



집단생태 모방의 바이오 전술 기동망 기술

I. 서론



노병희
아주대학교



이규민
아주대학교



이철웅
아주대학교



이승운
아주대학교



노봉수
국방과학연구소



한명훈
국방과학연구소

미래전은 전장의 제 전력요소들을 네트워크를 통하여 연결함으로써, 지리적으로 분산된 위치에서도 신속한 정보의 공유와 활용을 가능하게 하여, 지휘의 보장 및 전투력을 극대화하는 네트워크 중심전 (NCW, Network Centric Warfare)이 될 것이다. 통신 기술의 발달로 NCW의 전술엣지 (tactical edge)로서 주요 역할을 담당하는 전술 기동망은 다양한 플랫폼을 갖는 각종 체계들과 수백대 이상의 대규모 기동 노드들이 이중 망간을 경유하여 통신을 수행하는 복잡한 형태로 전개되어 가고 있다^[1].

기존의 전술 기동망 제어는 지휘통제차량-기동노드, 기동노드-기동노드간 이중구조로 중앙 제어 (고정 또는 이동 기지국등)를 기반으로 애드혹 네트워크를 구성하여 운영하므로, 고속으로 이동하고 토폴로지가 변화하는 동적인 환경에 효과적으로 적응하는데 한계가 존재한다. 또한, 중앙 통제 기반의 네트워킹 구조는 소규모 플랫폼간 환경에서는 효과적이거나, 대규모의 기동 노드간 동적 자율 구성을 요구하는 전술 기동망에는 비효과적이고 견고성을 감소시키는 주 요소가 될 수 있다. 미래전을 대비하여 전술 기동망은 다양한 플랫폼, 소형화에 따른 수백개 이상의 대규모 노드를 운영 가능하여야 하며, 통신 기반 환경이

열악하고 생존성이 요구되는 고속의 기동 환경에서도 견고한 통신 수단을 제공하여야 하며, 이를 위한 새로운 패러다임이 요구된다.

기존의 전술망 기술의 한계를 극복하기 위한 기술로서, 자연의 집단생태계 (벌, 개미, 반딧불이, 물고기 및 새떼 등)의 특성을 기반으로 한 바이오 네트워킹 기술이 고려되고 있다^[2-5]. 본 논문에서는 집단생태계를 모방한 바이오 네트워킹 기술들을 소개하고, 이들을 전술 기동망에 활용하기 위한 연구 방법들을 소개한다.

II. 집단생태 모방 기술

집단생태계는 사전에 결정된 운용 방식에 맞추어 중앙 집중형으로 제어하는 방식이 아닌, 자연 생태계의 생물학적 특성 및 사회학적 특성에 의한 자율 제어 방식으로 운영된다. 이러한 특성은 다양한 플랫폼을 갖는 수백대 이상의 노드로 운영되는 전술 기동망 체계의 자원 가용성과 생존성을 향상시킬 수 있는 중요한 기술적 대안이 될 수 있다. 이러한 관점에서 전술 기동망의 설계와 운용을 위하여 해결하여야 할 문제와 고려하여야 할 사항들을 정리하여 보면 다음과 같다^[1,3,6].

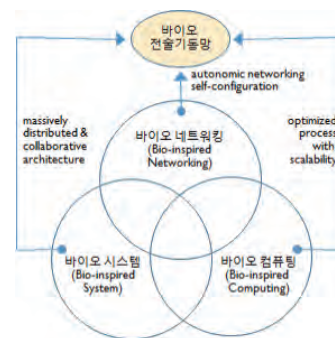
- 다양한 센서들과 이동 노드들에 의한 대규모 네트워킹
- 지형과 통신의 예측 불가한 환경의 대응성
- 노드의 컴퓨팅 자원 및 통신 자원의 제약
- 인프라 지원 불가한 환경에서의 자율적 운용
- 이종 플랫폼간 상호 연결 및 통신 지원
- 품질과 보안성의 확보

집단생태계를 모방한 기술들은 이러한 전술 기동망의 문제를 해결하기 위한 대안들 중의 하나로서 인식되고 있다. <그림 1>은 [3]에서의 집단생태 모방 기술 분류를 바이오 전술 기동망을 구성하는 기술요소 관점에서의 특징을 나타내었다. 바이오 컴퓨팅은 최적화 되고 확장성을 갖는 효율적인 컴퓨팅을 위한 알고리즘을 제공하며, 바이오 시스템은 대규모 시스템들간 분산 협력 구조를 제공한다. 바이오 네트워킹은 불확실한 환경에서의 대규모 분산 노드들의 자가 구성 (self configuration), 자율적 운용 (autonomic networking) 과 생존성을 갖는 네트워킹 방

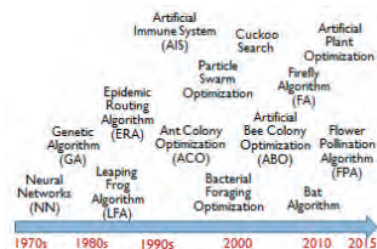
법을 제공한다.

