

생태계 모방 시스템을 위한 멀티 지능형 에이전트 기반의 플랫폼 설계 및 구현

(Design and Implementation of a
Multi-Intelligent Agent based
Platform for a Bio-Inspired
System)

문 주 선[†] 낭 종 호^{**}
(Joosun Moon) (Jongho Nang)

요 약 오늘날 널리 개발되고 있는 생태계 모방형 시스템[1]은 대규모 네트워크 응용 서비스를 위한 효과적인 시스템 모델로 각광 받아왔지만, 이런 모형의 특징인 확장성과 적응성, 생존성 등을 응용에 맞추어서 구현하기 어렵다는 문제점을 가지고 있다. 본 논문에서는 이런 문제점을 해결하기 위하여 에코전트(Ecogent)라는 멀티 지능형 모바일 에이전트와 이런 에코전트가 세가지 생태계 특징을 위한 서비스를 제공하는 플랫폼을 설계하였다. 이 생태계 모델 플랫폼은 두 부분으로 나누어 설계 하였는데, Registration, Life Cycle, Migration, Communication, Location, Fault Tolerance와 같은 모바일 에이전트의 기본 기능들을 제공하는 ERS(Ecogent Runtime Services) 플랫폼과 Evolution & Stigmergy Control의 기능을 통해 진화력과 적응성을 제공하는 BIO 플랫폼으로 나누어 설계 및 구현하였다. 생존력과 자율성을 갖춘 에코전트와 융통성 및 확장성을 위해서 단순하게 모듈화된 플랫폼 구조는 생태계를 모방하는 다양한 시스템 모델 응용들의 개발을 쉽게 구현할 수 있도록 도와준다.

키워드 : 바이오, 생태계 모방형 시스템, 에코전트, 지능형 모바일 에이전트, 플랫폼

Abstract The Bio-Inspired System focuses on the creation of an effective system model for massive network applications and is being widely developed. However, the system has a problem-difficulty implementing three features in the system, which includes scalability, adaptability and survivability. To solve this problem, we designed an Ecogent as a multiple intelligence agent, and a Bio-platform to address the three features of scalability, adaptability and survivability. The Bio-Inspired System Platform consists of an ERS (Ecogent Runtime Services) Platform and a Bio-Platform. The ERS platform serves the basic functions of mobile agents, such as Registration, Life Cycle, Migration, Communication, Location and Fault Tolerance. The Bio-Platform includes the functions of Evolution Control and Stigmergy Control to address evolution and adaptation.

Key words : Bio, Bio-Inspired System, Ecogent, Intelligent Mobile Agent, Platform

1. 서 론

인터넷의 급속한 발전에 따라 예견되는 미래의 응용 서비스들은 전 세계 수많은 네트워크의 노드들을 연결하는 네트워크 기반 응용 서비스들이 주류를 이룰 것으로 기대된다. 이러한 대규모 시스템에서 동작하는 응용/시스템 소프트웨어에 대한 해결책으로 생태계 모방 계산모델[1]이 등장하게 되었다. 하지만 실제 이런 모형에 바탕을 둔 응용을 개발하기는 어려우므로 어렵다. 각각의 응용 분야가 매우 다양하고, 생태계 자체가 거대하고 복잡한 시스템이어서, 이를 모방하는 것 자체가 하나의 큰 문제이기 때문이다. 따라서 생태계 현상의 특징인 확장성, 적응성, 생존성을 만족하며 동시에 다양한 응용도 쉽게 개발할 수 있는 생태계 모방형 시스템 플랫폼 개발이 필요하게 되었다.

