

생성시스템에서의 불충분한 사실로부터의 추론

- 페트리 넷을 사용한 접근

이홍렬

성공회대학교 멀티미디어시스템공학과

e-mail : hylee@mail.skhu.ac.kr

Reasoning with Insufficient Input Facts in Production Systems

- Petri Net Approach

Hong-Youl Lee

Dept. of Multimedia System Engineering, SungKongHoe University

요 약

이 논문에서는 생성시스템 규칙 조건부의 일부만 입력 사실로 주어저도 행동부를 실행하여 유용한 결과를 제시할 수 있는 방법을 제안한다. 규칙 또는 페트리 넷의 변이(transition)의 격발(firing) 규칙을 개선하여 고안된 이 방법은 퍼지 추론이 추구하였지만 이루지 못한 불확실, 불충분한 조건을 통한 결론 도출이라는 과제의 매우 실용적인 해답이 될 것이다.

1. 서론

생성시스템(production system: PS)이란 **조건-행동**(condition-action) 쌍으로 이루어진 생성 규칙(production rules, 단순히 production 이라고도 한다)을 기반으로 한다. 생성시스템은 생성규칙들의 집합인 **규칙 데이터베이스**(rule base), 일종의 특수용도 버퍼 같은 자료구조인 **컨텍스트**(context), 시스템의 동작을 제어하는 **해석기**(interpreter)의 세 부분으로 이루어진다[1]. 규칙 베이스를 페트리 넷[2]으로 모델링 하여 규칙의 실행 과정을 시뮬레이션 하는 시도는 생성 시스템의 초기부터 최근의 퍼지페트리 넷 적용에 이르기 까지 꾸준히 있어왔다[3-9].

하지만 거의 대부분의 연구들이 실제 문제 해결에는 관계없는 망 이론이나 퍼지 추론의 적용을 넘어 서지 못했다. [3],[8],[9]에서 규칙 베이스의 무결성 검증이 시도되었지만 수학적 증명에 치우치거나 추상적인 오류 검출에 그쳐 현실 적용과는 거리가 멀었다. 퍼지 페트리 넷 적용 사례[5,6,7]들도 퍼지 추론 이론을 단순하고 추상적인 예에 적용한 수준에 그쳐 현실적 가치는 미미하였다.

이 논문에서는 비록 규칙의 조건부의 일부만 입력 사실로 주어저도 행동부를 실행하여 유용한 결과를 제시할 수 있는 방법을 제안한다. 규칙 또는 페트리 넷의 변이(transition)의 격발(firing) 규칙을 개선하여 고안된 이 방법은 퍼지 추론이 추구하였지만 이루지 못한 불확실, 불충분한 조건을 통한 결론 도출이라는 과제의 매우 실용적인 해답이 될 것이다.

1. 생성시스템의 한 예와 그에 대한 페트리 넷 모델

간단하지만 현실적인 생성시스템의 예로서 다음의 동물 분류시스템을 들 수 있다.

- P1. IF it has *hair* THEN it is a *mammal*
- P2. IF it *gives milk* THEN it is a *mammal*
- P3. IF has *feathers* THEN it is a *bird*
- P4. IF it *flies* AND it *lays egg* THEN it is a *bird*
- P5. IF it is a *mammal* AND it *eats meat* THEN it is a *carnivore*
- P6. IF it is a *mammal* AND it has *pointed teeth* AND it has *claws* AND its *eyes point forward* THEN it is a *carnivore*
- P7. IF it is a *mammal* AND it has *hoofs* THEN it is an *ungulate*
- P8. IF it is a *mammal* AND it *chews cud* THEN it is an *ungulate* AND it is *even-toed*
- P9. IF it is a *carnivore* AND it has a *tawny color* AND it has *dark spots* THEN it is a *cheetah*
- P10. IF it is a *carnivore* AND it has a *tawny color* AND it has *black stripes* THEN it is a *tiger*
- P11. P10. IF it is an *ungulate* AND it has *long legs* AND it has a *long neck* AND it has a *tawny color* AND it has *dark spots* THEN it is a *giraffe*
- P12. IF it is an *ungulate* AND it has a *white color* AND it has *black stripes* THEN it is a *zebra*
- P13. IF it is a *bird* AND it does *not flies* AND it has *long legs* AND it has a *long neck* THEN it is an *ostrich*
- P14. IF it is a *bird* AND it does *not flies* AND it *swims* AND it is *black and white* THEN it is a *penguin*
- P15. IF it is a *bird* AND it is a *good flier* THEN it is an *albatross*