주요 생태모방 네트워킹 관련 기술들이 개발되어 온 과정을 <그림 2>에 정리하였다^[3,5]. <그림 2>에서 보듯이 초기에는 neural network, genetic algorithm과 같이 주어진 문제에 적합한 해결책을 구하기 위한 방법으로서, 사람의 생체 과정을 모방하는 것에 초점이 맞추어졌다. 이후, 개미, 벌, 반딧불이 등의 집단생태계를 모델링 하여 다양한 네트워킹과 보안 문제를 해결하기 위한 방법들로서, ERA, LFA, ACO, ABO, FA, AIS등의 방법들이 제안되었다. 또한, 최근에는 일반적인 글로벌 최적화 문제를 해결하기 위한 방법들로서 FPA와 같은 방법들이 제안되고 있다.

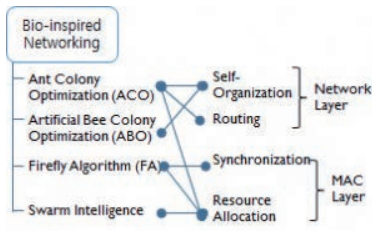
<그림 2>에 나열한 다양한 생태모방 기술들 중에서 전술 기동망을 위한 주요 기술들과 이들의 역할 요소를 논문 [2]를 참고 반영하여 <그림 3>에 나타내었다. <그림 3>의 기술들은 대규모의 노드들을 운영하는 전술 기동망의 특성에 부합하여, 개미, 벌, 반딧불이와 같이 집단으로 구성된 생태계를 기반으로 하는 특징을 갖고 있다. 이들 집단생태계는 중앙제어 요소가 없이, 각 개체가 자율적으로 동일한 목적 달성을 위하여 상호 협력하는 형태를



<그림 1> 바이오 전술기동망 기술의 분류



<그림 2> 생태모방 기술의 개발 과정



〈그림 3〉 바이오 전술 기동망 주요 기술

보여준다. 이는 통신 기반 환경이 열악하고 생존성이 요구되는 전술 기동망 운용 환경에서 미래 무인·기동 체계가 요구하는 자율성, 분산성, 강인성, 확장성, 그리고 독립적 운용성 제공의 요소를 갖추고 있다. 다음 장에서 부터는 〈그림 3〉에 나타낸 주요 집단생태모방의 바이오 네트워킹 기술에 대하여 소개한다.

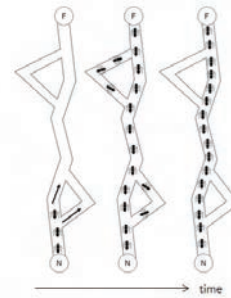
Ⅲ. 바이오 전술 기동망 라우팅 기술

1. 개미 집단생태모방 라우팅 (ACO) 기술

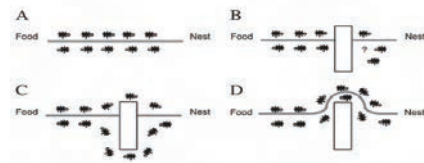
AntHocNet^[7]은 개미집단이 개미집으로부터 먹이의 위치를 찾아내고, 먹이를 최단경로를 통해 개미집으로 운반하기까지의 과정을 모델링 한 Ant Colony Optimization (ACO)을 라우팅에 적용한 바이오 네트워킹 알고리즘이다.

〈그림 4〉의 (a)는 ACO의 기본이 되는 개미 집단에서의 개미들이 동지에서 먹이까지의 최단 왕복 경로를 찾는 과정을 보여준다. 개미들은 동지에서 먹이의 위치를 찾기 위해 탐색하는데, 먹이의 위치를 모르는 상황이므로 모든 가능한 방향으로 나아가게 된다. 개미들은 먹이를 향해 나아가거나 먹이를 동지로 운반하면서 경로 상에 페로몬을 남기게 된다. 최단 경로를 선택한 개미들은 해당 경로로 더 많이 이동하게 되어, 최단 경로 상에 페로몬이 많이 점점 더 많이 남겨지게 된다. 개미들은 페로몬이 많이 남겨진 경로를 따라 이동하는 것을 선호하기 때문에, 시간이 지남에 따라 대부분의 개미들은 먹이와 동지간의 최단 경로를 이용하게 된다.

〈그림 4〉의 (b)는 장애물이 생겼을 경우의 최적 경로를 재탐색하는 과정을 보여준다. A는 〈그림 4〉의 (a)의 과정을 통하여 경로가 생성된 상태를 보여준다. 개미들이 이



(a) 경로탐색 과정



(b) 장애물 통과 과정

〈그림 4〉 AntHocNet 알고리즘의 개념도

동하는 중간에 장애물이 생기게 되면 (B), 개미들은 장애물을 돌아가게 된다 (C). 이때, 최적 경로를 모르는 상태이므로, 가능한 경로를 모두 사용하게 되는데, 여기에서는 두 개의 가능한 경로가 만들어지는 예를 보여준다. 시간이 지남에 따라, 〈그림 4〉의 (a)에서와 같이 개미들은 자신들이 더 많이 다닐 수 있는 경로 (짧은 경로)를 최적의 경로로 선정하여 이동하게 된다.

