

# Petri Net 모델 시뮬레이션을 통한 게임플레이 분석방법

장희동  
호서대학교 게임학전공

## A Method of Gameplay Analysis by Petri Net Model Simulation

Heedong Chang  
Depart. Game Development, Hoseo University

### 요약

캐주얼게임이 대중화되면서 게임개발과정에서 다양한 유저들의 게임플레이의 성향과 요구사항들을 만족시켜야 할 필요성이 증가하였다. 이를 위해서는 게임개발과정의 테스트단계에서 다양한 유저의 게임플레이 패턴을 분석해야 한다. 본 논문에서는 유저의 게임플레이 측정데이터를 사용하는 Petri net 모델의 시뮬레이션을 통해 액션 패턴을 분석하는 방법을 제안하였다. 제안한 방법은 유저의 게임플레이 측정데이터를 사용하기 때문에 시뮬레이션 환경은 실제적이고 또한 Petri net 모델을 사용한 분석이기 때문에 액션 패턴의 reachability, coverbility, liveness 등과 같은 다양한 분석이 가능하다. 제안하는 방법의 적용사례로 Petri net 모델링 도구인 GPenSIM v4.0 도구를 사용하여 팩맨(Pacman) 게임의 게임플레이 패턴을 분석하는 Petri net 모델을 구현하고 시뮬레이션을 결과들을 제시하였다. 적용사례의 제시 결과들은 제안하는 방법이 Petri net 분석 기능을 이용하여 유저의 게임플레이의 액션패턴을 다양하게 분석가능함을 보여주었다.

### ABSTRACT

As the popularity of casual games, they are increasing the needs to satisfy personal dispositions and the gameplay requirements of the various users in the game development process. These require analysis of action patterns of gameplay of various users in the testing phase of the game development. In this paper, we propose a method to analyze action patterns of gameplay through Petri net model simulation with gameplay metrics data. The proposed method has practical simulation environments because of using gameplay metrics data, and it can analyze diversely like reachability, coverbility, and liveness given by Petri net model analysis. An application example of the proposed method using a Petri net modeling tool GPenSIM v4.0 is given to analyze the patterns of gameplay in game Pacman. The results of simulations is presented. The presented results show that the proposed method can analysis patterns of gameplay diversely.

**Key words :** Gameplay Analysis(게임플레이 분석), Petri Net Modeling and Analysis (Petri Net 모델링 분석), Gamplay Simulaion(게임플레이 시뮬레이션)

Received: Aug, 24, 2015      Accepted: Sep, 10, 2015  
Corresponding Author: Chang, Hee Dong(      )  
E-mail:

© The Korea Game Society. All rights reserved. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ISSN: 1598-4540 / eISSN: 2287-8211

## 1. 서론

유저가 경험하는 컴퓨터게임의 재미(또는 몰입) 수준은 개인적인 게임플레이의 성향과 능력에 영향을 받는다[1,2].

게임시장의 최근 동향에는 모바일게임 시장이 크게 성장하고 있다[3]. 모바일 게임은 캐주얼 게임을 지향하기 때문에 다양한 유저들의 게임플레이의 성향과 능력이 고려되면서 개발되어야 한다.

유저의 게임플레이의 성향과 능력을 고려하기 위해서는 게임개발과정에서 게임플레이 분석이 필요하다.

게임플레이 분석방법은 크게 정성적 접근방법(qualitative approaches)과 정량적 접근방법(quantitative approaches)으로 나눌 수 있다[4]. 정성적 접근방법은 게임플레이를 한 유저들을 대상으로 설문조사를 통한 분석방법이다. 예를 들면 FGI(Focus Group Interview)이다. 정량적 접근방법은 수학적 모델을 사용한 분석방법, 시뮬레이션을 사용한 실험분석방법, 유저의 게임플레이의 측정데이터(game metrics) 또는 생체신호측정데이터(biometrics)를 통한 분석방법이 있다.

본 논문에서 제안하는 게임플레이 분석방법은 유저의 게임플레이 액션의 측정데이터를 게임플레이의 Petri net 모델에 적용하여 시뮬레이션하는 방법이다. 유저의 게임플레이 액션의 측정데이터는 실제 게임플레이가 진행되는 동안 측정 수집된 데이터를 사용하여 Petri net 모델에 적용했기 때문에 시뮬레이션 환경을 실제적인 게임플레이 환경과 같게 설정할 수 있다. 또한 게임플레이 환경을 Petri net 모델로 모델링하기 때문에 다양한 Petri net 모델 분석 기능들을 사용할 수 있다[5,6,7,8,9].

