

Fuzzy Colored Timed Petri Net을 이용한 상황 추론

Context Inference using Fuzzy Colored Timed Petri Nets

이건명¹, 이경미², 황경순¹

¹충북대학교 전기전자컴퓨터공학부

²충북대학교 컴퓨터정보통신연구소

E-mail: kmlee@cbnu.ac.kr

요 약

상황은 단일 사건에 의해 결정되는 경우도 있지만, 많은 경우 일련의 사건이 특정 시간 제약을 만족하면서 발생할 때 상황이 결정된다. 따라서 상황에 대한 추론은 시간 제약 조건 만족 여부와 함께 사건의 발생을 순서를 확인하는 방법으로 수행될 수 있다. 한편, 어떤 상황은 분명하게 정의되는 것이 아니라 애매한 개념을 사용하여 기술되기 때문에, 퍼지 개념을 이용한 상황 기술과 이에 대한 추론이 필요하다. 한편, 유비쿼터스 환경에서와 같이 여러 대상에 대한 상황을 유추하여 서비스를 제공해야 하는 경우에, 대상 간에 동일한 상황이 발생할 수 있기 때문에 이에 대한 고려가 필요하다. 이러한 상황 추론을 위해서 이 논문에서는 Fuzzy Colored Timed Petri net 모델이라는 상황 추론 모델에 대해서 제안한다. 제안한 모델은 Timed Petri net 성질을 이용하여 일련의 사건 발생을 모델링하고, Colored Petri net의 성질을 이용하여 다수 대상에 대한 상황 추론을 허용하며, fuzzy 토큰 개념을 이용하여 애매한 개념을 사용하여 정의된 상황에 대한 추론을 가능하게 한다.

Key Words : context inference, Petri net, fuzzy colored petri net

1. 서 론*

센서기술, 정보통신 기술의 발전에 따라 유비쿼터스 환경을 통한 정보 서비스, 지능 로봇을 통한 지능 서비스, 다양한 지능형 응용 소프트웨어에서 사용자의 상황(context) 정보에 기반하여 지능적인 서비스를 제공하려는 시도를 하고 있다. 상황정보를 이용하여 서비스를 개선하는 상황이해 시스템에서는 효과적으로 상황정보를 판단할 수 있는 데이터를 수집하고, 이를 바탕으로 상황을 판단할 수 있는 상황추론 기능을 갖추어야 한다. 상황은 개체의 상태를 특징짓는데 사용될 수 있는 모든 정보를 말한다. 개체는 사용자와 어플리케이션을 포함해서 사람, 장소 또는 사용자와 어플리케이션 간의 상호작용에 관련된 모든 것이 될 수 있다. 전형적인 컨텍스트 정보에는 위치, 신원, 시간, 행위 등이 있는데, 이러한 정보를 이용하여 컴퓨터는 *who, what, when, where*에 관련된 응답할 수 있게 된다. 컨텍스트를 고려하여 사용자에게 서비스나 정보를 제공하는 시스템을 상황 인식 시스템이라 한다. 컨텍스트는 상

황 인식 어플리케이션 개발하는데 있어 여러 가지 형태로 사용될 수 있다.

상황을 판단하는데 사용되는 데이터는 다양한 센서를 통해서 수집되고, 센서 네트워크를 통해서 전달되어 상황이해 서비스 시스템에 전달된다. 센서를 통해서 수집되는 데이터는 일회성으로 발생하는 것이 아니라, 지속적으로 특정 조건이 만족되면 발생하기 때문에 스트림(stream) 데이터의 특성을 갖게 된다. 상황은 단일 사건에 의해 결정되는 경우도 있지만, 많은 경우 일련의 사건이 특정 시간 제약을 만족하면서 발생할 때 상황이 결정된다. 따라서 상황에 대한 추론은 시간 제약 조건 만족 여부와 함께 사건의 발생을 순서를 확인하는 방법으로 수행될 필요가 있다. 기존의 대부분의 상황이해 서비스 시스템에서는 이러한 시간적 제약에 따른 상황 추론에 대한 고려를 하고 않고 있다.