AntHocNet은 연결 요청 패킷을 수신한 후에 경로탐색을 시작하는 reactive 특성과 주기적인 경로의 유지 및 향상 통해 트래픽 경로를 확보하는 proactive 특성을 모두 가진 하이브리드 라우팅 알고리즘이다. 하나의 목적지에 대하여 다중경로를 지원하여, 이들 여러 개의 경로를 모두 이용할 수 있도록 확률적인 경로 선택 방법을 이용한다. 또한, 링크 장애 시에 대한 대응 방법도 제공한다.

AntHocNet은 MANET을 위한 애드혹 라우팅 알고리즘으로, 기존에 MANET에서 주로 이용되던 AODV 보다 높은 패킷 전달률 (PDR, packet delivery ratio)와 낮은 종단간 지연 (end-to-end delay)를 보인다. 하지만 AntHocNet은 다양한 종류의 제어패킷을 발생시키면서 높은 라우팅 오버헤드를 가진다. SNP^[8] AntHocNet의 높은 라우팅 오버헤드를 낮추기 위해 제안되었다.

MC-AQRA^[9]은 노드가 이동하는 전술통신망에서 단말의 QoS를 보장하기 위해 제안된 ACO 기반의 생체모방 알고리즘으로, 라우팅 메트릭으로 QoS를 추가적으로 이

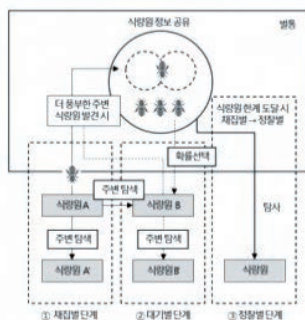
용하여 PDR의 향상을 가져온다. [30]에서는 OPNET 시뮬레이터 상에 AntHocNet을 구현하고, 여기에 다른 라우팅과 MAC 프로토콜들을 효과적으로 대체하여, 성능비교를 용이하도록 하는 방법을 제안하고 있다. 이를 기반으로 다양한 집단생태 기반과 전통적인 방법의 라우팅 및 MAC 기술들을 혼합하여, 전술 MANET 환경에서 다양한 성능 비교를 위한 연구가 수행되었다^[19-20].

2. 인공 벌 군집 (ABO) 네트워크 기술

인공 벌 군집 알고리즘 (Artificial Bee Colony Algorithm)이란 꿀벌이 먹이를 찾는 집단행동을 모방한 전역 최적화(Global Optimization) 알고리즘으로 이를 통해 다양한 NP-Complete, NP-Hard 문제를 해결할 수 있다^[10].

인공 벌 군집 알고리즘에서는 군집을 구성하는 세 종류의 꿀벌이 각자의 역할을 번갈아 수행하면서 효과적으로 풍부한 식량원(food source)을 탐색하게 된다. 세 종류의 꿀벌은 채집벌(employed bee), 대기벌(onlooker), 정찰벌(scout)로 나뉜다. 채집벌은 할당된 식량원으로부터 꿀의 양이 더 큰 주변의 식량원을 탐색하고 대기벌에게 전달하는 역할을 한다. 대기벌은 채집벌의 정보를 바탕으로 확률적 판단을 내리게 되며 해당하는 식량원으로 이동하여 채집벌의 역할을 수행한다. 정찰벌은 새로운 식량원을 탐색한다.

〈그림 5〉는 인공 벌 군집 알고리즘의 동작 과정을 나타낸다. 초기화 단계, 채집벌 단계, 대기벌 단계, 정찰벌 단계로 나뉘게 되며 각 수행 단계에 대한 설명은 다음과 같다.



〈그림 5〉 인공 벌 군집 알고리즘 수행 과정

먼저, 초기화 단계에서는 전역해에 대한 초기화를 수행한다. 각 식량원은 아래의 수식 (1)과 같이 임의의 다차원 벡터 값 x_{ij} 로 초기화된다. 여기에서 $i \in \{1, 2, \dots, N\}$ 이고 $j \in \{1, 2, \dots, D\}$ 일 때 N 은 식량원, 즉 전역해의 개수이고 n 은 방문 횟수, 대기벌 설득률, 실수 확률과 같은 최적화 변수의 개수이다. $x_{max,j}$ 와 $x_{min,j}$ 는 각 변수의 최대, 최소값이고 $rand(0,1)$ 는 0과 1사이의 난수를 의미한다.

$$x_{ij} = x_{min,j} + rand(0,1)(x_{max,j} - x_{min,j}) \quad (1)$$

다음 단계는 채집벌 단계로 채집벌이 아래의 수식 (2)을 이용하여 할당된 식량원 주변의 식량원을 탐색하게 된다. 더 많은 양의 꿀을 보유한 식량원을 발견한 경우 v_{ij} 가 기존의 식량원 x_{ij} 를 대체하게 된다. 이 후 채집벌은 식량원의 정보를 대기벌에게 알려준다.

$$v_{ik} = x_{ik} + rand(-1,1)(x_{ik} - x_{kj}) \quad (2)$$

대기벌 단계에서는 대기벌은 채집벌의 정보를 기반으로 직접 탐색할 식량원을 선택한다. 여기서 룰렛 휠 선택 방법을 적용한다. 대기벌은 선택한 식량원으로 이동하고, 다시 한번 주변의 식량원을 탐색하게 되는데 이때의 방법은 채집벌의 탐색방법이 동일하다. 탐색이 끝나면 채집벌의 정보와 자신이 찾은 식량원의 정보를 비교하여 더 많은 양을 갖는 식량원만 남긴다.