기존의 Petri net 모델을 통한 게임분석에 대한 연구들[5,6,7]은 게임 내부 시스템(예: 게임시스템)의 게임규칙과 게임메카닉스에 대한 논리적인 검증 을 위해서 적용되었다. 그래서 기존 연구의 Petri net 모델은 게임의 논리적인 내용들을 기반으로 모델링되었기 때문에 실제 게임 환경과는 다른 부분들이 있다. 특히 게임 동작의 타이밍과 패턴들이

실제 게임과 같이 반영된 Petri net 모델을 사용한 연구는 아직 없다.

본 연구에서 제안하는 방법은 실제 게임과 동일한 동작 타이밍과 패턴을 반영한 시뮬레이션 환경을 구축하기 위해 측정된 게임플레이 액션의 타이밍과 패턴들을 Petri net 모델에 반영하였다.

Petri net 모델은 게임시스템과 같은 정보처리시스템을 효과적으로 모델링을 할 수 있고 Petri net 모델이 지원하는 다양한 분석 기능들을 사용하면 다양한 정량적 분석을 할 수 있다.

본 논문의 내용은, 2에서는 Petri net을 소개하고, 3에서는 제안하는 게임플레이 분석방법에 대하여, 4에서는 제안하는 분석방법의 적용사례에 대하여, 5에서는 결론으로 구성되어 있다.

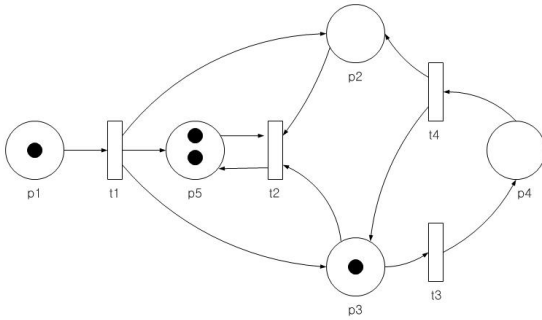
## 2. Petri Net 소개

Petri net는 1960년대 C.A. Petri에 의해 처음 개발 되었다. Petri net는 정보 흐름(information flow)을 표현하는 형식적 모델(formal model)로서 시스템에서 정보의 흐름과 제어를 분석하기 위해 사용된다[7]. Petri net으로 시스템을 모델링할 때 유용한 점은 정보의 흐름이나 제어에 대한 동시성(concurrency)과 비동기성(asynchronism)을 본질적으로 쉽게 표현할 수 있다[8].

정보의 흐름이나 제어를 담당하는 시스템의 구성요소들은 크게 수동적인 요소들(passive elements)과 능동적인 요소들(active elements)로 분류할 수 있다. 예를 들면, 조건(condition)와 상태(status)는 수동적인 요소들이고 이벤트(event)나 동작(action)은 능동적인 요소들이다.

Petri net의 구성은, [Fig. 1]과 같이, 시스템의 수동적인 요소들을 나타내는 place, 능동적인 요소들을 나타내는 transition, place와 transition 사이의 연결을 나타내는 arc, 그리고 정보 또는 제어 주도권을 의미하는 token으로 이루어져 있다. 즉 그림에서 원은 place를, 막대사각형은 transition을,

점은 token을, 그리고 화살표는 arc를 나타낸다.



[Fig. 1] A marked Petri net[9]

어떤 시점에서 각 place에 배치된 token들의 분포를 그 시점에서의 marking이라 부르며 이 marking은 그 시점에서의 시스템의 정보 흐름과 제어에 대한 상태를 나타낸다.

Petri net의 동작은, 초기 marking 상태에서, 각 transition이 enable 상태인지 아닌지로 판정이 이루어지고 enable한 transition은 적절한 조건(예: delay time)이 만족되면 입력 place(이 transition으로 들어오는 화살표로 연결된 place)에 있는 token 하나를 출력 place(이 transition을 나가는 화살표로 연결된 place)로 옮기는데 이것을 fire라 한다. 즉 Petri net 동작은 transition들의 fire 동작이다. 이런 동작들이 진행되면서, 초기 marking은 새로운 marking으로 계속 변하게 된다. transition이 enable할 조건은 모든 입력 place에 token이 존재해야 한다. transition의 fire는 각 입력 place의 token 하나를 제거하고 각 출력 place에 token 하나씩을 추가하는 동작이다.

enable한 transition은 즉시 firing을 수행하는 경우도 있고 또는 지연시간(delay time)이 주어졌을 때는 그 시간이 지나야 firing을 할 수 있다.