본 논문에서는 시간제약을 갖는 일련의 사건들로부터 상황을 파악하는 추론 모델로서 이 논문에서는 Fuzzy Colored Timed Petri net 모델이라는 상황 추론 모델에 대해서 제안한다. 제안한 모델은 Timed Petri net 성질을 이용하여 일련의 사건 발생을 모델링하고, Colored Petri net의 성질을 이용하여 다수 대

* 본 연구는 첨단정보기술연구센터 (AITrc)를 통해서 과학재단 지원으로 수행된 것임.

상에 대한 상황 추론을 허용하며, fuzzy 토큰 개념을 이용하여 애매한 개념을 사용하여 정의된 상황에 대한 추론을 가능하게 한다.

2. 관련 연구

2.1 Colored timed Petri net

Petri net은 시스템의 모델링, 정형분석, 설계를 위한 도구 중의 하나이다. Petri net은 $\langle P, T, F, M \rangle$ 의 튜플로 정의되는 이분 유형(bipartite directed) 그래프로 정의된다. 여기에서 $P = \{P_1, P_2, \dots, P_n\}$ 은 장소(place)의 집합이고, $T = \{T_1, T_2, \dots, T_m\}$ 은 전이(transition)의 집합으로, $P \cap T = \emptyset$ 이다. 또한, $F \subseteq (P \times T) \cup (T \times P)$ 는 장소와 전이간의 아크(arc)를 나타내는 흐름관계(flow relation)이다. $M: P \rightarrow I, I = \{0, 1, 2, \dots\}$ 는 장소에 있는 토큰(token)의 개수를 나타낸다. Petri net은 장소는 원으로, 전이는 막대모양으로, 장소와 전이간의 연결은 화살표로, 토큰은 검은 점으로 시각적으로 표현한다. 전이에 입력되는 방향에 있는 각 장소에 토큰이 있으면, 전이는 가능상태(enabled)가 되며, 가능상태의 전이가 실행(fire)되면, 입력방향의 장소에서는 토큰이 삭제되고, 출력방향의 장소에는 새로운 토큰이 추가된다. 이와 같은 기본 Petri net에서는 토큰이 식별되지만, 토큰이 식별되도록 하고 시간제약을 추가하여 기본 Petri net을 확장한 것이 $\langle \Sigma, P, T, F, \tau \rangle$ 로 정의되는 colored Petri net이다. 여기에서 Σ 는 색깔 토큰의 집합이고, P, T, F 는 각각 장소 집합, 전이집합, 흐름관계를 나타낸다. $\tau: T \rightarrow \{0, 1, 2, \dots\} \times \{0, 1, 2, \dots, \infty\}$ 는 각 전이에 부여된 방출시간(release time)과 최대대기시간(maximum latency)을 나타낸다. 각 전이 $t \in T$ 에 대해서 방출시간 τ^r 과 최대대기시간 τ^m 은 $\tau(T) = (\tau^r, \tau^m)$ 의 쌍으로 나타내며, $\tau^r \leq \tau^m$ 의 제약이 있다.

2.2 상황추론 시스템

상황이해 서비스를 위해 상황추론을 지원하여 여러 가지 연구가 진행되어 왔다. Stick-e Notes 시스템[2]은 상황 인식 어플리케이션을 지원하기 위한 일반적인 프레임워크로, *if-then* 규칙을 사용하여 상황 이해를 위한 지식을 표현하고 이에 대한 추론을 한다. Schilit

의 System Architecture[4]는 사용자와 디바이스의 컨텍스트에 초점을 맞춘 상황 인식 이동 컴퓨팅을 지원하는 구조로서 디바이스 상태와 기능을 관리하는 디바이스 에이전트(device agent), 사용자 선호도를 관리하는 사용자 에이전트(user agent)와 사용자와 디바이스의 위치 정보를 관리하는 능동 맵(active map)으로 구성된다. CALAIS[5]는 주로 장소에 관련된 상황정보에 초점을 맞춘 상황인식 시스템을 지원하는 구조로서 제한한 상황추론을 지원한다. TEA 프로젝트[6]는 개인용 이동 디바이스에서 컨텍스트를 인식할 수 있는 구조로서 컨텍스트 인식은 블랙보드 모델에 의해 이루어진다. 먼저, 센서로부터 획득한 컨텍스트를 블랙보드에 추가한다. 컨텍스트 해석기는 이를 요약하거나 해석하여 다시 블랙보드에 저장하고, 어플리케이션은 관련된 컨텍스트를 참조하는 방식으로 상황이해 서비스를 구현한다.