마지막으로 정찰벌 단계에서, 식량원에 대해 사전에 정의된 반복 횟수를 넘긴 후에도 더 많은 양의 식량원이 주변에서 되지 않는 경우 한계점(limit)에 도달했다고 판단한다. 이 때, 채집벌은 정찰벌이 되어 새로운 식량원을 탐색하게 된다.

이후 다시 채집벌 단계로 돌아가며 세 단계가 수렴조건을 만족할 때까지 반복한다.

인공 벌 군집 알고리즘을 제안한 Karaboga^[10]은 이 알고리즘이 차분 진화 (differential evolution), 입자 군집 최적화 (particle swarm optimization), 진화 알고리즘 (evolutionary algorithm) 등 기존의 최적화 알고리즘과 비교하였을 때 더 효율적임을 증명하였으며 인공 신경망, 데이터마이닝, 소프트웨어 공학, 전자 및 기계 공학, 산업 공학 등 다양한 분야의 연구에서 적용되고 있다.



특히, 무선 센서 네트워크 분야에서 인공 벌 군집 알고리즘에 대한 다양한 연구가 진행되고 있어 전술 통신망 적용에 대한 가능성을 시사하고 있다. Huo 등^[11]은 전술 이동 애드혹 망에서 인공 벌 알고리즘을 적용한 지형 인식 및 상황 인지 기반의 이동성 모델을 제안하였다. 지형 요인과 적의 기동 상황 등을 인공 벌 군집알고리즘의 변수로 지정하여 경로 최적화 문제를 해결하고자 하였다. Mini 등^[12]은 무선 센서 네트워크의 망 생존성을 개선하기 위하여 센서 구축 위치와 센싱 스케줄링 방법에 인공 벌 군집 알고리즘을 적용하였다. Barani 등^[13]은 이동 애드혹 망에서 라우팅 과정 중 발생할 수 있는 침입을 탐지하기 위해 인공 벌 군집 알고리즘을 적용하였다. Bitam 등^[14]은 ACO와 ABO 가 VANET (Vehicular Ad Hoc Network) 라우팅을 위한 응용으로서 효과적으로 활용됨을 보여주고 있다. 이로부터, 차량과 이에 준하는 이동노드들은 전술 기동망 운용의 핵심 요소들로서, 바이오 네트워크 기술들이 효과적으로 적용될 수 있음을 기대할 수 있다.

IV. 바이오 전술 기동망 자원관리 기술

1. 반딧불이 알고리즘 (FA)

기존의 분산 TDMA (distributed-Time Division Multiple Access)들은 프레임 구조를 가지기 때문에, 분산적인 프레임의 시간을 일치시키기 위한 동기화가 필요하다. 그러나 분산된 환경에서 노드들 간의 프레임 시작 시간을 정확히 일치시키는 것은 매우 힘들다.

TDMA 기반의 프로토콜들에서의 동기화 문제를 해결하기 위하여, 반딧불이의 집단 동기화 특성을 모델링한 F-SYNC (firefly synchronization) 방법이 제안되었다^[15]. 반딧불이들은 주기적으로 빛을 방출하는데, 시간이 흐를수록 이들이 빛을 방출하는 시간들은 서로가 동기화 되어, 모두 같은 시간에 주기적으로 빛을 방출하게 되는 특징을 갖는다. 이러한 반딧불이의 동기화 과정을 모델링한 F-SYNC는 중앙 제어 없이 동기화가 가능하고, TDMA 망을 자가 구성하고 관리 할 수 있는 장점을 가진다.

Desync-TDMA^[16]는 F-SYNC의 반대개념으로서, 노드들의 슬롯 할당을 위한 매체접근제어 (MAC, medium access control) 방식으로 반딧불이의 동기화 과정에서 영감을 얻은 알고리즘이다. Desync-TDMA는 비동기화 (desynchronization)와 슬롯 할당 (slot assignment)의 두 과정으로 구성된다.

비동기화 과정은 PCO (Pulse Coupled Oscillator) 동작과정에 근거하여 이루어진다. 각 노드는 각자의 주기마다 firing 메시지를 브로드캐스트한다. 모든 노드의 firing 메시지를 수신한 노드는 자신의 firing 시간 직전과 직후의 다른 노드의 firing 시간의 중간지점으로 다음 주기에서 자신의 firing 시간을 조정한다. 즉, T를 Desync-TDMA에서의 단위주기로 정의하고, 노드의 n-번째 T 주기에서의 firing 시간을 $f(n)$ 이라고 하고, 이 노드 직전과 직후에서 다른 노드가 firing한 시간을 각각 $f_-(n)$ 과 $f_+(n)$ 이라고 할 때, 이 노드의 (n+1)번째 T주기에서의 firing 시간은 다음과 같이 구해진다.

$$f(n+1) = T + (1-\alpha) \times f(n) + \alpha \times \frac{f_-(n) + f_+(n)}{2} \quad (3)$$

여기에서 α ($0 < \alpha \leq 1$)는 다음 주기에서의 firing 시간이 두 firing 시간의 중간 시점에 얼마나 가깝게 만들지를 정의하는 변수이다. α 가 1에 가까운 값을 가질수록 다음 주기에서 자신의 firing 시간은 두 firing 시간들의 중간시점에 가깝게 계산된다.