Petri net은 이러한 기본적인 구조와 규칙에서 다양한 추가 구조와 규칙을 부여하여 확장될 수 있는데 이를 extended Petri net이라 부른다. 예를 들면 colored Petri net[8]을 들 수 있다.

Petri net를 통해 분석할 수 있는 것은 token의 움직임 특성(behavior properties)인데 그 내용은 다음과 같다[9].

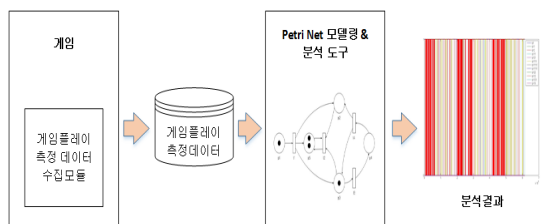
- o Reachability: 한 marking의 도달가능성
- o Boundness: 한 place의 token 수의 상한치
- o Liveness: deadlock-free
- o Reversibility: 한 marking의 역방향 도달가능성
- o Coverability: 한 marking으로부터 출발해서 목표 marking을 덮을 수 있는 도달가능성 marking의 존재가능성
- o Persistence: 한 enable한 transition이 다른 enable한 transition의 방해가 없는 firing의 유지성
- o Fairness: transition firing에 대한 공평성

상기의 분석기능들은 유저의 게임플레이 액션 특성을 분석할 때 적용되어질 수 있기 때문에 다양한 측면의 분석이 가능한 것이다.

### 3. Petri net 모델을 통한 게임플레이 분석방법

#### 3.1 게임플레이 분석 시스템 구성도

본 논문에서 제안하는 게임플레이 분석 시스템 구성도는 크게 두 가지 부분, 즉, 게임부분과 Petri net 모델링 & 분석도구 부분으로, [Fig. 2]와 같이, 구성되어 있다.



[Fig. 2] The Proposed Analysis System Configuration

게임부분에서는 게임이 실행될 때 이루어지는 게임플레이 측정(gameplay metrics)데이터를 수집하는 모듈이 추가적으로 구현되어 있어야 한다. 이 부분은 게임개발과정에서 미리 고려되어야 한다. 게임플레이 측정 데이터는, [Table 1]과 같이, 기본적인 정보는 새로운 게임플레이 액션 이벤트 발생시간(단위: 밀리세컨드)과 게임플레이 액션이름이고 추가적인 정보는 주인공캐릭터의 위치좌표 등 장요소들의 상태 및 위치좌표들이 필요 시 추가될 수 있다.

[Table 1] Data Format of Gameplay Metrics

| 기본정보           |       | 추가정보       |             |             |
|----------------|-------|------------|-------------|-------------|
| 새로운 게임플레이 액션이름 | 발생시간  | 주인공 위치 좌 표 | 등장 요소 위치 좌표 | 등장 요소 상태 정보 |
| Move           | 20311 | (34 25)    | (74 92)     | ...         |

그 다음 부분인 Petri Net 모델링 및 분석을 위한 도구는 다양한 것들이 있다. 우수한 기능들을 가진 상용제품들부터 간단한 기능들이 있는 무료제품들이 있다[10]. 제안하는 방법에서는 필요한 분석기능들(예: reachability)이 있는 도구를 선택하면 된다. 적절한 도구가 선택되면 분석하고자 하는 목적과 요구사항에 맞추어 게임플레이에 대한 Petri net 모델을 준비해야 한다. 이때 게임플레이의 Petri net 모델은 게임플레이 측정데이터를 반영하여 실제 게임플레이와 동일하도록 제작해야 한다.

상기의 두 부분들 즉 게임플레이 측정데이터 수집모듈이 구현된 게임과 게임플레이의 Petri net 모델이 존재하는 모델링 및 분석의 도구가 준비되면 게임플레이의 시뮬레이션을 수행할 수 있다.

### 3.2 시뮬레이션 분석 절차

본 논문에서 제안하는 방법을 시뮬레이션이 진행되기 위해서는 절차는 다음과 같다.