이 규칙 베이스의 페트리 넷 모델을 (그림 1)에 보였다. 그림에서 일부 입력 장소(place)에 있는 검은 점은 검은 입력으로 주어진 사실에 해당하는 토르른을 뜻하며, 규칙의 실행은 변이(transition)의 격발(firing)로 시뮬레이션 된다. 또 “flies”장소를 P13 변이로 연결하는 점선으로 된 간선은 억제자(inhibitor) 간선을 뜻한다. 여기서 한 변이가 격발될 조건은 모든 입력 장소에 토르른이 있어야 함이다. 또 격발후의 토르른 분포 변화는 입력 장소의 토르른 변화가 없고 출력 장소에 토르른(1개)이 새로 생성된다. 어느 장소에나 토르른은 하나만 존재하며, 간선에는 가중치가 작용하지 않는다는 이 격발 규칙은 대부분의 생성시스템의 페트리 넷 모델이 따르는 방법이다[6].

2. 불충분한 입력조건에 의한 추론

생성시스템을 실제 문제해결에 적용하다 보면 입력으로 주어진 사실이 불충분하기 때문에 목표 사실에 도달하지 못하는 경우도 있다. 전통적인 생성시스템에서는 결론을 제시 못하는 시도가 되겠지만, 만일 비록 신뢰도는 떨어지지만 주어진 입력 조건에서의 최선의 결론을 제안할 수 있다면 매우 유용한 추론방법이 될 것이다. 입력사실이나 규칙에 1보다 작은 확신율을 주고 퍼지 추론을 이용하여 규칙 실행을 하는 시스템도 비슷하게 모호한 입력 조건을 다룬다고 할 수 있지만, 사실이나 규칙의 확신율이라는 것이 현실적 의미를 갖기 어려워서 퍼지이론의 적용을 넘어서는 현실적 유용성은 거의 없다 하겠다.

조건부의 일부 조건이 부족하더라도(페트리 넷 모델에서는 일부 입력 장소에 토르른이 없더라도), 행동부가 실행된다면(페트리 넷 모델에서는 변이가 격발되어 출력 장소에 토르른이 생성된다면), 이 출력 장소가 결론으로 제시될 수 있다(비록 낮은 신뢰도를 갖지만). 이제 이를 위하여 다음 세가지 새로운 격발 규칙을 갖는 페트리 넷을 제안한다.

- (1) 토르른이 있는 입력 장소의 비율에 따라 출력 장소에 1보다 작은 값을 갖는 토르른을 생성하게 한다. 예를 들어 4개의 입력 장소 중 3개에만 토르른이 차있다면 변이(규칙) 격발 후 출력 장소에 생성되는 토르른의 값은 0.75가 된다. (토르른 값이 0.5보다 적어지면 무시되게 문턱 값을 적용하면 좋을 것이다.)
- (2) 여러 입력 장소 중 하나를 결정적(crucial) 입력으로 정하여 이 입력 장소에 토르른이 있을 때만 변이가 격발되어 출력 장소에 토르른이 생성되게 한다. 토르른의 값은 (1)번과 같이 정한다.
- (3) 각 입력 장소에 각기 다른 중요도를 주어 그곳에서 변이로 연결하는 간선의 가중치로 삼는다. 가장 자연스러운 중요도 값은 한 입력장소에서 여러 변이로 나가는 간선의 수(외향도:out degree)의 역수일 것이다. 간선이 하나라면 오직 하나의 변이(규칙)에 이 입력장소(사실)가 적용 된다는 것이고, 간선의 수가 많아 질수록 변별력이 떨어지는 것을 의미하기 때문이다. 식으로 나타내면,

