

# 멀티미디어 페트리 넷의 분석 방법

임재걸\*

\*동국대학교 컴퓨터학과

e-mail:yim@wonhyo.dongguk.ac.kr

## Methods to Analyze a Multimedia Petri Net

Gil-Dong Hong\*, Cheol-Soo Kim\*\*, Young-Hee Lee\*

\*Dept of Computer Science, Han-Kook University

\*\*Dept of Computer Engineering, Dae-sung University

### 요약

본 논문은 멀티미디어 페트리 넷을 분석하는 방법을 제공한다. 멀티미디어 시나리오의 결정적으로 진행되는 멀티미디어 페트리 넷은 마크드그래프라야 한다. 또한, 멀티미디어 시나리오의 시작 화면에서 시작하여 멀티미디어를 구성하는 모든 화면을 차례로 출력하고 종료 화면에서 끝나야 함으로 멀티미디어 페트리 넷은 Start place에만 하나의 토큰이 놓인 상태에서 격발을 진행하면 모든 트랜지션을 꼭 한번씩 격발한 다음 End place에만 꼭 하나의 토큰이 놓인 상태에 도달하는 성질이 있다. 본 논문은 이러한 성질들을 바탕으로 멀티미디어 시나리오의 무결성을 검사하는 데 도움을 줄 수 있는 멀티미디어 페트리 넷의 분석 방법을 제공한다.

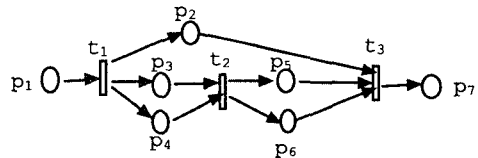
### 1. 서론

멀티미디어 시스템의 페트리넷 모형은 [1]에 최초로 소개되었는데, 여기에서는 멀티미디어 출력 데이터에 대한 동기화 전략이 집중적으로 다루어져 있다. [1]에서는 환경에 따라 발생할 수 있는 데이터 출력 시작 시각과 출력 시간의 차이를 고려하지 않고, 모든 시각과 시간을 정확한 숫자로 표현한다. 즉, 어떤 데이터를 2초 이후에 출력을 시작한다든지, 2초 동안 출력한다든지 하는 등의 정확한 숫자를 사용한다. 실제의 출력에 있어서는 환경에 따라 시간의 오차가 발생하게 되는데, 이러한 오차를 가미하여 모델링의 유연성을 향상시키는 연구가 [2,3]에서 소개되었으며, 모델링 대상을 멀티미디어에서 하이퍼미디어로 확장시킨 것이 [4]에 소개되었다. 동기화 현상을 모델하는 것으로 만족하지 않고, 번역기에 의하여 해석되고 실제 재생될 수 있는 페트리넷으로 MPN(Multimedia Petri Net)이라는 것이 참고문헌 [5]에 소개되었으며, MPN을 해석하고 상연하는 시나리오 재생기의 구현까지도 소개되었다. [5]에 소개된 재생기는 플레이 도중에 정지, 빨리가기, 되감기, 빨리되감기 등의 기능도 갖는다. 본 논문은 MPN을 분석하는 방법을 소개한다.

### 2. MPN의 정의

시나리오를 페트리넷으로 표현할 때 데이터는 플레

이스(place)에, 시나리오의 흐름은 트랜지션(transition)으로 표현하는 것이 자연스럽다. 따라서 MPN의 플레이스는 플레이스 식별자(Place\_id), 플레이스가 나타내는 멀티미디어의 유형(Multimedia type: Start, End, Bitmap, Avi, Wave, MiDi, MPeg, Time 등의 유형이 있음), 데이터가 출력될 윈도우의 위치(Window position), 윈도우의 크기(Window size), 데이터를 찾기 위한 경로(path), 등의 정보를 갖고 있으며, 트랜지션은 식별자(Transition\_id)와 동기화 전략(Synchronization strategy)에 대한 정보를 갖고 있다.



