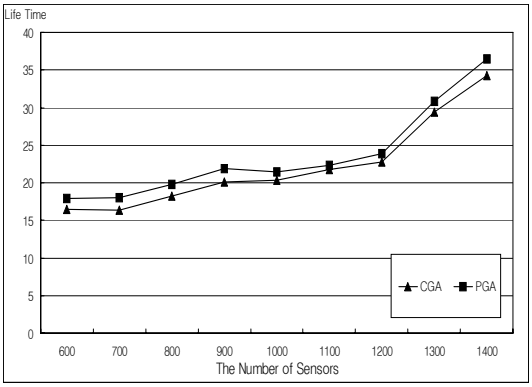

그림 6. 활동노드 수에 대한 센서네트워크 IDS의 수명
Fig. 6 Lifetime of sensor networks IDS on the number of no. of active node

그림에 나타난 바와 같이 전반적으로 PGA 방식이 CGA방식에 비하여 우수한 결과를 보이고 있다. 그 이유는 PGA 방식의 경우 동일한 알고리즘이 3개의 클라이언트 노드에서 병렬적으로 수행되며 각 클라이언트에서 제공하는 지역 엘리트를 기반으로 염색체가 구성되므로 상대적으로 우수한 결과를 도출하기 때문이다. 표 1은 기존의 중앙처리 방식과 본 논문에서 제안한 병렬 유전자 알고리즘 방식과의 비교를 나타내었다.

표 1. 기존의 방법과 제안한 방법과의 비교
Table. 1 Comparison of existing method(CGA) and proposed method(PGA)

	기존의 방법(CGA)	제안한 방식 (PGA)
수렴성	-	상대적 우수
IDS 수명	-	상대적 우수
이주횟수	상대적 적음	-

표 1에서 수렴성과 IDS 수명은 각 각 그림 5, 6의 결과를 반영한 것이며, 이주 횟수는 PGA 방식에서 클라이언트 노드 와의에 따라 지역 엘리트 전송을 의미하며 이는 통신 에너지 소비에 기인한다.

Ⅴ. 결 론

시뮬레이션을 통하여 제안한 PGA 방식이 기존의 방식과 비교하여 최적 값으로의 수렴성과 침입탐지 네트워크의 수명에서 결과가 우수함에 따라 에너지 효율성이 있음을 입증하였다. 이러한 결과는 센서네트워크 구조에 따른 알고리즘의 분산 및 병렬처리에 기인한다. 그러나 기본적으로 유전자 알고리즘은 엘리트의 이주가 발생되고 이는 통신에 의한 에너지 소모를 의미하므로 이주횟수에 대한 관심이 필요하다. PGA방식은 상대적으로 엘리트의 이주 횟수가 많으므로 이에 대한 고려가 필요하며 클라이언트 노드 수에 따라 수명에 영향을 미칠 수 있으므로 적절한 수의 클라이언트 노드를 활용하는 것이 바람직하다. 또한 엘리트 이주 주기를 짧게 하여 지역 엘리트 이주횟수를 증가시키면 보다 우수한 개선도가 기대되나 이주횟수도 통신횟수와 관계있으므로 무조건 많이 할 수는 없다. 그러므로 이주주기를 충분히 길게 설정함과 동시에 적절한 수의 클라이언트 노드를 알고리즘 수행에 참여시킴으로서 보다 나은 결과의 도출이 가능하다.

결론적으로, 제한된 세대수에서는 PGA방식이 CGA 방식보다 우수하나, PGA의 경우 클라이언트 노드의 수와 이주주기에 따라 통신량이 발생하게 되어 통신에너지 소모에 따른 네트워크 수명에 영향을 줄 수 있다. 향후, 유효 세대수와 클라이언트 노드 수, 이주주기에 따른 통신횟수에 따른 에너지소모를 종합적으로 고려한 알고리즘 설계에 대한 연구가 필요하다.

참고문헌

[1] A. Mitrokotsa and T. Karygiannis. Chapter: “Intrusion Detection Techniques in Sensor Networks”, In Book: Wireless Sensor Network Security, pp. 251-272. Cryptology and Information Security Series. IOS Press, 2008.

[2] F. Anjum, D. Subhadrabandhu, S. Sarkar and R. Shetty, “On Optimal Placement of Intrusion Detection Modules in Sensor Networks”, In Proceedings of the 1st International Conference on Broadband Networks (BROADNETS’04), 25-29, pp.690-699, October 2004.

[3] T. Techateerawat, A. Jennings, “Energy Efficiency of Intrusion Detection Systems in Wireless Sensor Networks”, In Proceedings of the 2006 IEEE/WIC/ACM International Conference on Web Intelligence and Intelligent Agent Technology (WI-IAT 2006 Workshops)(WI-IATW’06), pp. 227-230, Dec. 2006

[4] R. Roman, J. Zhou, J. Lopez, “Applying Intrusion Detection Systems to Wireless Sensor Networks”, In Proceedings of 3rd IEEE Consumer Communications and Networking Conference, 2006, Jan 2006.

[5] 성기택, “무선 센서네트워크에서 침입탐지를 위한 탐지노드 활성화기법 연구, 한국산학기술학회논문지, 제12권 제 11호, 5238-5244.2011년 11월

[6] 성기택, “센서네트워크에서 유전자 알고리즘을 이용한 침입탐지노드 스케줄링 연구, 한국해양정보통신학회논문지, 제15권 제 10호, 2171 – 2180. 2011년 10월

[7] E. Cantù-Paz, ″A survey of parallel genetic algorithms″, IllGAL Report 97003, The University of Illinois, 1997.

[8] M. Nowostawski, and R. Poli, ″Parallel genetic algorithm taxonomy,″ Knowledge-Based Intelligent Information Engineering Systems, 1999. Third International Conference, pp.88-92, Aug. 1999.

저자소개

성기택 (Ki-taek Seong)

한국정보통신학회 논문지
제15권 제10호 참조