$$P_i = (1/O_i) / (\sum 1/O_i)$$

여기서 P_i 는 한 입력 장소이고 O_i 는 그 입력 장소의 외향도이다. 격발후의 출력 장소에 생성되는 토르른의 크기를 계산하기 위해서는 각 입력 장소의 토르른 값에 간선의 가중치를 곱한 값들을 모두 더해주어야 한다. 즉

$$T_o = \sum T_i P_i$$

(3)의 중요도 계산의 예를 보자. 동물 분류시스템의 넷 모델에서 변이 P11로 들어오는 입력들(long legs, long neck, ungulate, tawny color, dark spots)은 각기 (3/14, 3/14, 3/14, 2/14, 3/14)의 중요도를 갖는다..

이제 불충분 입력조건에 의한 추론의 예를 보자. 입력 사실로 (long legs, long neck, chews cud)의 세 개만이 주어졌다고 가정하자. (3)의 방법으로 얻은 중요도를 간선의 가중치로 하여 변이 P11, P12, P13을 격발시키면 기린(giraffe)의 토르른 값은 9/14, 얼룩말(zebra)은 1/4(문턱 값 0.5에 의해 무시될 수 있다), 타조(ostrich)는 억제자 간선을 무시하면 3/4의 토르른 값을 갖는다. 타조가 기린 보다 큰 값을 갖는 이 결과는 우리가 원하던 바가 아니므로, 중요도 계산을 더 개선된 방법으로 해보자.

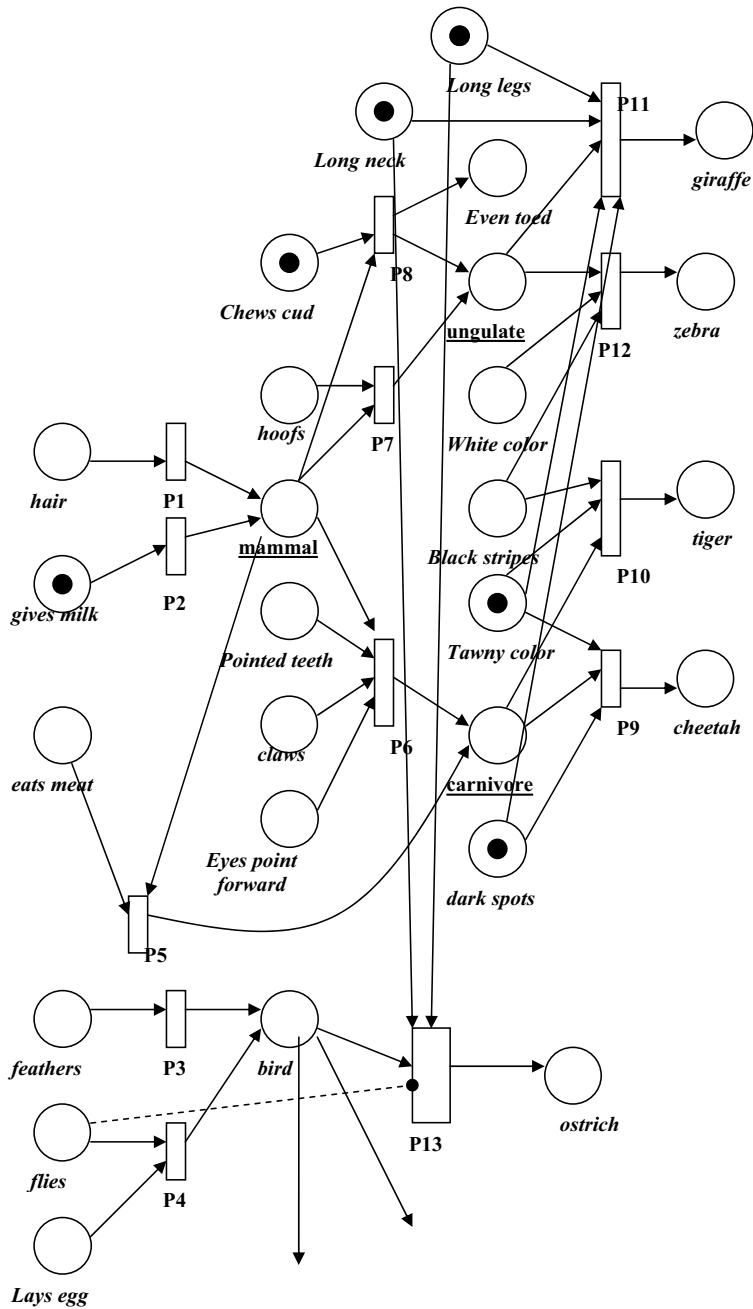
지금 고려 대상은 기린과 타조의 두 개뿐이므로 외향도 계산에서 이들에 대응하는 P11 과 P13 으로 향하는 간선들이 아니면 제외 시켜보자. (한 입력 장소의 외향도는 1 또는 2 가 된다.) 이런 상대적 외향도를 적용하여 간선들의 가중치를 구해 두 변이를 격발하여 보면 기린은 0.5, 타조는 1/3 의 토르른 값을 갖는다. (논리적으로 맞는 값으로 보인다!)