- (a) 게임플레이 실행을 통한 게임플레이 측정 데이터 수집:

- 기본정보만 수집할 것인지 아니면 추가정보까지 수집할 것인지 결정 후 수집한다.
- (b) 수집된 게임플레이 측정데이터를 입력받아 게임플레이의 Petri net 모델의 시뮬레이션 수행을 통한 분석결과 산출:
- 시뮬레이션을 수행할 때 원하는 분석결과를 얻기 위해서 미리 적합한 시뮬레이션의 조건 설정을 지정한다.

## 4. 제안한 방법의 적용사례: 팩맨게임

본 장에서는 제안한 방법을 팩맨게임에 적용하여 게임플레이 액션 패턴을 분석하였다. 여기서 사용한 Petri net 모델링 및 분석 도구는 GPenSIM Ver4.0[11]이다.

### 4.1 팩맨 게임 소개

본 적용사례에서 사용된 팩맨게임은, Fig. 3과 같은, 모습으로 게임제작 도구 GameMaker8.0에서 만들어졌다[12].



[Fig. 3] A Screen Shot Image of the Game Pacman

게임방식은 기존의 팩맨게임과 동일한 규칙을 사용하지만 하나의 게임 배경 맵이 반복해서 사용된다. 하나의 게임레벨을 클리어 하면 동일한 배경 맵에서 몬스터들의 움직임과 등장 과일들의 차이를 통해 게임의 난이도와 보상들이 조정되는 방식의 게임이다.

유저는 게임을 패할 때 까지 계속해서 게임을 계속할 수 있으며 남아있는 모든 생명력을 소모한 후 몬스터에게 죽게 되면 게임을 패하게 된다.

측정하고자 하는 게임플레이 정보는 팩맨이동, 도트(dot) 먹기, 파워업(power-up) 먹기, 과일(fruit)먹기, 블루고스트(blue Ghost) 먹기, 고스트(Ghosts)로부터 죽기, 게임시작, 게임레벨시작, 게임레벨 클리어, 게임레벨 재시작, 게임패배, 게임종료의 기본정보(액션이름, 발생시간)이다.

본 적용사례에서는 상기 게임플레이 정보를, [Table 1]과 같은 기본정보 형식으로, 수집하기 위한 측정데이터 수집 모듈을 구현하였다.