(그림 1) MPN의 예.  
(Fig. 1) An example MPN

Multimedia type에서 Start, End, Time은 각각 시나리오의 시작, 종료, 휴지시간을 나타낸다. 휴지시간은 어떤 데이터의 출력을 일정 시간이 경과한 다음부터 시작하는 것을 명시하기 위하여 사용된다. 지

면이 부족하여 MPN에 대한 자세한 내용은 생략한다. 참고문헌 [5]를 참조하기 바란다.

간단한 멀티미디어 시나리오로 화면 1에서는 발갈이 도구 중의 쟁기를, 화면 2에서는 씨레를 설명하고, 쟁기와 씨레에 대한 설명과는 독립적으로 화면 1부터 2에 걸쳐 소를 몰고 발갈이하는 동영상을 화면 위 부분에 계속 출력함으로써 발갈이하는 모습을 전체적으로 보여주는 시나리오를 MPN으로 나타내면 (그림 1)과 같이 된다. (그림 1)의 원들에 대해서 좌에서 우로, 위에서 아래로  $p_1, p_2, \dots, p_7$ 이라고 하고, 같은 방법으로 트랜지션들은 왼쪽으로부터  $t_1, t_2, t_3$ 라고 임의로 지칭하자. Place  $p_1$ 은 시나리오의 시작(FMT( $p_1$ ) = Start)을 나타내고  $p_2$ 는 비디오를,  $p_3$ 와  $p_4$ 는 각각 쟁기 bmp와 wav를,  $p_5, p_6$ 는 각각 씨레 bmp와 wav를, 마지막으로  $p_7$ 은 시나리오의 종료(FMT( $p_7$ ) = End)를 나타낸다. Place  $p_2$ 의 비디오는  $p_3, \dots, p_6$ 의 데이터와는 비동기적으로 출력되고 시나리오의 진행에 아무런 영향을 주지 않으므로  $F_{sync}(t_3)=p_2, FEx(p_2)='Yes'$ 가 된다.

따라서, 트랜지션  $t_1$ 이 격발하면  $p_2, p_3, p_4$ 에 토큰이 놓여 비디오를 비롯한 쟁기 bmp와 wav 데이터가 동시에 출력하게 되고,  $t_3$ 의 동기화 전략에  $p_2$ 가 있기 때문에 출력과 함께 간선 ( $p_2, t_3$ )가 enabled된다. 그리고, 쟁기 bmp와 wav에 대한 출력이 모두 종료하면  $t_2$ 가 격발하여  $p_5$ 와  $p_6$ 에 토큰이 놓이게 되고, 이에 따라 씨레 bmp와 wav 데이터가 출력을 시작하게 되며, 이들의 출력이 종료하면  $t_3$ 가 격발하

	$p_1$	$p_2$	$p_3$	$p_4$	$p_5$	$p_6$	$p_7$
$t_1$	1						
$t_2$			1	1			
$t_3$		1			1	1	

(a) B Matrix

	$p_1$	$p_2$	$p_3$	$p_4$	$p_5$	$p_6$	$p_7$
$t_1$		1	1	1			
$t_2$					1	1	
$t_3$							1

(b) F Matrix

(그림 2) 그림 1의 B matrix와 F matrix  
(Fig. 2) B matrix and F matrix of Fig. 1

여 End인  $p_7$ 에 토큰이 놓여 종료하게 된다.

페트리넷의 간선 정보는 Backward incidence matrix B와 Forward incidence matrix F에 저장하며, B와 F는 모두  $n \times m$  ( $n$ 는 트랜지션의 수,  $m$ 은 place의 수) 행렬이다. B의 일반행  $i$ -th 행,  $j$ -th 열의 엔트리  $B[i][j]$ 는  $p_j$ 에서  $t_i$ 로 나가는 간선의 수이고, F의 일반행  $F[i][j]$ 는  $t_i$ 에서  $p_j$ 로 들어오는 간선의 수이다. 예를 들어, (그림 1)에 보이는 MPN의 incidence matrix는 (그림 2)와 같다.