3. 제안한 Fuzzy Colored Timed Petri net 모델

3.1 상황추론

센서를 통해서 수집되는 데이터로부터 상황을 파악하는 응용에서는 단순 사건에 의해서 상황이 파악되는 경우도 있지만, 일련의 사건에 의해서 상황이 결정되는 경우도 있다. 이러한 일련의 사건은 사건 간의 시간 제약이 있는 상황에서 발생하는 경우에 상황을 결정하는데 의미가 있는 경우가 대부분이다. 예를 들면; 집에서 가스레인지의 불을 켜고 외출한 경우, 일정 시간 이상 경과한 경우에만 화재위험이 있는 상황으로 결정되어야지, 그렇지 않은 경우에는 이와 같은 상황으로 판정되면 안 된다.

따라서 상황추론을 위해서는 일련의 사건이 특정 시간 제약을 만족하면서 발생하는 상황 판정을 위한 지식을 표현하고, 이를 이용하여 스트림 데이터 형태로 발생하는 사건 스트림으로부터 상황판정을 하는 메카니즘을 갖추는 것이 필요하다. 따라서 본 논문에서는 이러한 상황 결정 정보를 표현하기 위해 colored timed Petri net 모델을 사용하는 방법을 제안한다. 어떤 상황을 기술하는데 사용되는 특정 사건은 애매한 개념에 대응하는 경우도 있다. 예를 들면, '온도가 높다'와 같은 사건에서 '높다'는 것은 퍼지 제한(fuzzy constraint)으로 표현될 퍼지사건이다. 제안한 상황추론 방법에서는 이러한 퍼지사건을 상황추론에서 지원하도록 하고

있다.

퍼지사건을 고려하고, 일련의 사건이 어떤 시간제약을 만족하면서 발생할 때를 특정 상황으로 표현하는 것을 효과적으로 표현하고, 사건 스트림이 주어지는 환경에서 특정 시점에서 어떤 상황이 발생하려는지 파악할 수 있도록 하는 것이 상황이해 서비스를 제공하는 응용에서 요구된다. 특히, 모니터링 등과 같은 응용에서는 후자의 진행 상태 파악을 하는 것이 필요하다.

3.2 Fuzzy Colored Timed Petri net 기반 상황 정보 표현

편의상 하나의 사건에 의해 상황이 기술되는 것을 단순사건상황 (single event-based context), 일련의 사건이 특정 시간 제약을 만족하면서 발생하는 상황이 기술된 것을 복합사건상황(multiple event-based context)라고 하자. 지식표현에서 가장 흔하게 사용되는 if-then 규칙을 이용하여 상황결정 지식을 표현하는 경우, 표현방법의 단순성 덕분에 단순사건상황은 쉽게 사용할 수는 있지만, 복합사건상황을 표현하는 데는 어려움이 많다. 한편, if-then 규칙을 사용하는 경우, 복합사건상황의 진행상황을 파악하는 데도 어려움이 있다.

각 상황에 대응하여 개별 프로그램 모듈형태의 프로시저(procedure)를 사용하는 경우를 상정해 볼 때에도 복합사건상황을 표현하는 데는 융통성이 크지만, 사건 스트림을 특정 상황처리 프로시저에만 전해주는 것이 아니라 모든 상황처리 프로시저에 전달해주는 구조를 가져야 하기 때문에 시스템 구현측면에서의 복잡성, 모듈간의 충돌 등의 문제가 발생할 수 있다. 또한 복합사건상황의 진행상태를 파악하기도 어렵다.