이러한 플랫폼을 위해서는 우선 자발적인 조직화 과정을 통하여 문제를 해결하는 개미처럼 지능적인 에이전트(Agent)의 개발이 필요하며, 이러한 에이전트들의 서비스를 제어하고 관리할 수 있는 플랫폼 개발이 필요하다. 본 논문에서 설계한 지능형 멀티 에이전트의 이름은 Ecogent로써, Ecology와 Agent의 합성어이다. 에코전트들의 서비스를 통해 생태계 모방형 시스템을 구축하는 플랫폼은 ERS(Ecogent Runtime Services) 플랫폼과 BIO 플랫폼으로 나누어지는데, ERS 플랫폼은 Ecogent의 등록, 이주, 통신 등과 같은 기본 서비스들을 제공해주고, BIO 플랫폼은 진화 및 Stigmergy 기능을 제공해주는 플랫폼이다. 실제로, 본 논문에서 구현된 생태

* 이 논문은 2007 한국컴퓨터종합학술대회에서 '생태계 모방 시스템을 위한 멀티 지능형 에이전트 기반의 플랫폼 설계 및 구현'의 제목으로 발표된 논문을 확장한 것임

[†] 학생회원 : 서강대학교 컴퓨터공학과
serenity0605@mlneptune.sogang.ac.kr

^{**} 종신회원 : 서강대학교 컴퓨터공학과 교수
jhnang@sogang.ac.kr

논문접수 : 2007년 10월 2일

심사완료 : 2007년 11월 30일

: 개인 목적이나 교육 목적인 경우, 이 저작물의 전체 또는 일부에 대한 복사본 혹은 디지털 사본의 제작을 허가합니다. 이 때, 사본은 상업적 수단으로 사용할 수 없으며 첫 페이지에 본 문구와 출처를 반드시 명시해야 합니다. 이외의 목적으로 복제, 배포, 출판, 전송 등 모든 유형의 사용행위를 하는 경우에 대하여는 사전에 허가를 얻고 비용을 지불해야 합니다.

정보과학회논문지: 컴퓨팅의 실제 및 데이터 제13권 제7호(2007.12)

Copyright©2007 한국정보과학회

계 모방 플랫폼을 이용하여 다양한 생태계 모델 응용들을 개발해본 결과, 시스템 개발이 매우 쉬었을 뿐만 아니라 시스템의 성능도 크게 향상되었음을 확인하였다.

2. 관련연구

개미의 유전자나 뇌 조직에는 계획이나 조직성, 제어 기능이 존재하지 않지만, 자발적인 조직화 과정을 통하여 문제를 해결한다. 이러한 생태계의 특징을 모방하여 생태계적 접근을 시도한 것이 생태계 모방형 시스템인데, 이 시스템 모델을 위한 대표적인 플랫폼으로 UCI에서 개발한 'Bionet Platform'[2]이 있다. 이 플랫폼은 Cyber Entity라 불리는 작은 개체들과 이 개체들간의 단순하고 다양한 행동 및 각 개체 간의 자율적인 상호작용에 의해 효율성과 확장성, 재사용성 및 단순성을 지원한다. 하지만, 이 플랫폼은 생태계 모방형 시스템의 주요 특징 중 하나인 생존성을 지원하지 못한다. 대규모 시스템에서 동작하는 소프트웨어에서는 작은 시스템 오류 하나라도 전체 시스템에 대한 치명적인 위험을 끼칠 수 있으므로, 자율적인 시스템 오류 복구 능력은 매우 중요하다. Bionet Platform에서 제공하는 서비스들은 확장성과 적응성의 기능은 갖추고 있지만, 이러한 생존성을 해결하기 위한 서비스는 없기 때문에, 대규모 네트워크를 위한 안정적인 시스템 구축에는 부족한 점이 많다.

3. 생태계 모방형 시스템을 위한 플랫폼의 설계

생태계 모방 플랫폼은 그림 1과 같이 ERS 플랫폼과 BIO 플랫폼으로 나누었다. ERS 플랫폼은 에코전트의 등록, 이주, 통신 등과 같은 여러 가지 서비스들을 담당하고, BIO 플랫폼은 이러한 ERS 플랫폼을 이용하여 Evolution, Stigmergy와 같은 기능을 담당한다. 응용 프로그램은 BIO 플랫폼을 통해서 생태계 모방형 시스템의 기능을 제공 받거나, 직접 ERS Platform을 이용할 수 있는데, 이러한 모듈화 설계의 이유는 플랫폼 사용에 융통성을 제공하기 위함이다.