### 3. MPN의 성질

MPN을 입력으로 시나리오를 상영할 때에는, 트랜지션의 입력 place가 표현하는 데이터의 출력이 모두 종료되어야 트랜지션을 격발한다. 따라서, MPN의 무결성을 분석하려면 사용된 데이터와 하드웨어 장비들의 무결성을 검증하여야 하지만 이러한 것들은 사용자가 책임질 사항들이므로 여기에서는 이들

이 무결하다고 가정한다. 따라서, 원래의 MPN에서 FMT, FW\_Pos, FRECT, FPATH, 등 데이터와 관련된 사항들을 제외한, MPN의 기하학적 그래프만을 MPN이라 칭하고, 이것만을 분석 대상으로 한다.

지면이 부족하여 자세한 설명은 생략한다. MPN은 다음과 같은 성질이 있다.

성질1: 어떤 MPN에는 FMT( $p_i$ ) = Start 인 place (Start place),  $p_i$ 와 FMT( $p_j$ )=End (End place)인 place  $p_j$ 가 각각 꼭 하나씩 존재한다.

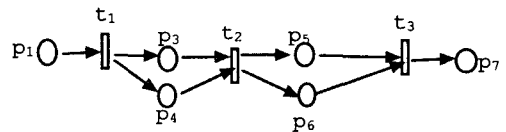
성질1의 검증 방법: 모든 MPN은 반드시 성질1을 만족해야 한다. 성질1을 만족하는지 검증하려면 모든 place들의 FMT 값을 살펴봐야 한다. FMT 값을 'Start'와 비교하고 또 'End'와 비교하는데 걸리는 시간은 상수시간임으로 성질1을 체크하는데 걸리는 시간은 place의 수  $m$ 에 비례한다.

멀티미디어 시나리오의 진행은 결정적이다. 따라서 다음 성질이 성립한다.

성질2: End place를 제외한 MPN의 모든 place  $p_i$ 는 유일한 출력 트랜지션을 가진다.

성질2의 검증 방법: B matrix의 정의에 의하여,  $B[i][j]$ 는  $p_j$ 에서  $t_i$ 로 나가는 간선의 수이다. 따라서, End place에 해당하는 열을 제외한, B Matrix의 모든 열에 1이 꼭 한 개씩 있어야 한다. 이 검증은 B matrix의 모든 항을 조사하여 1인지 비교해야 함으로  $n \times m$  시간이 걸린다.

MPN에서는 비동기적인 진행을 표시하기 위하여 트랜지션을 인수로 하는  $F_{syn}$ 이라는 함수를 사용한다. 이러한 place들을 모두 제거한 MPN의 격발 습성과 원래 MPN의 격발 습성은 동일하다. FEx 값이 'Yes'인 모든 place들을 제거하여 얻은 MPN을 '동기MPN'이라 한다. 그림1에 보이는 MPN에 대한 '동기MPN'은 그림3과 같다.



(그림 3) 그림1에 대한 '동기MPN'

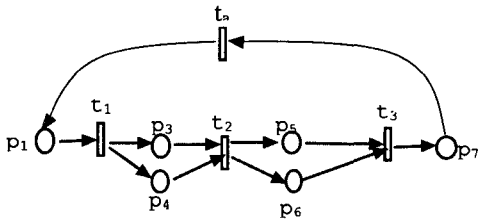
성질3: 주어진 MPN과 그 MPN의 '동기MPN'은 격발 습성이 동일하다.

성질4: Start place를 제외한 '동기MPN'의 모든 place  $p_i$ 는 유일한 입력 트랜지션을 가진다.

성질4의 검증방법: F matrix의 정의에 의하여,  $F[i][j]$ 는  $t_i$ 에서  $p_j$ 로 들어오는 간선의 수이다. 따라서, Start place에 해당하는 열을 제외한, F Matrix의 모든 열에 1이 꼭 한 개씩 있어야 한다. 이 검증은 F matrix의 모든 항을 조사하여 1인지 비교해야

함으로  $n \times m$  시간이 걸린다.