제안한 방법에서는 각 상황결정 지식을 표현하기 위해서 colored timed Petri net 모델을 이용한다. 장소(place)는 사건발생에 대응하고, 전이(transition)는 사건간의 시간제약에 대응한다. 특정 사건이 발생하면 대응하는 장소에 해당 토큰이 생성된다. 각 전이 t 에는 시간제약을 나타내는 $[\alpha, \beta]$ 이 부여되는데, α 는 방출시간(release time)을 나타내고, β 는 대기시간(ateny)을 나타낸다. 이는 전이 t 의 모든 입력방향의 장소에 토큰이 발생한 이후 α 시간이 경과한 다음에 전이가 가능상태가 되며, 가능상태 이후 β 시간 이후에 전이가 실행되는 것을 의미한다. 상황추론이 여러 대상이 상호작용하는 환경에서 수행되는 경우가 많기 때문에, 각 대상을 구별하기 위해 대상별로 색깔을 부여한 색깔 토큰을 사용하도록 한다. 대상별

로 구별할 필요가 있는 경우에는 해당 장소에 색깔토큰이 발생하도록 하고, 전이 부분에는 해당 전이의 사건이 발생할 때 출력부분의 장소에 어떤 색깔의 토큰을 발생시킬지에 대한 내용을 기술하도록 한다.

다음은 상황을 기술할 때 발생할 수 있는 기본 상황을 제안한 Petri net 기반 방법으로 표현한 것들이다. 그림 1은 사건 a 발생후 β 시간 이내에 사건 b가 발생한 상황을 Petri net 모델로 나타낸 것으로 장소 C_i 에 토큰이 발생하면 해당 상황이 발생한 것을 나타낸다. 이러한 장소에 해당 상황이 발생할 때 제공한 서비스를 연관시켜두면 상황이해 서비스를 제안된 프레임워크 안에서 제공할 수 있게 된다.

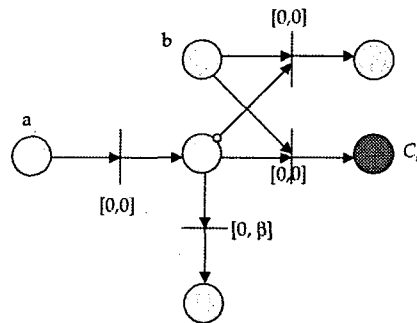


그림 1. 사건 a 발생후 β 시간 이내에 b발생 상황 C_i

그림 2는 사건 a가 발생하고 나서 β 시간이 지난 후에 α 시간 이내에 사건 b가 발생한 상황을 나타낸다.

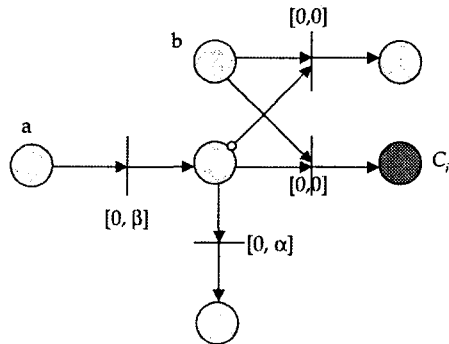


그림 2. 사건 a 발생후 β 시간이 경과한 후 α 이내에 b가 발생한 상황 C_i

그림 3은 사건 a와 b가 발생한 시간차가 δ 이 내인 상황을 나타낸 것이다. 그림 4는 사건 a, b가 발생후 각각 α, β 시간 만큼 유효한 할 때, 두 사건이 모두 유효한 상황을 나타낸 것이다. 그림 4는 사건 a 발생후 β 시간이 경과한 후, a 상태가 유지되면서 α 시간 동안 사건 b의 상태가 유지되는 상황을 나타낸다. 그림5에서 그림 9까지는 사건이 발생한 후 해당 상태가 특정시간 유지되는 것을 포함하는 상황을 제안한 모델로 기술한 것을 보인 것이다. 이와

같이 제안한 모델은 다양한 시간 제약을 포함하는 복합사건상황을 효과적으로 모델링하여 표현할 수 있다. 한편 단일사건상황은 하나의 장소로 표현되는 모델에 의해서 쉽게 표현된다. 이들 상황판단 지식은 시각적으로 표현되기 때문에 사건 발생에 따른 상황진행 상태를 쉽게 파악할 수 있게 한다.

