

페이지안 네트워크와 페트리넷을 이용한 모바일 상황정보로부터의 블로그 자동 생성

(Automatic Weblog Generation from Mobile Context using Bayesian Network and Petri Net)

이 영 설[†] 조 성 배^{**}
 (Young-Seol Lee) (Sung-Bae Cho)

요 약 블로그는 가장 널리 퍼지고 있는 개인화 웹 서비스로서 전세계의 많은 사람들이 이용하고 있다. 이런 블로그의 내용은 대부분 일상 생활에서 겪은 경험이나 감정을 표현하고 있는 것들이다. 따라서 모바일 기기로 수집된 개인의 생활에 대한 정보를 모아 자동으로 블로그를 만든다면 그것을 바탕으로 보다 쉽게 자신만의 블로그를 만들 수 있을 것이다. 이미 모바일 상황정보를 바탕으로 블로그를 자동으로 만들기 위한 몇몇 연구가 이루어지고 있다. 본 논문에서는 모바일 기기에서 수집된 정보를 바탕으로 사용자의 상태를 추론한다. 그리고 추론된 결과를 바탕으로 페트리 넷 스크립트를 이용하여 스토리 형태로 텍스트를 생성한 후, 최종적으로 사진과 지도상의 이동 패턴을 합쳐 사용자의 생활을 보여주는 블로그를 구성한다.

키워드 : 모바일 상황정보, 페이지안 네트워크, 페트리 넷, 블로그

Abstract Weblog is one of the most spread web services. The content of the weblog includes daily events

and emotions. If we collect personal information using mobile devices and create a weblog, user can create their own weblog easily. Some researchers already developed systems that created weblog in mobile environment. In this paper, user's activity is inferred from personal information in mobile device. The inferred activities and story generation engine are used to generate text for creating a weblog. Finally, the text, photographs and user's movement in Google Map are integrated into a weblog.

Key words : mobile context, Bayesian network, Petri net, blog

1. 서 론

수많은 개인에 대한 웹 서비스가 증가하고 있는 현재, 세계에서 가장 활성화된 웹 서비스 중 하나는 블로그(Weblog)이다. 국내에서는 네이버, 이글루, 엠파스 등의 유명 사이트에서 이런 서비스를 제공하고 있으며, 보다 자유롭고 개성적인 형태를 원하는 블로거들은 유료로 자신이 원하는 블로그 소스를 직접 다운받아 커스터마이징하여 사용하는 경우도 많이 있다.

이러한 블로그의 내용 가운데 상당 부분이 일상의 내용을 다루고 있는 것들이므로 개인의 생활에 대한 정보를 모아서 블로그를 만들어 줄 수 있다면, 자신의 삶에 대한 기록을 쉽게 남길 수 있을 것이다. 최근에 블로그나 웹페이지를 자동으로 만들어내기 위한 연구들이 이미 제안되거나 진행되고 있다[1,2]. 본 논문에서는 모바일 기기로부터 수집한 정보를 사용하여 블로그를 생성하는 방법을 제안한다. 제안하는 방법의 차별점은 블로그를 생성하기 위하여 수집된 정보를 그대로 사용하지 않고 확률 모델을 이용한 추론 과정을 사용하며, 추론된 내용을 블로그에 쓰이는 이야기 형태로 엮어내기 위해서 스크립트 기반 스토리생성 방식을 이용한다는 점이다.

본 논문에서는 페이지안 네트워크 확률모델을 사용하여 일상생활에서 발생하는 사용자의 행동 및 감정에 대한 정보를 추출한다. 스마트폰이나 PDA 같은 모바일 기기에서 수집된 정보는 일부 정보가 정확하지 않거나 누락되는 경우가 많이 발생할 수 있으므로 기초적인 정보가 없더라도 일반적인 상식이나 개인의 직업, 성별 등의 특성을 반영하여 개인의 행동이나 감정을 확률적으로 모델링할 수 있는 방법이 필요하다. 이를 위하여 본 논문에서는 페이지안 네트워크를 사용하였다.