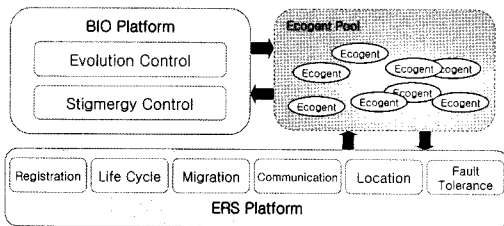


그림 1 생태계 모방형 시스템 플랫폼의 구조

3.1 에코전트(Ecogent)의 설계

3.1.1 에코전트 상태

에코전트는 개미와 벌의 습성을 모방하여 설계하였다. 에코전트가 생성되면 시스템에 등록되어 초기 생성 정보가 입력(Initiated)된 후, 자신의 역할에 따라 활동(Active)을 하게 된다. 다른 일이 선행되어야 할 경우 잠시 자신의 작업을 기다리기도 하며(Waiting), 자유롭게 움직이는 개미나 벌처럼 플랫폼간의 이주 기능(Transit)도 필요하다. 또한, 시스템 에러가 발생 시 이를 복구 시킬 수 있는 능력(Suspend)은 생존성을 위해 필수적이다. 이러한 기능을 위해 제공하기 위해, 에코전트는 그림 2에서 보는 바와 같은 5가지 상태로 설계하였다.

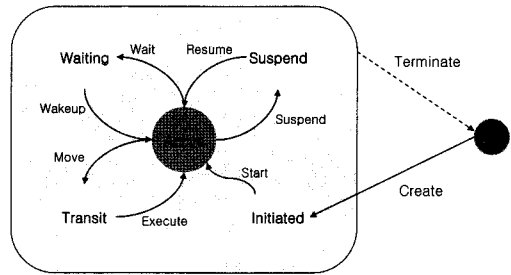


그림 2 에코전트의 상태도 및 Life Cycle

3.1.2 에코전트의 수행

에코전트가 Active 상태이면, 모니터, 분석, 설계, 실행 과정을 순환적으로 수행한다. 먼저, 에코전트는 '모니터' 과정을 통해 에코전트에게 필요한 정보들을 수집한다. 이 후, '분석' 과정에서 수집한 페로몬 정보를 분석한다. '설계' 과정에서는 '분석' 과정에서 분석한 정보들을 기본으로 해서 에코전트가 수행할 작업을 결정하고, 결정된 명령들을 명령 큐(Command Queue)에 저장하여 하나씩 수행하는 '실행' 과정을 거치도록 구성하였다. '모니터'와 '분석', '설계' 과정에서 에코전트가 더 이상 수행할 작업이 없다고 판단되면 에코전트는 활성화 상태를 빠져나가 terminate된다.

3.2 ERS(Ecogent Runtime Services) 플랫폼 설계

3.2.1 ERS의 요구사항 분석

생태계 모방형 시스템은 확장성, 적응성 및 생존성을 가져야 한다.

- 확장성(scalability)의 특성 분석 및 적용 방안

확장성은 문제들의 크기가 증가될 때 작업을 수행할 문제를 푸는 능력으로 정의될 수 있다. 이 성능은 타 개체간의 협력 정책에 따라 영향을 받는다. 따라서 이러한 서비스를 위해 필요한 기능이 Communication과 Migration이다. 개체간의 통신을 통해 정보 전달이 가능하고, 이 정보에 따라 개체 간의 복제 및 이동이 가능하기 때문이다.

• 적응성(adaptability)의 특성 분석 및 적용 방안

생태계 조직은 인위적인 개발과 유지비용 없이도 안정적으로 개체수가 유지되며, 환경 변화에 매우 빠르게 적응하는 개체를 생성해낸다. 개체가 만약 높은 사용빈도를 가진다면 자신을 복제한 후, 같은 기능의 새로운 개체를 생성시킬 수 있다. 이럴 경우에는 자신의 저장된 에너지가 높아야 한다. 따라서, 에너지가 높은 곳과 낮은 곳이 어딘지 그 위치를 알려주는 Location 서비스와 실제 개체간의 이주를 도와주는 Migration 서비스가 필요하다.