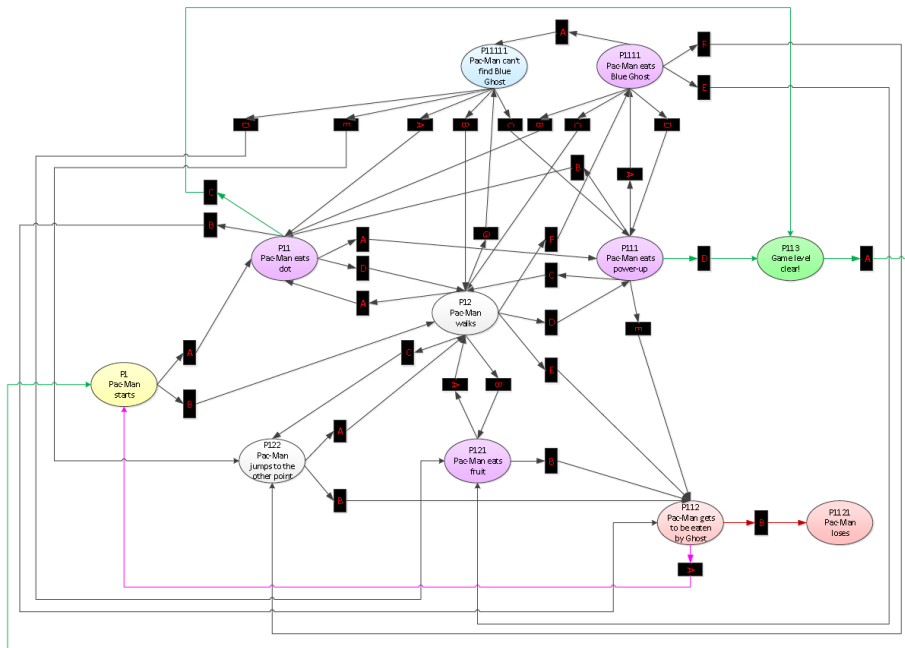
#### 4.2 게임플레이의 Petri Net 모델

[Table 2] Place ID and Its Description

| Place ID | Description                      |
|----------|----------------------------------|
| p1       | Pacman Start                     |
| p11      | Pacman eats dot                  |
| p12      | Pacman walks                     |
| p111     | Pacman eats Power-up             |
| p112     | Pacman gets to be eaten by Ghost |
| p113     | Game level is clear              |
| p121     | Pacman eats fruit                |
| p122     | Pacman jumps to the other point  |
| p1111    | Pacman eats blue Ghost           |
| p1121    | Pacman loses                     |
| p11111   | Pacman can't find blue Ghost     |

본 사례에서 사용된 Petri net 모델은 GpenSIM Ver. 4.0 도구에서 게임플레이의 측정데이터를 사용하여 게임플레이의 시뮬레이션이 가능하도록 모델이 제작되었고 Petri net 모델은, [Fig. 4]와 같다.

사용된 Petri net 모델은 게임플레이의 액션 상

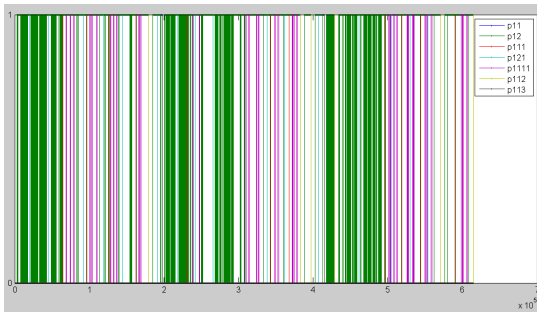


[Fig. 4] The Petri Net Model of Gameplay on Pacman

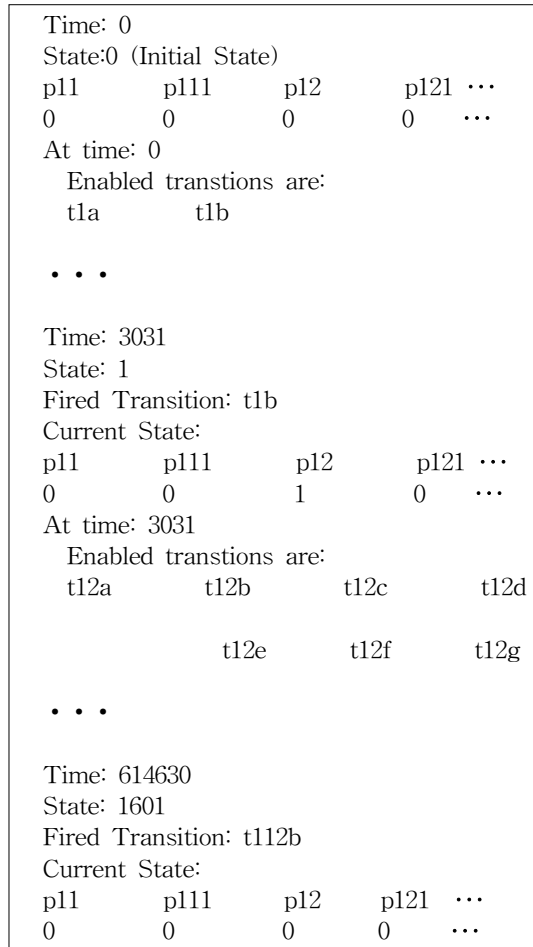
태들을 나타내는 11개 place들을 갖고 있다. 각 place id는, 편리성을 위해, 전후 연결방향에 따라 id 자리수를 하나씩 증가시키면서 부여하였으며 각 place에 대한 id와 게임플레이 상태의 설명은 [Table 2]와 같다. 그리고 관련 transition들은 Pacman 게임의 게임플레이 흐름과 조건에 맞추어 부여하였다. Transition id는 place id를 부여하는 방식과 동일한 방식으로 부여하였다.

위 [Fig. 4]에서 제시된 Petri net 모델의 동작은 다음과 같다. 먼저 초기에 token은 place p1(이름 'Pacman Start')에 배치되어있다. 그리고 게임플레이 측정 데이터의 액션이름과 발생시간을 맞추어 token은 해당 transition이 firing되어 화살표로 연결된 다음 place로 이동을 하고 그 다음 순서의 액션 이름과 발생시간에 맞추어 그 token은 해당 transition이 firing되어 화살표로 연결된 다음 place로 이동을 한다. 이러한 과정이 계속 반복되다가 token이 place p1121(이름 'Pacman loses')으로 이동되면 모든 firing이 종료된다.