성질2와 4에 의하면 Start place와 End place를 제외한 모든 place는 입력간선과 출력간선이 꼭 한 개씩인 것을 알 수 있다. '동기 MPN'에 여벌의 트랜지션  $t_a$ 를 (그림 4)와 같이 가미한 그래프를 '가미 동기 MPN'이라고 한다. '가미 동기 MPN'은 마크드 그래프(marked graph: 이하 MG라 함) [6]이다.



(그림 4) (그림 3)에 대한 '가미 동기 MPN' MPN은 다음과 같은 성질을 가진다.

성질 5: Start place에만 하나의 토큰이 놓인 상태에서 격발을 진행하면 모든 트랜지션을 꼭 한번씩 격발한 다음 End place에만 꼭 하나의 토큰이 놓인 상태에 도달하게 된다.

성질5의 분석 방법: 트랜지션들에 순서를 지정하고, 각 트랜지션들의 격발 횟수를 이 순서에 따라 나열한 것을 '격발 횟수 벡터'라 한다. 트랜지션  $t_i$ 가 격발하면  $t_i$ 의 입력 place에서 토큰을 제거하고 출력 place에 토큰을 더 놓음으로 마킹이 변화한다. 이때 제거하는 토큰의 수는 B matrix에, 더 놓는 토큰의 수는 F matrix에 수록되어 있음을 알 수 있다. 이들 두 matrix를 하나로 모아 놓은 것을 incidence matrix A라고 하며  $A = F \text{ matrix} - B \text{ matrix}$ 로 정의된다. 예를 들어, (그림 4)에 보이는 MPN의 A matrix는 (그림5)에 보이는 바와 같다. A matrix의 각 행은 해당 트랜지션의 격발 결과 토큰이 어떻게 움직이지를 잘 나타낸다. 예를 들어,  $t_1$ 행은  $t_1$ 의 격발 결과  $p_1$ 에서 토큰이 하나 없어지고,  $p_3$ 와  $p_4$ 에 각각 하나씩의 토큰이 더하여지며, 나머지 place에는 변화가 없음을 나타낸다.

	$p_1$	$p_3$	$p_4$	$p_5$	$p_6$	$p_7$
$t_1$	-1	1	1			
$t_2$		-1	-1	1	1	
$t_3$				-1	-1	1
$t_a$	1					-1

(그림 5) (그림 4)에 보이는 MPN의 A matrix

따라서, 현재 마킹  $M_i$ 에서, '격발 횟수 벡터' F로 나타낼 수 있는 격발과정으로 도착하는 마킹  $M_j$ 를 A matrix를 이용하여 다음과 같이 식 (1)로 표현할 수 있다.

$$M_j = M_i + A^T \times F \text{ --- (1)}$$

성질5에서 모든 트랜지션을 꼭 한번씩 격발한다는

말에 트랜지션  $t_a$ 는 물론 포함되지 않는다. 따라서 '가미 동기 MPN'에서  $t_a$ 의 순서를 제일 마지막으로 하면 모든 트랜지션을 꼭 한번 격발하는 '격발횟수 벡터'는  $(1, \dots, 1, 0)$ 이 된다. 또한 Start place에만 토큰이 있는 마킹은  $(1, 0, 0, \dots, 0)$ 이고, End place에만 토큰이 있는 마킹은  $(0, 0, \dots, 0, 1)$ 이다. 따라서, 식 (1)에 의하여 MPN은 다음의 식 (2)를 반드시 만족한다. 즉, 주어진 MPN의 '가미 동기 MPN'의 A matrix가 식 (2)를 만족하지 않으면 MPN이 표현하는 시나리오에 오류가 있다고 결론을 내릴 수 있다.

$$\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} + A \begin{pmatrix} 1 \\ \vdots \\ \vdots \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} \text{ --- (2)}$$

다음에 보이는 바와 같이 (그림 4)는 식 (2)를 만족한다. 식 (2)를 만족하는 것은 성질5의 필요조건이다.

$$\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix}$$

정리1: 식 (2)는 성질5의 필요조건이다.

