

컨텍스트 인지 모바일 컴퓨팅을 위한 범용 추론 시스템의 정형 모델

김문권, 김수동
송실대학교 컴퓨터학과
e-mail : {mkdmkk, sdkim777}@gmail.com

A Formal Model of Generic Inference Engine for Context-Aware Mobile Computing

Moon Kwon Kim and Soo Dong Kim
Dept. of Computer Science, Soongsil University

요 약

가용 센서를 내장하고 있는 모바일 디바이스의 사용이 많아지고 자동화, 자율화, 맞춤형 서비스의 요구가 커짐에 따라 컨텍스트 인지 모바일 컴퓨팅(Context-Aware Mobile Computing)의 필요성이 증대하고 있다. 하지만 추론 시스템 설계는 컨텍스트 분석, 인지하고자 하는 상황분석 등의 복잡한 과정을 요구한다. 본 논문에서는 이러한 과정을 간결하고 정확하게 표현하기 위한 컨텍스트-상황 추론 요소의 범용적 정형 모델을 제안한다. 또한 추론 요소들의 정형 모델을 실사례에 적용하여 본 논문에서 제안하고 있는 추론 요소들의 정형 모델이 실효성을 가지고 있으며 범용적임을 보여준다.

1. 서론

컨텍스트 인지 컴퓨팅(Context-Aware Computing)은 실세계의 사물, 사건 등의 상태를 특징화 및 정보화하여 컴퓨팅 환경에서 실세계의 상황을 인지하기 위한 기술을 의미한다[1]. 최근 자동화, 자율화, 맞춤형 서비스의 선호가 커짐에 따라 컨텍스트(Context)를 분석하여 실세계의 상황을 추론 및 활용하는 컨텍스트 인지 컴퓨팅의 필요성이 커지고 있으며 이에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

최근 가용 센서를 내장하고 있는 모바일 디바이스의 사용이 증가함에 따라 센서로부터 수집되는 컨텍스트 또한 많아지고 있어, 센서 기반 컨텍스트를 이용한 상황 추론이 가능해지고 있다.

하지만 컨텍스트 인지 모바일 컴퓨팅에서의 컨텍스트-상황 추론은 다양하고 방대한 컨텍스트를 분석, 추론하고자 하는 상황을 정의, 컨텍스트-상황 추론 과정에 활용될 알고리즘을 분석 등의 복잡하고 방대한 모델링 과정을 요구한다.

이러한 복잡한 컨텍스트-상황 추론 과정을 컨텍스트-상황 추론 요소들의 정형 모델을 이용하여 표현하면 추론에 이용될 컨텍스트, 추론하고자 하는 상황, 각 상황을 표현하는 컨텍스트, 추론을 위한 알고리즘 등을 간결하고 명료하게 표현 할 수 있어, 컨텍스트-상황 추론 과정을 보다 효과적으로 명세할 수 있다.

이에 본 논문에서는 컨텍스트, 상황, 추론 함수 등의 6 가지 컨텍스트-상황 추론 요소를 포함하는 정형 모델을 제안하고 이들을 실제 사례에 적용하여 제안된 컨텍스트-상황 추론 정형 모델이 실효성 및 범용성을 가짐을 검증한다.

2. 관련연구

Reddy[2]의 연구에서는 모바일 디바이스의 가속도(Accelerometer) 센서를 통해 수집한 컨텍스트와 위치 컨텍스트를 이용하여 여러 알고리즘들을 통해 이동 모드(Transportation Mode)를 결정하고 알고리즘들의 정확도를 비교한다. 이 연구는 이동 모드 상황에 제약적인 컨텍스트-상황 추론을 다루고 있으며 수학적인 모델을 제시하고 있지 않는 한계점을 가진다.

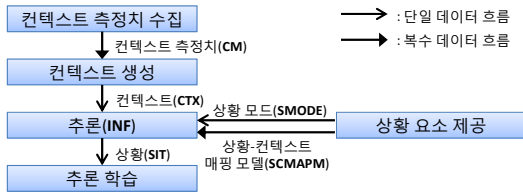
Helaoui[3]의 연구에서는 중간에 개입되고 동시에 발생 할 수 있는 활동들을 Markov Logic 을 이용하여 인지하는 프레임워크를 제시하고 활동을 인지하기 위한 규칙을 수학적으로 표현한다. 이 연구는 컨텍스트를 RFID 만을 이용하여 수집하였으며 몇 가지 상황에 대한 규칙을 미리 규정하여 상황 인지가 제한적인 한계점을 가진다.