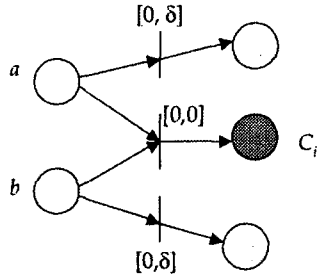


그림 3. 사건 a,b가 허용시간 δ 내 시간차로 발생한 상황

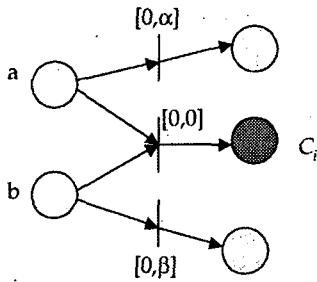


그림 4. 사건 a와 b가 발생한 시간차가 δ 내인 상황

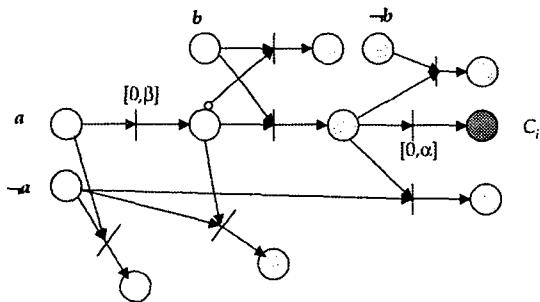


그림 5. 사건 a 발생후 β 시간이 경과한 후, a 상태가 유지되면서 α 시간 동안 사건 b의 상태가 유지되는 상황

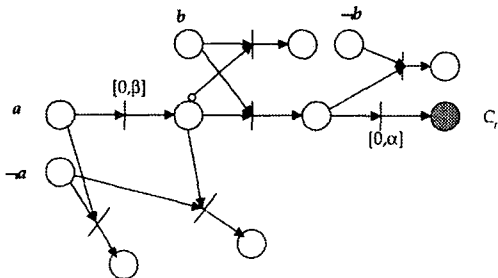


그림 6. 사건 a의 상태가 β 동안 유지되는 동안 사건 b가 발생하였고, 이후 α 시간동안 상태가 유지되는 상황

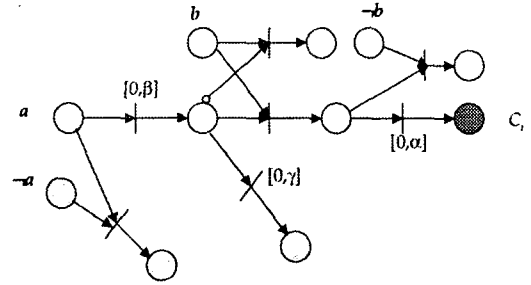


그림 7. 사건 a의 상태가 β 동안 유지되고 나서, γ 시간 이내에 사건 b가 발생하여, 이후 α 시간동안 상태가 유지되는 상황

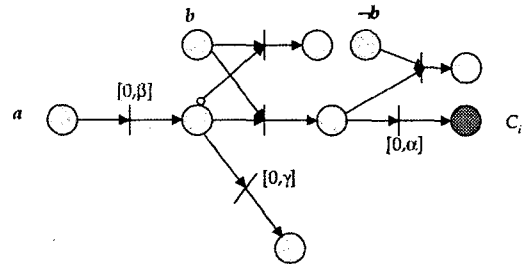


그림 8. 사건 a가 발생한 후 β 시간이 지난후, γ 시간 이내에 사건 b가 발생하여, 이후 α 시간동안 상태가 유지되는 상황

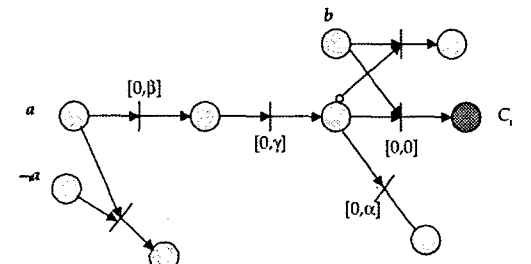


그림 9. 사건 a의 상태가 β 동안 유지되고 나서, γ 시간이 경과한 후, α 시간 이내에 사건 b가 발생하는 상황

3.3 Fuzzy 상황 표현