슬롯 할당 과정은 자신의 firing한 시간 바로 앞의 firing 시간과의 중간지점을 시작시간으로 하고, 자신의 firing한 시간 바로 뒤의 firing 시간과의 중간지점을 종료시간으로 하여 다음 주기에서 데이터를 전송하는 시간 구간으로 구성한다. 슬롯 할당과정을 통하여, 각 노드는 이전 주기에서 이웃노드로부터 firing 메시지를 수신한 시간을 기반으로 이웃노드와 겹치지 않는 동일한 크기의 슬롯을 분산적으로 할당받게 된다. 즉, $s_{start}(n)$ 과 $s_{end}(n)$ 을 각각 노드의 n-번째 T 주기에서의 슬롯 시작과 끝을 나타내는 시간들이라고 할 때, 다음 (n+1)번째 T 주기에서의 슬롯 구간은 다음과 같이 구해진다.

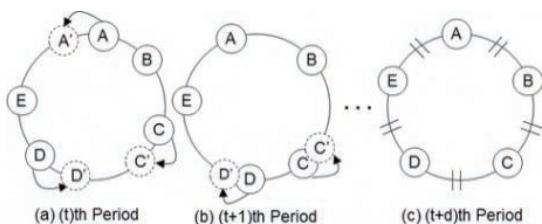
$$s_{start}(n+1) = T + \{f_-(n) + f(n)\} / 2 \quad (4)$$

$$s_{end}(n+1) = T + \{f(n) + f_+(n)\} / 2 \quad (5)$$

이러한 Desync-TDMA 과정을 <그림 6>에 나타내었다. 예를 들어, <그림 6>의 (a)에서 노드 A의 경우, 자신의 firing 직전과 직후에 firing한 노드 B와 노드 E의 firing 시간의 중간지점으로 다음 주기에서의 자신의 firing 시간을 결정한다. 각 노드는 이와 같은 과정을 매 주기마다 반복하게 되고, 일정 주기가 지나면 모든 노드의 firing 시간 간격은 <그림 6>의 (c)에서와 같이 주기 내에 일정하게 분포된다. 그리고 각 노드의 슬롯 길이도 균등하게 할당된다.

Extended-Desync TDMA^[17]는 단일 홉 환경에서 동작하는 Desync-TDMA를 멀티홉 환경으로 확장한 방법이다. Extended-Desync TDMA에서 각 노드는 firing 메시지에 자신과 2 hop 이내에 있는 이웃 노드들의 정보와 이들의 firing 시간을 포함하여 전송한다. 이를 수신한 노드들은 다른 노드들이 보내온 2 hop 이웃노드들까지를 고려하여 자신의 firing 전송시간을 결정한다. 이렇게 함으로써, hidden node problem을 해결하고, 멀티홉 전송이 가능하게 할 수 있다. 이동하는 환경에서는 자신이 전송한 firing 메시지가 hidden node problem을 발생시킬 수가 있으며, 이 경우 이웃노드 중 일부로부터 자신의 식별자를 포함하지 않은 firing 메시지를 수신하게 된다. 따라서 Extended-Desync TDMA는 hidden node problem의 발생여부를 판단하여, 메시지의 충돌방지를 위한 별도의 과정을 진행할 수 있다.

Desync-TDMA는 완전 분산적으로 동작하는 매체 접근 제어 알고리즘으로, 기존 분산-TDMA와는 달리 적은 오버헤드를 가진다. 또한 Desync-TDMA는 망을 자



<그림 6> Desync-TDMA의 firing 시간 결정 및 슬롯 할당 과정 예

가 구성 및 자가 관리 할 수 있는 장점이 있기 때문에, 최근 MANET에서 Desync TDMA의 성능을 향상시키기 위한 연구가 이어지고 있다. [18]에서는 Desync-TDMA에서 QoS를 보장하기 위한 분산 CAC (distributed Call Admission Control) 방법을 제시하고 있다. [19]에서는 멀티홉을 지원하는 Desync-TDMA와 AODV 라우팅을 결합한 크로스 레이어 접근 방식을 제시하였다. [20]에서는 전술 기동망 운용 환경에서 전술망 이동성을 반영하여 바이오 네트워킹 기술과 전통적인 MANET 기술들 간의 성능을 비교하여, 바이오 네트워킹 기술의 효과성을 보여주었다.

2. 집단생태모방 무선인지 스펙트럼 관리 기술

인지무선 (CR, Cognitive Radio) 네트워크의 동적인 환경변화, 주파수 자원의 제약, 분산 및 자율적 동작구조는 생태계의 생물체들이 한정된 자원을 효율적으로 사용하여 최적해를 달성하는 행동방식과 유사성을 가지고 있기 때문에 인지무선 네트워크에 생물체의 행동을 적용 가능하다^[21].