추론된 사용자의 행동 및 감정과 수집된 상황 정보(장소, 시간, 등)를 통해서 블로그의 텍스트를 만드는 방법으로는 페트리 넷을 이용한 방법을 사용하고 있다. 페트리 넷은 동시 다발적인 상황이나 복잡한 시스템의 순차적 진행을 모델링하고 분석하기 위해서 개발된 알고

· 이 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단-신기술융합형 성장동력사업의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2009-0093676)
 · 이 논문은 2009 한국컴퓨터종합학술대회에서 '모바일 상황정보를 이용한 개인 블로그 자동 생성'의 제목으로 발표된 논문을 확장한 것임

† 학생회원 : 연세대학교 컴퓨터과학과
 tiras@scslab.yonsei.ac.kr

** 종신회원 : 연세대학교 컴퓨터과학과 교수
 sbcho@cs.yonsei.ac.kr

논문접수 : 2009년 8월 13일

심사완료 : 2010년 1월 26일

Copyright©2010 한국정보과학회: 개인 목적이거나 교육 목적인 경우, 이 저작물의 전체 또는 일부에 대한 복사본 혹은 디지털 사본의 제작을 허가합니다. 이 때, 사본은 상업적 수단으로 사용할 수 없으며 첫 페이지에 본 문구와 출처를 반드시 명시해야 합니다. 이 외의 목적으로 복제, 배포, 출판, 전송 등 모든 유형의 사용행위를 하는 경우에 대하여는 사전에 허가를 얻고 비용을 지불해야 합니다.

정보과학회논문지: 컴퓨팅의 실제 및 리더 제16권 제4호(2010.4)

리즘[3]으로, 이전 연구에서는 페트리 넷을 이용하여 만화의 스토리를 생성하는 연구를 진행하였다. 모바일 상에서 수집된 정보와 추론된 행동/감정만으로는 인과적인 흐름을 가지는 스토리를 만들기 어렵고, 단편적인 정보의 나열로 그치는 경우가 발생하게 된다. 따라서 본 논문에서는 페트리넷 스크립트로 미리 정의된 상황이나 조건에 따라서 인과적인 사건의 흐름을 만들어 준다.

최종적으로 제안하는 방법의 가능성을 보여주기 위하여 수집된 실제 정보로 생성된 블로그의 예를 보이고, 사용성 평가 결과를 진행하여 생성된 블로그를 평가한다.

2. 관련연구

2.1 모바일 기기에서의 상황정보 수집

노키아 휴대폰을 대상으로 진행된 ContextPhone[4] 프로젝트에서는 스마트폰에서 수집될 수 있는 상황정보(GSM Cell ID, 블루투스, 배터리 잔량 등)를 수집하여 서버로 전송하는 프레임워크를 개발하고 오픈 소스 기반으로 공개하였다. 또한 VTT 연구소의 Panu 등은 모바일 기기에서 상황 정보를 수집하고 수집된 정보를 이용하여 특징을 추출하는 방법을 보였다.

그 외에 여러 상황정보를 수집하기 위해 가속도 센서, 광센서, 자이로 센서, 마이크로폰 등, 여러 종류의 센서를 작은 보드에 집약시켜 데이터를 수집하고 수집된 데이터를 이용하여 행동을 추론하는 연구나 RFID 태그를 이용한 물체에 관한 상황정보를 활용하는 연구도 이루어지고 있다. 이렇게 상황정보를 수집하고 활용하는 연구는 이미 여러 방면에서 폭넓게 진행되고 있다.

2.2 블로그 자동 생성

모바일 기기에서 수집된 상황 정보를 바탕으로 블로그를 생성하려는 연구는 이전에도 있었다. Costabello 등이 개발한 블로그 자동 생성 시스템은 일상생활의 정보나 행동에 관련된 상황정보를 수집하고 그 정보를 바탕으로 블로그를 생성한다[1]. 이 연구의 특징은 위치 기반으로 사용자의 행동을 파악하며, 사용자의 위치를 정확히 파악하기 위하여 C&M과 MLSW라는 알고리즘을 사용한다. 이 위치 정보와 시간정보를 조합하고 그 당시의 사진을 함께 이용하여 블로그를 생성하게 된다.