• 생존성(survivability)의 특성 분석 및 적용 방안

개체는 타 개체보다 많은 에너지를 보유하려는 행동을 취하며 이러한 행동은 궁극적으로 다른 개체보다 자신을 오랜 기간 생존하게 하고 자신과 비슷한 개체의 증가를 유도한다. 이러한 생존성을 높이기 위해, 각각의 개체는 만약을 대비해 자신을 복제해두어야 하며, 오류가 발생하면 기존에 복제해 둔 개체를 복구시킬 수 있는 서비스(Fault Tolerance)가 필요하다.

에코전트는 각 개체의 등록(Registration)과 수명을 담당하는 부분(Life Cycle)이 필요하므로, 결국 ERS 플랫폼은 총 6개의 서비스를 필요로 한다.

3.2.2 ERS 플랫폼 서비스 별 설계

- Registration: 이 서비스는 에코전트 객체들을 해당 플랫폼과 endpoint에 등록하고, endpoint로부터 고유한 아이디를 생성 받는 작업을 담당한다.
- Life Cycle: 에코전트를 사용하는 상위 계층에서 에코전트를 생성, 소멸시키고 각각의 목적에 맞게 에코전트의 상태를 변화시키기 위해서 필요한 서비스이다.
- Migration: 에코전트의 요청에 따라 코드와 데이터를 다음에 실행할 다른 플랫폼으로 이동시키는 역할을 수행한다.
- Communication: 에코전트와 에코전트간의 메시지를 전달하는 서비스로, ACL Message를 사용하며, 내부적인 통신은 ERS의 하위 계층인 endpoint를 이용한다.
- Location: Location은 다른 ERS 플랫폼을 찾는 서비스로, 지역 플랫폼의 Registration 서비스를 이용하여 원하는 정보를 찾게 된다.
- Fault Tolerance: 에코전트의 Fault-Tolerant한 기능을 수행하기 위해, 에코전트의 상태를 주기적으로 기록하거나 에코전트의 복사본을 동시에 수행하는 서비스다.

3.3 BIO 플랫폼 설계

3.3.1 Evolution Control

Evolution Control은 전반적으로 유전자 알고리즘에 기초하여 분산 환경에서 에코전트의 특성이나 수행방식을 결정짓는 파라미터 값들에 대한 진화와 적응을 관리

하는 부분이다. 실질적으로 유전자알고리즘은 문제에 상당히 의존적이어서, 다양한 여러 서비스에 따라 각기 다른 일을 하고, 서로 전혀 다른 파라미터 항목들을 가지고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 다양한 형태의 문제에 적용할 수 있는 유전자 알고리즘 구조를 구현하였다.

3.3.2 Stigmergy Control

그림 3은 이러한 개미 군집 알고리즘을 적용한 Stigmergy Control의 동작 구성도이다. 우선, 에코전트는 플랫폼을 이동하면서 일을 수행 할 때 자신의 정보를 각 로컬 플랫폼의 페로몬 데이터베이스에 저장하게 된다. 에코전트는 보유하고 있는 정보나 데이터베이스에 축적된 에코전트의 메시지 정보를 이용하여 개미군집 알고리즘에 적용한다. 이렇게 개미 군집 알고리즘에 의하여 나온 정보를 가진 적응성이 높은 에코전트는 어플리케이션이나 플랫폼에 활용할 수 있다.