Schmidt[4]의 연구에서는 범용적인 컨텍스트 모델과 함께 범용 컨텍스트 서비스 어플리케이션을 소개한다. 이 연구에서는 컨텍스트를 다이어그램을 통해 모델링하고 있어 수학적인 정형 모델 제시가 부족하며 여러 추론 요소들 중 컨텍스트만을 다루고 있는 한계점을 가지고 있다.

3. 컨텍스트-상황 추론 요소의 정형명세

모바일 센서 기반의 컨텍스트-상황 추론은 다음과 같은 6 가지의 요소인 (1) 모바일 컨텍스트 측정치(CM), (2) 모바일 컨텍스트(CTX), (3) 상황(SIT), (4) 상황 모드(SMODE), (5) 상황-컨텍스트 매핑 모델(SCMAPM), (6) 추론 함수(INF)가 존재한다. 각각

의 추론 요소들은 (그림 1)과 같이 센서 기반의 컨텍스트-상황 추론의 특정 절차에서 활용된다.



(그림 1) 센서 기반 컨텍스트-상황 추론 절차

모바일 디바이스 센서에서 복수의 컨텍스트 측정치 (CM)를 수집하고 이들을 모바일 디바이스에서 컨텍스트(CTX)로 그룹화한다. 컨텍스트는 상황-컨텍스트 매핑 모델(SCMAPM)을 기반으로 상황 모드(SMODE)에 포함되어 있는 특정 상황(SIT)으로 추론(INF)된다.

컨텍스트 측정치와 컨텍스트는 3.1 절에서, 상황과 상황 모드는 3.2 절에서, 상황-컨텍스트 매핑 모델은 3.3 절에서, 추론 함수는 3.4 절에서 자세히 다룬다.

3.1. 모바일 컨텍스트(Context)의 명세

컨텍스트 측정치(Context Measurement)는 튜플 $CM_{device, cmType}^{time} = (device, cmType, time, cmVal)$ 이다. 이 때, *device* 는 컨텍스트 측정치를 수집한 디바이스를, *cmType* 는 해당 컨텍스트 측정치의 유형을, *time* 은 해당 컨텍스트 측정치가 수집된 시간을, *val* 는 수집된 컨텍스트 측정치의 값 벡터를 의미한다.

이 때, 컨텍스트 측정치의 값은 컨텍스트 측정치의 유형에 따라 일차원 또는 다차원의 벡터가 된다. 예를들어, 컨텍스트 측정치 유형이 가속도(Accelerometer) 일 때, 컨텍스트 측정치 값 벡터는 3 차원이 된다.

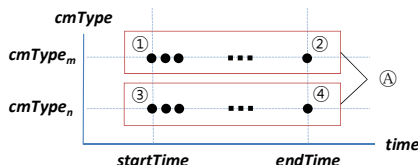
컨텍스트(Context)는 여러 컨텍스트 측정치들을 포함하고 있는 집합이며 다음과 같이 표현된다.

$$CTX_{deviceSet, cmTypeSet}^{startTime, endTime} = \{CM_{device, cmType}^{time} \mid \forall device, cmType, time : device \in deviceSet \wedge cmType \in cmTypeSet \wedge startTime \leq time \leq endTime\}$$

이 때, *deviceSet* 은 컨텍스트 측정치를 수집한 디바이스의 집합, *cmTypeSet* 은 컨텍스트 측정치 유형의 집합, *startTime* 와 *endTime* 은 각각 컨텍스트 측정치의 시작과 끝 측정 시점이다.

즉, 컨텍스트는 *deviceSet* 에 포함된 디바이스가 수집한 컨텍스트 측정치 중에서 *cmType* 가 *cmTypeSet* 에 포함되고 수집시간이 *startTime* 과 *endTime* 사이인 모든 컨텍스트 측정치를 포함하는 집합이다.

컨텍스트를 그래프로 표현하면 (그림 2)과 같다.