Cemerlang 등이 제안한 모바일 블로그링 시스템은 사용자가 모바일 기기에서 수집한 정보와 서버에 전송한 블로그 관련 정보를 토대로 블로그를 만들어 준다[2]. 이 시스템의 장점은 굳이 컴퓨터를 이용하거나 웹에 따로 접속하지 않더라도 모바일 기기만으로 자신이 원하는 블로그를 만들어 줄 수 있다는 데 있다. 특히 이 연구에서는 여행에 관련된 정보를 토대로 블로그를 만드는 것을 제안한다.

이런 연구들은 블로그를 자동으로 만드는 것을 목표

로 하지만, 사람의 행동을 확률 모델로 추론하거나 텍스트를 생성하기 위하여 스토리 엔진을 적용하지는 않았고, 상황정보로부터 알려진 명확한 사실을 바탕으로 블로그를 생성한다. 그러나 일상의 패턴이 일정할 경우에는 블로그의 내용이 비슷해질 가능성이 높고, 그 내용에 다양성이 부족해지는 결과를 초래할 가능성이 높다.

3. 제안하는 방법

블로그 생성 시스템의 전체 구조는 모바일 기기에서의 상황정보 수집, 상태정보 추론, 텍스트 생성, 사진과 텍스트 합성의 총 4단계로 이루어진다. 그림 1은 블로그 생성 시스템의 전체 구성도이다.

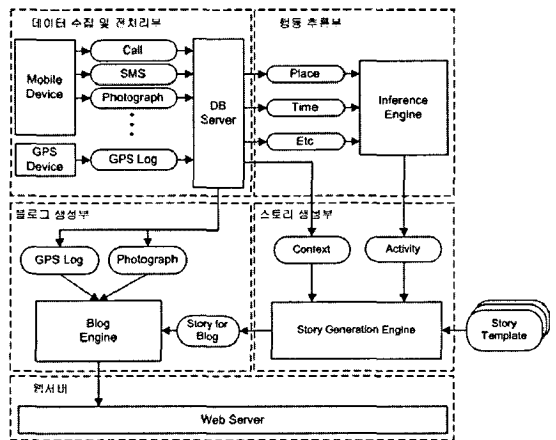


그림 1 전체 시스템 구성도

3.1 상황 정보 수집 및 전처리

이전 연구[5]에서는 상황 정보를 수집하고 전처리하는 방법을 연구하였다. 모바일 기기에서 수집하는 상황정보의 특징은 전혀 다른 성질을 지닌 센서들로부터 수집된다는 점이다. 따라서 수집 주기, 수집된 데이터의 성질 또한 센서들에 따라서 달라진다.

기본적으로 웹에서 수집되는 정보들은 날씨, 교통 상황 등의 정보들로 텍스트형태로 수집되며 수집된 정보를 파싱하고 필터링하는 과정을 필요로 한다. 반면, 스마트폰이나 PDA 자체에서 수집되는 정보들은 애플리케이션 사용 기록이나 개인적인 통화, 문자 메시지 등의 PIMS 정보를 포함한다. 이런 정보를 얻기 위해서는 애플리케이션의 수정같은 추가적인 작업을 필요로 하며, 애플리케이션의 특성에 따라서 정보의 가공 방식이 달라져야 한다. 그 외에 추가적인 센서로부터 얻을 수 있는 정보들이 있다. 여기에는 GPS 장치나 가속도 센서, 자이로 센서, 광센서 등으로부터 얻은 정보가 포함된다. 이런 센서들은 일반적인 모바일 기기에는 부착되어 있지 않았으나,

최근에는 GPS 장치나 가속도 센서 등이 인터페이스와 기록을 위해 스마트폰에 내장되는 경우가 증가하고 있다. 이렇게 얻은 정보들은 정보가 생성된 시간과 함께 저장되어 있으므로 시간을 기준으로 통합될 수 있다.