MPN은 격발횟수벡터  $(1, \dots, 1, 0)$ 이 나타내는 각 트랜지션의 격발 횟수만큼 각 트랜지션을 실제로 격발하는 것을 보장해야 한다. 현재 마킹에서 도달 가능한 어떤 마킹에서라도 트랜지션  $t_i$ 를 격발할 수 있는 격발과정이 존재하면 트랜지션  $t_i$ 는 '살아 있다'(live)라고 한다. MG는 각 place의 입력 간선과 출력 간선이 모두 유일함으로 어떤 순회(circuit)에 놓인 토큰의 수는 불변이다. 그래서, 어떤 순회에 초기 마킹에 의하여 놓인 토큰의 수가 0이면 그 순회상의 트랜지션은 결코 격발할 수가 없게된다. 역으로, 어떤 트랜지션이 격발 불가능하다면 토큰이 없는 place들을 역추적하여 토큰이 없는 순회를 만들 수 있다. 따라서, MG의 모든 트랜지션이 '살아있을' 필요충분 조건은 초기마킹이 모든 순회에 하나 이상의 토큰을 놓는 것이다.

정리 2: 성질5를 만족할 필요-충분 조건은 '가미 동기 MPN'의 모든 순회가 Start place와 End place를 포함하는 것이다.

<증명> (→) "성질5를 만족하면 '가미 동기 MPN'의 모든 순회가 Start place와 End place를 포함한다"를 모순법으로 증명하자. 즉, "성질5를 만족하고 Start place나 End place를 포함하지 않는 순회가 있다고 가정하자." 이 순회를  $t_1, p_1, t_2, p_2, \dots$ 라 하자. 그러면, 이 순회에는  $t_a$ 가 포함되지 않으며,

'가미 동기 MPN'은 MG이기 때문에 이 순회를 구성하는 트랜지션 중에 출력 간선의 수가 2 이상인  $t_1$ 와 입력 간선의 수가 2 이상인 트랜지션  $t_3$ 가 존재하고, 초기마킹에서 이 순회에 놓인 토큰의 수는 0 개다. 즉,  $t_3$ 는 격발이 불가능한 트랜지션이다. 그런데, 성질5는 모든 트랜지션을 한번씩 격발하다고 하였으므로 모순이다.

(←) '가미 동기 MPN'의 모든 순회가 Start place 와 End place를 포함하면, 성질 5 즉, 격발 회수 벡터  $(1, 1, \dots, 1, 0)$ 이 존재함을 증명하자. 모든 순회가 Start place와 End place를 포함하는 경로상에 사이클이 존재하지 않는다. 그러면, 모든 transition,  $t_i$ 에 대하여 Start place로부터의 유일한 거리,  $d_i$ 를 구할 수 있다. 이때, 거리가 같은 transition들은 다수 존재할 수 있다. 거리가 1인 transition들의 집합을  $L_1$ , 거리가 2인 transition들의 집합을  $L_2, \dots$ , 라고 하자.  $L_{i-1}$ 에 속한 transition들의 입력 place들은  $j < (i+1)$ 인 어떤  $j$ 에 대한  $L_j$ 에 속한 어떤 transition의 출력 place이다. 따라서,

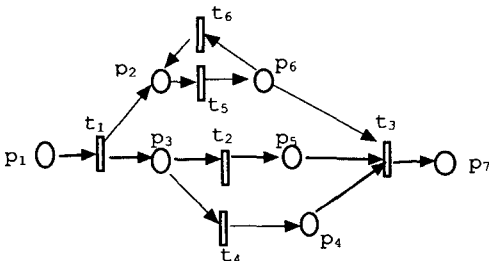
" $L_i$ 의 transition은  $L_j$ 의 transition이 fire하기 전에 fire할 수 없다." --- (보조정리 1)

MG의 '살아있을' 필요충분 조건에 의하여 모든 순회가 Start place와 End place를 포함하는 '가미동기 MPN'은 초기마킹  $(1, 0, \dots, 0)$ 에서 살아있다. --- (보조정리 2)