(그림 2) 컨텍스트의 그래프 표현

(그림 2)의 ①은 $CM_{device_i, cmType_m}^{startTime}$ 으로 표현 할 수 있으며 컨텍스트 측정치 유형 *cmType_m* 의 측정 시점 *startTime* 에 측정된 컨텍스트 측정치이다. 이와 유사하게 ②는 $CM_{device_i, cmType_m}^{endTime}$, ③은 $CM_{device_i, cmType_n}^{startTime}$, ④는 $CM_{device_i, cmType_n}^{endTime}$ 이다. 사각 박스로 표시되어 있는 영역 ④는 $CTX_{device_i}^{startTime, endTime, cmType_m, cmType_n}$ 으로 표현 할 수 있으며 *device_i* 에서 시점 *startTime* 과 *endTime* 사이에 측정된 컨텍스트 유형 *cmType_m* 과 *cmType_n* 의 컨텍스트 측정치 컬렉션이다.

예를들어, 모바일 디바이스 “G3”의 가속도 센서에서 long 형식의 초단위 시간 1348486854 과 1348488263 사이에 측정된 컨텍스트 측정치들의 값 벡터가 <7.70185, 3.73901, 3.61174>, <-6.69095, -2.99810, -3.50364>, ..., <1.11130, -0.69578, -0.33662>일 때 다음과 같다.

$$CTX_{\{G3\}, \{Accelerometer\}}^{1348486854, 1348488263} = \{("G3", "Accelerometer", 1348486854, <7.70185, 3.73901, 3.61174 >, ("G3", "Accelerometer", 1348486855, <-6.69095, -2.99810, -3.50364 >), ..., ("G3", "Accelerometer", 1348488263, <1.11130, -0.69578, -0.33662 >)\}$$

이와 같은 표현을 통해 컴퓨팅 환경에서 센서 기반 컨텍스트를 범용적이고 효과적으로 표현 할 수 있다.

3.2. 상황(Situation)의 명세

상황(Situation)은 실세계에서 일어나는 사건이다. 예를들어, 기상정보의 경우 태풍, 폭염 등의 상황이 존재한다. 컴퓨팅 환경에서 상황은 실세계에서 발생하는 사건에 대한 데이터인 컨텍스트의 수집, 추출, 분석, 조작, 처리를 통해 추론한다.

상황 모드(Situation Mode)는 상황들의 집합 $SMODE_i = \{SIT_i^1, SIT_i^2, \dots, SIT_i^n\}$ 이다. 이 때, *SIT_iⁿ* 은 상황모드 *SMODE_i* 에 속하는 *n* 번째 상황을 의미한다.

예를들어, 상황 모드 “Movement”에 상황 “Still”, “Walk”, “Run”이 속한다면 다음과 같이 표현 할 수 있다.

$$SMODE_{Movement} = \{ "Still", "Walk", "Run" \}$$

이와 같은 표현을 통해 컴퓨팅 환경에서 실세계의 상황을 범용적으로 표현 할 수 있다.

3.3. 상황-컨텍스트 매핑(Mapping)의 명세

컨텍스트로부터 상황을 추론하기 위해서는 어떠한 상황과 그 상황을 나타내는 이미 수집된 컨텍스트들 간의 매핑이 필요하다. 이 매핑을 기반으로 새로 수집한 컨텍스트가 어떠한 상황을 나타내는지를 추론한다.

상황-컨텍스트 매핑 모델(Situation-Context Mapping Model)은 상황이 어떠한 기존 컨텍스트들로 매핑이

되어 있는지를 표현하는 다음과 같은 튜플이다.

$$SCMAPM_{sit} = (sit, (ctxSet | cmTupSet))$$

이 때, *sit* 은 컨텍스트와 매핑할 상황, *ctxSet* 은 상황과 매핑할 컨텍스트 집합, *cmTupSet* 은 상황과 매핑할 컨텍스트 측정치 튜플의 집합이다. 즉, 어떠한 상황은 컨텍스트 집합 또는 컨텍스트 측정치 튜플의 집합과 매핑된다.

상황-컨텍스트 매핑 모델은 두 가지 유형이 존재하며 유형에 따라 *ctxSet* 과 *cmTupSet* 중 하나가 선택된다.