<표 1>은 인지무선네트워크에서 생체모방이 적용된 연구사례에 대한 분류 및 적용 알고리즘을 나타낸 것으로 스펙트럼 공유, 스펙트럼 결정, 시간동기, 전송경로 설정, 전송출력 결정과 같은 문제 해결을 위한 알고리즘과 각 알고리즘이 적용된 환경 및 방법에 대한 특징을 기술하였다. 앞 절에서 언급한 Insect Colony, Swarm Intelligence, Firefly Synchronization이 적용된 연구가 많은 것을 확인 할 수 있으며, 특수한 상황에 적용할 수 있도록 알고리즘들을 제안한 것을 확인 할 수 있다. <표 1>에 제시된 생체모방 적용 인지무선 네트워크는 해결하고자 하는 문제들에 대한 최적해를 생물체들의 행동과 같이 간단한 행동규칙들을 통해 구함으로써 계산 복잡도를 낮춤으로써 환경 변화에 빠르게 대응할 수 있다. 하지만 기존의 연구결과들은 단순한 알고리즘을 적용하고 결과를 단순히 보여주지만 할뿐 단일 개체의 행동에 따른 결과를 예측할 수 없는 근본적인 문제를 갖고 있으며, 전체 네트워크 시스템 안정성을 보장할 수 없는 단점을 갖고 있어 실제 응용에 제약이 있다. 추후 연구방향으로 생



〈표 1〉 바이오 네트워킹 기술의 CR 네트워크 적용

방법	특징
Insect Colony ^[22]	SU들 사이에서 개미군집과 같은 최적화 알고리즘을 사용하여 적은 간섭을 갖도록 스펙트럼을 할당하거나 PU 출현, 전송경로 단절에 따른 스펙트럼 결정시 최적해 계산에 사용
Swarm Intelligence ^[23]	SU들이 최대의 스펙트럼 활용 값을 찾거나 주사용자의 출현을 예측하여 전체 네트워크 사용량을 최대로 하는 최적해 계산에 사용
Neuron Model ^[24]	PU 스펙트럼 패턴을 기억하여 SU 사이의 스펙트럼 공유시에 PU와의 간섭을 줄이는 최적해 계산에 사용
Community Cooperation ^[25]	게임이론에서 개별 노드의 이기적인 행동이 최적 값과 차이나는 단점을 개선하기 위해 사회적 협의 방식을 모델링한 알고리즘으로 지역적 최적해 도출
Immune System ^[26]	면역시스템의 진화 방법을 이용하여 사전 정보 또는 컨트롤 채널 없이 PU와의 간섭을 최소화 하는 스펙트럼 결정에 활용
Firefly Alogorithm ^[27]	반딧불이의 동기화 기법을 CR 노드들의 시간 동기화에 적용하여 노드들간 전송시간에 대한 동기화 수행

체모방 적용시 안정성 및 예측 값에 대한 검증이 필요할 것으로 전망된다.

전술 기동망 운용 환경에서의 인지무선 연구는 환경 특성으로 인하여 적은 수의 연구만이 수행되었으며, 대표적으로 유전자의 세대별 진화과정을 모델링하여 재밍이 발생하는 환경에서 무전기 스스로 재밍 환경을 인식하고 최적의 운영환경을 찾는 연구가 수행되었으며^[28], 협력 감지 상황에서 적에 의해 감지정보가 변조될 경우 사회적 협의 방식을 모델링한 알고리즘을 적용하여 탐지하는 연구가 수행되었다^[29]. 단순한 행동방식을 통해 최적해를 달성할 수 있는 생체모방기법이 복잡한 전술환경에 꾸준히 적용될 것으로 기대된다.

V. 결론

전술 기동망은 전술 도메인의 에지 (edge)에서 네트워크 구조의 동적인 변화를 유발하는 이동성과 산악지형으로 인하여 지속적인 연결이 보장되지 않는 상황에서 운영되며, 이로 인하여 비신뢰적 링크 특성을 갖게 되며, 통신 장애가 발생할 가능성이 매우 크다. 또한 광케이블이나 동축케이블과 같이 안정적인 특성을 유지하는 매체와는 다르게 무선링크를 사용하므로 한정된 대역폭과 낮은 데이터 전송률의 특성을 가지고 있으며 각종 내·외부적인

요인으로 인한 무선링크의 간섭으로 링크 품질의 변화와 혼잡상황으로 인한 전송 지연과 전송 실패 확률이 높다.