제안한 모델에서는 장소 노드가 특정 사건 발생 상태를 나타내는 데 사용하는 사건상태장소(event state place)와 지속적으로 어떤 상태값의 변화값을 나타내는 지속상태장소(persistent state place) 두가지 종류를 사용한다. 사건상태장소는 특정 사건에 대응되는 것으로 해당 사건이 발생하면 이에 대응하는 토큰이 생성되고, 이를 입력방향 장소로 하는 전이가 실행되는 경우에 토큰이 소멸한다. 반면, 지속상태장소는 특정 상태값을 나타내는 스트림 데이터에 대응하는 장소로서, 상태에 대응하는 토큰값이 지속적으로 변화하면서 존재한다. 토큰은 해당 장소를 입력으로 사용하는 전이가 실행되더라도 소멸되지 않는다. 제안 모델에서는 퍼지제약조건을 나타내기 위해서 지속상태장소를 사용한다. 예를 들면, '온도가 낮

다'라는 사전상태를 나타내는 경우, 외부로부터 해당 지속상태장소에 온도에 대한 스트림데이터가 제공되고, '낮다'에 대응하는 퍼지개념에 대한 소속함수 정보가 해당 장소에 부여되고, 해당 노드의 토큰은 스트림데이터로 주어지는 온도의 소속함수값을 갖게 된다. 그림 10에서 보는 바와 같이 지속상태장소는 (b)의 low와 같은 퍼지개념에 대한 소속함수가 부여되고, 연결된 스트림으로부터의 데이터(예, 온도)의 소속함수에 대한 만족정도가 퍼지 토큰값이 된다. (a)에 보는 바와 같이 퍼지지속상태장소에 대응 하는 전이는 임계값 θ 와 시간제약 $[\alpha, \beta]$ 가 부여되는데, 이는 (c)에 보는 바와 같이 임계값 θ α 시간 동안 지속되면 해당 전이가 가능상태가 되며, 이 상태가 β 시간 이상 지속 되면 전이가 실행되어 출력방향 장소에 토큰이 생성된다. 이때 토큰은 만족정도값을 가질 수 있는데, 여기에서는 선택적으로 β 시간 동안의 평균 만족도나 최종 만족도, 또는 임계값 θ 가 부여될 수 있으며, 설계자의 의도에 따라 지정 하된다. 한편 출력방향 노드에 대한 만족도 값은 응용에 따라 사용될 수도 있고 그렇지 않을 수도 있다.