유형 1. 순차형 상황-컨텍스트 매핑 모델: 순차형 매핑은 여러 연속된 컨텍스트들을 통해 상황을 추론하는 유형이며 튜플의 두번째 요소로 *ctxSet* 을 가진다. 이 매핑 유형은 특히 패턴 인식에 주로 사용된다. 예를들어, 가속도 센서를 내장한 모바일 디바이스를 어떠한 사람에게 부착하여 그 사람의 걷기, 뛰기 등과 같은 움직임 패턴을 분석할 수 있다.

위의 예제에서 걷기 상황을 상황-컨텍스트 매핑 모델로 나타내면 다음과 같다.

$$SCMAPM_{Walk} = ("Walking", \{CTX_{\{G3\}, \{Accelerometer\}}^{1348486854, 1348488263}, CTX_{\{GN\}, \{Accelerometer\}}^{1348662801, 1348662952}, \dots\})$$

이 때, "Walk"라는 상황은 디바이스 "G3"와 디바이스 "GN"의 가속도 센서에서 수집된 컨텍스트와 이외의 여러 다른 컨텍스트들과 매핑된다.

유형 2. 관계형 상황-컨텍스트 매핑 모델: 관계형 매핑은 여러 컨텍스트들의 관계로부터 상황을 추론하기 위한 유형이며 튜플의 두번째 요소로 *cmTupSet* 을 가진다. 예를들어, 위치가 도로일 때 큰 충격이 발생했다면 이는 사고가 났을 확률이 높다고 추론하는 것과 같다.

위의 예제의 사고 상황을 표현하는 다음과 같은 상황-컨텍스트 모델은 다음과 같다.

$$SCMAPM_{Collision} = ("Collision", \{CM_{G3, Location}^{1348488263}, CM_{G3, Accelerometer}^{1348488263}, \dots\})$$

이 때, 디바이스 "G3"에서 시점 1348488263 에서 수집된 Location 측정치와 Accelerometer 측정치를 갖는 튜플과 그 이외의 여러 Location 측정치와 Accelerometer 측정치를 갖는 튜플들이 "Collision"이라는 상황에 매핑된다.

상황-컨텍스트 매핑 유형이 순차형인지 관계형인지에 따라 적용될 수 있는 추론 알고리즘이 다르다.

순차형 상황-컨텍스트 매핑 모델일 때: 상황-컨텍스트 매핑 모델이 순차형일 경우 주로 패턴인식에 많이 사용되는 사례 기반 추론(Case Based Reasoning; CBR) 알고리즘들이 적용되며 Hidden Markov Model(HMM), K-Nearest Neighbor(KNN) 등을 포함한다. 이 알고리즘들은 기존 사례들과 새롭게 발생한 순차적이고 연속적으로 발생한 컨텍스트들 통해 상황을 추론한다. 새로 발생한 컨텍스트들과 추론된 상황은 이후의 추론 정확도를 높이기 위해 사례로 추가 될 수 있다.

관계형 상황-컨텍스트 매핑 모델일 때: 상황-컨텍스트 매핑 모델이 관계형일 경우에는 규칙 기반 추론(Rule Based Reasoning; RBR) 알고리즘들이 적용되며 Decision Tree(DT) 등을 포함한다. 이 알고리즘들은 여러 컨텍스트들의 관계에 의해 논리적인 추론이 이루어진다. 이 모델은 새로운 추론에 의해 관계 또는 규칙이 정확도 향상을 위해 변경될 수 있다.

3.4. 추론(Inference) 함수의 정형명세

본 논문에서 제시하고 있는 추론이란 새롭게 발생한 컨텍스트를 기존에 정의된 상황, 기존에 수집된 컨텍스트, 상황과 컨텍스트의 매핑을 통해 비교 및 분석하여 가장 근접한 상황을 도출하는 것이다. 이러한 추론은 다음과 같이 표현되는 추론함수를 통해 수행된다.

$$INF(alg, smode, mapSet, (ctx | cmTup), n) \rightarrow \{(SIT_i, prob_i) | \forall i \leq n\}$$

이 때, *alg* 는 추론에 쓰일 알고리즘, *smode* 는 추론으로 도출할 상황의 후보들을 포함하는 상황모드, *mapSet* 은 추론에 쓰이는 후보 상황들에 대한 상황-컨텍스트 매핑 모델의 집합, *ctx* 는 새로 발생한 컨텍스트, *cmTup* 은 새로 발생한 특정 컨텍스트 측정치들의 튜플이다. 그리고 추론 함수는 추론 결과 상황 *SIT* 과 결과 상황의 확률값(정확도) *prob* 를 포함하는 튜플의 집합을 반환한다. 이 때, 집합의 크기는 추론 함수의 마지막 인자인 *n* 이다.