3.2 상태 정보 추론

상태 정보 추론과정은 확률 모델을 이용하여 모바일 상황 정보로부터 상태정보를 추론하는 과정이다[6]. 본 논문에서 추론하는 상태 정보는 사용자의 행동 및 감정이며, 특히 행동에 초점을 맞추고 있다. 이전 연구[6]에서 제안된 방법은 베이지안 네트워크의 확률 추론을 효율적으로 진행하기 위해서 모듈화에 중점을 두고 연구를 진행하였다. 반면, 본 논문에서 제안하는 방법은 추론의 정확도를 높이기 위한 상세 행동 추론과 전역 행동 추론이라는 2단계 추론 구조를 기본으로 하고 있다. 먼저 상세 행동을 추론하고, 그 상세행동의 결과를 바탕으로 전역행동을 추론하게 된다. 이 때, 상세 행동과 전역 행동의 관계는 General Social Survey (GSS)[7]를 참고하여 설계 되었다. 예를 들어, '수업', '혼자서 공부', '그룹스터디' 등의 상세 행동은 '교육 관련 행동'이라는 전역행동에 속한다. 모바일에서 수집된 정보가 일부 누락되거나 사용자의 특성에 따라서 '수업'이나 '공부' 등의 행동을 구분하기 어려운 경우에도, 전체적으로 '수업'이나 '공부'에 관련된 행동의 확률이 증가하면, '교육 관련 행동'이라는 전역 행동의 확률은 크게 증가하게 된다. 따라서 블로그 생성시에 교육관련 행동에 관한 정보를 이용하는 스크립트가 선택될 확률이 높아지게 되므로 전체적인 블로그의 정확도를 향상시키는 데 도움을 줄 수 있다.

전역 행동은 상세 행동의 추론 결과를 바탕으로 추론되고, 상세 행동은 모바일 기기에서 수집된 정보를 바탕으로 추론된다. 상세 행동을 위한 베이지안 네트워크 구조는 상황 정보의 계층 구조를 이용한 의미망[8]을 참조하여 설계 되었다. 그 구조는 그림 2에서 보는 바와 같이 3개의 계층으로 이루어져 있다. 3 계층은 추론 목표 계층, 상황 가중치 계층, 상황정보 계층의 3개의 계층으로 구성한다. 목표 계층에는 추론의 목표인 행동이 놓인다. 상황 가중치 계층에는 상황 정보의 5 종류의 상황 정보 카테고리[8] 별로 각각의 정보에 대한 가중치가 주어진다. 특정 행동이 공간에 관련된 상황에 많은 영향을 받을 경우에는 공간에 관련된 정보에 가중치가 주어지고, 반대로 특정 시간대에 영향을 많이 받을 경우에는 시간에 관련된 정보에 가중치가 부여된다. 예를 들어 '축구' 등의 행동은 축구장 등의 공간적 위치가 중요하고, '점식식사' 등의 행동은 시간이 중요한 상황 정보로 작용하게 된다. 상황 가중치 계층의 종류는 표 1과 같다.

표 1 상황 가중치 계층의 구분

상황 가중치 계층의 종류	상세 설명
Spatial-Context	추론하려는 행동에 적합한 공간적 위치를 증거로 포함
Temporal Context	추론할 행동에 부합하는 시간적 정보를 포함
Personal Context	추론할 행동에 적합한 사용자의 상태를 표시
Environmental Context	주변의 물체나 소리 등을 모델링하기 위해서 이용
Social Context	사용자의 사회적 역할이나 교우 관계를 증거로 사용

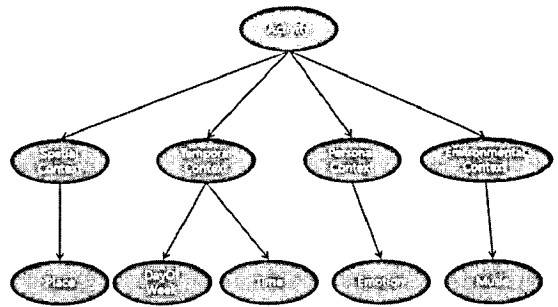


그림 2 상황 정보 계층구조에 따른 베이지안 네트워크 설계

3.3 텍스트(스토리) 생성

블로그의 텍스트는 일상생활에서의 사건이나 감정 등이 주로 반영하여야 한다. 여기서는 블로그를 위한 텍스트를 만들기 위해서 만화 조합 및 생성을 위하여 이전에 개발한 페트리 넷(Petri Net) 스크립트를 이용한 스토리 엔진[3]을 사용한다. 페트리 넷은 복잡한 현실의 시스템이나 병렬적으로 발생하는 사건을 모델링하기에 적합한 방법으로 여러 가지 시스템을 모델링하는 데 이용되고 있다.