전통적인 MANET 기술들은 자율적인 개념을 수용하고는 있으나, 사전에 결정된 운용 방식을 기반으로 운용되므로, 불확실한 상황에 대처하는데에는 한계를 갖는다. 이에 반하여, 바이오 네트워킹 기술은 자연 생태계의 생물학적 특성 및 사회학적 특성에 의한 자율 제어 방식으로 운영되므로, 다양한 플랫폼을 갖는 수백대 이상의 노드로 운영되는 전술 기동망 체계의 자원 가용성과 생존성을 향상시킬 수 있는 중요한 기술적 대안으로 고려되고 있다. 본 논문에서는 자연의 집단생태계 (벌, 개미, 반딧불이, 물고기 및 새떼 등)의 특성을 기반으로 한 바이오 네트워킹 기술들에 대하여 고찰하였다. 여전히 바이오 네트워킹 기술을 활용한 전술 기동망에 대한 연구는 전통적인 연구 방법들을 활용한 연구들에 비하여 제한적으로 이루어지고 있다. 그러나 특히, [18], [19]등의 연구에서는 바이오 네트워킹을 채용한 방법들이 전통적인 MANET 기술을 채용한 방법들에 비하여 효과적임으로 보여주고 있으므로, 이러한 관점에서 바이오 네트워킹을 적용한 효과적인 전술 기동망에 대한 연구도 심도있게 고려하여 진행해볼 필요가 있다고 본다.

감사의 글

이 논문은 2016년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2015R1A2A2A01005577)

참고 문헌

- [1] 김종철, 정종관, 노병희, "전술통신 네트워크와 QoS 기술," 전자공학회지, 제35권, 제10호, pp.1144-1156, 2008년 10월
- [2] M. Meisel, V. Pappas, and L. Zhang, "A taxonomy of biologically inspired research in computer networking," Computer Networks, Vol.54, No. 6, pp. 901-916, Apr. 2010.
- [3] F. Dressler, O. B. Akan, "A survey on bio-inspired networking," Computer Networks, Vol.54, No. 6, pp. 881-900, Apr. 2010.

- [4] 최현호, 이정륜, “생체모방 알고리즘 기반 통신 네트워크 기술,” 정보와통신, 한국통신학회, 제29권, 제4호, pp.62–71, 2012년 3월
- [5] A. K. Kar, “Bio inspired computing –A review of algorithms and scope of applications,” *Expert Systems With Applications*, Elsevier, Vol. 59, pp.20–32, Oct. 2016
- [6] J. L. Burbank, P. F. Chimento, B. K. Haberman, “Key challenges of military tactical networking and the elusive promise of MANET technology,” *IEEE Comm. Magazine*, Vol.44, No.11, Nov. 2006
- [7] G. Di Caro, F. Ducatelle, L. M. Gambardella, “AntHocNet: an ant-based hybrid routing algorithm for mobile ad hoc networks,” *International Conference on Parallel Problem Solving from Nature*, pp. 461–470. Sep. 2004.
- [8] Y. E. Sagduyu, S. Luo, H. L. Jason, “On the overhead and throughput performance of scent-based MANET routing,” *IEEE MILCOM’10*, Oct. 2010.
- [9] Q. Du, J. Zhu, E. Zhang, “Location aided multi-constrained ant colony QoS routing algorithm for tactical MANETs,” *IEEE WiCOM’11*, Sep. 2011.
- [10] D. Karaboga, B. Basturk, “A powerful and Efficient Algorithm for Numerical Function Optimization: Artificial Bee Colony(ABC) Algorithm,” *Journal of Global Optimization*, 2007.
- [11] J. Huo, B. Deng, S. Wu, J. Yuan, I. You, “A Topographic-Awareness and Situational Perception Based Mobility Model with Artificial Bee Colony Algorithm for Tactical MANET,” *Computer Science and Information Systems*, Vol. 10, No.2, pp. 725–746, 2013.
- [12] S. Mini, S. Udgate, S. Sabat, “Sensor Deployment and Scheduling for Target Coverage Problem in Wireless Sensor Networks,” *IEEE Sensor Journal*, Vol. 14, No. 3, pp. 636–644, Mar 2014.
- [13] F. Barani, M. Abadi, “BeelD: Intrusion Detection in AODV-based MANETs Using Artificial Bee Colony and Negative Selection Algorithms,” *The ISC international journal of information security*, Vol. 4, No. 1, pp. 25–39, Jan 2012.
- [14] S. Bitam, A. Mellouk, and S. Zeadally, “Bio-inspired routing algorithms survey for vehicular ad hoc networks,” *IEEE Comm. Survey & Tutorials*, Vol.17, No.2, pp.843–867, 2Q, 2015
- [15] G. Werner-Allen, G. Tewari, A. Patel, R.Nagpal, and M. Welsh, “Firefly-Inspired Sensor Network Synchronicity with Realistic Radio Effects,” in *Proc. ACM SenSys ’05*, Nov. 2005
- [16] A. Patel, J. Degeysys, R. Nagpal, “Desynchronization: The theory of self-organizing algorithms for round-robin scheduling,” *IEEE SASO’07*, Jul. 2007.
- [17] C. Mühlberger, R. Kolla, “Extended desynchronization for multi-hop topologies,” *Institut für Informatik, Universität Würzburg*, Tech. Rep. 460, Jul. 2009.
- [18] B-s. Roh, M. H. Han, M. Hoh, H. S. Park, K. Kim, B-h. Roh, “Distributed call admission control for DESYNC-TDMA in mobile ad hoc networks,” *BICT’15*, Dec. 2016.
- [19] K. Kim, C. Lee, B-h. Roh, B-s. Roh, M. Han, “Routing metric based on slot length of AODV on multihop DESYNC-TDMA,” *BICT’2015*, Dec. 2015
- [20] B-s. Roh, M. H. Han, M. Hoh, K. Kim, B-h. Roh, “Tactical MANET architecture for Unmanned Autonomous Maneuver Network,” *IEEE MILCOM’16*, Nov. 2016.
- [21] R. Olfati-Saber, “Flocking for Multi-agent Dynamic Systems: algorithms and theory,” *IEEE Transactions on Automatic Control*, Vol. 53, No. 3, pp. 401–420, Mar. 2006
- [22] B. Atakan, O. Akan “Biologically-inspired Spectrum Sharing in Cognitive Radio Networks,” *WCNC 2007*, Mar 2007.
- [23] T. Renk, C. Kloeck, D. Burgkhardt, F. K. Jondral, D. Grandblaise, S. Gault, J. C. Dunat, “Bio-Inspired Algorithms for Dynamic Resource Allocation in Cognitive Wireless Networks,” *Mobile Network Application*, Vol. 13, No. 5, pp. 431–441, June 2008.
- [24] F. Khozeimeh, S. Haykin, “Brain-Inspired Dynamic Spectrum Management for Cognitive Radio Ad Hoc Networks,” *IEEE Trans. Wirel. Commun.*, Vol. 11, No. 10, pp. 3509–3517, Oct. 2012.
- [25] Y. H. Xu, Q. H. Wu, J. L. Wang, Y. D. Yao, “Social welfare maximization for SRSNs using bio-inspired community cooperation mechanism,” *Chinese Sci. Bull.*, Vol. 57, No. 1,



