

# 페트리 넷을 이용한 하이퍼미디어 시나리오 수행 시간 예측

임재걸<sup>†</sup> · 이계영<sup>††</sup>

## 요 약

본 논문은 하이퍼미디어 시나리오 수행 시간 예측 방법을 제안한다. 제안된 방법은 하이퍼미디어 시나리오의 흐름을 확률분포표를 갖는 페트리 넷(Petri Net with probability Distribution Table: PNDT)\*으로 모델링하고, PNDT 모델에서 시나리오 진행을 몬테칼로 방법을 적용하여 시뮬레이션함으로써 시나리오의 시작부터 종료에 이르기까지의 소요 시간을 계산한다.

시나리오 수행 시간은 정보제공자와 사용자 모두에게 귀중하게 사용된다. 사용자는 이를 참조하여 시간 사용 계획을 세울 수 있고, 정보제공자는 이를 참조하여 사용자에게 가장 효율적인 감상 스케줄을 작성하여 줄 수 있다. 그럼에도 불구하고, 지금까지 하이퍼미디어 시나리오 수행 시간을 예측하는 방법에 대한 연구는 전무하다.

## Estimation of the Time to Execute A Hypermedia Scenario Using Petri Net

Jaegel Yim<sup>†</sup> · Gyeyoung Lee<sup>††</sup>

### ABSTRACT

This paper proposes a method to estimate the time to execute a hypermedia scenario. The method builds a PNDT(Petri Net with probability Distribution Table) model for the flow of the scenario, then performs Monte Carlo Simulation on the PNDT model to estimate the execution time from the start to the end of the scenario.

The estimated times to execute scenarios are useful to both information providers and users. A user can make a better time plan referring to them, and an information provider can make the most efficient scenario-presentation schedule for users referring to them. However, no research results regarding this subject have been reported yet.

### 1. 서 론

본 논문은 하이퍼미디어 시나리오 수행 시간 예측

방법을 제안한다. 하이퍼미디어란 정보의 형태가 멀티미디어로, 멀티미디어 정보는 노드 단위로 저장되며, 관계있는 노드들이 링크에 의하여 연결되어 있는 것을 의미한다[1, 2]. 멀티미디어를 직역하면 "다수의 정보 매체"가 되며, 정보를 표현하기 위하여 문자는 물론, 소리, 그림, 동영상, 비디오, 사진, 음악 등의 여러 매체를 동원한 것을 의미한다. 또한 관계있는 노드들이 링크로 연결되었다는 것은 어떤 노드를 읽다가(멀티미디어

\* 이 논문은 1997년 한국학술진흥재단의 공모과제 연구비에 의하여 연구되었음.

† 중산회원 : 동국대학교 전산정보학부(경주캠퍼스)

†† 정회원 : 동국대학교 전산정보학부

논문접수 : 1997년 8월 27일, 심사완료 : 1998년 4월 2일

어 정보이므로 "읽다"라는 단어 대신 "감상"이라는 단어를 사용하는 것이 적당 할.) 좀 더 자세히 알고 싶은 부분(단어, 그림의 일부, 단추 등이 될 수 있음)이 있을 때에 그 부분을 선택하면 그것을 설명하는 노트가 즉각 출력되는 것을 뜻한다. 근래에 하이퍼미디어의 사용이 급격히 늘어가고 있으며, 가장 대표적인 예로 인터넷의 웹브라우저[3]를 들 수 있다.

〈표 1〉 시나리오 수행 시간의 사용 예.  
 (Table 1) An example use of times required for finishing scenarios

	명찰 탐색에 소요되는 사용자 유형별 평균 시간			
	고등학생	대학생 비전공	대학생 전공	일반인
불국사	70분	60분	120분	80분
법주사	20분	20분	40분	20분
통도사	50분	45분	90분	45분
운문사	30분	30분	60분	30분
직지사	40분	35분	80분	35분
동화사	15분	10분	30분	15분

하이퍼미디어 정보를 제공할 때, 예를들면 인터넷 홈페이지를 작성하여 정보를 공개할 때, 정보를 주제별로 체계화하고, 각 주제에 대하여 섭렵하는 데 걸리는 예측 시간을 사용자에게 알려 준다면, 사용자는 이를 바탕으로 나름 대로의 시간계획을 작성할 수 있다. 예를 들어, 사찰에 흥미있는 사용자에게 표 1과 같은 자료는 사용자가 본인의 사용 가능한 시간을 고려하여 알맞은 시나리오를 선택하는 데 도움을 준다.

나아가서, 정보 제공자는 본인이 제공하는 정보가 어떤 정보들인지 충분히 이해하고 있음으로, 정보 감상에 필요한 시간을 주제별로 예측 할 수 있다면, 이를 바탕으로 가장 효율적인 프레젠테이션 스케줄을 능동적으로 작성할 수 있다. 이러한 스케줄은 정보 검색자가 앞으로 접근할 정보를 미리 예상하여 대기시켜 줌으로써 접근 속도를 향상시키는 데 사용될 수도 있다. 본 논문이 제안하는 하이퍼미디어 정보 감상 시간 예측 방법은 이러한 의미에서 중요한 가치가 있다고 하겠다.

## 2. 기존의 연구

인터넷을 비롯한 여러 곳에서 하이퍼 미디어 시스템이 사용되고, 하이퍼 미디어 시나리오 수행 시간의 예

측이 하이퍼 미디어 시스템 개선에 도움을 줄 잠재력을 갖고 있음에도 불구하고, 이를 예측하는 방법에 관한 연구 결과는 아직 발표된 바가 전혀 없다.