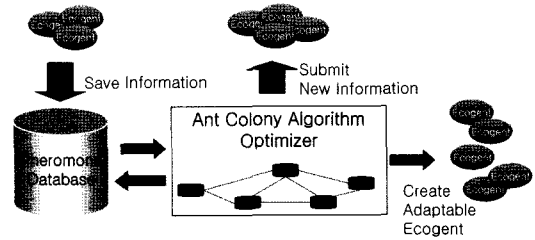


그림 3 분산네트워크 환경에서 Stigmergy Control을 통한 Ecogent의 정보가공

4. 생태계 모방 플랫폼의 구현 및 분석

4.1 생태계 모방 플랫폼의 구현

본 논문에서 소개하는 생태계 모방 플랫폼은 C/C++ 언어를 기반으로 작성하였다. Java로 구현할 경우, JVM이 실행 중에 byte code를 native code로 변환하는 시간을 필요로 하는데, 이는 작고 빠르며 가벼워야 할 에코전트의 구현에 적합하지 않다.

4.1.1 에코전트의 구현

에코전트는 표 1에서 볼 수 있듯이, Ecogent ID, State, Platform 정보 및 Fault Tolerance를 대비한 Replication ID와 같은 자료구조와, Monitor, Analyze, Plan 과 같은 Method로 구성되어 있다. 최대한 에코전트를 단순하게 구성하여, 에코전트의 유동성과 사용성을 높일 수 있도록 구현하였다.

4.1.2 ERS 플랫폼의 구현

서비스 플랫폼은 서비스를 관리하는 부분으로서, 서비스 모듈을 Load하여 새로운 인스턴스로 만들고, 에코전트가 서비스에 대한 접근이 가능하도록 구현하였다. 모

표 1 에코전트의 구성

```

class CEcogent : public cObject{
protected:
string          ecogentID;
int            state, replication_id;
serviceTable   service;
public:
virtual void   Monitoring();
virtual void   Analyzing();
virtual void   Planning();
};
    
```

든 서비스들은 서비스 플랫폼에 의해 인스턴스가 관리된다. 이러한 서비스 플랫폼은 크게 두 가지 기능으로 나누어 볼 수 있는데, 서비스를 등록, 제거, 시작, 중지할 수 있는 서비스(Service Platform Interface)기능과 플랫폼에 대한 정보를 제공(Ecogent Platform Interface)하는 기능으로 분류될 수 있다.

• 서비스 별 ERS API 평균 접근 시간

ERS 플랫폼을 구현한 후 각 서비스들에 대한 API 평균 접근 시간을 실험하였다. 표 2는 ERS의 각 서비스 별 테스트에 걸린 시간들의 평균값으로 단위는 밀리초이다. 실험 환경은 인텔 펜티엄 III (1 GHz), 512 MB RAM, OS는 RedHat Linux 9.0이며, PC간의 통신은 100Mbps Ethernet을 사용하였다.

표 2 서비스 별 API 평균 접근 시간

ERS service	Access time	ERS service	Access time
Registration	4 (ms)	Communication	200 (ms)
Life Cycle	60 (ms)	Location	172 (ms)
Migration	275 (ms)	Fault Tolerance	20 (ms)

표 2에서 볼 수 있듯이, Location, Migration, Communication 서비스에서 Bottleneck이 발생되었다. 이는 개체간의 네트워크 통신을 위해 endpoint의 기능을 이용하기 때문이다. 따라서 이 문제는 네트워크의 bandwidth가 커지고, 네트워크에 필요한 I/O 장치의 성능이 개선 된다면 해결될 것이다.

4.1.3 BIO 플랫폼의 구현

• Evolution Control - Genetic Optimizer

Evolution Control에서 가장 핵심이 되는 클래스인 GeneticOptimizer는 교체 가능한 모든 컴포넌트들을 연결시킬 수 있는 허브 역할을 할 수 있도록 구현하였다. 필요에 따라서 원하는 타입의 염색체 형태와 유전자 연산자들을 선택하여 유전자 알고리즘을 수행할 수 있도록 만들기 위해서다.

• Stigmergy Control

Stigmergy Control은 페로몬 데이터베이스에 item을 입력하거나 출력하는 형태로 구현하였다. 에코전트는 플

랫폼을 이동하면서 일을 수행 할 때, 자신의 정보를 각 로컬 플랫폼의 페로몬 DB에 저장한다.