예를들어, 움직임 상황을 추론한다고 할 때, 다음과 같은 추론 함수가 정의될 수 있다.

$$INF("HMM", SMODE_{Movement}, \{SCMAPM_{Still}, SCMAPM_{Walk}, SCMAPM_{Run}\}, ctx, 1)$$

이 때, *SMODE_{Movement}* 와 상황-컨텍스트 매핑 모델의 집합을 통해 추론 알고리즘 HMM 을 이용하여, 새로 발생한 컨텍스트 *ctx* 를 *SMODE_{Movement}* 에 속하는 추론 정확도가 가장 높은 하나의 상황으로 추론한다.

4. 컨텍스트-상황 추론 사례

본 절에서는 3 장에서 정의한 추론 요소의 정형명세를 실제 추론 사례에 적용하여 본 논문에서 정의한 정형명세들의 실효성을 검증한다.

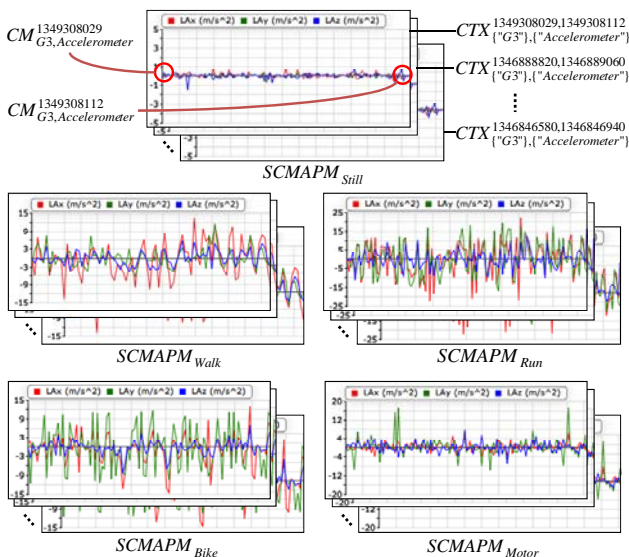
이동 모드 추론 사례: 이동 모드(Transportation Mode)[2]는 사람의 이동 모드에 대한 상황 모드이며 정지(Still), 걷기(Walk), 뛰기(Run), 자전거타기(Bike), 자동차타기(Motor) 상태로 이루어져있다. 또한 각각의 상황에 대한 관계형 상황-컨텍스트 매핑 모델이 존재한다. 이 때, 가속도 센서를 내장하고 있는 모바일 디바이스 "G3"를 이용하여 새로 수집한 컨텍스트를 추론 알고리즘 HMM 을 통해 이동 모드에 속한 특정 상황으로 추론하고자 한다.

이동 모드 추론 사례는 추론 요소들의 정형명세를 이용하여 (표 1)과 같이 표현 할 수 있다.

(표 1) 이동 모드 사례의 추론 요소 명세

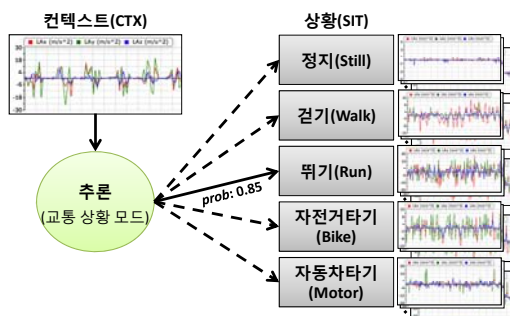
요소	정형 명세를 이용한 표현
추론 함수	$INF("HMM", SMODE_{Transportation}, mapSet, ctx, n)$
상황 모드	$SMODE_{Transportation} = \{ "Still", "Walk", "Run", "Bike", "Motor" \}$
상황-컨텍스트 매핑 모델 집합	$mapSet = \{ SCMAPM_{Still}, SCMAPM_{Walk}, SCMAPM_{Run}, SCMAPM_{Bike}, SCMAPM_{Motor} \}$

각각의 상황-컨텍스트 매핑 모델들이 저장하고 있는 컨텍스트 집합은 컨텍스트 가시화 도구(Context Visualizer)[5]를 통해 (그림 3)과 같이 차트로 표현된다.