3. 결론

아주 새로운 몇 가지 변이 격발 규칙에 의하여 생성시스템에서 불충분한 사실에 의한 추론이 가능해졌다. 실제 전문가 시스템(예를 들면 의료 진단 시스템)에 적용한다면 훨씬 더 유연한 시스템의 구축이 가능할 것이다.

참고문헌

- [1] A. Barr & E. Feigenbaum, *The Handbook of Artificial Intelligence*, vol.1, pp 190-199, William Kaufman, Inc., 1981
- [2] T. Murata, “Petri Nets: Properties, Analysis and Applications,” *IEEE Proceedings*, vol. 77, April, 1989
- [3] D. L. Nazareth, “Investigating the Applicability of Petri Nets for Rule-Based System Verification,” *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, vol. 4, no. 3, June 1993
- [4] R. Valette and B. Bako, “Software Implementation of Petri nets and Compilation of Rule-based Systems,” *Lecture Notes in Computer Science (Advances in Petri Nets)*, Springer Verlag, 1991
- [5] M. Gao, Z. Wu, and M. C. Zhou, “A Petri Net-based Formal Reasoning Algorithm for Fuzzy Production Rule-based Systems,” 2000 *IEEE International Conference on Systems, Men, and Cybernetics*.
- [6] T. Arnold and S. Tano, “Interval-valued Fuzzy Backward Reasoning,” *IEEE Trans. Fuzzy Systems*, vol. 3, Pp425-437, 1995
- [7] K. D. Cho, S. Y. Cho, “Interval-valued Fuzzy Set Reasoning Using Fuzzy Petri Nets,” *Korean Journal of Information Science*, vol. 31, n0. 5, 2004
- [8] T. Murata and K. Matsuyama, “Inconsistency check of a set of clauses using Petri net reductions,” *J. Franklin Institute*, vol. 325, no. 1, pp 73-93, 1988
- [9] R. Agarwal and M. Tanniru, “A Petri-net based approach for verifying the integrity of production systems,” *Int. J. Man-Machine Studies*, vol. 36, no. 3, 1992



(그림 1) 동물 분류 시스템의 페트리 넷 모델