### 4.3 게임플레이 시뮬레이션결과



[Fig. 5] The Graph for the Token Distribution of Places on Time



[Fig. 6] Outputs of the State Space of the Petri Net Model of Gameplay on Pacman.

본 사례연구에서 이루어진 팩맨 게임플레이 액션 패턴의 분석은 시간적 측면의 시뮬레이션 결과와 구조적 측면의 시뮬레이션 결과를 제시하였다.

시간적 측면의 시뮬레이션 결과는, [Fig. 5]와 같이, 시간별 place의 token 분포 그래프와, [Fig. 6]과 같은 시간별 액션상태 흐름 내역을 얻을 수 있다.

시간적 측면의 시뮬레이션 결과를 통해, 유저가 게임플레이를 진행시간에 따라 어떤 액션(예: 이동, dot 먹기)패턴을 선택했는지 추적할 수 있고 게임플레이 동안의 액션의 사용 빈도율을 알 수 있다.

예를 들면, [Fig. 5]의 시뮬레이션 결과에서는

이동액션과 dot 먹기 액션을 번갈아 사용하는 패턴이 가장 많이 나타났다. 또한 [Fig. 6]의 결과를 보면 ‘이동’ 액션(place p12)의 사용 빈도율이 가장 높고 그 다음은 ‘dot 먹기’ 액션(place p11)의 사용 빈도율이, 그 다음은 ‘Blue Ghost 먹기’ 액션의 사용빈도율의 순서로 되어 있고 이들 3가지의 게임플레이 액션이 사용빈도율의 60%이상을 차지하는 것으로 나타났다. 사용 빈도율이 높은 액션들은 관련 메카닉스와 인터페이스 구현에 신중해야 함을 의미한다.

구조적 측면의 시뮬레이션 결과는, Fig.7과 같이, 액션 상태의 도달성(coverbility)과 각 place의 token 수의 boundness를 알 수 있다. 또한 특정 액션 상태의 reachability와 모델의 liveness 여부도 판단할 수 있다. [Fig. 7]의 경우는 게임플레이의 모든 액션 상태들이 reachable하고 모델의 liveness를 갖는다.

예를 들면, [Fig. 7]에 나타난 시뮬레이션 결과는 유저가 모든 가능한 액션들을 사용한 게임플레이란 것을 알 수 있다. 만약 어떤 유저가 보너스 과일을 먹지 않고 게임플레이를 했다면, 과일을 먹는 액션은 시뮬레이션 결과에 나타나지 않을 것이다. 혹은 특정한 액션이 유저들에게 공통적으로 나타나지 않는 경우는 그 원인(예: 유저가 사용하기 불편하거나 필요가 없음)을 찾아내어 게임을 보완해야 한다.

|                                 |     |     |      |
|---------------------------------|-----|-----|------|
| state:1 ROOT node               |     |     |      |
| p1                              | p11 | ... | p122 |
| 1                               | 0   | ... | 0    |
| state:2 Firing event: t1a       |     |     |      |
| p1                              | p11 | ... | p122 |
| 0                               | 1   | ... | 0    |
| Node type: ' ' Parent state: 1  |     |     |      |
| state:3 Firing event: t1b       |     |     |      |
| p1                              | p11 | ... | p122 |
| 0                               | 0   | ... | 0    |
| Node type: ' ' Parent state: 1  |     |     |      |
| ...                             |     |     |      |
| state:37 Firing event: t11111e  |     |     |      |
| p1                              | p11 | ... | p122 |
| 0                               | 0   | ... | 1    |
| Node type: 'D' Parent state: 14 |     |     |      |
| Boundedness:                    |     |     |      |
| p1                              | : 1 |     |      |
| p11                             | : 1 |     |      |
| p111                            | : 1 |     |      |
| p1111                           | : 1 |     |      |
| p11111                          | : 1 |     |      |
| p112                            | : 1 |     |      |
| p1121                           | : 1 |     |      |
| p113                            | : 1 |     |      |
| p12                             | : 1 |     |      |
| p121                            | : 1 |     |      |
| p122                            | : 1 |     |      |

[Fig. 7] Outputs of the Coverbility Tree of the Petri Net Model of Gameplay on Pacman.