(그림 3) 이동 모드 추론 사례에 사용되는 컨텍스트

이 때, 새로 발생한 컨텍스트를 각각의 상황-컨텍스트 매핑 모델들이 저장하고 있는 컨텍스트들과 HMM 추론 알고리즘을 이용하여 비교하여 이동 모드에 포함된 상황, Still, Walk, Run, Bike, Motor 중 적합한 상황으로 추론한다. 추론 후, 새로 발생한 컨텍스트를 해당 상황-컨텍스트 매핑 모델에 추가할 수 있다.



(그림 4) 이동 모드 추론 예제

(그림 4)는 새로 발생한 컨텍스트를 이동 모드의 상황으로 추론 했을 때, 추론 결과 상황이 0.85의 확

률로 뛰기(Run)로 결정된 경우를 나타낸다. 즉, (표 1)의 추론 함수에서 ctx 가 (그림 4)의 컨텍스트(CTX)이고 n 이 1일때, 결과 상황과 확률을 포함하는 튜플의 집합 $\{("Run", 0.85)\}$ 을 반환하는 경우이다.

5. 결론

컨텍스트 인지 모바일 컴퓨팅은 자동화, 자율화, 맞춤형 서비스를 가능하게 하지만 다양한 컨텍스트 분석, 추론할 상황 분석, 추론에 이용할 알고리즘 분석 등의 복잡한 모델링 과정을 요구한다.

추론 시스템을 보다 효과적으로 표현 및 분석하기 위해 본 논문에서는 다음을 수행하였다.

- 컨텍스트 측정치의 형태가 다른 컨텍스트를 표현하기 위한 추론 요소로 컨텍스트 측정치(CM)와 컨텍스트(CTX)를 명세
- 컨텍스트 인지를 통해 추론하고자 하는 상황을 표현하기 위한 추론 요소로 상황(SIT)과 상황 모드(SMODE)를 명세
- 상황과 컨텍스트간의 매핑 관계를 표현하기 위한 모델인 상황-컨텍스트 매핑 모델(SCMAPM)을 명세
- 컨텍스트-상황 추론을 위한 추론 함수(INF)를 명세

또한 본 논문에서 제시하고 있는 정형 모델을 이동 모드(Transportation Mode) 추론 사례에 적용함으로써, 이 정형 모델이 추론 시스템 모델링에 범용적으로 적용되며, 이를 이용하여 추론 시스템을 보다 간결하고 명료하게 모델링 할 수 있음을 보여주었다.

참고문헌

- [1] Dragan Stojanovic, *Context-Aware Mobile and Ubiquitous Computing for Enhanced Usability: Adaptive Technologies and Applications*, Information Science Reference, 2009.
- [2] Sasank Reddy, Min Mun, Jeff Burke, Deborah Estrin, Mark Hansen, and Mani Srivastava, "Using Mobile Phones to Determine Transportation Modes," *ACM Transactions on Sensor Networks*, Vol. 6, No. 2, Article 13, February 2010.
- [3] Rim Helaoui, Mathias Niepert, and Heiner Stuckenschmidt, "Recognizing interleaved and concurrent activities: A statistical-relational approach," *In Proceedings of 2011 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom 2011)*, pp.1-9, 21-25 March 2011.
- [4] Holger Schmidt, Florian Flerlage, and Franz J. Hauck, "A Generic Context Service for Ubiquitous Environments," *In Proceedings of IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications, 2009 (PerCom 2009)*, pp.1-6, 9-13 March 2009.
- [5] Du Wan Cheun, Moon Kwon Kim, Hyun Jung La, Hyun Joo Bae, Chang Sup Keum, and Soo Dong Kim, "A Practical Framework for Comprehensive Mobile Context Visualization," *In Proceedings of the 8th IEEE International Conference (ICEBE 2011)*, pp. 201-206, China, Oct. 2011.