다만, 본 논문이 제안하는 시간 예측 방법이 페트리넷을 사용 함으로 관련된 연구들을 살펴 보면 다음과 같다. 우선 페트리넷이 소개된지 오래 되었음으로, 독자들은 페트리넷[4, 5]의 기본 개념과 용어에 대하여 익숙하다고 가정한다. 페트리넷을 기반으로 하는 시스템 시간 모델링 방법에 관한 연구로 Timed Petri net[6], Time Petri net[7], Time arc Petri net[8], Time stream Petri net[9], Hierarchical time stream Petri net[10], TFPN[11], 등을 들 수 있다. Timed Petri net model에서는 데이터 접근 시간이 한 개의 숫자로 표현되어야 하는데 반하여 실제 현상에서는 데이터 접근 시간에 편차가 있음으로 Timed Petri net는 하이퍼미디어 모델링 수단으로 적당하지 못하다. Time Petri net에서는 시간의 구간을 트랜지션(transition)에 명시하여 시스템의 시간적 성질을 모델링하는 데, 이 경우에는 전체 데이터 접근 시간이 시간을 더 많이 소모하는 데이터 접근 시나리오에 의하여 언제나 결정된다. Timed arc Petri net의 경우에는 위 두 가지 단점은 극복하였지만 두 가지 데이터 접근 시나리오가 소모하는 시간의 차이가 클 경우에 시뮬레이션의 진행이 불가능하게 되는 경우가 발생한다. 끝으로 [9, 10, 11]은 이들 세가지 단점을 극복하였지만, 이들의 연구 목적은 멀티미디어 동기화임으로, 시나리오 감상에 필요한 전체 시간을 구하는 방안에 대한 언급은 전혀 없다.

몬테칼로 시뮬레이션 방법은 실세계와 비슷한 환경에서 추출한 샘플(sample)의 확률분포를 사용하여 실세계의 현상을 분석하는 방법으로, 현재 널리 사용되는 GPSS[12]나 SLAMII[13]와 같은 모든 시뮬레이션 도구들이 이 방법을 사용한다.

본 논문이 제안하는 방법은 하이퍼미디어 시나리오의 흐름을 페트리넷으로 표현하고, 각 단위 데이터 접근 시간의 확률분포를 샘플로부터 구하여, 시뮬레이션 단계에서 몬테칼로 방법으로 전체 데이터 접근 시간을 통계적으로 계산한다. 각 링크의 선택률도 또한 통계적으로 구하여 사용한다. 본 논문에서 사용하는 페트리넷은 위에서 언급한 많은 페트리넷으로부터 영감을 받아 고안되었으며, 단위 데이터 감상에 소요되는 시간의 확률 분포표를 사용함으로 PNDT(Petri Net with

probability Distribution Table)라고 일컫는다.

### 3. 확률분포표를 갖는 패트리넷의 정의

확률분포표를 갖는 패트리넷의 기본 아이디어는 하이퍼 미디어 시나리오의 흐름을 패트리 넷 구조로 나타내고, 각 단위 데이터에 감상 시간의 확률 분포를 매핑시켜 시나리오의 진행에 따라 소요되는 시간을 몬테칼로 시뮬레이션으로 계산하는 것이다.

하이퍼 미디어는 링크로 연결된 멀티미디어이다. 멀티미디어 화면을 보다가 링크를 선택하면 이 링크와 연결된 멀티미디어가 화면에 나타남으로써 하이퍼 미디어 시나리오가 진행된다. 링크된 화면은 이미 브라우징되었던 화면일 수도 있고, 사용자 선택이 없을 때 나타나는 디폴트 화면일 수도 있다[1].

이러한 하이퍼미디어 시나리오 진행을 PNDT에서는 화면 정보는 플레이스(place)로, 화면에 연결된 링크의 선택은 트랜지션(transition)으로, 그리고 이들간의 관계는 유향간선(arc)으로 나타낸다. 그러면 각 화면을 구성하는 멀티미디어 정보는 어떻게 나타낼 것인가? 이를 위하여 화면의 멀티미디어 정보의 흐름만 나타내는 멀티미디어 패트리넷(MPN)을 고안하여 사용한다. 즉, PNDT의 화면 정보를 나타내는 플레이스는 한 개의 MPN과 매핑된다. 그러므로 본 절에서는 먼저 MPN을 정의한 다음, PNDT를 정의한다.

#### 3.1. 멀티미디어 패트리넷(MPN)의 정의

본 절에서는 멀티미디어 시스템에서 정보 감상에 필요한 시간을 예측하는 방법을 제안한다. 제안된 방법은 정보 감상에 관련된 단위 데이터들 간의 출력 순서 내지는 동기성 관계를 패트리넷으로 표현하고, 출력에 소요되는 시간을 관찰에 의한 확률 분포표[14]로 작성하며, 소요 시간 예측치를 난수를 이용하여 생성하는 몬테칼로 시뮬레이션 방법을 패트리넷에 적용함으로써 멀티미디어 정보 감상에 소요되는 전체 시간의 예측치를 계산한다.

임의의 단위 데이터 감상 시간 분포표의 예로 표 2를 들 수 있다. 이 표의 첫 번째 열은 "소요 시간"으로 감상에 소요되는 시간을, 둘째 칸 확률은 실험에서 해당 소요 시간이 발생된 확률, 셋째 칸 누적 확률은 확률의 누계를 보인다. 넷째 칸 난수는 시뮬레이션 단계

에서 0부터 99 사이의 난수가 어떤 소요 시간에 해당하는지 보여준다. 즉, 난수 50을 생성하면 표2의 난수 열에서 50이 소속되는 행이 25-74이므로 소요 시간을 6.0으로 한다.

〈표 2〉 확률분포표의 예.  
(Table 2) An example of Probability Distribution Table.

소요 시간	확률(%)	누적확률(%)	난수
5.0	10	10	00-09
5.5	15	25	10-24
6.0	50	75	25-74
6.5	15	90	75-89
7.0	10	100	90-99

이러한 확률분포표는 주어진 단위 데이터의 출력 소요시간의 분포함수를 미리 알고 있을 때, 그 분포함수와 파라메타로 대체된다. 예를들어 어떤 데이터의 출력 소요 시간이 정규분포한다면 표준정규 분포표, 평균, 표준편차로 표2와 같은 분포표를 만들어 사용한다. MPN 모델에서 플레이스는 단위 데이터의 출력을 나타내고, 트랜지션은 이 출력의 종류와 더불어 다른 출력과의 동기화를 나타내므로, 플레이스와 트랜지션을 잇는 간선에 단위 데이터 출력에 소요되는 시간의 확률분포표를 매핑하는 것이 자연스럽다. 트랜지션은 입력 플레이스들과 매핑되는 단위 데이터들의 출력을 종로하고 다음 화면으로 넘어가는 것을 나타내며, 그 시점은 다음과 같은 다섯가지 진행정책으로 결정된다:

OR: 현재 화면을 구성하는 데이터들이 모두 서로 독립적이며, 각 데이터의 출력이 모두 종료되었을 때 다음 화면으로 넘어간다.