## 5. 결 론

유저가 경험하는 컴퓨터게임의 재미(또는 몰입) 수준은 개인적인 게임플레이의 성향과 능력에 영향을 받는다. 특히 캐주얼 게임의 대중화로 인해 다

양한 유저들의 게임플레이의 성향과 능력을 고려해서 게임이 개발되어야 할 필요성이 높아졌다.

본 논문에서는 Petri net 모델을 통한 유저의 게임플레이 액션 패턴의 분석 방법을 제안하였다.

제안하는 방법은 실제 게임과 동일한 동작 타이밍과 패턴을 반영한 시뮬레이션 환경을 구축하기 위해 측정된 게임플레이 액션의 타이밍과 패턴들을 Petri net 모델에 반영하였다. 또한 게임플레이 환경을 Petri net 모델로 모델링하기 때문에 다양한 Petri net 모델 분석 기능들 즉 reachability, coverbilty, liveness 등을 사용하여 분석할 수 있다.

본 연구에서는 제안한 방법의 적용사례로 GPenSIM 도구를 사용하여 Pacman 게임의 유저의 게임플레이 액션 패턴의 분석을 위한 시뮬레이션의 결과들을 제시하였다. 제시한 결과들은 게임플레이 액션 패턴의 시간적 측면과 구조적 측면의 시뮬레이션 결과들이다.

시간적 측면의 시뮬레이션 결과를 통해 진행시간에 따른 유저의 게임플레이 액션 패턴을 파악할 수 있었고 또한 게임플레이 액션들의 사용빈도율도 알 수 있었다. 그리고 구조적 측면의 시뮬레이션 결과를 통해 게임플레이 액션들의 reachability, coverbilty, boundness 등을 분석할 수 있었다.

적용사례의 시뮬레이션 결과는 제안하는 방법이 다양한 Petri net 분석 기능들을 이용하여 유저의 게임플레이의 액션 패턴을 다양하게 정량적으로 분석할 수 있음을 보여주었다.

## REFERENCE

[1] M. Csikszentmihalyi, Beyond Boredom and Anxiety. Jossey-Bass, 1975.  
 [2] R. Koster, A Theory of Fun for Game Design. Paraglyph Press, 2005  
 [3] Korea Creative Contents Agency, White Paper on Korean Games. Seoul, Korea Creative Contents Agency. 2014.  
 [4] P. Lankoski & S. Björk, et al., Game Research Methods: an Overview, ETC Press,

2015. [http://press.etc.cmu.edu/files/Game-Research-Methods\\_Lankoski-Bjork-et-al-web.pdf](http://press.etc.cmu.edu/files/Game-Research-Methods_Lankoski-Bjork-et-al-web.pdf)  
 [5] M. Araujo and L. Roque, "Modeling Games with Petri Nets," Digital Games Research Association (DiGRA) Conference, London UK, September 2009, <http://www.digra.org/dl/db/09287.37256.pdf>.  
 [6] G. W. de Oliveira, S. Julia, and L. M. S. Passos, "Game Modeling using Workflow Nets." in SMC. IEEE, 838-843, 2011.  
 [7] H. Chang, "An Implementation of the Game Mechanics Simulator", The KIPS Transaction: PartB, vol. 12B, no. 5, 595-606, 2005.  
 [8] C. Girault and R. Valk, "Petri Nets for System Engineering: a Guide to Modeling, Verification, and Application", Springer, 2002.  
 [9] T. Murata. Petri Nets: Properties, Analysis and Applications. Proceedings of the IEEE, 77(4):541 - 580, April 1989.  
 [10] Homepage of Petri Net Tools and Software: <http://www.informatik.uni-hamburg.de/TGI/PetriNets/tools/>  
 [11] Homepage of GpenSIM ver. 4.0: <http://www.davidrajuh.net/gpensim/>  
 [12] Pacman Tutorial Download: <http://gmc.yoyogames.com/index.php?showtopic=493044>



장 희 동(Chang, Hee Dong)

1987-1997 한국전자통신연구원 영상통신연구실  
선임연구원  
1998-2002 숭의여자대학 컴퓨터게임과 조교수  
2003- 호서대학교 게임공학과 부교수

관심분야 : 교육용게임 디자인, 디지털게임 디자인,  
게임 메카닉스 디자인