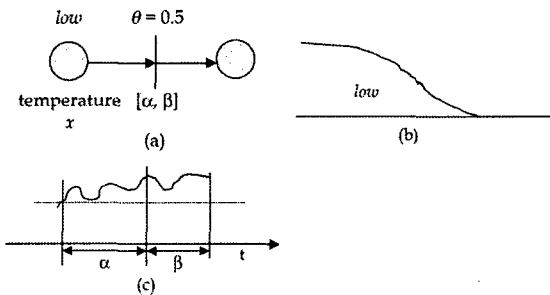


그림 10. 퍼지지속상태장소와 이에 대응하는 전이

3.4 상황추론 모듈

제안한 상황추론 프레임워크에서는 각 전이에 대해서 하나의 처리 모듈이 있는 형태로 다음과 같이 추론이 수행된다. 각 전이 t 의 처리 모듈은 입력방향의 모든 장소에 같은 색깔을 갖는 토큰이 발생하면 α 에 대응하는 타이머를 시작시킨다. 타이머가 시작된 후 입력방향의 어떤 장소에서 해당 토큰이 소멸되는 경우에는 타이머가 0으로 리셋(reset)되면서 정지한다. α 시간이 경과하면 이에 대한 전이가 가능상태가 되면서, β 에 대응하는 타이머가 시작된다. β 시간 이내에 전이 t 에 대응하는 사건이 발생하면 입력 방향의 장소에서 대응되는 토큰을 삭제하고 출력방향 장소에 토큰을 추가한다. β 시간 동안 대응하는 사건이 발생하지 않으면 입력 장소의 해당 토큰을 삭제하고, 출

력 장소에는 어떤 토큰도 발생시키지 않고, 타이머는 리셋시킨다. 상황을 나타내는 최종 장소에 토큰이 발생하면, 해당 상황이 발생한 것이 되고, 이에 대응하는 서비스를 개시하면 된다.

4. 결론

앞으로 상황정보를 이용하는 다양한 서비스가 출현할 것으로 기대된다. 이러한 서비스에서는 외부의 데이터로부터 현재 상황을 파악하기 위한 상황추론이 매우 중요하다. 이 논문에서는 상황추론에서 일련의 사건이 특정시간 제약을 만족하면서 발생하는 상황을 기술하는데 적합하고 상황의 진행상태를 파악하는데 용이한 모델로서 fuzzy colored timed Petri net이라는 모델을 제안하였다. 제안 모델은 다양한 시간 제약을 모델로서 표현할 수 있으며, 상태진행을 토큰의 대치 등을 통해서 쉽게 파악할 수 있도록 한다. 또한 퍼지상태에 대응하는 장소 및 전이를 제공함으로써 다양한 상황결정지식을 표현할 수 있도록 한다. 향후, 이를 개선하여 소프트웨어적인 개발 환경을 구현하고, 이의 유용성을 검증할 예정이다.

참 고 문 헌

- [1] A. K. Dey, *Providing Architectural Support for Building Context-Aware Applications*, Ph.D. dissertation, Georgia Institute of Technology, 2000.
- [2] P. J. Brown, The stick-e document: a framework for creating context-aware applications, *Electric Publishing*, Vol. 9, No. 1, pp. 1-14, 1996.
- [3] D. Caswell, D. P. Debaty, Creating Web representations for places, *Proceedings of the 2nd International Symposium on Handheld and Ubiquitous Computing*, pp. 114-126, 2000.
- [4] B. N. Schilit, *System architecture for context-aware mobile computing*, Ph. D. dissertation, Columbia University, New York, 1995.
- [5] G. J. Nelson, *Context-aware and Location Systems*, Ph.D. dissertation, University of Cambridge, 1998.
- [6] A. Schmidt, K. A. Aidoo, et al, Advanced Interaction in Context, *Proceeding of HUC'99*, pp. 89-101, 1999.
- [7] J.-C. Na and R. Furuta. Context-Aware Digital Documents Described in A High-Level Petri Net-based Hypermedia System, *LNCS*. Springer-Verlag, 2004.
- [8] H. Djenidi, S. Benarif, A. Ramdene-Cherif, C. Tadj, N. Levy. Generic Multimedia Multimodal Agents Paradigms and Their Dybamic Recofiguration at the Architectural Level. *EURASIP J. on Applied Signal Processing* 11, pp.1688-1707, 2004.
- [9] H.J. Genrich, K. Lautenbach, *System Modeling with High-Level Petri Net. Theoretical Computer Science*. 13, 109-136, 1991.
- [10] R. Gudwin, F. Godmide. Object Networks - A

Modeling Tool. Fuzzy Systems *Proceedings, 1998*
IEEE World Congress on Computational
Intelligence. 1, 77-82, 1998.

- [115] K. Jensen, Coloured Petri Nets: Basic Concepts,
Analysis Methods and Practical Use, *EATGCS*
Monographs on Theoretical Computer Science,
Springer-Verlag, 1992.