AND: 현재 화면을 구성하는 데이터들이 모두 비슷한 내용이며, 그 중 한 개만 출력이 끝나면 다음 화면으로 넘어간다.

MASTER: 현재 화면을 구성하는 데이터 중에서 가장 중요한 단위 데이터가 한 개 있고 나머지는 이에 종속적이며, 이것의 출력이 종료될 때 다음 화면으로 넘어간다.

EX-OR: 종속적인 몇 개의 데이터를 제외하고 나머지가 모두 끝난 후 다음 화면으로 넘어간다.

EX-AND: 나머지 중 아무것이나 한 개가 끝나면 다음으로 넘어간다.

이들 진행 정책을 그림 1을 통하여 살펴보자. 우선

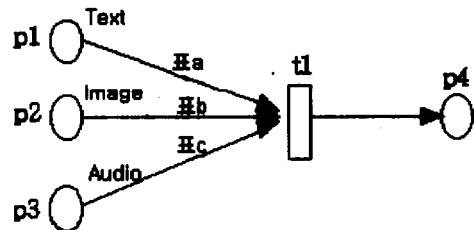
(p1, t1), (p2, t1), (p3, t1)의 label인 표a, 표b, 표c들은 각각 표 2와 같은 형태의 해당 데이터 감상에 소요되는 시간의 분포표이다. 더 나아가 난수를 생성하여 구한 소요 시간이 각각 6, 7, 8 이라고 하자. 트랜지션 t1의 진행 정책이 AND이면 6단위 시간에 t1은 격발하고, 트랜지션 t1의 진행 정책이 OR이면 8단위 시간에 격발한다. 진행 정책이 EX-AND이고 지정된 플레이스가 p1이라면 p1을 제외한 나머지의 최소값인 7 단위 시간에 t1이 격발하고, 진행 정책이 EX-OR이고 지정된 플레이스가 p1이라면 p1을 제외한 나머지의 최대값인 8 단위 시간에 t1이 격발된다. 트랜지션 t1의 진행 정책이 MASTER이고 MASTER로 지정된 플레이스가 p2라면 p2의 출력 시간인 7 단위 시간에 t1이 격발한다. 이러한 트랜지션 격발 정책은 모델링 과정에서 실제 정보의 출력 상황에 맞추어 결정된다.

페트리넷의 토큰은 까만 점이고, 고급 페트리넷(16) (High level Petri net: Colored Petri net 혹은 Predicate/transition net)의 토큰은 주어진 집합의 원소이다. 제안된 페트리넷의 토큰은 멀티미디어 정보 감상에서 토큰이 위치한 지점까지 소요된 시간을 나타냄으로, 최초 시작 플레이스의 토큰은 0이며, 격발이 진행되면 점점 더 큰 수의 토큰이 생성된다.

지금까지의 설명에서 트랜지션의 격발이라는 용어가 이미 사용되었다. 기존 페트리넷과의 차이점을 중심으로 제안된 페트리넷의 트랜지션 격발 규칙을 설명하면 다음과 같다. 마킹 M<sub>i</sub>에서 p<sub>i</sub>에 토큰이 놓여 있으면 p<sub>i</sub>의 출력간선 (p<sub>i</sub>, t<sub>j</sub>)는 enabled 되었다고 한다. Enabled된 간선 (p<sub>i</sub>, t<sub>j</sub>)는 난수를 생성하고, 연합된 소요 시간 분포표에서 난수에 해당하는 소요 시간을 찾아낸다. 이것을 간선 (p<sub>i</sub>, t<sub>j</sub>)의 "소요시간"이라 한다. 트랜지션 t<sub>j</sub>는 모든 입력간선 (p<sub>i</sub>, t<sub>j</sub>)가 enabled 되었을 때 enabled되며, Enabled된 트랜지션 t<sub>j</sub>는 격발한다. 트랜지션 격발은 먼저 새로운 토큰을 생성한다. 새로운 토큰은 모든 입력 플레이스 p<sub>i</sub>에 대하여 "p<sub>i</sub>의 토큰 + (p<sub>i</sub>, t<sub>j</sub>)의 소요시간"에 진행 정책을 적용하여 구한다. 여기에서 소요시간은 항상 양수임으로 새로운 토큰은 기존 토큰보다 큰 값이 된다.

예를 들어 그림 1에서 p1, p2, p3의 토큰이 각각 1, 2, 3이라 하고, (p1, t1), (p2, t1), (p3, t1)의 "소요시간"이 각각 5, 6, 7이라 하며, t1의 진행 정책이 OR라고 한다면, 격발 t1은 1+5, 2+6, 3+7 중 최대값인 10을 새로운 토큰으로 생성하고, p1, p2, p3, p4

에 있는 기존의 토큰을 모두 삭제한 다음, 토큰 10을 출력 플레이스인 p4에 놓는다.



(그림 1) 동기화 정책을 설명하기 위한 간단한 넷. (Fig. 1) An example net for explanation of synchronization strategies.

제안된 페트리넷, MPN의 정의는 다음과 같다.

MPN=(P, T, B, F, M0, IM, SYN)로 정의된다. 여기에서,

(P, T, B, F, M0)은 Petri net을 정의한다. 단 초기마킹 M0은 시작 플레이스에 real number token을 놓는다.

$A = \{a_i = (p_i, t_i) \mid B(p_i, t_i) > 0\}$ 이고 D는 분포표의 집합일 때, IM은 A에서 D로 가는 함수(IM: A → D)이고, IM(a<sub>i</sub> = (p<sub>i</sub>, t<sub>i</sub>))는 p<sub>i</sub>에 해당하는 데이터의 출력시간 확률분포표임.

SYN은 트랜지션에서 {AND, OR, EX-AND, EX-OR, MASTER}로 가는 함수이며 SYN(t<sub>j</sub>)는 t<sub>j</sub>의 진행 정책이다.

초기 마킹으로부터 도달 가능한 마킹들의 집합을 R(M0)이라 하며, 초기 마킹으로부터 격발 가능한 트랜지션들을 격발하여 감으로써 얻을 수 있다.

MPN의 격발 규칙은 앞에서 설명한 바와 같다.

### 3.2 확률분포를 갖는 페트리넷(PNDT)

본 절에서는 앞 절에서 소개된 MPN을 확장하여 하이퍼미디어 시나리오를 모델링하는 도구로 PNDT를 소개하고, 이를 이용하여 정보 감상에 필요한 시간을 예측하는 방법을 제안한다. 일단 PNDT 모델이 구축되면 멀티미디어의 경우와 마찬가지로 몬테칼로 시뮬레이션 방법을 적용하여 시간을 예측 할 수 있도록 한다.