페트리넷을 이용한 텍스트 생성 기법은 일반 상식을 통해서 정의된 사건의 집합을 내포한 페트리 넷 스크립트를 바탕으로 동작한다. 먼저, 수집된 상황 정보(장소, 시간, 기타 주변 상황)과 추론된 사용자의 행동 및 감정을 바탕으로 이런 상황 정보와 행동에서 발생할 수 있는 사건들이 정의 되어 있는 페트리넷 스크립트를 선택한다. 스크립트 내부에는 추론된 행동은 이미 발생한 사건으로 간주하고, 그 행동이 발생한 시점의 전후에서 발생할 수 있는 사건의 순서와 패턴이 설계되어 있다. 그림 3은 페트리 넷으로 모델링된 스크립트의 예를 보여 주고 있으며, 표 2는 Petri Net 구성 요소가 스토리 템플릿에 이용될 경우의 의미를 보여준다. 그림 3에서는 추론된 행동(Inferred Activity)은 주요 사건(Main Event)이 발생하기 위한 조건으로 사용되며, 주요 사건의 전후에 발생할 수 있는 이야기의 패턴은 사건 2와 3

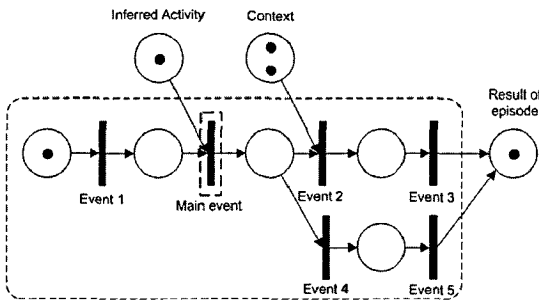


그림 3 스토리 생성을 위한 Petri Net 스크립트

이 발생하는 경우와 사건 4와 5가 발생하는 경우의 2 종류가 존재한다. 상황 정보(Context)를 확인하여 어떤 패턴이 발생할 수 있는지 확인하고, 발생 가능한 사건의 순서가 생성된다. 그리고 최종적으로 발생한 사건의 순서가 블로그의 텍스트로 생성된다. 하나의 스크립트가 실행된 이후에는 그 스크립트의 상태 값이 저장되어 다음에 선택된 스크립트에 영향을 주도록 설계되었다.

이전연구에서는 생성되는 텍스트가 만화에 필요한 단문 형식의 대사나 다섯 단어 이하의 짧은 문장으로 제한되었으나, 본 논문에서는 블로그에 맞추기 위하여 스크립트의 대부분이 긴 문장으로 변경되었다. 그림 4는 생성된 스토리의 예를, 그림 5는 스토리 생성의 전체 구조를 보여준다.

3.4 사진 및 텍스트 합성

본 논문에서 제안하는 블로그 생성의 목적은 사용자의 생활에 관한 정보를 커뮤니티의 다른 사람과 공유하는 것이므로 가능한 자세한 정보를 제공하는 편이 좋다. 따라서 네이버 맵(혹은 구글 맵)에서 제공하는 웹 기반 지도 정보 API를 이용하여 사용자의 위치에 따른 궤적을 함께 제공한다. 최종적으로 이 정보(지도상의 이동 궤적, 촬영한 사진, 블로그를 위해 생성된 텍스트)를 하나로 묶어 블로그 형태로 웹에 공유한다.