보조정리 1과 2에 의하여  $L_i$ 의 transition이 fire되기 전에  $L_j$ 의 transition들이 모두 몇 번인가는 fire한다는 것을 알 수 있다. 그런데 그 회수는 반드시 한번이다. 왜냐하면 그렇지 않으면 식2를 만족하지 못하기 때문이다. (A 행렬의 각 행에 1과 -1이 각각 정확히 한 개씩 들어 있기 때문에 격발회수 벡터의 항이 하나라고 다르면  $M_f$ 가  $(0, \dots, 0, 1)$ 이 되는데 실패한다. 예를 들어 격발회수 벡터로  $(1, 2, 1, 0)$ 을 식2에 대입하여  $M_f$ 를 구하여 보라.) #

4. 적용

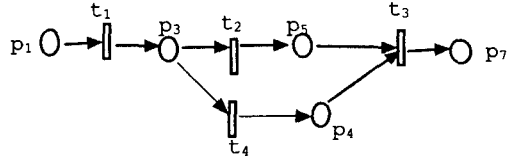
(그림 6)과 같이 표현되는 멀티미디어 시나리오가 있다고 하자.



(그림 6) 시나리오를 나타내는 임의의 MPN

순회  $p_2, t_5, p_6, t_6, p_2$ 가  $p_1$ 도  $p_7$ 도 포함하지 않으므로 무언가 잘못 되었음을 알 수 있다. 즉,  $F_{syn}(t_3) = \{p_6\}$ 임을 작성자가 소홀히 하지 않도록 경고할 수

있다. 작성자가  $FEx(p_2)='Yes'$ ,  $FEx(p_6)='Yes'$ 임을 명시하면 (그림 7)과 같은 '동기 MPN'을 만든다. 그리고, (그림 7)에서  $p_3$ 의 출력 간선이 두 개임으로 MPN에 오류가 있음을 지적한다.



(그림 7) (그림 6)의 동기 MPN

5. 결론

본 논문은 MPN의 분석 방법을 소개하였다. 특히, MPN의 모든 transition을 꼭 한번씩 격발하여 초기 마킹  $(1, 0, \dots, 0)$ 에서 목적마킹  $(0, \dots, 0, 1)$ 을 도달하기 위한 필요충분 조건은 모든 순회가 Start place 와 End place를 포함하는 것이라는 것을 증명하였다. 본 논문이 제공하는 정보는 멀티미디어 시나리오의 무결성을 검증하는데 도움을 준다.

MPN은 비동기 현상을 표현할 수 있다는 점에서 기존의 멀티미디어 관련 페트리넷보다 더 모델링 능력이 크다고 할 수 있다. 멀티미디어 시나리오를 MPN으로 모델링하고, 무결성 검증 단계를 거쳐 실제 멀티미디어 프로그램을 개발 및 검사하는 방법 소개는 지면 관계로 생략한다.

참고 문헌

- [1] T. Little, A. Ghafoor, "Synchronization and Storage Models for Multimedia Objects," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 8, (3), April, 1990.
- [2] M. Diaz, P. Senac, "Time Stream Petri Nets: a Model for Timed Multimedia Information," Application and Theory of Petri Nets 1994, Springer-Verlag, 1994, pp. 219-238.
- [3] S. Yoo, W. Lee, D. Kim, "Transition Function Petri Net Model for Multimedia Synchronization Specification," Journal of Electrical Engineering and Information Science Vol. 1, No. 4, Dec. 1996. pp. 1-8.
- [4] P. Senac et. al, "Hierarchical Time Stream Petri Net: a Model for Hypermedia Systems," Application and Theory of Petri Nets 1995, Springer-Verlag, 1995, pp. 451-470.
- [5] 임재걸, 한승협, 이계영, "페트리 넷 기반 멀티미디어 시나리오의 재생기를 위한 다양한 재생 방법 구현," 한국정보처리학회, 1998년 추계학술 발표대회, 1998년 10월 16-17일, 경희대학교 (수원캠퍼스), 논문집, pp. 201-204.
- [6] Tadao Murata, "Petri Nets: Properties, Analysis and Application," Proceedings of the IEEE, Vol. 77, No. 4, April 1989, pp. 541-580.