하이퍼미디어 정보 시스템은 여러(수많은) 장의 화면 구성 멀티미디어 정보와 이들 화면 간의 연결 관계

를 나타내는 연결 정보로 구성된다. 화면 구성 정보는 여러 개의 단위 정보로 구성되고, 단위 정보의 일부는 다른 화면 구성 정보와 연결되어 있을 수 있다. 그래서 정보 사용자가 이러한 부분을 선택하면 연결된 화면 구성 정보가 출력된다.

하이퍼미디어 시스템을 화면 구성 정보와 연결 정보로 분리하면 화면 구성 정보는 멀티미디어 정보가 됨으로 앞 절에서 다른 MPN을 사용하여 모델링 할 수 있게 된다. 연결 정보는 사용자가 선택하면 현재 화면을 무조건 중단하고 선택된 화면 정보를 대신 출력한다. 이때, 선택 될 수 있는 화면의 수는 여러 개인 경우가 보통이고, 각 화면에 대한 선택 확률 분포와 선택을 결정하는 동안 경과하는 시간의 확률분포를 구할 수 있다.

하이퍼미디어 정보 감상의 흐름을 화면 구성 정보와 연결 정보라는 말을 사용하여 묘사하면 다음과 같다. 정보 감상을 시작하면, 화면 구성 정보나 연결 정보, 혹은 이들 두 가지 모두가 화면에 나타난다. 사용자가 화면 구성 정보를 감상하다가 연결 정보를 사용하여 다른 화면, 예를 들어 화면 2를 선택하면, 화면 2를 선택한 상태를 거쳐 곧 선택된 화면 2가 출력되고 이것의 감상이 시작된다. 만일 사용자가 오랫동안 연결 정보를 선택하지 않으면 시스템이 설정한 다음 화면으로 자동적으로 넘어간다. 하이퍼미디어 감상은 이러한 과정이 감상의 종료가 선택될 때까지 반복되는 것이다.

이러한 정보 감상을 나타내는 PNDT는 연결 정보 플레이스(PL)와 화면 정보 플레이스(PA)로 한 개의 화면을 나타낸다. 연결 정보 플레이스는 다음 화면으로 점프하여 진행하는 것을 표현하므로 연결된 화면의 수 만큼 출력 트랜지션을 갖게 되고, 또한 이들 출력 트랜지션의 master 역할을 한다. 한편 화면 정보 플레이스는 화면 정보의 흐름을 추상적으로 나타내는 플레이스로서 일련의 멀티미디어 정보 감상을 한 개의 플레이스로 표현한 것이다. 또한 PNDT는 하이퍼미디어 시나리오의 시작, 종료, 혹은 특정 화면이 선택된 상태 등의 순간적(transitive)인 상태를 나타내는 플레이어(P)를 필요로 한다.

시나리오의 진행, 즉, 새로운 화면의 선택은 트랜지션으로 나타낸다. 앞에서 언급한 바와 같이, 새로운 화면은 사용자의 선택, 디폴트, 혹은 순간적인 상태에 따라서 결정됨으로 트랜지션도 TS(선택), TD(디폴트), TT로 구분된다. 앞에서 언급한 바와 같은 하이퍼미디어 시나리오의 진행 특성상 TS, TD, TT의 진행 전략

은 각각 "master LinkP(where LinkP∈PL)", "master Screen<sub>i</sub>(where Screen<sub>i</sub>∈PA)", "master p<sub>i</sub>(where p<sub>i</sub>∈PT)"이다.

시뮬레이션은 시작 플레이스에 토큰 0을 놓음으로써 시작된다. 시작 플레이스는 순차적인 상태를 나타내는 플레이스임으로, 이 토큰은 곧 첫 번째 화면 정보 플레이스(s<sub>1</sub>)와 연결플레이스(L<sub>1</sub>)로 옮겨간다. L<sub>1</sub>에 토큰이 놓이면, L<sub>1</sub>에 매핑된 선택 확률분포표를 사용하여 몬테칼로 방법으로 다음 화면 선택을 시뮬레이션한다. 즉, 격발될 트랜지션을 선택한다. 선택된 트랜지션이 디폴트(선택이 없는...)이면 s<sub>1</sub>에 매핑된 MPN의 시뮬레이션 결과를 출력 플레이어의 새로운 토큰으로 한다. 만일 선택된 트랜지션(t<sub>1</sub>)이 디폴트가 아니면, 즉 "...클릭..."이라고 레이블 되어 있으면, s<sub>1</sub>에 매핑된 MPN내의 모든 토큰을 소거하고, 유향간선 (L<sub>1</sub>, t<sub>1</sub>)에 매핑된 확률분포표로부터 경과 시간을 산출하여 출력 장소의 토큰으로 놓는다. 이러한 PNDT를 정의하면 다음과 같다.

PNDT = (P, T, A, DT, SYN, MPN, fP, fT, fSYN, fMPN), where

P = PT U PA U PL

PT: Transitive 플레이어의 유한 집합. (PNDT의 그림 표현에서는 원으로 표현된다.)

PA: 추상 플레이어의 유한 집합. (PNDT의 그림 표현에서는 내부가 칠해진 원으로 표현된다.)

PL: 링크 플레이어의 유한 집합. (PNDT의 그림 표현에서는 원으로 표현된다. 출력 감상의 이름이 "Link..."로 시작되는 특징이 있다.)

T = TSUTDUTT where

TS: "...클릭(선택)..." 이름이 붙은 트랜지션.

TD: "...선택없는..." 이름이 붙은 트랜지션.

TT: "..." 이름이 붙은 트랜지션. (이름이 붙은 플레이어 하나가 한 개이며, 그것의 PT의 원소인 트랜지션.

트랜지션은 PNDT의 그림 표현에서 box나 bar로 그려지고, 진행 전략을 나타낸다.

SYN = (P×T U T×P)의 부분집합.

MPN은 확률분포이며, 다음 곱집합의 부분집합이다: integer × real in (0, 1) × real in (0, 1) × integer in (0, 99). DT의 행은 4개의 요소로 구성된다. 첫 번째 요소는 class interval의 중심값, 두 번째 요소는 첫 번째 요소가 소요시간으로 발생하는 확률, 세 번째 요소는 두 번째 요소의 누적치, 네 번째 요소는 세 번째 요소의 범위에 속하는 난수의 범위이다.