이 정보는 그림 7과 같이 기본적인 형태의 웹페이지로 나타난다. 여기서는 하루의 시간을 새벽/오전/오후/밤의 4개로 구분하고, 각각의 시간대 마다 해당하는 사진과 지도상의 이동 궤적을 구글맵 API를 사용하여 표시해준다. 또한 가장 마지막에 있는 텍스트는 스토리 스

표 2 스크립트(스토리 템플릿)의 구성 요소

그림	이름	설명
	place	행동이나 사건 발생에 필요한 조건, 혹은 사건 발생 이후의 결과나 상태
	transition	사용자의 행동이나 사건
	arc (edge)	사건(transition)과 조건(place)을 연결, 혹은 사건과 사건의 결과를 연결
	token	스토리 템플릿의 현재 진행 상황을 표현. 스토리 템플릿 사이의 결과 전달을 표현

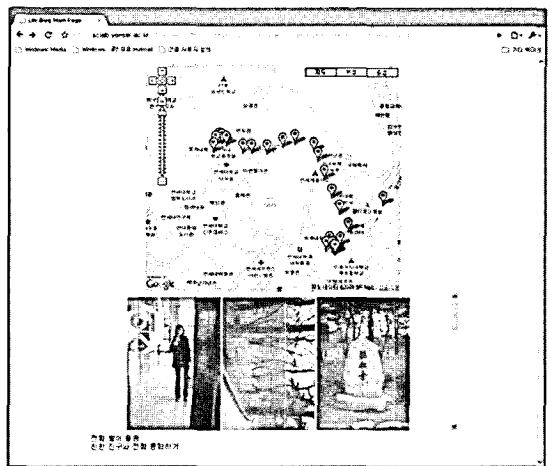


그림 5 생성된 블로그 화면

크립트 엔진을 통해서 생성된 단문 텍스트와 사용자가 직접 작성한 텍스트를 혼용하여 보여준다.

4. 사용성 평가 및 결과

8명의 피 실험자에게 실제 사용자가 보고한 3 일치의 스케줄 정보와 해당 날짜에 대해서 생성된 블로그의 샘플을 보여주고 사용성 평가를 실시하였다. 사용성 평가에는 SUS(System Usability Scale)의 항목을 이용하였다. 점수 범위는 1~5점으로 하였으며, 각 항목은 표 3과 같다.

```

<landmark name="은평하기 좋은 날이다." start_time="480" end_time="900"/>
<landmark name="은평을 증명했다. 풍물 흥취이나 건강이나 기분이나 여력모도 좋은 곳 같다." start_time="480" end_time="900"/>
<landmark name="조용하고 고요한 느낌이다." start_time="480" end_time="960"/>
<landmark name="조각사 있는 건 죄를 면도 있고 조용해서 좋은 데도 있다." start_time="480" end_time="960"/>
<landmark name="친구들과 만났다. 친한 친구들을 보는 건 항상 즐거운 일이다." start_time="600" end_time="1000"/>
<landmark name="친자 데시지가 왔다." start_time="720" end_time="780"/>
<landmark name="근데 스릴 혼자라니.. 한 번느니만 못하다." start_time="720" end_time="780"/>
<landmark name="대로는 스스로의 모습을 남기고 싶을 때가 있다." start_time="840" end_time="960"/>
<landmark name="그리고 오늘 결과를 봤어 보았다." start_time="840" end_time="960"/>
<landmark name="물거은 한 번은 사진으로 남기자." start_time="840" end_time="960"/>
<landmark name="매와 경관을 살펴보는 중에 사진도 찍었다." start_time="840" end_time="960"/>
<landmark name="정자기 전과보는 중에 사진도 찍었다." start_time="1200" end_time="1260"/>
<landmark name="정찰을 받아보니 친구에게 온 전화라 반갑게 이야기를 나누었다." start_time="1200" end_time="1260"/>
    
```

그림 4 블로그를 위하여 생성된 스토리의 예

표 3 사용성 평가 문항

번호	문항
1	나는 이 시스템을 자주 사용할 것 같다.
2	시스템에 불필요하게 복잡한 부분이 있다.
3	시스템이 사용하기 쉽다고 생각한다.
4	이 시스템을 사용하기 위해서 전문가가 필요할 것 같다.
5	이 시스템은 다양한 기능이 조직적으로 잘 결합되어 있다.
6	이 시스템은 너무 불안정한 것 같다.
7	대부분의 사람이 이 시스템의 사용방법을 빨리 익힐 것이다.
8	이 시스템은 사용하기 귀찮은 부분이 있다.
9	나는 이 시스템을 사용했다는 데 자부심이 생긴다.
10	이 시스템을 계속 사용하기 위해서는 많은 것을 배워야 할 것 같다.