pp. 125–131, 2012.

- [26] B. Atakan, B. Gulbahar, O. B. Akan, "Immune system-inspired evolutionary opportunistic spectrum access in cognitive radio ad hoc networks," Med-Hoc-Net'10, Aug. 2010.
- [27] A. Kailas, N. Pari, M. Nogueira, "A Simple, Bio-inspired Time Synchronization Protocol for Cognitive Radio Ad Hoc Networks," WPMC '12, Sep. 2012.
- [28] C. J. Rieser, T. W. Rondeau, C. W. Bostian, T. M. Gallagher, "Cognitive radio testbed: further details and testing of a distributed genetic algorithm based cognitive engine for programmable radios," IEEE MILCOM'04, Nov. 2004.
- [29] F. Yu, H. Tang, M. Huang, Z. Li, P. Mason, "Defense against Spectrum Sensing Data Falsification Attacks in Mobile Ad Hoc Networks with Cognitive Radios," IEEE MILCOM'09, Jan. 2009.
- [30] 김광수, 이철웅, 신승훈, 노병희, 노봉수, 한명훈, "Riverbed (OPNET) Modeler의 효과적인 라우팅 프로토콜 추가 프레임워크 및 이를 이용한 AntHocNet 라우팅 구현," 한국통신학회 논문지, 제41권, 제8호, pp.974–985, 2016년 8월.



노병희

- 1998년 2월 KAIST (박사)
- 1989년 3월~1994년 2월 KT 연구원
- 1998년 2월~2000년 2월 삼성전자 연구원
- 2014년 3월~2015년 2월 ADD 객원연구원
- 2000년 3월~현재 아주대학교 교수

〈관심분야〉

이동멀티미디어통신, 사물인터넷, 국방전술통신네트워크, 네트워크보안



이규민

- 2016년 2월 아주대학교 컴퓨터공학과 (석사)
- 2016년 3월~현재 아주대학교 컴퓨터공학과 박사과정

〈관심분야〉

인지무선네트워크, 임베디드시스템, 사물인터넷, 전술통신네트워크



이철웅

- 2017년 2월 아주대학교 컴퓨터공학과 (석사)
- 2017년 3월~현재 아주대학교 컴퓨터공학과 박사과정

〈관심분야〉

바이오 네트워킹, 모바일 임베디드시스템, 사물인터넷, 국방전술통신



이승운

- 2017년 2월 아주대학교 소프트웨어특성화학과 (석사).
- 2017년 3월~현재 아주대학교 컴퓨터공학과 박사과정

〈관심분야〉

미래인터넷, 임베디드시스템, 사물인터넷,
전술통신네트워크, 네트워크 보안



노봉수

- 2004년 2월 한양대학교 전자전기공학부 (학사)
- 2006년 2월 포항공과대학교 컴퓨터공학과 (석사)
- 2006년 4월~현재 국방과학연구소 제2기술연구본부

〈관심분야〉

에드혹 네트워크, 인지형 무전기, 분산 무선자원제어



한명훈

- 2007년 2월 중앙대학교 컴퓨터공학과 (학사)
- 2009년 8월 중앙대학교 컴퓨터공학과 (석사)
- 2013년 2월 중앙대학교 컴퓨터공학과 (박사수료)
- 2014년 10월~현재 국방과학연구소 제2기술연구본부

〈관심분야〉

에드혹 네트워크, 생태모방 네트워크, 분산 무선자원제어