$SYN = MASTER \times PA \cup MASTER \times PL.$

PNDT에서 트랜지션의 진행 전략은 모두 MASTER임.

MPN: 3.1 절에서 정의한 페트리넷의 집합.

$fP: PL \rightarrow DT,$  where  $fP(Link\_place_i)$

=  $Link\_place_i$ 에 매핑된 링크들의 선택 확률 분포표.

$fT: (PL \times T) \rightarrow DT,$  where  $fT((Link\_place_i, t_i)) = t_i$ 를 선택 할 때까지 걸리는 소요 시간의 확률 분포표.

$fSYN: T \rightarrow SYN,$  where

$fSYN(t_i) = \text{"MASTER LinkP"}$  if  $t_i \in TS$  이고 연결 플레이스 LinkP가  $t_i$ 의 입력 플레이스이면,

=  $\text{"MASTER Screen}_i$ " if  $t_i \in TD$  이고 화면 플레이스  $Screen_i$ 가  $t_i$ 의 입력이면,

=  $\text{"MASTER } p_i$ " if  $t_i \in TT$ 이고  $p_i$ 가  $t_i$ 의 입력플레이스이면.

fMPN:  $PA \rightarrow MPN.$  주어진 추상 플레이스가 나타내는 멀티미디어 시나리오의 MPN 모델을 값으로 하는 함수.

PNDT의 토큰도 역시 실수이며, 토큰이 놓인 플레이스에 이르기까지의 경과 시간을 나타낸다. 각 플레이스에 어떤 토큰이 놓여 있는지를 보이는 벡터를 마킹이라 한다. 그러므로 초기 마킹은 시작 플레이스에만 '0' 토큰을 갖는다. 시나리오의 진행을 시뮬레이션 하는 것이 트랜지션의 역할이다. PNDT의 트랜지션  $t_i$ 는 다음과 같은 규칙을 따라 격발한다.

1. 만일  $t_i \in TT$ 이면, MPN의 격발 규칙을 따른다.
2.  $t_i \in TT$ 가 아니고 PL의 원소인  $Link\_p_i$ 가  $t_i$ 의 입력 플레이스이면  $fP(Link\_p_i)$ 를 이용하여 격발될 트랜지션  $t_j$ 를 결정한다.
  - 2.1. If  $t_j \in TS$ 이면,  $(Link\_p_i, t_j)$ 에 매핑된 확률 분포표를 이용하여 경과 시간  $time_{t_j}$ 를 구하고,  $Link\_p_i + time_{t_j}$ 를 새로운 토큰으로 한다. 또한  $fMPN(Link\_p_i)$  내의 모든 토큰들을 소거한다.
  - 2.2. If  $t_j \in TD$  이면, PA의 원소인  $t_j$ 의 입력 플레이스  $p_j$ 를 찾아,  $fMPN(p_j)$ 의 시작 플레이스에  $p_j$ 의 토큰을 놓고  $fMPN(p_j)$ 로부터 경과 시간  $time_{t_j}$ 를 산출하여 이것을 새로운 토큰으로 한다.

2.3.  $t_j$ 의 입력 플레이스와 출력 플레이스의 토큰들을 소거하고, 새로운 토큰을  $t_j$ 의 출력 플레이스에 놓는다.

#### 4. PNDT의 사용 예.

불국사 다보탑을 소개하는 하이퍼미디어 감상을 예로 들어, 소요 시간을 예측하여 보자. 이것의 감상이 시작되면 다보탑의 화면 구성 정보가 출력된다. 화면은 좌상, 우상, 좌하, 우하, 등 4개의 frame으로 구분된다. 좌상 frame에는 다보탑의 전경이 출력되는 데, 여러 각도에서 잡힌 다보탑의 전경이 차례로 출력되어 다보탑이 서서히 돌아가고 있는 듯이 보인다. 우상 frame에는 다보탑을 설명하는 표3과 같은 텍스트가 출력된다. 좌하 frame에는 "자세히 보고 싶은 곳을 마우스로 클릭하세요."라는 연결 정보에 대한 안내문이 쓰이고, 우하 frame에는 "EXIT" 버튼이 출력된다. 좌하 frame의 연결 정보 안내문이 설명하는 바와 같이 좌상

<표 3> 불국사 다보탑을 설명하는 텍스트[15]의 일부  
<Table 3> A part of the text[15] explaining Da-Bo Pagoda at Bul-Guk Temple.

국보 제 20호. 경상북도 경주시 소재. 전고 10.4m, 기단폭 4.4m, 화강석이 재료임. 통일신라 서기 8세기 중엽에 만들어 짐.

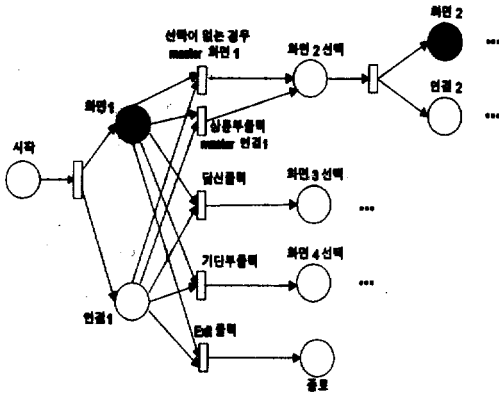
... 중략 ...

기단부는 사방에 보계를 마련하였는바 보계에는 난간을 가설했던 석주가 남아있다. 그 위는 사우와 중앙에 방형석주를 세우고 교차되는 받침을 엮어 갑석을 받고 있다. 이 기단에는 원래 사우에 석사자를 배치하였으나 지금은 일구 만이 유존한다.

갑석 위에는 방형 난간 속에 팔각 신부를 두었으며 다시 팔각 갑석을 덮고 팔각 난간을 둘러 다음 그 안에 여덟 개의 축철형 석주를 둘러 팔각 연화석을 받치고 있다. 연화석 위에는 여덟 개의 주두 모양의 받침으로 팔각 옥개석을 받고 있다.

상륜부는 팔각 노반, 복발, 양화, 보륜, 보개가 거의 완전하다.

... 후략 ...