4.2 응용 서비스 별 생태계 모방 플랫폼의 테스트

4.2.1 Load Balancing System

생태계 모방 플랫폼을 이용한 응용 프로그램으로 인터넷 교육방송용 서버의 과부하를 분산시키기 위한 Load balancing system[3]을 개발하였다. 이러한 문제는 생태계 모방 플랫폼의 Stigmergy Control을 사용한다면 매우 쉽게 해결할 수 있다. Stigmergy control에서는 각 에코전트가 다음 홉의 대상이 될 노드를 결정하는데 있어서, AntNet과 비슷한 개념의 라우팅 테이블을 유지한다. 각 라우터(router)에는 ERS가 있고, 이런 라우터 상에서 Ecogent가 이동하며 주위 라우터에 대한 정보를 남긴다. 어떤 에코전트가 자신이 지나간 노드에 대한 네트워크 부하 정보를 페로몬 형태로 해당 라우팅 테이블에 남기면, 과부하 발생시 이를 분산시키기 위해 이동해야 할 노드의 방향을 빠르게 제공하여, 보다 효율적이고 분산된 환경에 적합한 과부하 분산을 촉진하는 역할을 한다.

그림 4는 10x10 네트워크에서의 과부하 분산에 대한 표준 편차를 보여주고 있다. 그래프에서 보는 바와 같이, 생태계 모방 플랫폼을 이용한 Eco-LB는 최적으로 수렴한다고 증명되어 있는 순차적 확산 알고리즘을 이용한 Diffusion 보다 더 나은 과부하 분산 수행능력을 보인다.

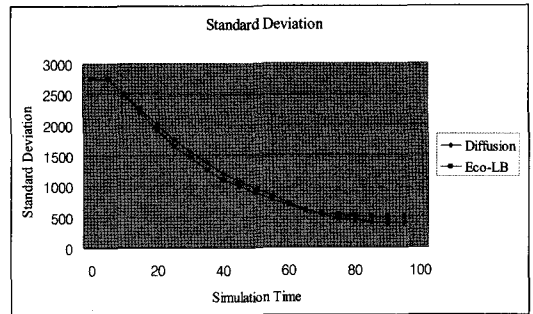


그림 4 network에서의 과부하 분산 (표준 편차)

4.2.2 침입탐지 시스템 개발

유전자 알고리즘과 에코전트를 이용한 침입탐지 시스템[3]을 개발하였다. 침입탐지 시스템은 알려지지 않은 공격에 대한 패턴을 분석 및 탐지하기가 어려운 문제가 있다. 따라서 환경 변화에 따라 재빨리 대응될 수 있는 플랫폼의 유동성과 적응력이 문제 해결을 위한 핵심인데, 생태계 모방 플랫폼은 BIO 플랫폼의 Genetic Optimizer 클래스를 이용하여 침입 탐지 시스템을 만들 수 있다.

실험은 유전자 알고리즘을 적용하지 않은 기본 시스템(Normal)과 유전자 알고리즘 및 Migration 서비스가 적용된 시스템(Ecogent)으로 나누어 진행하였다. 시스템의 주 알고리즘으로는 기계학습 분야의 대표적인 알고리즘인 Naive Bayes와 Decision Tree를 사용하였다.

표 3에서 볼 수 있듯이, 에이전트의 Migration 서비스를 사용하여 분산 유전자 알고리즘을 구현한 것이 유전자 알고리즘을 적용하지 않은 기본 시스템보다 높은 성능을 보여줌을 알 수 있었다.

표 3 침입 탐지 시스템의 알고리즘 별 탐지 정확도

	Naive Bayes IDS		Decision Tree IDS	
	Normal	Ecogent	Normal	Ecogent
탐지 정확도	92.38	95.87	93.09	93.91
표준편차	1.36	0.96	1.14	1.11

5. 관련 연구와의 비교

5.1 Ecogent와 CE(Cyber Entity)의 비교

Bionet Platform에서의 CE의 특징은 Master CE가 없는 비중앙집중화이기에, 확장성이 좋고 시스템의 bottleneck을 피할 수 있다. 또한 자율성을 갖고 있으며, 동적인 변화에 적용할 수 있는 능력을 갖고 있다. 이러한 특징은 본 논문의 에이전트의 기능과 유사하다. 하지만 CE는 Fault Tolerance 기능을 통한 생존성이 없기 때문에, 이러한 기능을 갖춘 Ecogent가 더 발전된 형태의 모바일 에이전트의 형태라고 볼 수 있다.