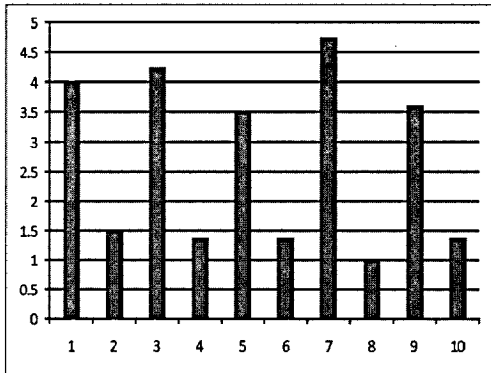


그림 6 사용성 평가 결과

각 문항에 대한 평가의 평균 점수는 그림 6과 같았다. 이 시스템은 사용자가 직접 참여할 부분이 적기 때문에 항목 3과 항목 7에서 높은 점수를 받았다. 또한 전체적으로 만족할만한 점수를 얻었다는 것을 알 수 있다.

5. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 모바일 기기에서 수집된 상황정보를 이용하여 블로그를 생성하는 방법을 제안하였다. 이전 연구들에서는 사용자의 행동을 추론하는 방법으로 확률 모델이 아닌 규칙기반 방법을 이용하거나, 상황정보만을 사용하는 방법을 이용한 경우가 많았다. 본 논문에서는 사람의 행동이나 감정을 추론하기 위해 베이지안 확률 모델을 이용하여 불확실한 상황에서의 정확도를 높이려고 하였으며, 블로그의 텍스트를 만들기 위해 페트리 넷을 이용한 스토리 생성 방법을 사용하여 보다 자연스럽고 현실적인 블로그를 자동으로 만들기 위한 방법을 제안하였다.

그러나 실질적으로 블로그를 자동으로 생성하는 서비스가 현실화되기 위해서는 여전히 많은 문제가 남아 있다. 우선 확률 추론 모델의 정확도 향상을 위한 모델의

구조 연구와 모바일 기기에서 수집된 정보들의 상세한 분석이 더 필요하며, 블로그를 위한 텍스트를 만들 때 장문의 문장이 자연스럽게 연결되기 위한 자연어 처리, 그리고 직접 촬영한 사진이나 동영상뿐만 아니라 관련된 사진이나 정보를 검색하여 블로그의 내용을 풍성하게 하는 연구가 필요하다.

참고 문헌

- [1] L. Costabello and L. W. Goix, "Time based context cluster analysis for automatic blog generation," *WWW2008 Workshop on Social Web Search and Mining, Beijing*, 2008.
- [2] P. Cemerlang, J.-H. Lim, Y. You, J. Zhang and J.-P. Chevallet, "Towards automatic mobile blogging," *Proc. of IEEE Int. Conf. on Multimedia and Expo*, pp.2033-2036, 2006.
- [3] Y.-S. Lee, K.-J. Kim and S.-B. Cho, "Life log story generation in mobile using user context and Petri Net," *Proc. of The Korea Computer Congress (KCC)*, vol.34, no.1(A), pp.97-98, 2007.
- [4] M. Raento, A. Oulasvirta, R. Petit and H. Toivonen, "ContextPhone - A prototyping platform for context-aware mobile applications," *IEEE Pervasive Computing*, vol.4, no.2, pp.51-59, 2005.
- [5] Y.-S. Lee, M.-C. Jung and S.-B. Cho, "Collection and construction of user's context in smart phone," *Proc. of KCC*, vol.33, no.1(B), pp.115-117, 2006.
- [6] K.-S. Hwang and S.-B. Cho, "Bayesian inference model for landmark detection on mobile device," *Proc. of KCC*, vol.33, no.1(B), pp.127-129, 2006.
- [7] Statistics Canada, "General social survey on time use," <http://www.statcan.ca>, 2005.
- [8] A. Kofod-Petersen and J. Cassens, "Using activity theory to model context awareness," *Lecture Notes on Artificial Intelligence*, vol.3946, pp.1-17, 2006.