(그림 2) 다보탑 하이퍼미디어 시나리오의 페트리넷 모델의 일부.  
 (Fig. 2) A part of the Petri net model of Da-Bo pagoda's hypermedia scenario.

frame에 보이는 다보탑 전경은 사용자가 마우스를 클릭하는 위치에 따라, 기단부, 탑신, 상륜부 각각을 더욱 자세히 설명하는 화면으로 점프하도록 이미지 맵에 출력된다.

본 화면을 구성하는 정보는 이와 같은 화면에 출력되는 데이터 이외에 가상 frame의 텍스트를 낭독하는 소리 데이터도 포함한다. 소리 데이터 출력에서 표 3의 "기단부는 ..."부터 "... 완전하다"까지는 동기화에 주의하여야 한다. 왜냐하면 "기단부는 ... 유존한다"를 소리로 출력하는 동안에는 좌하 frame에 연결 정보 안내 대신에 다보탑의 기단부 이미지를 "... 유존한다."라고 읽기를 마칠 때까지 출력하고, 다음 "감석 위에는 ... 받고 있다."를 읽을 동안에는 다보탑의 탑신 부분이 좌

하 frame에 출력되며, 그 다음 문장을 읽는 동안에는 상륜부가 출력된다.

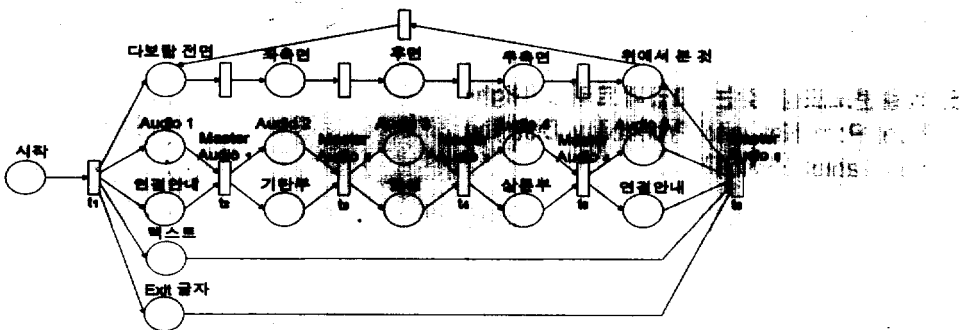
사용자가 "EXIT"를 선택하면 즉시 감상을 종료하며, 가상 frame에 있는 다보탑의 어느 부분을 클릭하면 해당 부분을 자세히 설명하는 화면으로 즉시 점프한다. 이러한 하이퍼미디어 시나리오의 PNDT 모델은 그림 2와 같다.

그림 2에서 플레이스 "화면1"과 "연결1"은 다보탑 정보가 화면 구성 정보와 연결 정보로 구성되어 있음을 나타낸다. "화면1"은 그림3과 같은 멀티미디어 감상으로 대체될 수 있다. 그림3은 앞에서 설명한 감상 시나리오를 그대로 반영한다. 그림2의 화면1과 연결1은 각각 다섯 개의 출력 트랜지션을 갖는다. 그 중 네 개(상륜부 클릭, ... EXIT 클릭)는 사용자가 다음 화면을 선택하여 진행되어 가는 것을 나타내며, 이때에는 화면 구성 정보의 출력이 얼마만큼 진행되었는지 간에 즉시 중단하고 점프하여야 함으로 플레이스 "연결1"이 master로 되어 있다.

비전공 대학생들로부터 얻은 그림2 PNDT에 사용되는 확률분포표는 다음과 같다. 다음에 보이는 확률분포표 외에도 (연결1, 탑신클릭), (연결1, 기단부클릭), 등에 매핑된 확률분포표들이 있지만 생략한다.

(시작,  $t_1$ )의 소요시간 확률분포표

소요시간	확률	누적확률	단수
0	100	100	0-99



(그림 3) 다보탑 시나리오 중 첫 번째 화면 구성 정보의 페트리넷 모델.  
 (Fig. 3) A Petri net model of the first screen information of the Da-Bo Pagoda scenario.

플레이스 연결1의 선택확률 분포표

선택의 종류	확률	누적확률	난수
선택이 없는 경우	50	50	0-49
상관부 클릭	30	80	50-79
탐신 클릭	10	90	80-89
기단부 클릭	10	100	90-99
Exit 클릭	0	100	100-

(연결1, 상관부 클릭)의 소요시간 확률분포표

소요시간	확률	누적확률	난수
82	5	5	0-4
86	20	25	5-24
90	40	65	25-64
94	25	90	65-89
98	10	100	90-99

그림3의 MPT에 사용되는 확률분포표는 다음과 같은 것이 있다. 다음에 나열된 확률분포표 이외에도 (Audio2, t<sub>3</sub>), (Audio3, t<sub>4</sub>), (Audio4, t<sub>5</sub>), (Audio5, t<sub>6</sub>), 등에 연결된 확률분포표가 있지만 생략한다.

(Audio1, t<sub>2</sub>)의 소요시간 확률분포표

소요시간	확률	누적확률	난수
38	5	5	0-4
40	22	27	5-26
42	40	67	27-66
44	20	87	67-86
46	13	100	87-99

이를 이용하여 시뮬레이션 1,000회를 실시한 결과 다보탐 하이퍼미디어 수행시간으로 평균 532초, 표준편차 26초를 얻었다.

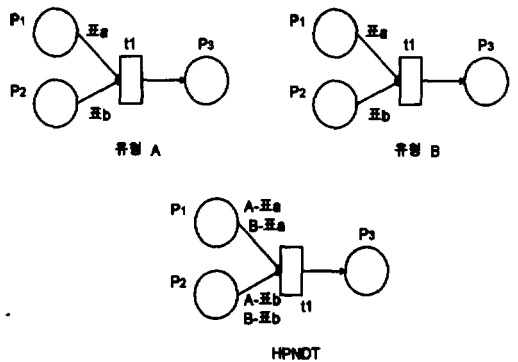
**5. 확률분포표를 갖는 고급페트리넷(High-level Petri Net with Probability Distribution Table: HPNDT)**

본 절에서는 3절에 소개된 PNDT를 고급 페트리넷의 아이디어를 가미하여 확장하는 방법에 대하여 논한다. 고급 페트리넷(16)은 토큰에 color가 있다는 것이 보통 페트리넷과 다르다. Color는 상수의 집합이다. 여기서 상수라는 것은 페트리넷이 적용되는 실제 세계

에 나타나는 개체들을 일컫는다. 예를 들어 멀티미디어 데이터 베이스 시스템의 페트리넷 모델에서 사용자를 토큰으로 나타낸다면 사용자 개개인이 Color 집합의 원소가 될 수 있다. 이때 사용자 개개인을 토큰으로 하면 color 집합이 너무 비대해 질뿐만 아니라, 개개인의 특성을 반영하는 모델을 구축하는 것이 불가능하므로 사용자 유형을 color의 원소로 할 수도 있다. 예를 들어, 어린이, 중학생, 고등학생, 대학생, 어른, 전문가 ... 등이 color의 원소가 될 수 있다.