5.2 생태계 모방 플랫폼과 Bionet Platform과의 비교

표 4에서 볼 수 있듯이, 생태계 모방 플랫폼과 Bionet Platform을 비교해 보았을 때, 생태계 모방 플랫폼은 확장성, 적응성 및 생존성의 특징을 보이며, ERS 플랫폼과 BIO 플랫폼의 모듈 분리로 인해, 생태계 모방형 시스템을 위한 융통성과 편리성을 제공한다. 이에 반해 Bionet Platform은 모든 서비스와 기능을 하나의 플랫폼

표 4 ERS 플랫폼과 Bionet Platform의 서비스 비교

	ERS Platform	Bionet Platform
유사 서비스	1. Migration 2. Communication 3. Life Cycle 4. Location 5. Stigmergy Control 6. Evolution Control	1. Migration 2. Communication 3. Lifecycle Regulation 4. Discovery 5. Pheromone Emission 6. Environment Sensing
고유의 서비스	1. Registration 2. Fault Tolerance	1. Energy Exchange and Storage 2. Relationship Maintenance

안에 두고, Java로 구현되어 플랫폼이 무거우며, 효율성과 확장성, 재사용성과 단순성의 특징만을 보인다. 결국, 생태계 모방 플랫폼은 Bionet Platform과 달리, 모듈화된 구조로 인한 사용의 편리성과 융통성을 갖추고 있으며, C/C++ 언어로 구현되어 플랫폼 자체가 매우 가볍고 빠르다. 또한 Fault Tolerance 기능으로 인해 오류 복구 능력과 진화 능력을 가진 우수한 플랫폼임을 확인할 수 있다.

6. 결론

본 논문에서는 생태계 모방형 시스템 모델의 다양한 응용프로그램을 쉽고 편리하게 개발할 수 있는 생태계 모방 플랫폼을 개발하였다. 이를 위해 자율성과 생존성을 갖춘 멀티 지능형 모바일 에이전트로서 Ecogent를 개발하였다. 또한, 생태계 모방 계산모델에 바탕을 둔 응용을 개발하기 위해 생태계 모델 플랫폼을 두 부분으로 나누어 설계 하였는데, Registration, Life Cycle, Migration, Communication, Location, Fault Tolerance 와 같은 모바일 에이전트들의 기본 기능들을 제공하는 ERS 플랫폼과 Evolution & Stigmergy Control의 기능을 통해 진화력과 적응성을 가진 BIO 플랫폼으로 나누어 구현하였다. 융통성 및 확장성을 위해 설계된 단순하고 모듈화된 플랫폼 구조는 생태계를 모방하는 다양한 시스템 모델 응용들의 개발을 쉽게 구현할 수 있도록 도와준다. 실제로, 생태계 모방 플랫폼을 다양한 생태계 모델 응용 개발에 이용해 본 결과, 시스템 개발이 매우 쉬웠을 뿐만 아니라 시스템의 성능도 크게 향상되었다.

참고 문헌

- [1] M. Wang and T. Suda, "The Bio-Networking Architecture: A Biologically Inspired Approach to the Design of Scalable, Adaptive, and Survivable/Available network Application," *Proc. of the IEEE Symposium on Application and the Internet*, 2001.
- [2] Junichi Suzuki, Tatsuya Suda, "A Middleware Platform for a Biologically Inspired Network Architecture Supporting Autonomous and Adaptive Applications," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol.23, No.2, February 2005, pages 249-260, 2005.
- [3] Sungyong Park, *Bio Inspired System Software*, Report of the New Technology Development for the Next Generation, Ministry of Commerce, Industry and Energy, Korea, 2005.