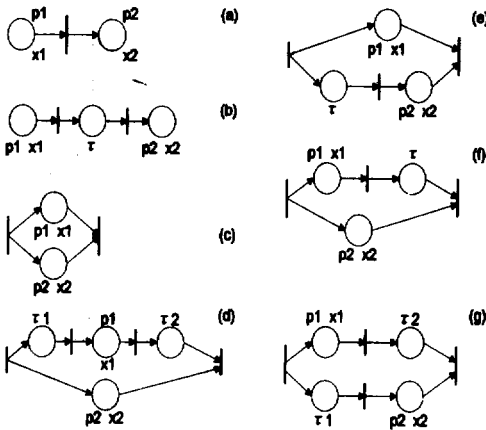
같은 하이퍼미디어 시나리오라도 사용자 유형에 따라 진행 속도가 각각 다르다. 3절에 소개된 PNDT에서는 사용자를 하나의 집단으로 생각하여 모델을 구축하였으므로 사용자를 이와 같이 여러 유형으로 구분하게 되면 각 유형에 대하여 한 개씩의 모델을 구축하여야 유형별 시나리오 감상 시간 예측치를 구할 수 있게 된다. 유형별 PNDT들을 비교하면 서로 다른 것은 단지 확률분포표 뿐이라는 것을 알 수 있다. 이와 같이 유형별로 구축된 PNDT를 모두 포개어 HPNDT를 만들 수 있다. 이때, 서로 동일한 것은 한 개만 남기고 서로 다른 것은 모두 나타낸다. 그러면 HPNDT에는 한 개의 간선에 여러 개의 확률분포표가 매핑되게 된다. 그러므로 각각의 확률분포표가 어떤 유형의 것인지 표시하여야 한다.

이와 같이 HPNDT를 구성하는 과정을 예를 들어 설명하면, 그림 4의 유형 A에 대한 PNDT와 유형 B에 대한 PNDT는 확률분포표 표a와 표b를 제외하곤 서로 동일하다. 이들 두 개의 PNDT를 포개면 그래프



(그림 4) 유형 A에 대한 PNDT와 유형 B에 대한 PNDT를 포개어 HPNDT를 만든 예.  
(Fig. 4) An example HPNDT resulting from folding two PNDTs, one for type A and the other for type B.





(그림 5) OCPN에 사용된 동기화를 위한 기본 구조.  
(Fig. 5) Basic OCPN structures for modeling synchronization strategies.

가 동일하고 확률분포에 유형이 tag로 붙어 있는 HPNDT가 생성된다.

HPNDT의 토큰도 역시 경과 시간을 나타내는 실수라는 점에서 PNDT의 경우와 동일하다. 다만 HPNDT의 경우에는 문제의 토큰이 어느 유형을 나타내는 지를 표시하기 위하여 유형과 결합되어 있어야 한다. 즉, HPNDT의 토큰은 유형과 실수의 순서쌍이다. 격발은 토큰의 유형별로 해당 확률분포표를 사용한다는 것을 제외하고 PNDT와 동일하다.

### 5. PNDT의 성질

제안된 PNDT는 다음과 같은 성질이 있다. 첫째, PNDT는 OCPN(6)의 동기화 구조를 모두 다룰 수 있다. Object Composition Petri Net를 의미하는 OCPN은 그림 5에 보이는 일곱 가지 기본 구조를 이용하여 모든 멀티미디어 동기화 전략을 모델링할 수 있다. 여기서  $r$ 는 시간 지연을 의미하고  $x$ 는 동기화 지연 시간을 의미한다. 예를 들어 그림 5(a)의 구조에서 토큰이 p1에서 출력의 시작을 한 뒤,  $r$ 시간이 경과하면 p2에서 출력의 시작한다는 것을 나타낸다.

OCPN의 기본 구조를 PNDT로 변환하는 방법은 간단하다. (a)의 구조를 PNDT로 표현하려면  $x1$ 만을 유일한 "소요 시간"으로 하는 확률분포표를 사용하면 된다. (c)의 구조를 PNDT로 표현하려면 (a)의 경우와 같이 확률분포표를 사용하고, 출력 트랜지션의 레이블

로 "AND"를 사용하면 된다. 나머지 구조의 경우에는  $r$ 를 이웃 플레이스의  $x$ 에 합하면서  $r$ 가 대칭된 플레이스를 삭제하여 (a)나 (c)의 구조로 변화시킨 뒤, 위에 언급된 방법을 사용하면 된다. OCPN은 각 데이터 출력의 동기화를 목적으로 하였기 때문에 출력 시작 시점이 중요하지만 본 논문이 제안하는 PNDT는 시나리오를 마치는 데 걸리는 경과 시간을 구하는 것이 목적이므로 이와 같은 방법으로  $r$ 를 제거하여도 경과 시간에는 변화가 없다.

다음에는 자명한 성질 몇 가지를 정리한다. 둘째, 시나리오의 시작을 나타내는 PNDT의 시작 플레이스는 유일하다. 시나리오를 마치는 데 걸리는 시간을 무분위 위한 시물레이션은 이 시작 플레이스에 0 토큰을 놓음으로써 시작된다.

셋째, 시나리오를 마치는 데 걸리는 시간은 시물레이션 결과 끝(exit) 플레이스에 놓인 토큰으로 알 수 있다.

넷째, "MASTER..."라고 레이블된 트랜지션의 격발 결과는 MASTER 플레이스의 토큰에 의하여 결정된다. 이 성질을 이용하면 시물레이션의 속도를 증가시킬 수 있다.

다섯째, 싸이클에 속한 플레이스는 싸이클에 속하지 않은 트랜지션의 격발에 영향을 주면 안된다. 만일 그렇지 않으면 무한대 토큰이 생성될 수 있기 때문이다.

여섯째, PNDT 모델은 safe하여야 한다. 어떤 Place에 놓일 토큰은 그 플레이스에 대칭된 데이터가 출력 중임을 나타냄으로 임의의 플레이스에 허용되는 토큰의 수는 최대 한 개이다. 그러므로, 시나리오의 PNDT 모델이 이러한 성질을 만족하는 지 검사하여 주어야 한다.

### 6. 결 론

본 논문은 하이퍼미디어 시나리오 감상에 소요되는 시간을 예측하는 방법을 제안하였다. 제안된 방법은 하이퍼미디어 시나리오를 확률분포표를 갖는 페트리넷(Petri Net)을 이용하여 모델링하고, PNDT 모델링에 따른 시나리오 수행을 바탕으로 시나리오 진행을 시물레이션하여 시나리오를 종료할 때까지의 소요 시간을 예측한다.

하이퍼미디어를 화면구성(노드) 정보와 링크 정보로 분리하여 생각함으로써 하이퍼미디어 시나리오의 PNDT 모델 구축은 가능하게 되었다. 하이퍼미디어의 화면 구성 정보는 그 자체가 일련의 멀티미디어 시나리오이다. 본 논문에는 멀티미디어 시나리오를 종료할 때까지 소

요되는 시간을 예측하는 방법으로 멀티미디어 페트리넷(MPN)을 사용하는 방법 또한 소개되었다.

이와 같이 산출된 하이퍼미디어 정보 감상에 소요되는 시간의 예측치는 사용자 자신이 적당한 시간 사용 계획을 세우는 데 사용될 수 있을 뿐만 아니라, 사용자가 관심 있어 하는 주제를 파악하여 가장 효율적인 정보 감상 스케줄을 정보제공자가 능동적으로 작성하여 주는 데에도 사용될 수 있다.

향후 연구 계획은 본 연구 결과를 역방향으로 진행하는 것이다. 본 연구는 하이퍼미디어 시나리오를 페트리넷으로 모델링하고 분석하는 방향으로 진행되었는데 반하여 향후 연구는 페트리넷으로 정의된 시나리오를 하이퍼미디어 시스템으로 자동 구현하는 방법에 대하여 연구한다.

### 참 고 문 헌

[1] 김현기, 김연중, 이희주, 장재우, "하이퍼미디어 응용을 위한 구조정보관리 시스템의 구현," 정보과학회논문지 C, Vol. 3, No. 2, 1997 4월, pp. 127-138

[2] 김현기, 장기진, 장재우, "Dexter 하이퍼텍스트 참조 모델에 기반한 하이퍼미디어 브라우저의 설계 및 구현," 정보과학회논문지 C, Vol. 1, No. 1, 1995년 9월, pp. 54-64.

[3] 김충석, *Internet 인터넷 이해와 활용*, reading, 이한출판사, 1997년 2월.

[4] T. Murata, "Petri Nets: Properties, Analysis and Applications," *Proceedings of the IEEE*, Vol 77, No 4, April 1989.

[5] 이 동익, "페트리넷 이론의 기초," 정보처리 (한국정보처리학회 학회지), Vol. 2, No. 2, pp. 76-84, 1995년 6월.

[6] T. Little, A. Ghafor, "Synchronization and Storage Models for Multimedia Objects," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 8, (3), April 1990.

[7] P. Merlin, "A Study of the Recoverability of Computer Systems," Thesis, Computer Science Dept., University of California, Irvine, 1974.

[8] B. Walter, "Timed Petri Nets for Modeling and Analysing Protocols with Time," *Proc. of the IFIP Conf on Protocol Specification,*

*Testing and Verification, III*, 1983, North Holland, H. Rudin & C. West eds.

[9] M. Diaz, P. Senac, "Time Stream Petri Nets: A Model for Timed Multimedia Information," *Application and Theory of Petri nets 1994*, June, 1994, pp. 219-238. Springer-Verlag, Robert Valette eds.

[10] P. Senac, P. de Saqui-Sannes, R. Willrich, "Hierarchical Time Stream Petri Net: A Model for Hypermedia Systems," *Application and Theory of Petri nets 1995*, June, 1995, pp. 451-470. Springer-Verlag, M. Diaz eds.

[11] Sang-Shin Yoo, Wha-Seong Lee, Duck-Jin Kim, "Transition Function Petri Net Model for Multimedia Synchronization Specification," *Journal of Electrical Engineering and Information Science*, A Joint Publication of KIEE, KITE, KISS, KICS, KEES, KIISC, and IEEE Korea, Vol. 1, No. 4, pp. 1-8, Dec. 1996.

[12] J. Chisman, *Introduction to Simulation Modeling Using GPSS/PC*, Reading, Prentice-Hall, 1992.

[13] A. Pritsker, *Introduction to Simulation and SLAM II*, System Publishing Corporation, 1986.

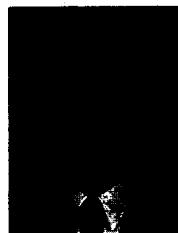
[14] R. C. Weimer, *Statistics*, Reading, Wm. c. Brown Publishers, 1993.

[15] 문교부 문화재 관리국, *문화재대관 국보편*, 1967년 9월.

[16] K. Jensen, "Coloured Petri nets," *Lecture Notes in Computer Science* Vol. 254. Springer-Verlag, 1987, pp. 248-299.

### 임 재 걸

1974년 인천교육대학 졸업  
 1981년 동국대학교 전자계산학과 졸업(학사)  
 1987년 석사, 1990년 박사: University of Illinois at Chiacago, Dept. of Electrical Engineering and Computer Science



1974년~79년 초등학교사

1981년~81년 경제기획원 조사통계국 전산처리사

1991년~82년 현대전자

1992년~현재 동국대학교 전자계산학과(경주 캠퍼스)

부교수

관심분야: 패트리 넷 응용, 인공지능, 멀티미디어

## 이 계 영

1980년 동국대학교 전자계산학과  
졸업

1983년 동국대학교 전자계산학과  
공학석사 학위 취득

1992년 단국대학교 전자공학과  
(컴퓨터 전공) 공학박사  
학위 취득

1996년~1997년 Washinton State University 방문  
교수

1985년~현재 동국대학교 전산정보학부 교수

관심분야: 음성 처리, 자연어 처리, 멀티미디어 등임